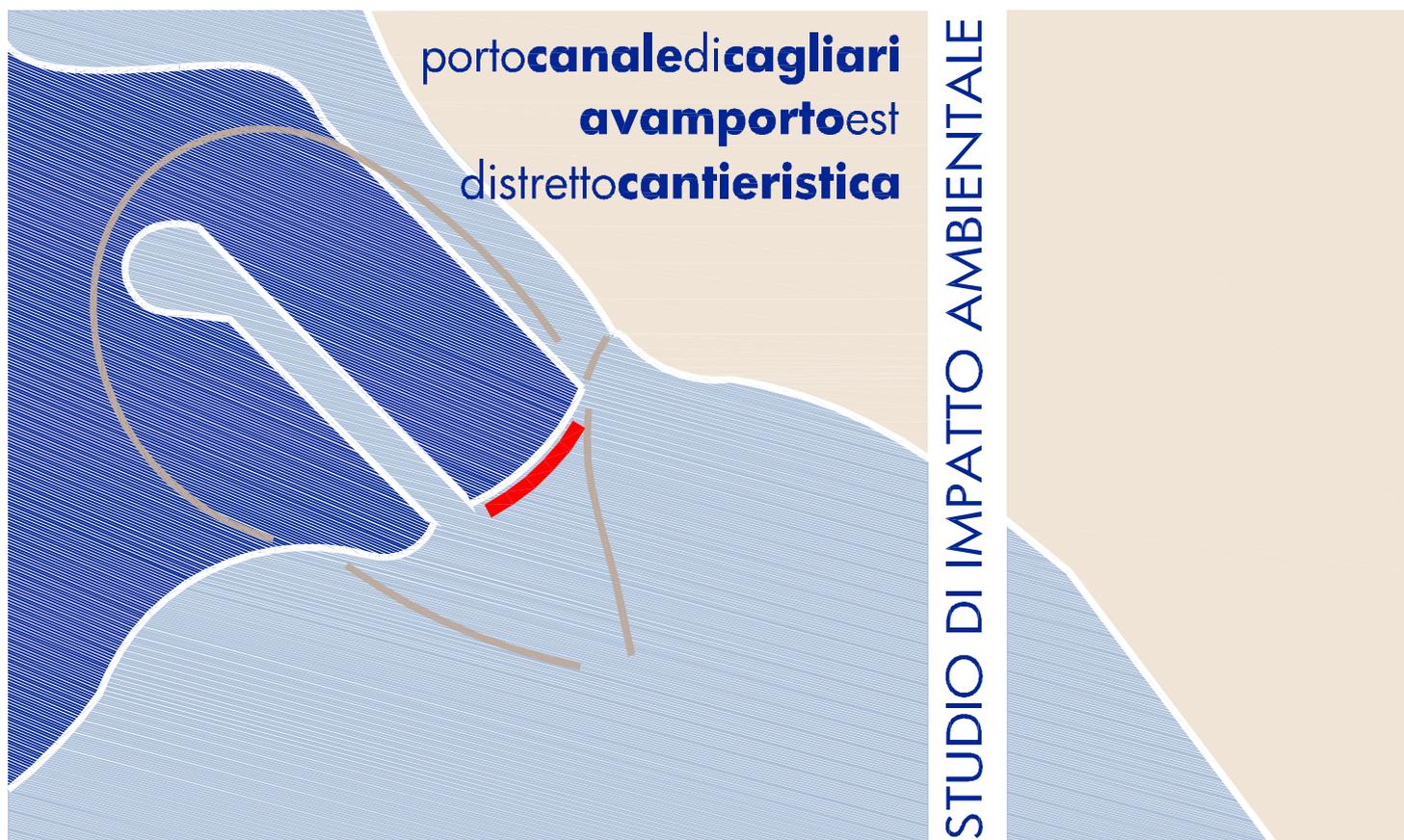




AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI



QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

Data: Gennaio 2012

CADC QAMB 00 RELAZIONE GENERALE

Elaborazione:



Ing. Francesco Ventura





INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	<i>Gli obiettivi e la logica di lavoro</i>	5
1.2	<i>Le conclusioni della VAS sugli interventi del PRP nel Porto Canale.....</i>	7
2	ATMOSFERA	10
2.1	<i>Premessa.....</i>	10
2.2	<i>Il quadro Normativo di riferimento</i>	11
2.2.1	<i>Le indicazioni dell'Unione Europea.....</i>	11
2.2.2	<i>La normativa in Italia</i>	12
2.3	<i>Caratterizzazione Ante Operam.....</i>	17
2.3.1	<i>Le condizioni meteo climatiche.....</i>	17
2.3.2	<i>Piano di risanamento della qualità dell'aria.....</i>	27
2.3.3	<i>Caratterizzazione della Qualità Dell'Aria (QDA)</i>	31
2.3.4	<i>Caratterizzazione della qualità dell'aria (QDA) nell'ambito di intervento.....</i>	43
2.4	<i>Analisi delle interazioni opera-componente – Fasi Ante e Post Operam.</i>	45
2.4.1	<i>Analisi del progetto.....</i>	45
2.4.2	<i>Stima delle emissioni.....</i>	46
2.4.3	<i>Analisi sulle concentrazioni</i>	59
2.4.4	<i>Conclusioni.....</i>	70
2.5	<i>Analisi interazione opera-componente – Fase Corso d'Opera</i>	71
2.5.1	<i>Analisi del progetto.....</i>	72
2.5.2	<i>Stima delle emissioni.....</i>	76
2.5.3	<i>Conclusioni.....</i>	82
2.5.4	<i>Interventi di mitigazione per l'abbattimento delle emissioni di polvere.....</i>	84
3	AMBIENTE IDRICO	99
3.1	<i>Metodologia di lavoro.....</i>	99
3.1.1	<i>Obiettivi e finalità</i>	99
3.1.2	<i>Criteri di studio.....</i>	99
3.2	<i>Quadro conoscitivo ante operam.....</i>	100
3.2.1	<i>Inquadramento territoriale dell'ambito di studio.....</i>	100
3.2.2	<i>Fonti conoscitive e quadro normativo di riferimento.....</i>	100
3.2.3	<i>Aspetti climatici</i>	103
3.2.4	<i>Aspetti idrografici.....</i>	108
3.2.5	<i>Qualità delle acque superficiali.....</i>	114
3.3	<i>Rapporto Opera – Ambiente.....</i>	119
3.3.1	<i>Analisi delle azioni di progetto.....</i>	119
3.3.2	<i>Individuazione delle possibili interferenze.....</i>	120



3.3.3	Valutazione delle interferenze e soluzioni adottabili.....	122
4	SUOLO E SOTTOSUOLO.....	123
4.1	Metodologia di lavoro.....	123
4.1.1	Obiettivi e finalità	123
4.1.2	Criteri di studio.....	123
4.2	Quadro conoscitivo ante operam.....	123
4.2.1	Inquadramento geologico dell'ambito di studio.....	123
4.2.2	Fonti conoscitive.....	124
4.2.3	Quadro normativo di riferimento	125
4.2.4	Aspetti geologici	126
4.2.5	Caratterizzazione geotecnica dell'area di studio	133
4.2.6	Caratterizzazione dei sedimenti marini dell'area di studio.....	136
4.2.7	Aspetti geomorfologici.....	141
4.2.8	Acque sotterranee	142
4.3	Rapporto Opera – Ambiente.....	146
4.3.1	Analisi dell'intervento in progetto	146
4.3.2	Individuazione delle possibili interferenze.....	147
4.3.3	Valutazione delle interferenze e soluzioni adottabili.....	149
5	VEGETAZIONE, FLORA FAUNA, ED ECOSISTEMI TERRESTRI	151
5.1	Premessa.....	151
5.2	Metodologia di lavoro.....	151
5.3	Inquadramento generale dell'area di studio	153
5.3.1	Inquadramento biogeografico e bioclimatico	153
5.3.2	Le aree di interesse naturalistico	156
5.3.3	Analisi dei popolamenti animali	160
5.4	Inquadramento ambientale specifico.....	166
5.4.1	Analisi delle formazioni vegetali.....	166
5.4.2	Analisi dei popolamenti animali	171
5.5	Analisi delle interferenze.....	172
6	ECOSISTEMA MARINO.....	177
6.1	Inquadramento generale.....	177
6.2	Geologia marina	179
6.3	Geomorfologia.....	179
6.4	Ambiente idrico	181
6.4.1	Qualità delle acque marino costiere e di transizione	181
6.4.2	Qualità dei sedimenti	187
6.4.3	Biocenosi di moda calma	189
6.4.4	Praterie di Posidonia Oceanica	189
6.5	Analisi dell'interazione opera-componente	193



6.5.1	Valutazione dell'impatto delle opere sull'ambiente.....	194
6.6	Gli effetti delle attività di cantiere.....	196
6.6.1	Fase di esercizio	199
6.6.2	Accorgimenti e mitigazioni in fase di cantiere	199
7	RUMORE.....	202
7.1	Premessa.....	202
7.2	Riferimenti normativi	203
7.3	Clima acustico ante operam	211
7.3.1	Considerazioni generali.....	211
7.3.2	Campagna del rumore ambientale.....	211
7.3.3	Descrizione dei siti di misura.....	213
7.3.4	Risultati	219
7.4	Analisi delle interazioni opera-componente – Fasi Ante e Post Operam.....	222
7.4.1	Introduzione.....	222
7.4.2	Modello di calcolo	223
7.4.3	Input di calcolo.....	225
7.4.4	Analisi delle simulazioni.....	226
7.5	Analisi delle interazioni opera-componente - Fase Corso d'Opera	232
7.6	Conclusioni.....	234
8	SALUTE PUBBLICA	235
8.1	Definizione di Salute Pubblica	235
8.2	Metodologia dello studio	235
8.3	Individuazione dei fattori di pressione e dei loro effetti sulla salute pubblica	237
8.3.1	Screening delle principali fonti di disturbo per la salute umana	237
8.3.2	Inquinamento atmosferico e salute pubblica	238
8.3.3	Inquinamento acustico e Salute Pubblica	246
8.4	Caratterizzazione della componente salute pubblica nell'ambito territoriale di riferimento.....	252
8.4.1	La struttura della popolazione.....	252
8.4.2	Le condizioni di salute della popolazione.....	255
8.5	Le condizioni di esposizione all'inquinamento atmosferico.....	257
8.5.1	Le attuali condizioni di qualità dell'aria.....	257
8.5.2	La qualità dell'aria nello scenario di progetto.....	257
8.5.3	Evoluzione delle condizioni dell'inquinamento acustico allo scenario di progetto.....	258
9	PAESAGGIO.....	260
9.1	Premessa.....	260
9.2	Inquadramento generale.....	261
9.3	Gli ambiti di paesaggio	263



9.4	<i>Analisi dello stato attuale</i>	266
9.4.1	<i>Caratteristiche geomorfologiche ed uso del suolo</i>	266
9.4.2	<i>Sistemi naturalistici</i>	269
9.4.3	<i>Sistemi insediativi storici e di recente formazione</i>	274
9.4.4	<i>Sistema relazionale</i>	276
9.4.5	<i>Paesaggi agrari</i>	282
9.4.6	<i>L'evoluzione storica del contesto paesaggistico</i>	284
9.5	<i>Analisi delle condizioni percettive</i>	288
9.5.1	<i>Gli ambiti di intervisibilità</i>	288
9.5.2	<i>Criticità e ambiti di degrado</i>	298
9.6	<i>Il rapporto Opera-Paesaggio</i>	299
9.6.1	<i>Elementi di mitigazione e compensazione necessari</i>	302
10	INDICAZIONI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE	303
10.1	<i>La proposta di indicatori della VAS per il PRP</i>	303
10.2	<i>I parametri di monitoraggio individuati per il progetto</i>	307



1 PREMESSA

1.1 Gli obiettivi e la logica di lavoro

La finalità del Quadro di Riferimento Ambientale risiede nella individuazione e stima delle possibili modificazioni ambientali indotte dalla realizzazione e dall'esercizio delle opere in progetto attraverso l'analisi dei sistemi ambientali interessati, sia direttamente sia indirettamente, rispetto ai quali è logico presumere che possano manifestarsi delle ricadute (impatti).

La linea metodologica seguita nel presente Studio di Impatto Ambientale è stata quella di effettuare un'analisi delle singole componenti ambientali individuate dal D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e dal D.P.C.M. 27/12/1988.

Nell'ambito della trattazione di ciascuna componente ambientale, l'approccio metodologico seguito prevede, dapprima, la definizione del quadro normativo di riferimento; cui segue una descrizione dei livelli di qualità ante operam (preesistenti alla realizzazione dell'intervento) ed i fenomeni di degrado delle risorse (eventualmente in atto).

Nella fase di valutazione, il confronto tra le peculiarità dell'ambiente e le caratteristiche dell'opera in progetto, consente, infine, di individuare gli impatti/interferenze, effettuandone anche una stima qualitativa e/o quantitativa, secondo i criteri descrittivi, analitici e previsionali.

Nello specifico, a seguito della preventiva individuazione dei sistemi ambientali che, in ragione delle peculiarità del contesto territoriale indagato e della tipologia dell'intervento in progetto, si ritiene essere quelli potenzialmente interessati, sia direttamente che indirettamente, dall'opera in esame, si è operata la definizione dell'ambito di studio.

A tale riguardo occorre specificare che, nonostante la ridotta dimensione fisica dell'intervento proposto, si è definito, tuttavia, un ambito di studio particolarmente ampio, all'incirca riferito all'intero stagno di Cagliari, al fine di non frazionare la unità ambientale da questo costituita.

Una volta operata la perimetrazione dell'ambito di studio sono stati descritti i sistemi ambientali interessati, ponendo in evidenza l'eventuale criticità degli equilibri esistenti, nonché individuate le aree, le componenti ed i fattori ambientali e le relazioni esistenti tra essi che manifestano un carattere di eventuale criticità, al fine di evidenziare gli approfondimenti di indagine necessari.

In base, sia alle peculiarità dell'ambiente interessato, definite dalle analisi illustrate, sia ai livelli di approfondimento necessari per il tipo di intervento in oggetto, il



Quadro Ambientale contiene la stima qualitativa/quantitativa tanto degli impatti indotti dall'opera in progetto sull'ambiente, quanto delle loro interazioni con le diverse componenti e fattori ambientali, anche in relazione ai rapporti che possono esistere tra questi.

Sono state inoltre descritte le modificazioni delle condizioni d'uso e della fruizione potenziale del territorio in rapporto alla situazione preesistente, così come la prevedibile evoluzione delle componenti e dei fattori ambientali, delle relative interazioni e dell'ambiente nel suo complesso.

Le fasi di lavoro seguite possono essere quindi così riassunte:

- Descrizione generale dell'area di influenza potenziale che identifica il sito con riferimento all'inquadramento fisico ed antropico ed all'individuazione delle componenti ambientali interessate dalle azioni di progetto;
- Analisi delle singole componenti e fattori ambientali, che per ciascuna componente descrive lo stato di qualità preesistente e stima la prevedibile evoluzione in seguito alla realizzazione ed all'esercizio dell'opera in progetto;
- Analisi complessiva e conclusioni, per ogni componente.

In allegato alla presente relazione sono stati prodotti i seguenti elaborati grafici:

Codifica	Titolo	Scala
CADC_QAMB_01	Inquadramento	
CADC_QAMB_02	Carta geomorfologica	1:25000
CADC_QAMB_03	Carta geolitologica	1:25000
CADC_QAMB_04	Carta dei sistemi idrici	1:25000
CADC_QAMB_05	Carta dell'uso del suolo e delle unità ecosistemiche	1:25000
CADC_QAMB_06	Carta della vegetazione	1:10000
CADC_QAMB_07	Carta delle aree di interesse avifaunistico	1:25000
CADC_QAMB_08	Carta della mappatura della Posidonia oceanica	1:25000
CADC_QAMB_09	Carta della struttura del paesaggio	1:25000
CADC_QAMB_10	Carta delle condizioni percettive: l'area di intervento	1:5000
CADC_QAMB_11	Fotosimulazione degli inserimenti paesaggistico-ambientali	1:15000
CADC_QAMB_12	Fotosimulazione degli inserimenti paesaggistico-ambientali	1:15000



1.2 Le conclusioni della VAS sugli interventi del PRP nel Porto Canale

Di seguito si riporta una sintesi di quanto emerso dall'analisi degli effetti indotti dall'attuazione del PRP nell'area del Porto Canale, nell'ambito della Valutazione Ambientale Strategica.

Aria

Le verifiche condotte evidenziano che non sono presenti criticità relative alla qualità dell'aria. Le azioni del PRP programmano un decisivo aumento e potenziamento delle attività commerciali e industriali, della cantieristica navale, dei servizi logistici per il porto, del terminal Ro-Lo e Ro-Ro e polifunzionale, etc., con probabile aumento delle emissioni in atmosfera da traffico veicolare e navale, peggioramento potenziale che potrà verificarsi anche a seguito della realizzazione delle infrastrutture viabilistiche, del ponte sul Canale della Scafa e dei parcheggi previsti.

Per contro il PRP programma la realizzazione di opere di sistemazione a verde e a verde attrezzato, l'individuazione delle fasce di rispetto e di salvaguardia, del Parco della Chiesetta di S. Efisio, azioni a seguito delle cui realizzazione la matrice ambientale potrà, nel complesso, beneficiare positivamente.

Acqua

Sussiste la potenziale presenza di scarichi di reflui non trattati. Il Porto, inoltre, risulta potenzialmente connesso con i siti della rete Natura 2000 tramite la presenza di una bocca lagunare artificiale ubicata in prossimità del bacino di evoluzione. Risulta fondamentale la tutela della risorsa idrica, non solo per gli aspetti qualitativi della stessa ma anche per preservare l'habitat acquatico, quale veicolo potenziale di trasmissione degli inquinamenti verso le aree protette. La realizzazione di nuove edificazioni, parcheggi, viabilità e del ponte di collegamento determina il potenziale incremento degli scarichi non trattati a mare o nei canali collegati alle aree protette. Tuttavia si ritiene che la realizzazione degli interventi, possa essere l'occasione per riordinare la rete di smaltimento delle acque reflue, per la separazione delle reti e per la predisposizione di un unico depuratore o il conferimento del refluo al depuratore di Macchiareddu. La gestione corretta della rete meteorica e del suo trattamento permette un efficace controllo dei possibili carichi inquinanti oltre che una più efficace gestione economica della depurazione. Per quanto riguarda il traffico navale data la normativa vigente si ritiene che in conseguenza alle azioni del PRP non si verifichino peggioramenti della situazione attuale.

La realizzazione di banchinamenti, la riqualificazione di quelli esistenti e l'individuazione degli ormeggi devono essere visti nell'ottica della riorganizzazione dell'intero porto e funzionali al trasferimento di attività commerciali dal porto Storico, ambito non consono a tali funzioni, in primis per gli aspetti storico paesaggistici e



logistici. Una particolare attenzione deve essere posta all'ambito riservato alla predisposizione dei cantieri navali ed agli scarichi da essi prodotti. Per quanto a scala di macroambito sia possibile un incremento di potenziali scarichi e sversamenti a mare si ritiene che complessivamente, ovvero a grande scala, l'impatto sia positivo, visto che attualmente i cantieri sono posizionati nel Porto Vecchio, non consoni ad ospitare tali attività. Stesse considerazioni possono essere effettuate per il bacino di carenaggio. Seppure a piccola scala la realizzazione di opere a mare possa determinare potenziali impatti temporanei dovuti alle necessarie lavorazioni di cantiere, a grande scala si verifica un impatto positivo per quanto detto precedentemente. La realizzazione di aree verdi e la riorganizzazione di quelle esistenti fa sì che, in ambito portuale, siano presenti aree non impermeabilizzate, ove il coefficiente di deflusso risulta essere inferiore e quindi il carico di acque meteoriche direttamente scaricanti nelle fognature risulta essere contenuto.

Suolo e sottosuolo

Dal punto di vista litologico l'ambito è costituito, in superficie, quasi interamente da terreni di riporto accumulati per deposito di materiali dragati entro le vasche di colmata e caratterizzati quindi da scadenti proprietà geotecniche, oltre che da una probabile anomala salinità. Solo nel settore settentrionale (Sa Illetta) e lungo l'originaria linea di costa impostata sul cordone lagunare (Giorgino est ed ovest), sono presenti depositi sabbiosi di origine marina. Tale peculiare conformazione geologica impone forti condizionamenti nella realizzazione delle opere marittime più importanti, come ad es. le banchine od il ponte sul Canale della Scafa, con la necessità di programmare opere speciali profonde che possono interferire con il circuito idrico sotterraneo; per questo motivo sono stati considerati effetti particolarmente negativi nella matrice di valutazione. La probabile anomalia salina di questi suoli (ottenuti per colmata con materiale di dragaggio marino) condiziona il progetto della sistemazione a verde e a verde attrezzato programmato dal PRP.

Il tratto di litorale naturale residuo in località Giorgino est ed ovest con le sue spiagge fruibili deve, per quanto possibile, essere salvaguardato dalla trasformazione; esso è interessato da fenomeni locali di erosione della costa, tanto che in occasione di una violenta mareggiata nello scorso autunno, è stata demolita la viabilità di accesso alla località Giorgino est; si individua quindi come effetto negativo la realizzazione del nuovo collegamento stradale al Porto Vecchio e il ponte sul Canale della Scafa.

Flora, fauna e biodiversità

L'ambito è parzialmente compreso nel SIC dello stagno di S. Gilla. L'attuazione delle azioni previste comporta, in prossimità delle aree a terra ed interne ai siti, una



variazione di destinazione d'uso. Attualmente le aree risultano essere ambiti di colmata costituiti dal materiale di dragaggio proveniente dal porto in ragione della manutenzione dei fondali. La vegetazione presente risulta erbacea e tipica delle aree degradate, mista a lembi residui di fitocenosi ad alofite perenni, non di particolare pregio. Si ritiene significativo lo studio delle potenziali connessioni del Porto Canale con lo stagno. La SS 195 Sulcitana risulta essere barriera floro-faunistica per lo stagno impedendone la connessione ecologica via terra al porto, il canale scolmatore presente a nord nel bacino di evoluzione, invece, risulta essere potenzialmente connesso con lo stagno. Il Piano prevede, lungo il perimetro che costeggia la Sulcitana, fasce di rispetto e salvaguardia: si ritiene che tali aree, qualora adeguatamente progettate, possano risultare cosiddette fasce tampone per la schermatura dei siti della Rete Natura 2000. Tramite la piantumazione di specie autoctone di tipo arbustivo potrà essere mitigata la scarsa capacità di assorbimento visuale del porto e sarà possibile connettere aree verdi interne con la fascia tampone in modo tale da creare spazi verdi finalizzati a ridurre consumo di suolo e rendere più ordinato il porto stesso. Per quanto riguarda le possibili connessioni del bacino di evoluzione con S. Gilla si richiamano le considerazioni effettuate sulla componente acqua.

Le connessioni ecologiche

Per quanto riguarda il Porto Canale gli elementi di connessione risultano essere il canale di ingresso allo stagno, ed un canale che si immette nel bacino di evoluzione, oltre che alcune bocche lagunari, segnalate nella cartografia allegata di cui sopra, presenti lungo la linea di costa. La connessione possibile potrebbe avvenire, in particolare, attraverso l'ambiente acquatico, di qui le specifiche prescrizioni finalizzate alla tutela della qualità delle acque sopraccitate. L'ambito del Porto Canale può essere considerato separato via terra dalla laguna di S. Gilla attraverso la SS 195.

Dal punto di vista paesaggistico, l'ambito del Porto Canale risulta avere uno scarso assorbimento visivo.



2 ATMOSFERA

2.1 Premessa

Lo studio intende valutare i potenziali impatti sulla qualità dell'aria derivanti dalla realizzazione del nuovo "Distretto della Cantieristica", nell'avamposto di levante del Porto Canale, destinato ad insediamenti industriali, artigianali e commerciali nel settore di attività della cantieristica per la nautica da diporto, con particolare riferimento al refitting di megayacht.

Lo studio si basa sull'individuazione dei principali fattori di inquinamento dell'aria nelle seguenti fasi:

- Fasi Ante e Post Operam. In queste fasi le emissioni analizzate sono connesse con i flussi di traffico stradale e navale indotti dalla cantieristica di diporto;
- Fase Corso d'opera. In queste fasi le emissioni analizzate sono connesse con i flussi di traffico di cantiere sulla viabilità ordinaria e con le attività di movimentazione materiali polverulenti all'interno delle aree di cantiere.

La stima dei valori di concentrazione delle sostanze inquinanti nell'atmosfera prende in considerazione le caratteristiche meteorologiche dell'area, gli attuali valori delle sostanze usualmente monitorate ed i limiti normativi di accettabilità di detti valori per la salute umana.

L'analisi dell'impatto sull'atmosfera si articola quindi secondo le seguenti fasi:

- Descrizione sintetica della normativa comunitaria e nazionale, al fine di individuare le sostanze in base alle quali valutare il livello di inquinamento ed i corrispondenti valori limite;
- Analisi aspetti progettuali inerenti lo stato e le possibili alterazioni della qualità dell'aria;
- Individuazione e descrizione delle caratteristiche climatologiche dell'area attraversata, con particolare riferimento ai parametri meteorologici che influiscono sulla diffusione degli inquinanti, quali velocità e direzione del vento, classi di stabilità atmosferica e temperatura dell'aria.
- Caratterizzazione dello stato attuale della qualità dell'aria, attraverso i dati ricavabili dalla rete di monitoraggio gestita dal comune di Cagliari;
- Per le fasi Ante e Post Operam, stima delle concentrazioni degli inquinanti che si avranno sul territorio una volta realizzato il progetto attraverso simulazioni modellistiche delle emissioni connesse con le attività cantieristiche (flussi



veicolari e navali) e relativo confronto con lo stato attuale della qualità dell'aria;

- Per la fase Corso d'Opera, stima dei potenziali impatti in base alla metodologia proposta nelle delle "Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" (redazione ARPA Toscana, adozione DGP Firenze n. 213 del 03/11/2009);
- Analisi dei potenziali impatti.

2.2 Il quadro Normativo di riferimento

2.2.1 Le indicazioni dell'Unione Europea

A partire dalla fine degli anni Novanta, l'unione europea ha assegnato, nelle proprie strategie, iniziative e programmi di ricerca, una posizione di assoluta centralità al rapporto città, mobilità e ambiente.

Uno dei primi passi per la costruzione di un quadro di riferimento europeo in grado di riorientare la politica dei trasporti dell'Unione è stata la predisposizione del Libro Bianco sui Trasporti, approvato nel settembre 2001 (CE 2001).

Tale documento individua una serie di obiettivi volti a favorire lo sviluppo in Europa di un sistema di trasporti efficace ed efficiente nel rispetto delle esigenze economiche, sociali ed ambientali.

Il libro bianco, riconoscendo nel settore dei trasporti uno dei più rilevanti settori economici, ha individuato un vero e proprio programma di azione e una serie di misure da adottare entro il 2010.

Nel 2001 viene adottata da parte del Consiglio dei Trasporti dell'Unione Europea la definizione del "sistema dei trasporti sostenibile", ovvero un sistema che:

consente il soddisfacimento delle necessità fondamentali di accesso e sviluppo di individui, imprese e società, garantendo la sicurezza compatibilmente con la salute umana e con l'ecosistema e promuovendo l'equità infra-generazionale e inter-generazionale;

risulta economicamente accessibile, efficiente e in grado di offrire una gamma di modi di trasporto tra cui scegliere e di sostenere un'economia e uno sviluppo regionale competitivi;

limita le emissioni e i rifiuti entro la capacità di assorbimento del pianeta, utilizza risorse rinnovabili al ritmo di produzione di queste ultime, o ad un ritmo inferiore, e risorse non rinnovabili a ritmi pari o inferiori allo sviluppo dei sostituti rinnovabili, minimizzando l'occupazione del territorio e l'inquinamento acustico.



Ma è solo nel 2004 che gli orientamenti dell'Unione Europea a supporto di forme di trasporto sostenibile nelle aree urbane si vanno delineando con chiarezza. Con il Documento preparatorio alla Strategia Tematica sull'Ambiente Urbano (CE 2004), la Commissione Europea si impegna, da un lato, a sostenere interventi già avviati e volti, ad esempio, a migliorare la qualità tecnica dei veicoli, a promuovere la diffusione di carburanti alternativi, quali il gas naturale e l'idrogeno, ad incentivare l'acquisto di veicoli puliti, a sostenere iniziative di ricerca sull'ambiente urbano e scambi di esperienze e buone pratiche; dall'altro, ad introdurre l'obbligo, per le capitali degli Stati membri e per le città con popolazione superiore a 100.000 abitanti, di elaborare, adottare e attuare piani di trasporto urbano sostenibile.

Tali indirizzi vengono accolti e recepiti nella Strategia tematica sull'Ambiente urbano del 2005 in cui vengono nuovamente ricordati i molteplici aspetti di cui la pianificazione dei trasporti deve tenere conto (sicurezza parità di accesso a beni e servizi; inquinamento atmosferico ed acustico, emissioni di gas serra, consumi energetici, uso del territorio) nell'elaborazione dei piani per il trasporto urbano sostenibile (CE 2005).

2.2.2 La normativa in Italia

Il numero di leggi in tema di inquinamento atmosferico, a partire dalla prima del 1966, è cospicuo, tuttavia solo nel 1983 è stato approvato uno strumento normativo con l'obiettivo di regolare le emissioni di inquinanti.

Relativamente alle norme per il contenimento dei valori di concentrazione degli inquinanti in aria, la normativa europea e quella nazionale sono profondamente mutate in questi ultimi anni. In particolare, con il DLGS n. 351 del 99 e il DM 60 del 2002, sono state recepite la direttiva 96/62/CE, che rappresenta la direttiva quadro in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria, e le direttive figlie 99/30/CE e 2000/69/CE che disciplinano gli aspetti tecnico operativi relativi ad ogni singolo inquinante e definiscono inoltre i limiti di riferimento per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, il particolato, il piombo, il benzene e l'ossido di carbonio. Tali limiti normativi vengono infine ripresi nell'ultimo decreto vigente, il n°155 del 15/ agosto 2010. Altro decreto legislativo sull'argomento è il n. 171 del 21 maggio 2004 relativo ai limiti annuali di emissione di alcuni inquinanti atmosferici. Il provvedimento si inserisce nel quadro europeo di tutela dell'ambiente e di salvaguardia della salute, che in questo specifico ambito prevede una quantificata riduzione delle emissioni entro il 2010.

Punti chiave del nuovo impianto normativo sono la valutazione della qualità dell'aria, intesa come integrazione tra monitoraggio e utilizzo di strumenti di stima, e la gestione della qualità dell'aria, intesa come l'insieme delle azioni che permettono di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi per la salute umana e per l'ambiente.



2.2.2.1 Il decreto legislativo 15 Agosto 2010, n°155

Il DLgs 155/2010 costituisce l'attuazione della direttiva comunitaria 2008/50/CE circa la valutazione della qualità dell'aria ambiente, la sua gestione, nonché il suo miglioramento.

Il Decreto intende "individuare obiettivi di qualità dell'aria ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso; valutare la qualità dell'aria ambiente sulla base di metodi e criteri comuni su tutto il territorio nazionale (Art.17); ottenere informazioni sulla qualità dell'aria ambiente come base per individuare le misure da adottare per contrastare l'inquinamento e gli effetti nocivi dell'inquinamento sulla salute umana e sull'ambiente e per monitorare le tendenze a lungo termine, nonché i miglioramenti dovuti alle misure adottate; mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove buona, e migliorarla negli altri casi; garantire al pubblico le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente (Art.18); realizzare una migliore cooperazione tra gli Stati dell'Unione europea in materia di inquinamento atmosferico." (Art.1 comma 1)

Vengono perciò definiti i valori limite per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, monossido di carbonio, piombo e PM10; i livelli critici per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e ossidi di azoto; le soglie di allarme per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e biossido di azoto; il valore limite, il valore obiettivo, l'obbligo di concentrazione dell'esposizione e l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione per le concentrazioni nell'aria ambiente di PM2,5; i valori obiettivo per le concentrazioni nell'aria ambiente di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene nonché i valori obiettivo, gli obiettivi a lungo termine, le soglie di allarme e le soglie di informazione per l'ozono.

In particolare, riguardo al PM2,5 il decreto definisce il limite annuale di 25µg/m³, che entrerà in vigore dal 1 gennaio 2015.

Il decreto definisce, inoltre, alcuni aspetti tecnici legati al monitoraggio della qualità dell'aria, indicando l'obbligo a definire una suddivisione, ovvero una zonizzazione, del territorio nazionale ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente (Art.3 e 4); l'Art.5 e l'Art.6 definiscono le modalità di valutazione della qualità dell'aria ambiente. L'Art.7 e l'Art.8, invece, stabiliscono le caratteristiche e l'opportunità delle stazioni di misurazione in siti fissi di campionamento.

Per quanto concerne i piani di azione e le misure relative al raggiungimento dei valori limite e dei livelli critici, al perseguimento dei valori obiettivo, al mantenimento del relativo rispetto, alla riduzione del rischio di superamento dei valori limite, dei valori



obiettivo e delle soglie di allarme l'Art.9 e l'Art.10 e l'Art.14 delineano le direttive per l'intera casistica, mentre l'Art.11 riporta le modalità e le procedure di attuazione dei suddetti piani. Infine l'Art.15 regola le comunicazioni in materia di valutazione e gestione dell'aria ambiente per le province e le regioni autonome, mentre l'Art.16 definisce le procedure per le questioni di inquinamento transfrontaliero.

Nell'allegato XI al decreto, vengono riportati i valori limite, i livelli critici, le soglie di allarme e di informazione e i valori obiettivo degli inquinanti normati.

Nelle seguenti tabelle si riportano i limiti sopra accennati.



Biossido di Zolfo	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
	Valore Limite protezione della salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	350	1h	DLgs. 155 15/08/10
	Valore Limite protezione della salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	125	24h	DLgs. 155 15/08/10
	Livello critico per la protezione della vegetazione	20	Anno civile e Inverno	DLgs. 155 15/08/10
	Soglia di Allarme (rilevate su 3h consecutive)	500	1h	DLgs. 155 15/08/10
Biossido di Azoto	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	200	1h	DLgs. 155 15/08/10
	Valore limite protezione salute umana	40	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
	Soglia di allarme(rilevata su 3 h consecutive)	400	1h	DLgs. 155 15/08/10 DLgs. 155 15/08/10
Ossidi di Azoto	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
	Livello critico per la protezione della vegetazione	30	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Monossido di Carbonio	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
	Valore limite protezione salute umana	10	8h	DLgs. 155 15/08/10
Ozono	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana (da non superare più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni)	120	8h	DLgs. 155 15/08/10
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione (*AOT40 calcolato sui valori di 1h da Luglio a luglio)	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	5 anni	DLgs. 155 15/08/10
	Soglia di informazione	180	1h	DLgs. 155 15/08/10
	Soglia di allarme	240	1h	DLgs. 155 15/08/10
	*AOT40 = somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00, ora dell'Europa centrale (come ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)ora)			

Tabella 2-1 Limiti di Legge per la normativa italiana sulla Qualità dell'Aria – Inquinanti Gassosi



Particolato PM10	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile)	50	24h	DLgs. 155 15/08/10
	Valore limite protezione salute umana	40	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Particolato PM2.5	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
	Valore limite protezione salute umana	25	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Idrocarburi Non Metanici	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
Benzene	Valore Limite	5	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Benzo(a)pir ene	Valore Obiettivo	0.001	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Metalli nel PM10	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Temp. di Mediazione	Legislazione
Piombo	Valore Limite	0.5	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Arsenico	Valore Obiettivo	0.006	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Cadmio	Valore Obiettivo	0.005	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10
Nichel	Valore Obiettivo	0.02	Anno civile	DLgs. 155 15/08/10

Tabella 2-2 Limiti di Legge per la normativa italiana sulla Qualità dell’Aria – Particolato e Specie nel particolato



2.3 Caratterizzazione Ante Operam

2.3.1 Le condizioni meteo climatiche

Al fine di caratterizzare al meglio, dal punto di vista meteorologico, l'area in esame, sono stati acquisiti i dati meteorologici (relativi all'area di Cagliari) presso il primo sito di informazioni meteo della città in esame www.cagliarimeteo.it.

In aggiunta a questi dati è stato inoltre analizzato il documento "Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2009 - settembre 2010" redatto dall'agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Sardegna (ARPAS).

Genericamente Il clima della Sardegna è influenzato da due fattori fondamentali:

- ✓ la posizione geografica
- ✓ la sua insularità.

Conseguentemente al primo fattore, la Sardegna presenta un clima temperato-caldo, mentre il secondo fattore, l'insularità (che trova nel mare il suo fondamento), ha un'azione mitigatrice del clima della regione. Il mare, infatti, influenza le temperature e gli effetti si riscontrano soprattutto sulla fascia costiera, svanendo via via che ci si addentra verso l'interno dell'isola, dove subentra un altro fattore quale l'altitudine, che contribuisce a rendere più rigido il clima.

Di seguito si analizzano, nel dettaglio, i principali parametri meteorologici quali temperatura, vento, pressione, precipitazioni ed umidità relativa.

2.3.1.1 Temperatura

Dai dati recepiti dal documento "Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo Ottobre 2009 - Settembre 2010" redattodall'ARPAS è stato possibile analizzare le medie delle Temperature massime e minime nella regione Sardegna con le anomalie delle temperature riscontrate sull'isola dal 1930 al 2009.

Le medie delle temperature massime tra Ottobre 2009 e Settembre 2010 (cfr. Figura 2-1) vanno da 12 °C delle zone di montagna sino ad oltre 20 °C del Campidano e delle parti più interne dell'Isola.

Le medie delle temperature minime (cfr. Figura 2-1) vanno invece da poco più di 0 °C nelle aree montane ai 13-15 °C delle pianure costiere.

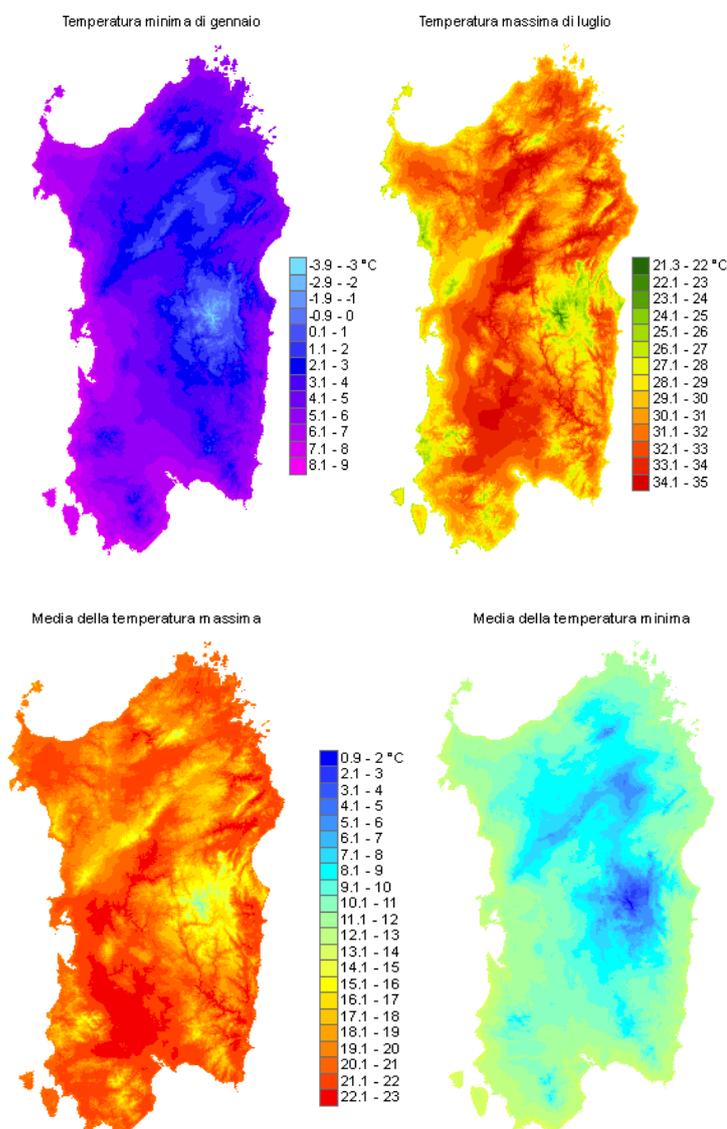


Figura 2-1 Media annuale delle temperature massime e minime e Media delle temperature minime del mese più freddo (gennaio 2010) e delle temperature massime del mese più caldo (luglio 2010).

Nella figura sopra riportata è ben visibile anche l'effetto mitigante del mare, particolarmente sensibile nelle aree costiere. Le medie delle temperature minime di queste zone, infatti, stanno intorno ai 15 °C, mentre le medie delle massime non vanno oltre i 18-19 °C.

L'effetto del mare è particolarmente sensibile nella pianura del Campidano: a parità di quota, infatti, l'escursione termica media del Medio Campidano (cioè la differenza tra la temperatura massima e la minima) risulta più elevata di almeno 2 °C rispetto a



quella del Basso Campidano e dell'AltoCampidano, per effetto della maggiore distanza dal mare.

Se si considera la Sardegna nel suo complesso, l'anomalia della temperatura di ottobre 2009-settembre 2010 è di +1.3 °C senza significative distinzioni tra minime e massime.

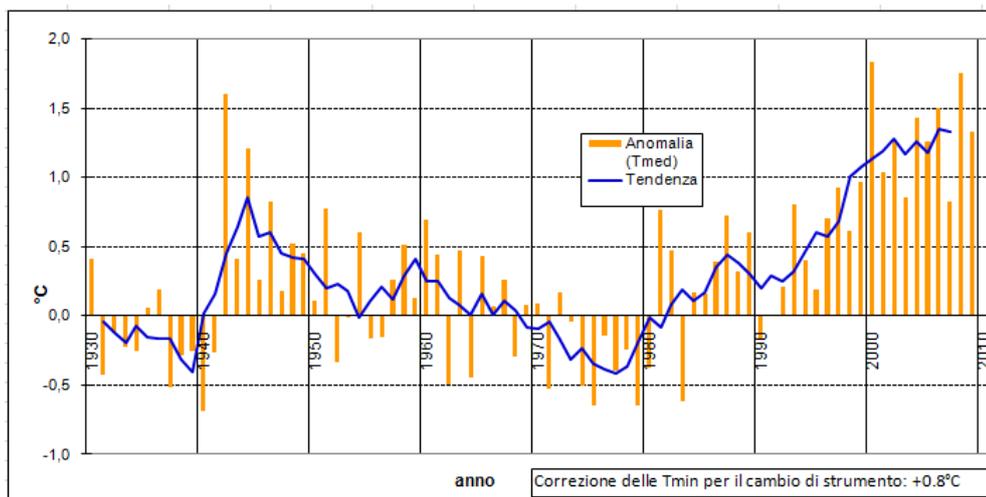


Figura 2-2 Anomalia della temperatura in Sardegna dal 1930 al 2009.

Il confronto coi valori storici a partire dal 1930 (Figura 2-2) mostra chiaramente che le temperature degli anni recenti si trovano ormai a +1.2/+1.3 °C rispetto alla normale climatologica, cioè al valore medio del 1961-1990. Il trend è in costante crescita da tre decenni ed è in accordo con l'andamento a scala globale da almeno venti anni.

Per quanto riguarda il parametro Temperatura nella zona oggetto di studio abbiamo sostanzialmente un clima mediterraneo caratterizzato da inverni miti, grazie alla presenza del mare (con temperatura quasi mai sotto lo zero) ed estati calde e secche; la bassa umidità e la relativa mancanza d'afa, come la notevole ventosità, permette di sopportare più facilmente le elevate temperature estive, capaci di raggiungere normalmente i 30-35°C. Nei seguenti grafici si riportano le Temperature medie, massime e minime mensili (espresse in °C) rilevate nell'anno 2010.

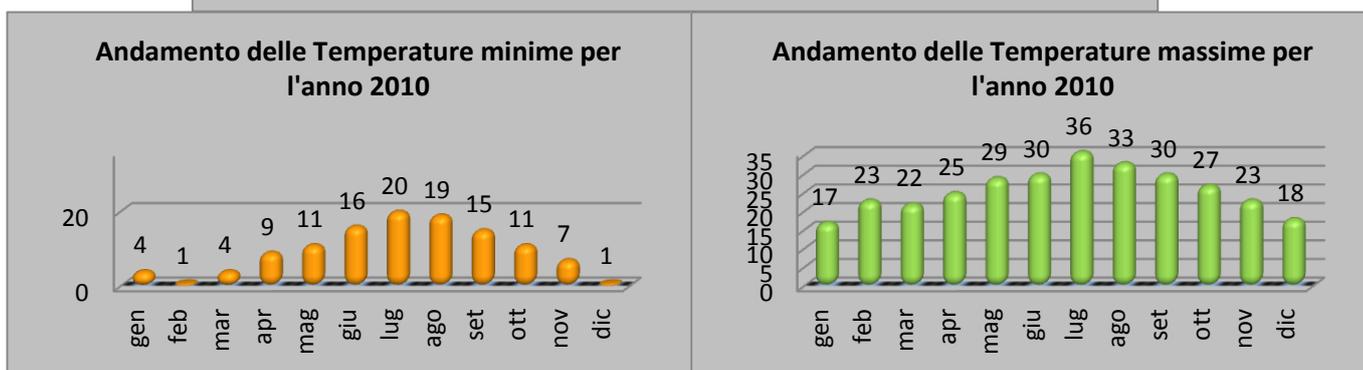
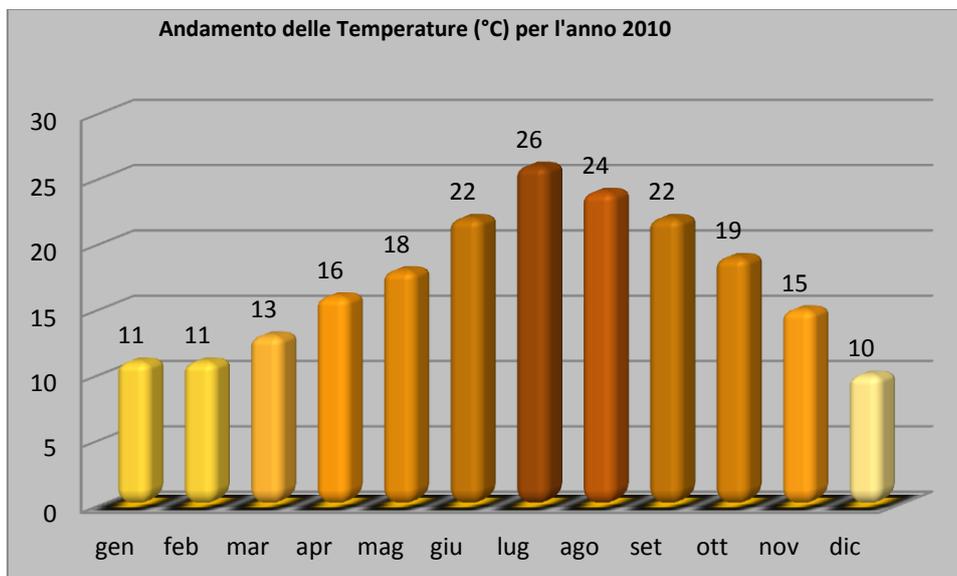


Figura 2-3 Andamento delle Temperature medie mensili, riferite all'anno 2010, nella località di Cagliari

Il parametro temperatura è di fondamentale importanza nella stima dei fenomeni di rimescolamento atmosferico che, se da un lato sono direttamente influenzati dalle condizioni anemometriche, dall'altro non possono essere correttamente stimati se non considerando anche i rimescolamenti verticali delle masse d'aria provocati dai gradienti verticali della temperatura.

2.3.1.2 Condizione anemometrica

Un fenomeno tipico delle aree costiere è la persistente formazione delle brezze lungo tutto l'arco dell'anno, con maggiore rilevanza nel periodo estivo. Questo fenomeno è dovuto alla diversa capacità termica dell'acqua marina rispetto alla capacità termica della terra. Infatti la grande capacità termica del mare porta durante il giorno a variazioni di temperatura della superficie dell'acqua vicine allo zero, diversamente da quanto accade nella terraferma che si riscalda maggiormente e più velocemente. Viceversa nelle ore notturne si avrà un veloce raffreddamento della terraferma ed



ancora una variazione di temperatura della superficie marina prossima allo zero. La diversa temperatura a cui si trovano le due superfici comporta un diverso riscaldamento delle masse d'aria sovrastanti che genera spostamenti delle stesse.

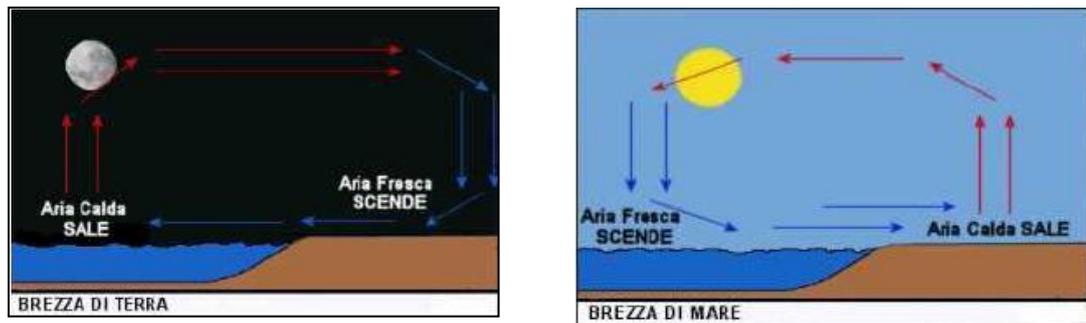


Figura 2-4. Schematizzazioni dei fenomeni costieri delle 'brezze'

Come si osserva dalle precedenti figure, durante la notte si ha un maggior raffreddamento delle masse d'aria sopra la terraferma rispetto a quelle sopra la superficie marina e questo comporta che tali masse d'aria fluiscano verso il mare (brezza di terra) dove si riscaldano e salgono in quota ritornando poi verso la terraferma. Durante il giorno, invece (immediatamente dopo l'alba), l'aria sopra la terraferma, riscaldata maggiormente, tende a salire e ad essere sostituita da aria più fredda proveniente dal mare (brezza di mare).

Il fronte della brezza, in assenza di altri fenomeni, può avanzare verso l'entroterra, perpendicolarmente alla costa, anche per fino a 20-50 Km di distanza, mentre la velocità orizzontale delle masse d'aria fredde può raggiungere i 5 m/s.

Le medie mensili dell'intensità anemometrica si mantengono, come si evince dal seguente grafico, su valori mai inferiori ai 5,7Km/h (1,6 m/s), mentre il valore medio annuale è di circa 2,2 m/s.

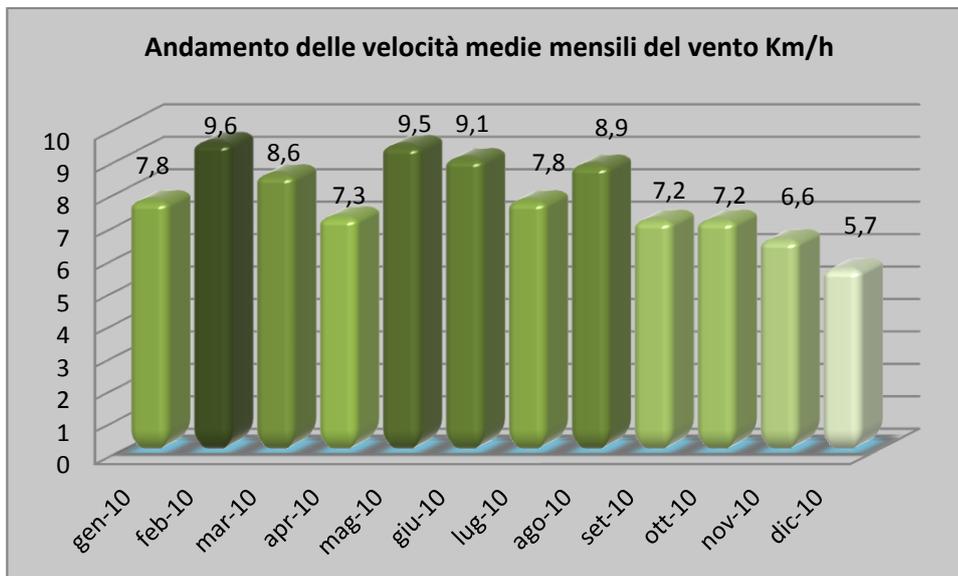


Figura 2-5. Andamento delle velocità medie mensili, riferite all'anno 2010, nella località di Cagliari

Riportando i dati di direzione del vento acquisiti presso il servizio meteorologico CAGLIARIMETEO, è stato possibile realizzare la rosa dei venti relativa al sito in oggetto di studio. Tale rosa dei venti è rappresentativa dei valori di direzione del vento che si sono registrati tra Aprile 2008 e Luglio 2011 ad intervalli giornalieri.

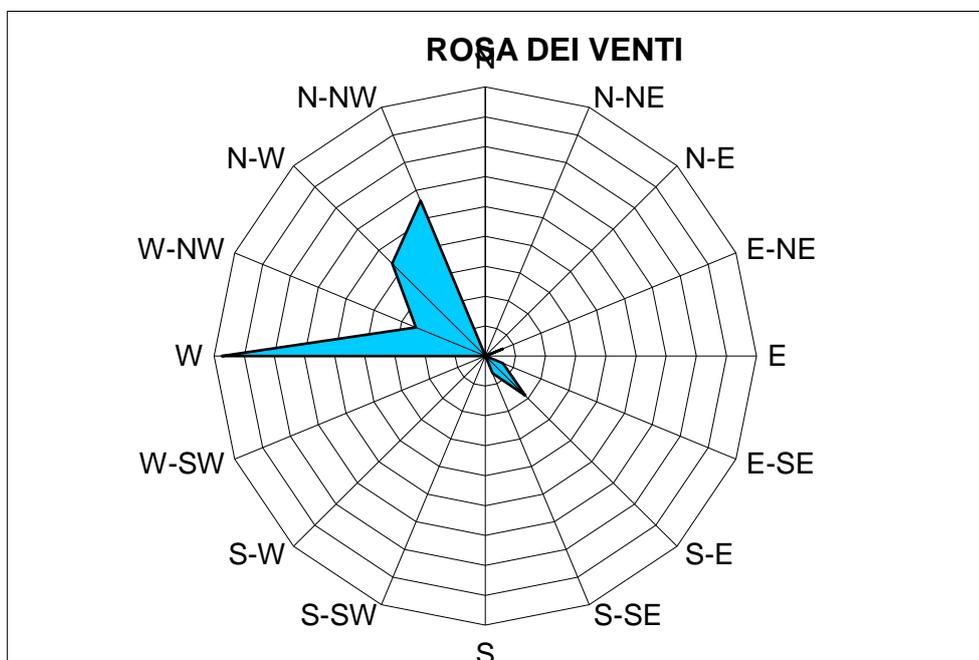


Figura 2-6. Provenienza dei venti in prossimità dell'area del porto di Cagliari



Come si evince dalla rosa dei venti realizzata, le direzioni prevalenti di provenienza del vento sono lungo la direttrice Ovest (W), Nord-Ovest (N-W) Nord Nord Ovest (N-NW) e Sud- Est (S-E).

Pertanto i venti che generalmente soffiano con maggior frequenza sono il Ponente e il Maestrale (proveniente da nord-ovest). Presente, ma meno frequente è lo Scirocco, vento caldo proveniente da Sud-Est.

Infine, come detto precedentemente, importante è anche influenza sulla costa cagliaritana delle brezze.

Le informazioni riportate saranno in seguito utilizzate come input meteorologico nel modello di simulazione matematica.

2.3.1.3 Fenomeni meteoclimatici

Dai dati recepiti dal documento "Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2009 - settembre 2010" redattodall'ARPAS è stato possibile analizzare il cumulato di precipitazioni e il numero annuale di giorni piovosi della regione Sardegna.

Le precipitazioni del periodo ottobre 2009 - settembre 2010 risultano leggermente inferiori rispetto allamedia climatologica¹su gran parte del territorio regionale.

La Figura 2-7 riporta il cumulato di precipitazione dell'annata sul territorio regionale e il rapporto percentuale rispetto alla normale climatologica. Si può osservare che le precipitazioni del periodo vanno da poco più di 400 mm/anno dell'estremo Sud dell'Isola, sino a oltre 800 mm/mese nelle zone di montagna del centro-Nord e sulla Planargia-Marghine.

Il numero annuale di giorni piovosi (Figura 2-8) mostra una distribuzione spaziale abbastanza tipica, con piogge più frequenti (circa 100 giorni/anno) sul Gennargentu e sulla Catena del Marghine-Goceano, valori intermedi (tra gli 80 giorni/anno e i 100 giorni/anno) sul resto della Sardegna centrale e occidentale e piogge più scarse nel Basso Campidano e della parte Sud-orientale dell'Isola.

¹Secondo le disposizioni dell'Organizzazione Mondiale della Meteorologia, la *normale climatologica* viene calcolata sul trentennio 1961-1990.

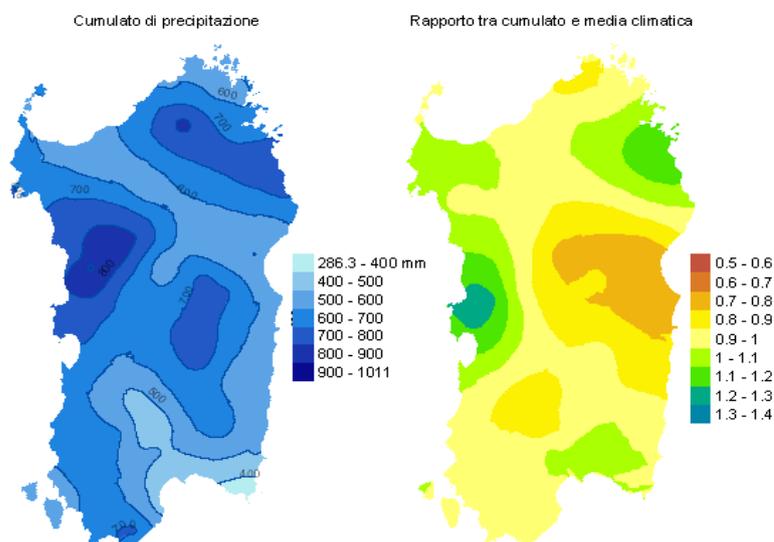


Figura 2-7 Cumulato di precipitazione in Sardegna da ottobre 2009 a settembre 2010 (a) e rapporto tra il cumulato e la media climatologica (b).

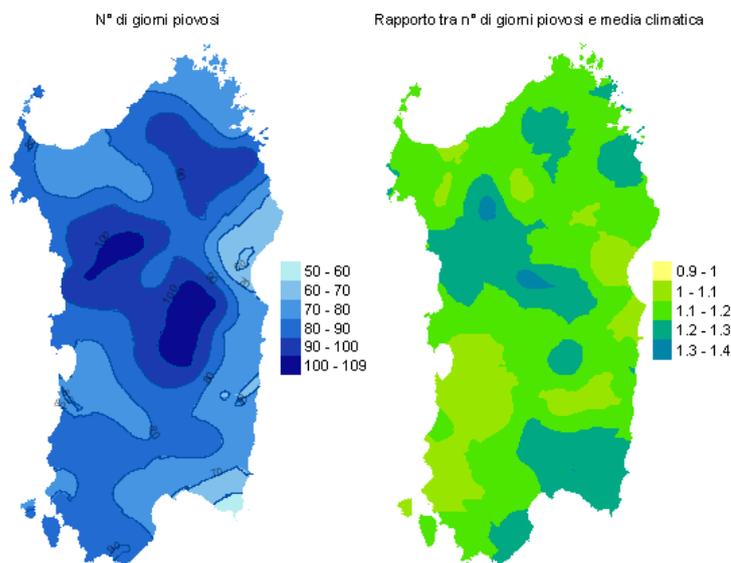


Figura 2-8 Numero di giorni piovosi da ottobre 2009 a settembre 2010 (a) e rapporto tra il cumulato e la media climatologica (b).

Le precipitazioni nell'area di Cagliari non risultano molto abbondanti, rimanendo in linea con i fenomeni meteoroclimatici presenti sul resto dell'Isola.

I mesi maggiormente piovosi risultano Ottobre e Gennaio, mentre scarseggiano in Primavera e sono totalmente assenti d'estate.



Nel grafico seguente si riportano le medie mensili annuali monitorate, nell'area di Cagliari, nel quadriennio compreso tra il 2008 ed il 2011. La media annuale delle precipitazioni mensili si attesta intorno a circa 43 mm.

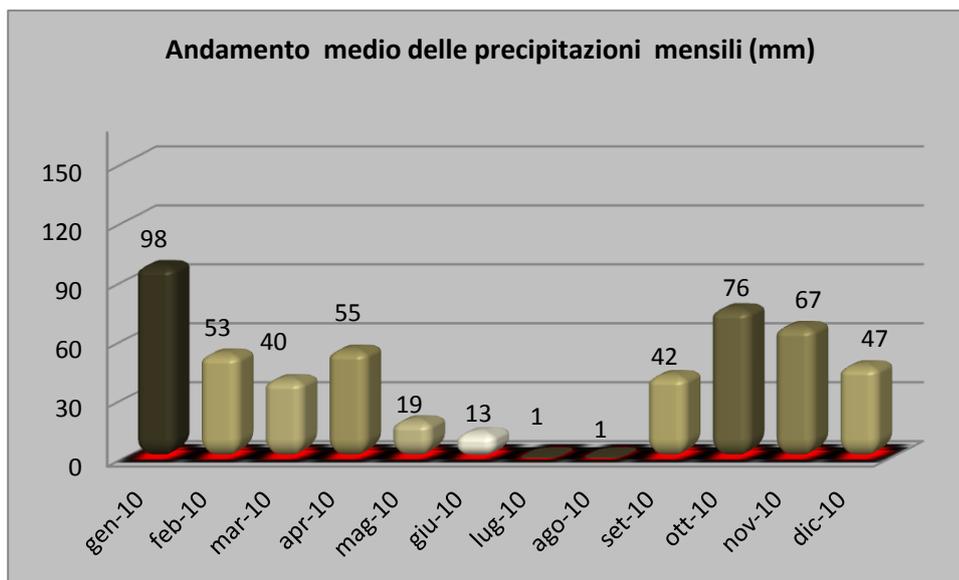


Figura 2-9 Medie mensili monitorate, nel comune di Cagliari, da Aprile 2008 a Luglio 2011

Il fenomeno delle brezze, precedentemente descritto, determina, oltre le manifestazioni descritte, anche la formazione di nuvolosità, a causa della condensazione del vapore acqueo presente ed una circolazione superiore di ritorno (detta anti-brezza) che porta sopra la superficie marina aria più calda. L'aria più fredda proveniente dal mare avanza fino ad un certo limite (detto fronte della brezza) che è caratterizzato da una diminuzione di temperatura ed umidità.

Tali fenomeni, quindi, intervengono nella formazione di umidità e nuvolosità locali. Nel seguente grafico si riportano le medie mensili, in percentuale, dell'umidità.

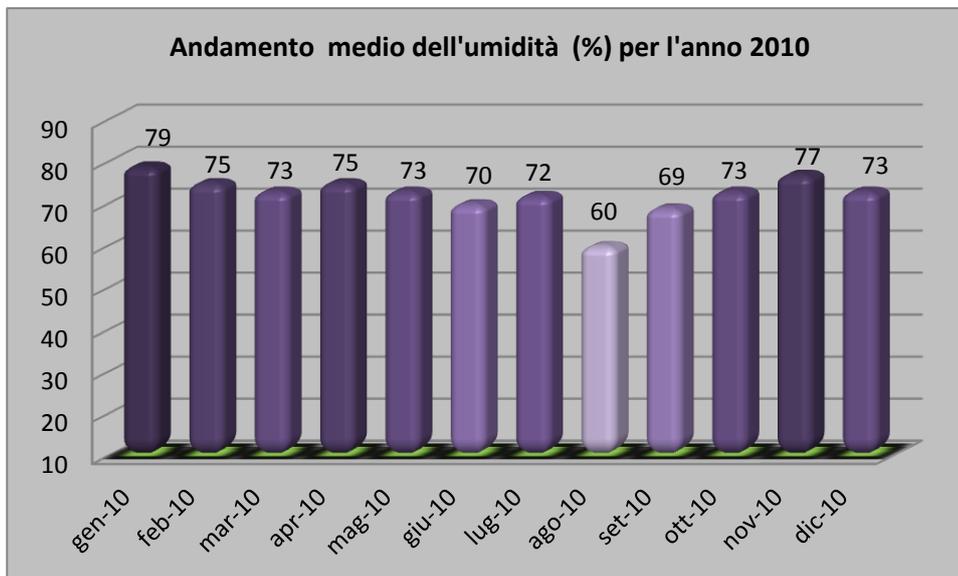


Figura 2-10 Medie mensili annuali monitorate, nell'area di Cagliari, nell'anno 2010

Si riporta infine il grafico relativo all'andamento medio della pressione atmosferica per l'anno 2010. Anche questo parametro riporta gli andamenti tipici del territorio senza presentare anomalie.

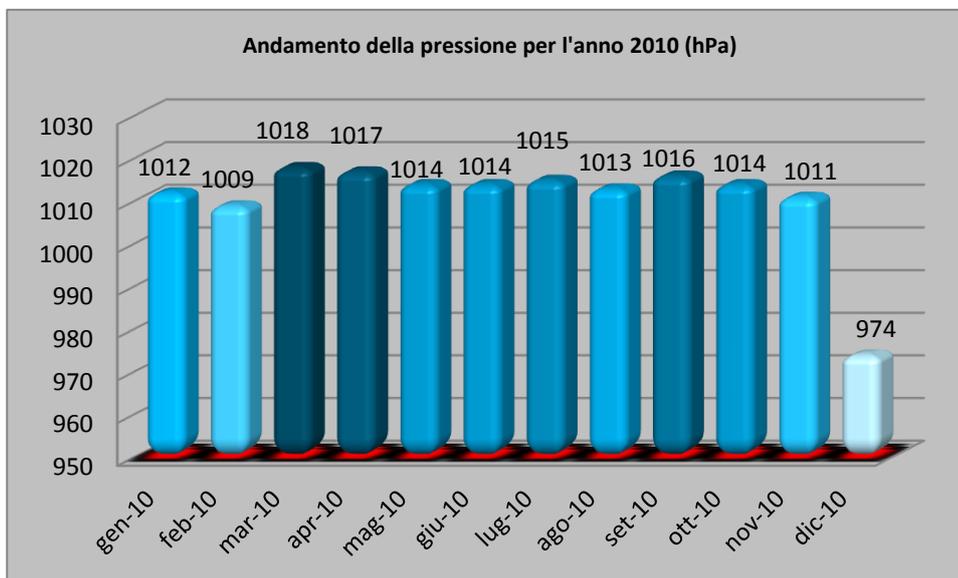


Figura 2-11 Medie mensili annuali della pressione nel comune di Cagliari anno 2010.



2.3.2 Piano di risanamento della qualità dell'aria

Negli ultimi 15 anni la EU ha adottato importanti Direttive in merito alla qualità dell'aria, ad esempio la 1996/62/EC nota come direttiva madre e la 1999/30/EC nota come prima direttiva figlia. Queste direttive definiscono la base legislativa per la valutazione e la gestione della qualità dell'aria negli Stati Membri. La direttiva madre fornisce indicazioni di carattere generale, mentre le direttive figlie forniscono indicazioni in dettaglio sui vari inquinanti di interesse. La direttiva madre 1996/62/EC è stata recepita dall'Italia attraverso il D.Lgs. 351/1999; le direttive tecniche per l'elaborazione preliminare della qualità dell'aria indicate in alcuni articoli del D.Lgs. sono contenute nel DM 261/2002.

La direttiva madre, e quindi il D.Lgs. 351/1999 per l'Italia, obbliga gli Stati Membri a suddividere il loro territorio in zone relativamente ai livelli di qualità dell'aria; tale operazione è comunemente indicata con il termine zonizzazione. Una zona è una unità territoriale in cui viene definita una metodologia per la gestione della qualità dell'aria. La zonizzazione permette ad esempio di definire quante stazioni di monitoraggio devono essere presenti all'interno della zona, quali metodi di valutazione della qualità dell'aria sono accettabili, oppure se nella zona devono essere effettuati piani di azione o di mantenimento della qualità dell'aria.

Un agglomerato è una particolare zona, solitamente una grande città, in cui la popolazione supera i 250000 abitanti, oppure in cui la densità di popolazione, espressa in abitanti/kmq, è particolarmente elevata a giudizio dell'autorità competente.

Il D.Lgs. 351 prevede (art. 5) una valutazione preliminare della qualità dell'aria e una individuazione preliminare delle zone nel caso in cui non siano disponibili misure rappresentative dei livelli degli inquinanti di riferimento. Oltre alle misure da stazioni fisse, possono essere utilizzate altre tecniche di misura (campionatori passivi, laboratori mobili, etc.), modelli di simulazione e altre tecniche di stima dei livelli di concentrazione.

Come anticipato una zona è una unità territoriale in cui viene definita una metodologia per la gestione della qualità dell'aria. Per semplicità la legge stabilisce anche dei criteri di valutazione della qualità dell'aria a livello di zona. Esiste quindi la difficoltà di definire un sistema di zone che sia adatto sia per la gestione che per la valutazione della qualità dell'aria.

Nel Settembre del 2005 la regione autonoma della Sardegna ha redatto una relazione comprendente una valutazione finale della qualità dell'aria e una zonizzazione definitiva dell'isola con annessi i piani di risanamento e mantenimento del territorio.

Tale relazione ha seguito un iter progettuale composto da tre fasi.

La prima fase ha riguardato la realizzazione dell'inventario regionale delle sorgenti di emissione in atmosfera, mentre la seconda la valutazione della qualità dell'aria



ambiente e l'individuazione delle aree potenzialmente critiche per la salute umana e per gli ecosistemi, fornendo una prima proposta di zonizzazione.

La terza fase del progetto, ha riguardato lo studio dello stato di qualità dell'aria per gli scenari di riferimento individuati dalla legge e la individuazione delle misure da intraprendere per riportare, laddove ce ne fosse bisogno, la situazione entro i limiti previsti dalla normativa. Le zone potenzialmente critiche per la salute e per gli ecosistemi individuate durante la seconda fase sono state studiate con particolare attenzione al fine di proporre una zonizzazione definitiva².

A tale scopo l'inventario delle emissioni elaborato nell'ambito del progetto di zonizzazione e relativo all'anno 2001 è stato proiettato, per gli inquinanti di interesse, agli anni 2005 e 2010, cioè gli anni indicati dal vecchio DM 60/2002 e dalla Direttiva Ozono (2002/3/CE) come termine per il rispetto del valore limite. Per la proiezione su anni futuri dell'inventario delle emissioni in atmosfera si sono rivelate utili le Direttive europee relative alla limitazione delle emissioni degli inquinanti, alcune delle quali recepite dall'Italia e, soprattutto, i risultati di studi condotti dalla Commissione Europea (il progetto Auto Oil 2), e il documento redatto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio "III Comunicazione Nazionale sui Cambiamenti Climatici" relativo allo scenario tendenziale dei consumi energetici che si estende fino al 2020.

Dopo avere elaborato le emissioni degli inquinanti normati in maniera tale da ottenere gli scenari di riferimento delle emissioni per gli anni 2005 e 2010 (e 2001, anno di riferimento dell'inventario, per quanto riguarda la protezione della vegetazione) è stato necessario predire i valori di concentrazione di interesse per mezzo dell'applicazione di un modello di dispersione atmosferica (basandosi su diversi fattori, la scelta del modello di simulazione è ricaduto sul sistema modellistico Calmet/Calpuff), creando così degli scenari di riferimento della qualità dell'aria. I modelli di dispersione atmosferica infatti sono gli unici strumenti che permettono di ottenere valori di concentrazione sul territorio relativamente a scenari futuri; essi permettono inoltre di stabilire l'impatto sulla qualità dell'aria anche per inquinanti che non vengono monitorati dalle reti.

Lo studio aveva evidenziato, per quanto riguarda la salute umana, alcune criticità relative al biossido di zolfo e ai PM10 (e qualche volta all'ozono, sul quale però è più difficile intervenire essendo in parte di provenienza extra-regionale) indicando, complessivamente, come zone/agglomerati da risanare alcune delle zone potenzialmente critiche indicate durante la prima fase di valutazione, precisamente:

- ✓ Agglomerato di Cagliari: Cagliari, Monserrato, Selargius, Quartucciu, Quartu;
- ✓ Zona di Sassari: Sassari;

² Relazione sulla zonizzazione definitiva e piani di risanamento redatto dalla regione autonoma della Sardegna



- ✓ Zona di Porto Torres: Porto Torres;
- ✓ Zona di Portoscuso: Portoscuso;
- ✓ Zona di Sarroch: Sarroch.

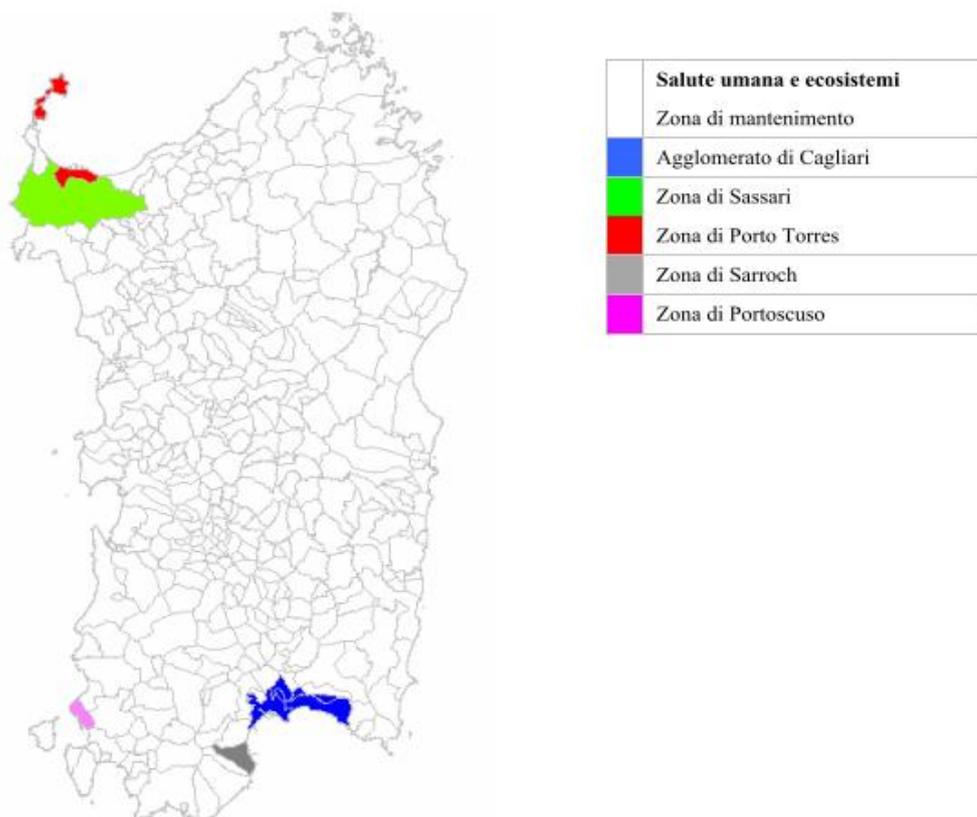


Figura 2-12 Agglomerati e zone per la protezione della salute umana e degli ecosistemi;

Per quanto riguarda gli ecosistemi lo studio aveva invece evidenziato una situazione di rischio moderato ma sufficientemente diffusa per l'ozono e situazioni di elevate concentrazioni di SO₂ nelle aree di Sarroch, Portoscuso, Porto Torres e Sassari, quest'ultima anche per l'influenza delle emissioni dell'area industriale di Porto Torres. Considerato che nell'agglomerato di Cagliari, comprendente anche i comuni di Quartu Sant'Elena, Quartucciu, Selargius, Monserrato, sono presenti importanti ecosistemi da preservare (stagni di Molentargius e Santa Gilla) si era ritenuto opportuno indicare per gli ecosistemi le stesse zone definite per la protezione della salute umana; in tal modo la zonizzazione per la protezione degli ecosistemi e per la protezione della salute umana venivano a coincidere.

Tutto il resto del territorio regionale è invece compreso nella "Zona di Mantenimento" cioè l'insieme delle aree che non necessitano di interventi di risanamento e dove ogni



intervento antropico non deve portare a un peggioramento dell'attuale qualità dell'aria ambiente.

Tuttavia gli elementi di incertezza che derivavano sia dalle stime modellistiche, sia dai risultati del monitoraggio avevano fatto inoltre ritenere prudente proporre un elenco di aree appartenenti alla "Zona di Mantenimento" da tenere sotto controllo con un adeguato monitoraggio, oltre naturalmente quelle da risanare. Queste zone comprendono i territori dei maggiori centri urbani e i comuni nelle cui vicinanze sono presenti attività industriali o comunque pressioni ambientali di rilievo, come porti e aeroporti; nello specifico comprendono i territori di Alghero, Olbia, Siniscola, Nuoro, Ottana, Macomer, Oristano, Nuraminis, Samatzai, San Gavino, Villacidro, Villasor, Iglesias, Carbonia, Gonnese, Sant'Antioco, San Giovanni Suergiu, Villa San Pietro, Pula, Assemini, Elmas. La zonizzazione per aree omogenee sopra descritta è mostrata nella figura seguente.

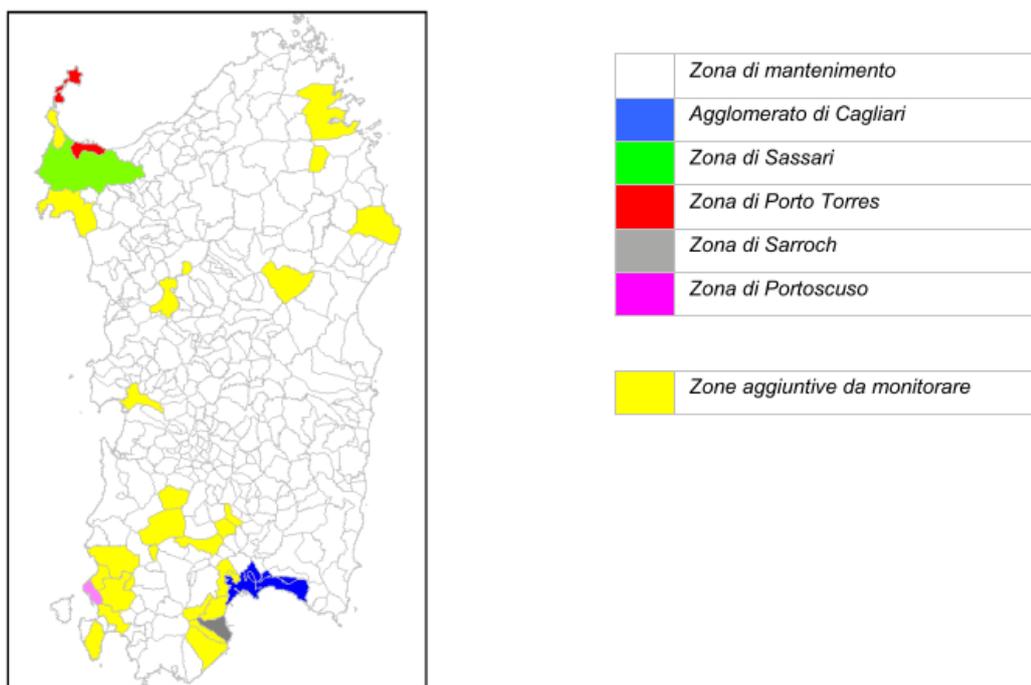


Figura 2-13 Agglomerati e zone per la protezione della salute umana e degli ecosistemi e zone aggiuntive da monitorare

In considerazione di modifiche e cambiamenti della normativa di riferimento, la rete pubblica utilizzata per la stesura della Relazione sulla zonizzazione definitiva e piani di risanamento redatto dalla regione autonoma della Sardegna (progettata e realizzata in un periodo di tempo relativamente lontano, approssimativamente nel decennio 1985-1995), può essere considerata, almeno in parte, obsoleta. La posizione delle stazioni di misura, ad esempio, rivolte a misurare le concentrazioni più elevate nelle aree industriali ed urbane, non risponde sempre ai requisiti di rappresentatività



indicati dalle nuove leggi in materia di inquinamento atmosferico, principalmente legate alla protezione della salute umana e degli ecosistemi (per esempio alcuni inquinanti ora presi in considerazione dalla normativa, quali benzene e PM10, non lo erano al momento della realizzazione della rete).

Inoltre, negli ultimi anni è andato modificandosi il quadro regionale delle sorgenti emmissive, soprattutto a seguito della crisi di alcuni comparti industriali e della progressiva introduzione di tecnologie e carburanti meno inquinanti, in particolare nell'ambito dei trasporti.

Per quanto sopra detto, al fine di perseguire per quanto possibile una maggiore protezione della salute umana e degli ecosistemi, la rete di monitoraggio regionale al 2011 è in fase di adeguamento attraverso una serie di interventi finalizzati ad una migliore rappresentatività dei dati di qualità ambientali; gli interventi di adeguamento sono finanziati nell'ambito della misura 1.7 del POR Sardegna e consistono nella messa a norma di molta parte della dotazione strumentale attuale e nel riposizionamento di diverse stazioni di misura in siti rappresentativi ai sensi della legislazione vigente. Il progetto di adeguamento è articolato sulla base di alcuni risultati e indicazioni dello studio realizzato dall'Assessorato della Difesa dell'Ambiente e denominato "Realizzazione dell'inventario regionale delle sorgenti di emissione, del documento sulla valutazione della qualità dell'aria ambiente in Sardegna e individuazione delle possibili misure da attuare per il raggiungimento degli obiettivi di cui al D.lgs. 351/99" approvato con delibera della Giunta Regionale n. 55/6 del 29.11.2005.

2.3.3 Caratterizzazione della Qualità Dell'Aria (QDA)

La Rete Monitoraggio dell'Aria del Comune di Cagliari (R.M.A.) è in funzione dal 1° Gennaio 2002. La rete, progettata secondo i principi contenuti DM 20.5.91, negli anni ha subito diversi adeguamenti sia tecnici che organizzativi per adeguare le apparecchiature analitiche e gli strumenti informatici alle successive modifiche normative ed alle indicazioni della Regione Autonoma della Sardegna e per garantire un sempre maggiore livello di qualità nei dati.

Il programma di adeguamento ha previsto le seguenti attività (alcune in corso di completamento):

- ✓ sostituzione di 3 strumenti per la misura ed il campionamento del PM 10;
- ✓ installazione di 2 strumenti per la misura del PM2,5,
- ✓ sostituzione di 3 strumenti per la misura di BTEX,
- ✓ sostituzione teste di prelievo multigas;
- ✓ sostituzione di tutti i sistemi di acquisizione centrali e periferici;



- ✓ sostituzione di tutta la strumentazione meteo;
- ✓ spostamento di 2 postazioni in siti di misura più adeguati.

Attualmente la rete è strutturata in due sottoreti (principale e complementare) per un totale di 7 postazioni fisse di misura e due centri di raccolta ed elaborazione dei dati.

La rete principale è costituita 3 postazioni di misura fisse;

- ✓ CAGTUV (GAG01) - colle Tuvixeddu;
- ✓ GAGAVE (GAG02) - piazza Sant'Avendrace (in previsione di ricollocazione);
- ✓ GAGCIU (GAG06) - viale Ciusa (in previsione di ricollocazione).

La rete complementare è dedicata in particolare alla gestione delle emergenze di natura meteorologica e comprende 4 postazioni fisse:

- ✓ GAGREP (CAG03) - piazza Repubblica;
- ✓ GAGITA (CAG04) - via Italia (in previsione di ricollocazione);
- ✓ GAGDIA (CAG05) - viale Diaz;
- ✓ GAGMIT (CAG07) - Mercato Ittico;

Le rete è completata dal Centro Operativo Comunale che attualmente si compone di due postazioni di acquisizione, visualizzazione ed elaborazione dei dati;

- ✓ COC01 - via Sauro presso il Servizio Ecologia;
- ✓ COC02 - via Crespellani presso il Comando di Polizia Municipal;

Le sette stazioni di misura sono tutte dislocate, tranne quella di Tuvixeddu, in prossimità di strade ad elevato traffico e, in alcuni casi, nelle immediate vicinanze di incroci e semafori.

Queste stazioni non possono essere ritenute rappresentative dei livelli medi di inquinamento nell'agglomerato, ma solo delle situazioni di inquinamento più acute e fortemente localizzate nelle immediate vicinanze delle centraline.

Va precisato che è in fase di attuazione la riallocazione delle centraline con il relativo potenziamento strumentale per far sì che si abbiano nel prossimo futuro delle misure rappresentative dell'intero agglomerato.

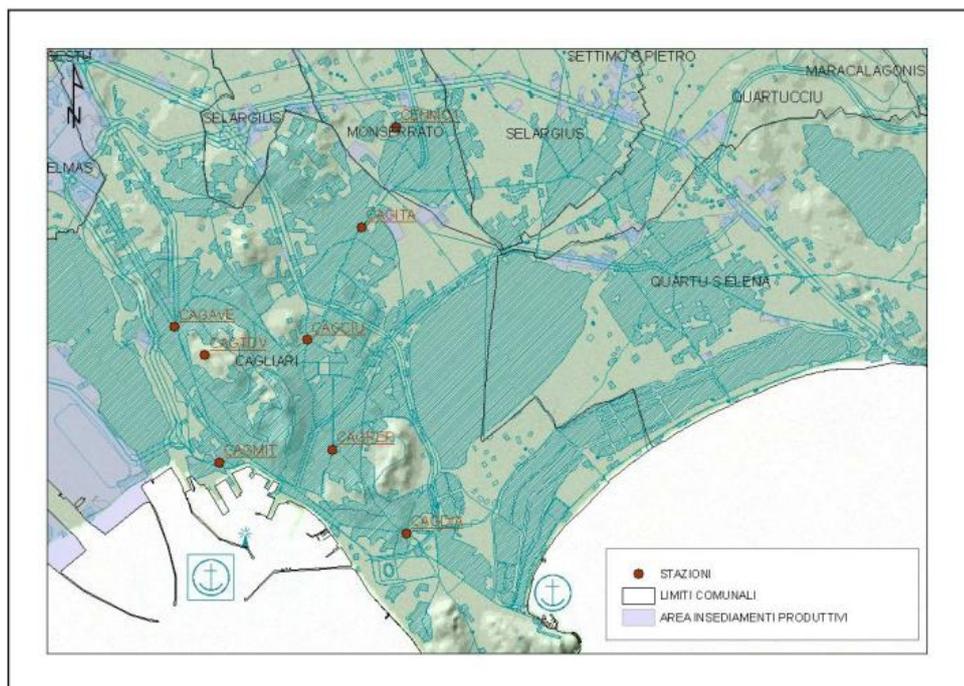


Figura 2-14 Posizione delle stazioni di misura della città di Cagliari

Inoltre bisogna segnalare che da Maggio 2010 il monitoraggio delle stazioni del comune di Cagliari è stato integrato dalla nuova stazione regionale di Monserrato, attivata a seguito degli interventi di adeguamento della rete.

La CENMO1 è classificata come stazione di fondo dell'area metropolitana di Cagliari. L'adeguamento della rete regionale prevede che siano attivate, molto probabilmente entro fine 2011, anche le stazioni di Cagliari e Quartu Sant'Elena.

Nella tabella sottostante riportiamo le centraline fisse (attive nell'anno 2010) presenti nel Comune di Cagliari e gli inquinanti analizzati.



Rete	Zona	Stazione	Codifica Stazione	C6H6	CO	NO2	O3	PM10	SO2
Rete di Monitoraggio della qualità del Comune di Cagliari	Cagliari	S. Avendrace	GAGAVE	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Tuvixeddu	CAGTUV	✓	✓	✓	✓	✓	
		M.Ittico	GAGMIT		✓	✓	✓	✓	✓
		P.Repubblica	GAGREP		✓	✓	✓	✓	✓
		V.Diaz	GAGDIA		✓	✓	✓	✓	
		V.Ciusa	GAGCIU	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		V.Italia	GAGITA		✓		✓	✓	
ARPAS	Mon serrato	via Sant'Angelo	CENM01			✓	✓	✓	✓

Tabella 2-3 Inquinanti monitorati centraline comunali

Nell'anno 2010 la strumentazione della rete comunale di Cagliari ha avuto un'efficienza complessiva valutabile in circa il 91%. La media complessiva di funzionamento è notevolmente superiore a quella degli anni precedenti, perché sono stati completati gli interventi di adeguamento previsti nel periodo 2008/2009 (rimane comunque da effettuare la riallocazione di due stazioni in siti rappresentativi dell'area). La stazione di Monserrato ha avuto una percentuale di funzionamento normalizzata pari al 93% (annuale del 56%).

I dati ottenuti dalle singole stazioni sono riassunti e riportati nelle tabelle seguenti.

	C6H6	CO	NO2	O3	PM10	SO2
Stazioni	µg/mc	mg/mc	µg/mc	µg/mc	µg/mc	µg/mc
S. Avendrace	1,4	1,1	39,6	45,4	45,2	7,6
Tuvixeddu	0,5	0,8	16,3	57,8	18,6	
M.Ittico		1	28,8	46,3	21,2	10,6
P.Repubblica		0,7	38,5	49	29,8	7,2
V.Diaz		1,2	39	47,6	34,2	
V.Ciusa	1,2	0,7	42,2	39,6	28,7	9,2
V.Italia		1,1		42,7	35,4	
via Sant'Angelo			15,8	49,9	34,4	0,5
media totale	1	1	31	47	31	7

Tabella 2-4 Medie annuali concentrazioni inquinanti monitorati



stazioni	PM10	NO2	O3
	numero superamenti limite giornaliero (50 µg/mc)	numero superamenti limite orario (200 µg/mc)	limite bersaglio (120 µg/mc)
S. Avendrace	98		
Tuvixeddu			
M.Ittico	7	1	
P.Repubblica	23		
V.Diaz	42		
V.Ciusa	15	3	
V.Italia	66		
via Sant'Angelo	32		2

Tabella 2-5 Riepilogo dei superamenti dei limiti di legge.

stazioni	CO	O3
	limite (10mg/mc)	limite bersaglio (120 µg/mc)
S. Avendrace	2,8	100,7
Tuvixeddu	2,3	114,1
M.Ittico	1,8	114,3
P.Repubblica	3,2	119,7
V.Diaz	3,4	111,5
V.Ciusa	2,5	117
V.Italia	3	105,3
via Sant'Angelo		126,2

Tabella 2-6 Riepilogo delle massime medie mobili di otto ore (solo CO e O3)

Nel 2010 sono stati registrati i seguenti superamenti, eccedendo nella media annuale di PM10 e di NO2 e nel numero di superamenti consentiti del valore limite sulla media giornaliera di PM10:

- ✓ NO2: per il valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/mc sulla media annuale) si è registrato un solo superamento nella stazione di Viale Ciusa. Per il valore limite orario per la protezione della salute umana per l'NO2 (200 µg/mc sulla media oraria da non superare più di 18 volte in un anno civile) si è registrato un solo superamento nella stazione Mercato Ittico e 3 superamenti in quella di Viale Ciusa;



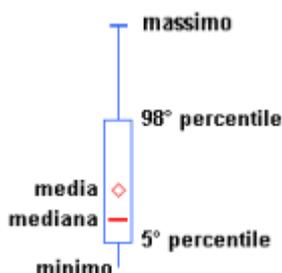
- ✓ O3: per il valore bersaglio per il 2010 (120 µg/mc sulla massima media mobile giornaliera di otto ore da non superare più di 25 in un anno civile come media sui tre anni) si sono registrati solo 2 superamenti nella stazione di Monserrato;
- ✓ PM10: per il valore limite annuale per la protezione della salute umana per il PM10 (40 µg/mc sulla media annuale) si è registrato un solo superamento nella stazione di Viale S.Avendrace. Per il valore limite giornaliero (50 µg/mc sulla media giornaliera da non superare più di 35 volte in un anno civile) si sono registrati tre superamenti del numero consentito di violazioni nelle stazioni di: Viale S.Avendrace, Viale Diaz e stazione di Monserrato.

Di seguito analizziamo gli inquinanti rilevati dalle centraline della rete comunale di Cagliari e dalla stazione regionale CENM01 per l'anno 2010.

I grafici di seguito riportati, riproducono i dati statistici mensili (e per l'intero anno) dei principali parametri monitorati dalle stazioni di rilevamento (benzene, CO, NO₂, O₃, PM10, SO₂); ogni diagramma riporta i dati di un parametro secondo la tecnica dei box-plot; in ogni grafico sono riportati:

- ✓ la percentuale di funzionamento dello strumento di misura (linea continua con asse dei valori sulla destra);
- ✓ il valore minimo;
- ✓ il 5° percentile;
- ✓ la media;
- ✓ la mediana;
- ✓ il 98° percentile;
- ✓ il massimo.

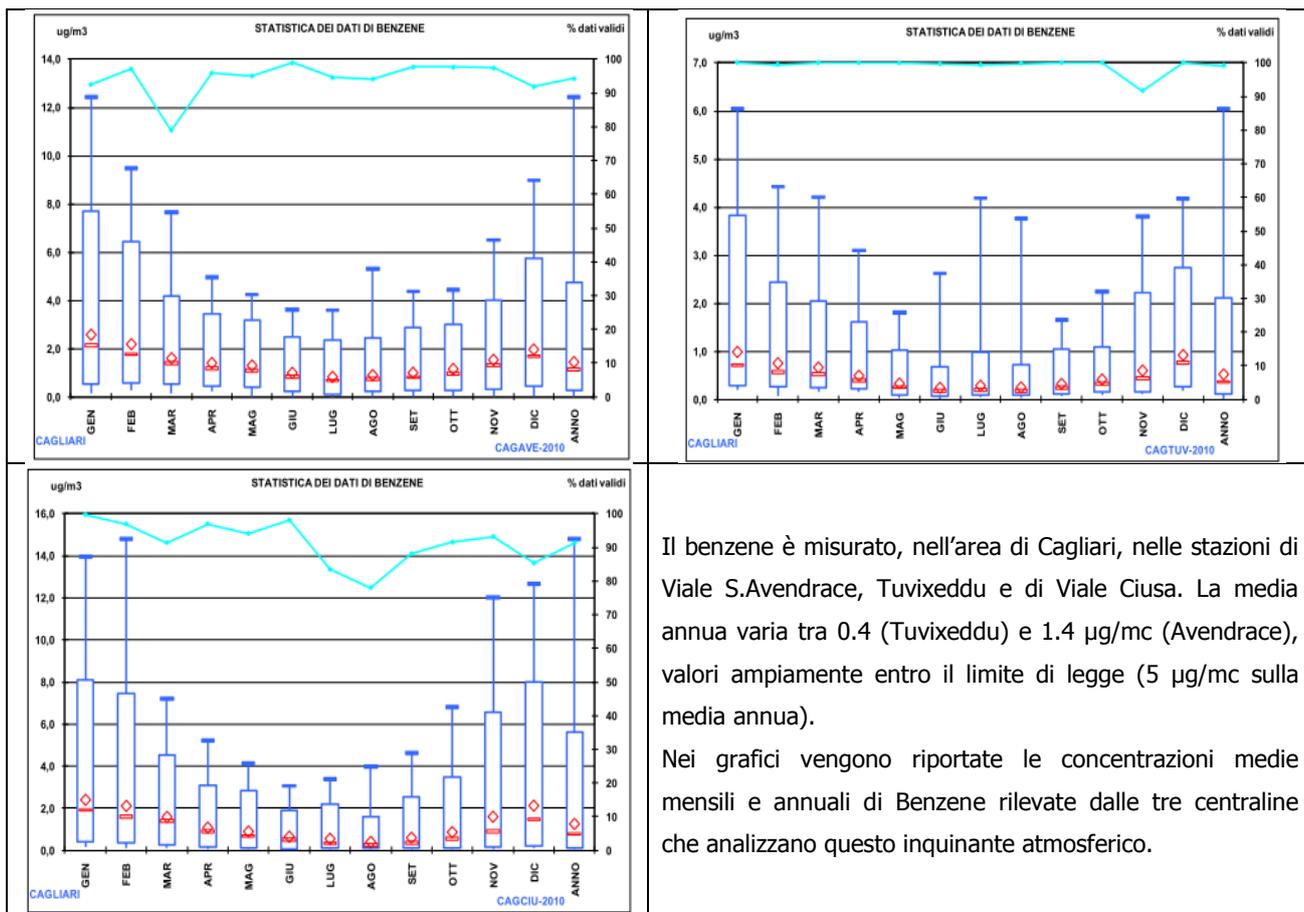
Gli elementi del box-plot corrispondono ai valori sopra riportati secondo la legenda data nella seguente figura:





Gli elementi del box plot vengono riportati solo se la percentuale di funzionamento dello strumento nel mese raggiunge almeno il 25%. Per percentuali inferiori viene riportato solo il massimo misurato nel mese³.

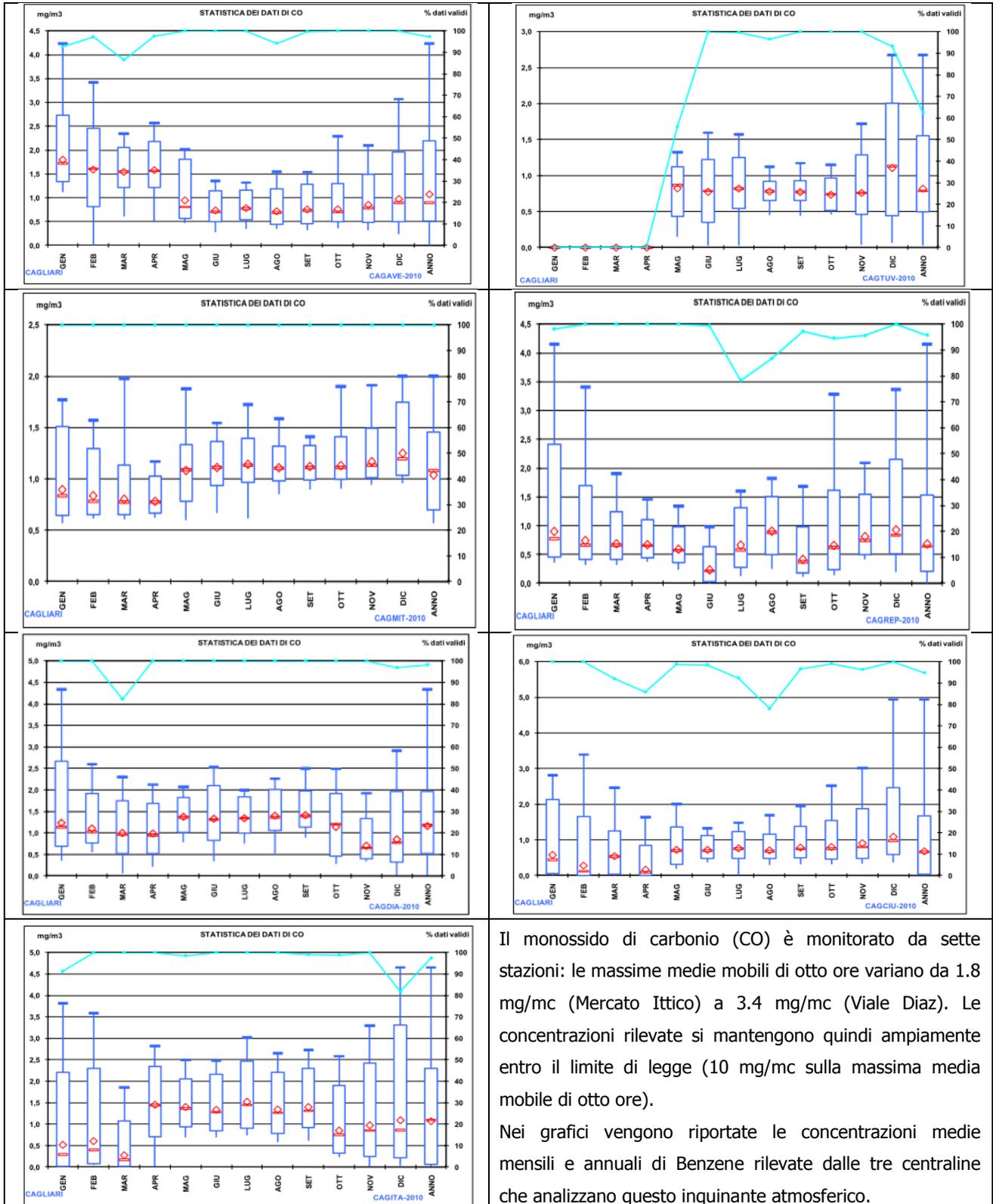
2.3.3.1 Benzene



³I grafici sono stati estrapolati dall'appendice B della Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2010 redatto dall'ARPAS.



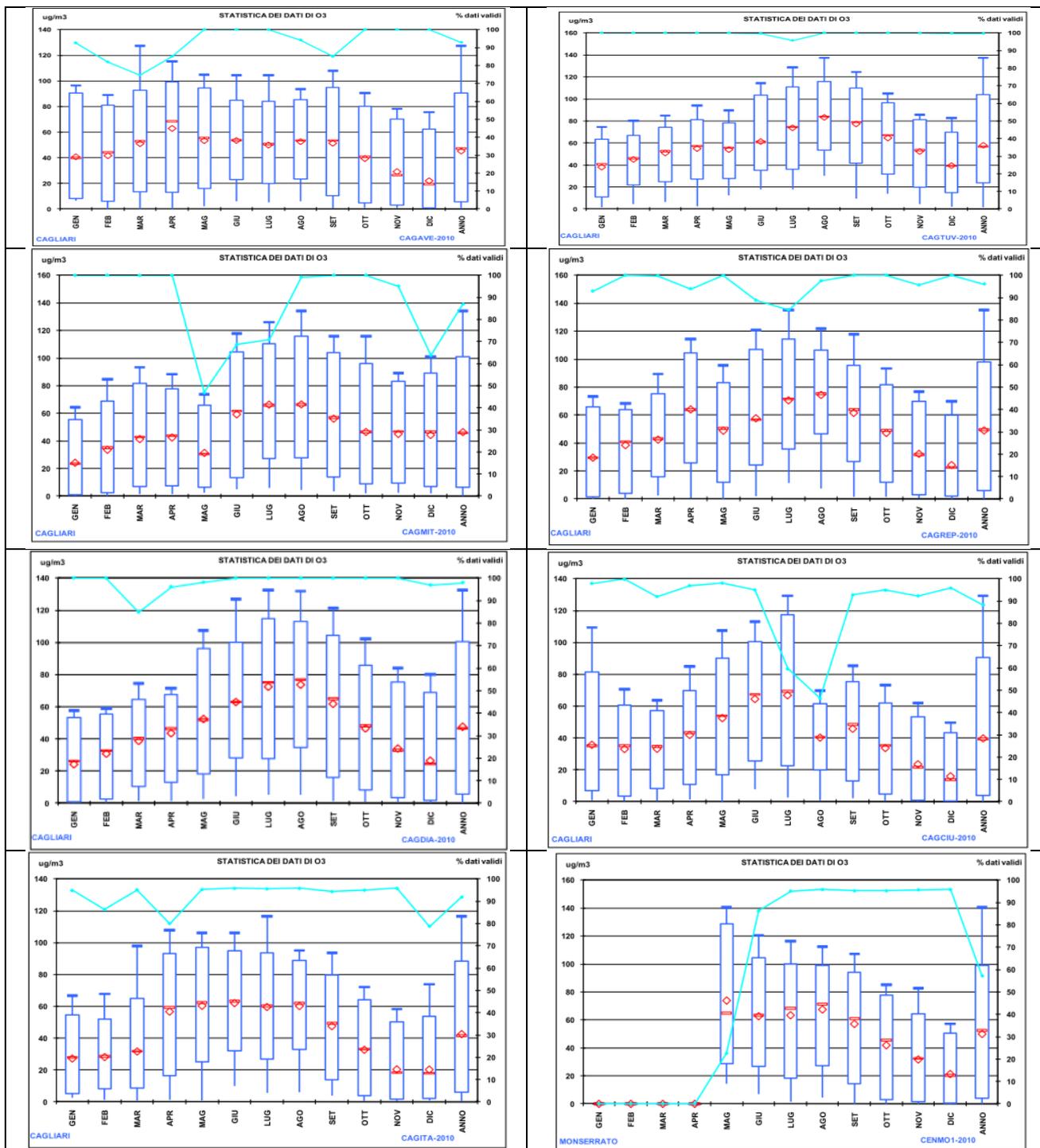
2.3.3.2 Monossido di carbonio



Il monossido di carbonio (CO) è monitorato da sette stazioni: le massime medie mobili di otto ore variano da 1.8 mg/mc (Mercato Ittico) a 3.4 mg/mc (Viale Diaz). Le concentrazioni rilevate si mantengono quindi ampiamente entro il limite di legge (10 mg/mc sulla massima media mobile di otto ore).
Nei grafici vengono riportate le concentrazioni medie mensili e annuali di Benzene rilevate dalle tre centraline che analizzano questo inquinante atmosferico.



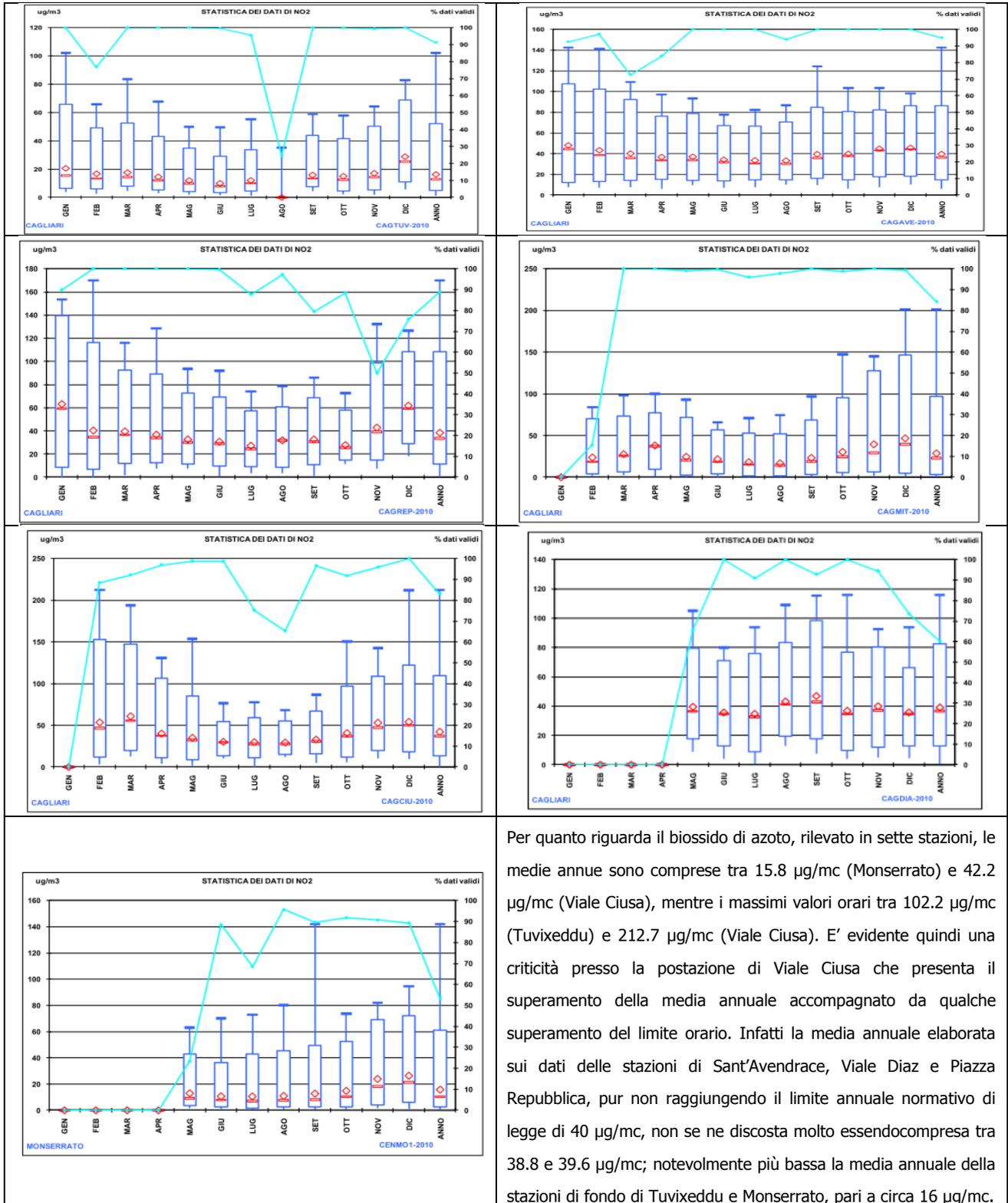
2.3.3.3 Ozono



L'ozono (O_3) è misurato in tutte le stazioni. I due superamenti del valore bersaglio di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla massima media mobile giornaliera di otto ore (da non superare più 25 volte in un anno civile) vengono registrati dalla stazione di Monserrato. In tutte le stazioni la media oraria non supera i $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rimanendo così ampiamente al di sotto della soglia di informazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e della soglia di allarme ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

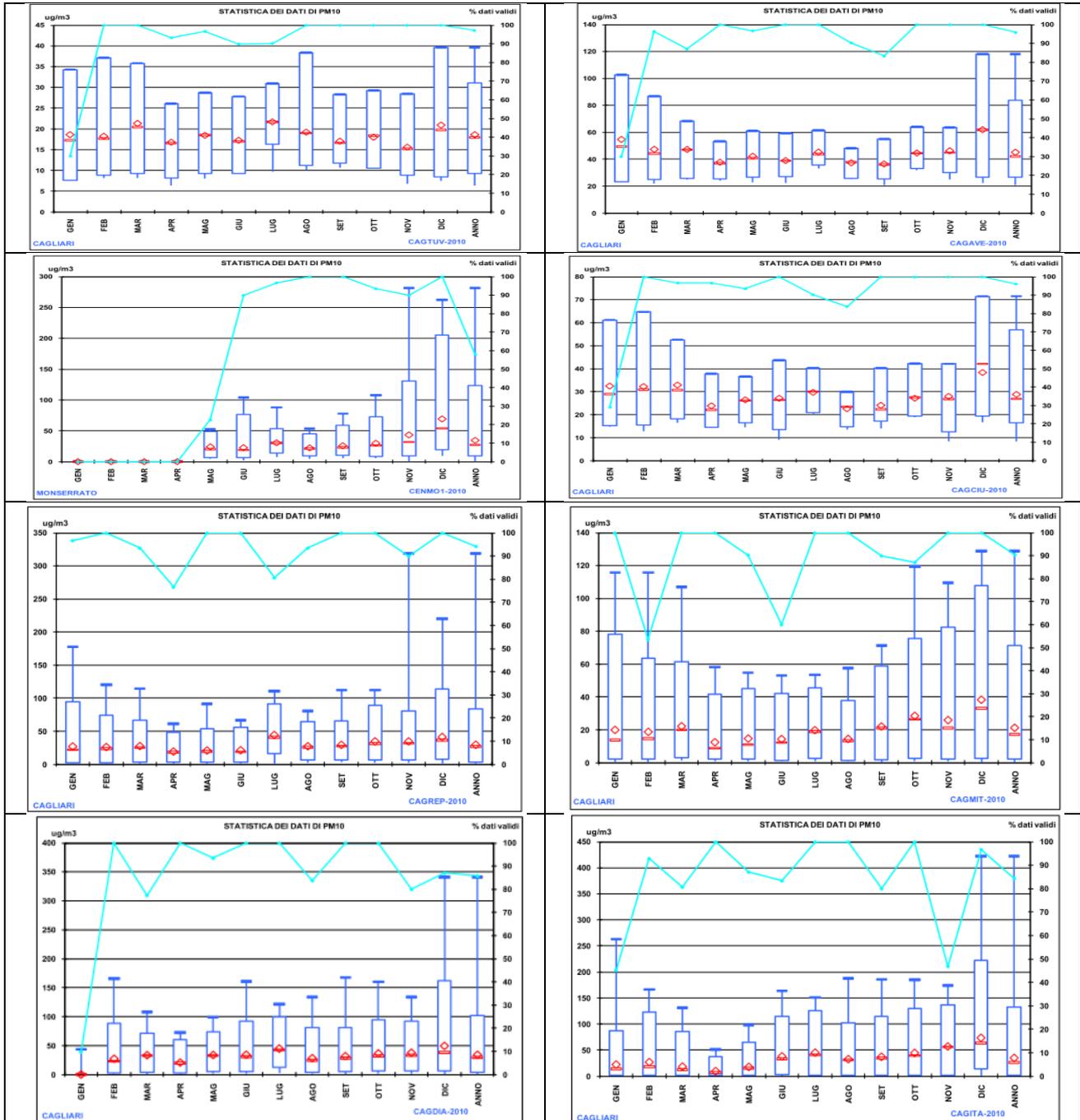


2.3.3.4 Biossido di Azoto





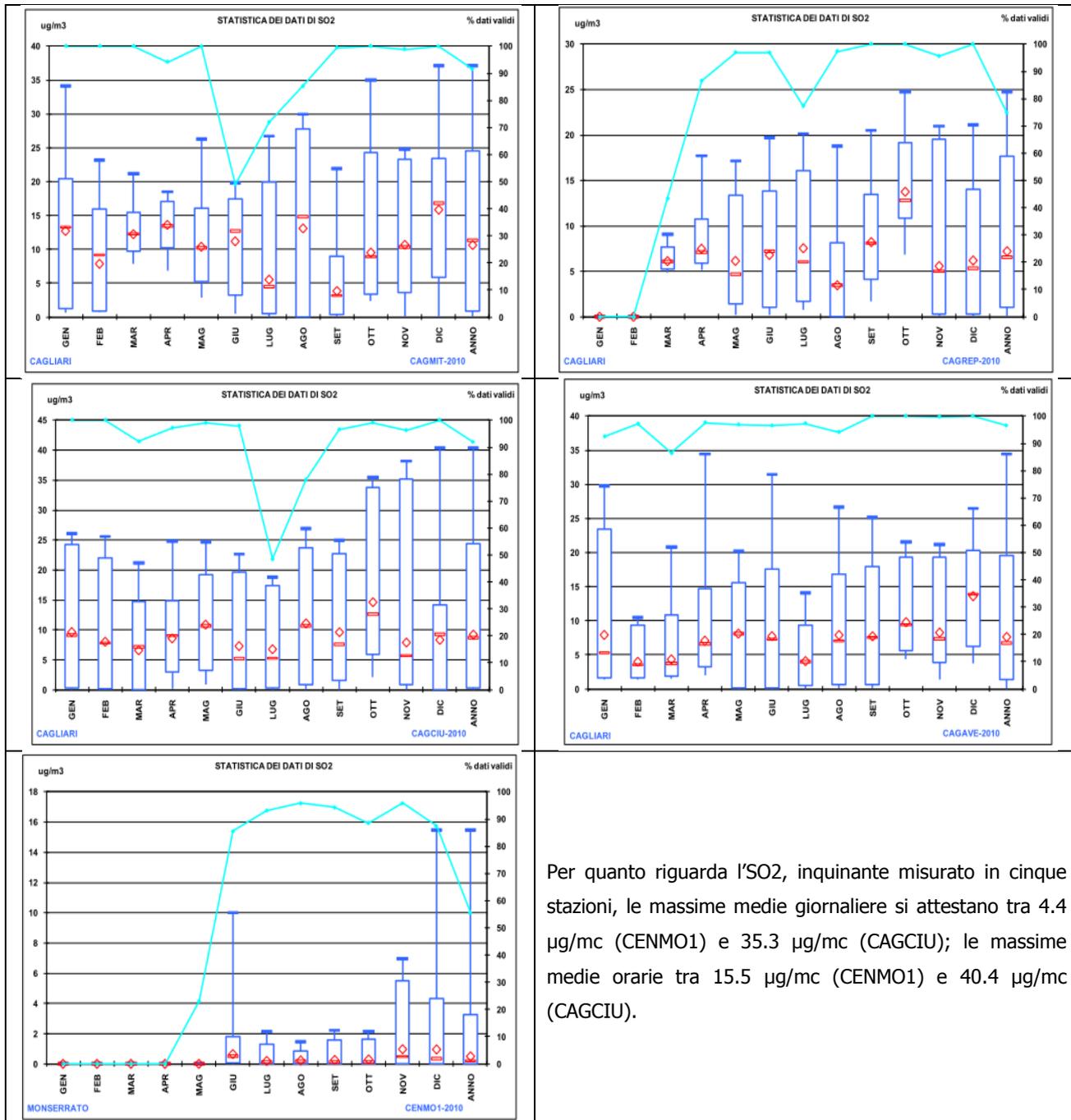
2.3.3.5 Particolato PM10



La situazione di inquinamento più critica tra quelle monitorate è relativa alle polveri sottili (PM10): le stazioni che presentano la violazione del limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno civile) sono quelle di Viale Sant'Avendrace, Viale Diaz e Viale Italia, rispettivamente con 98, 42 e 66 superamenti annuali. Le massime medie giornaliere oscillano tra $39.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tuvixeddu) e 119.4 (Viale Italia). La situazione appare particolarmente critica nella stazione di Sant'Avendrace dove si verifica anche la violazione del limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ previsto dalla normativa vigente, col valore di $45.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



2.3.3.6 Biossido di zolfo



Per quanto riguarda l'SO₂, inquinante misurato in cinque stazioni, le massime medie giornaliere si attestano tra 4.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CENMO1) e 35.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CAGCIU); le massime medie orarie tra 15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CENMO1) e 40.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CAGCIU).

2.3.4 Caratterizzazione della qualità dell'aria (QDA) nell'ambito di intervento

A seguito dell'analisi riportata nel paragrafo precedente, è possibile concludere che la qualità dell'aria presenta alcune criticità per quanto riguarda le polveri sottili e il biossido d'azoto nelle stazioni posizionate in vicinanza delle fonti ad alta densità di traffico.



Figura 2-15 Localizzazione della centralina Mercato Ittico e dell'area di intervento

D'altronde la attuale posizione delle stazioni di misura non risponde sempre ai requisiti di rappresentatività indicati dalle nuove leggi in materia di inquinamento atmosferico, principalmente legate alla protezione della salute umana e degli ecosistemi (per esempio alcuni inquinanti ora presi in considerazione dalla normativa, quali benzene e PM10, non lo erano al momento della realizzazione della rete). Per quanto detto, trovandosi spesso nelle vicinanze dei semafori o troppo vicine all'asse stradale, le stazioni della rete di Cagliari possono ritenersi generalmente posizionate in maniera non conforme alla attuale normativa e per questo non rappresentativi dell'inquinamento medio cittadino.



Mese	CO	NO2	O3	PM10	SO2
	mg/mc	µg/mc	µg/mc	µg/mc	µg/mc
gen-10	0,9		24,1	19,9	12,7
feb-10	0,8	23,9	33,4	18,7	7,8
mar-10	0,8	27,8	41,2	22,1	12,2
apr-10	0,8	38,3	42,4	12,4	13,6
mag-10	1,1	24,6	31,2	14,6	10,4
giu-10	1,1	21,8	59,1	14,3	11,2
lug-10	1,1	18,2	66,2	19,7	5,5
ago-10	1,1	16,8	66,3	14,4	13,1
set-10	1,1	23,3	56	22	3,8
ott-10	1,1	30,5	46,4	28,5	9,5
nov-10	1,2	39,6	44,9	25,9	10,7
dic-10	1,2	46,9	44,2	38,3	15,9
Media Annuale	1	28,8	46,3	21,2	10,6

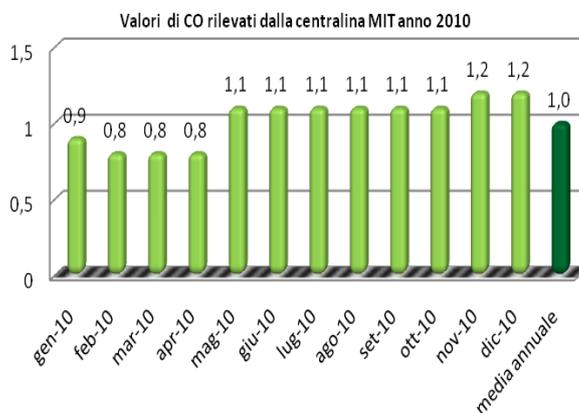
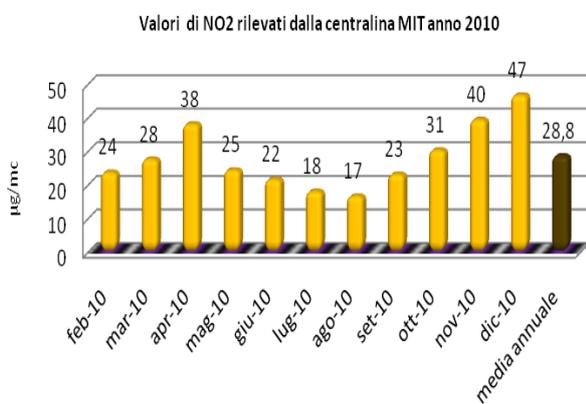
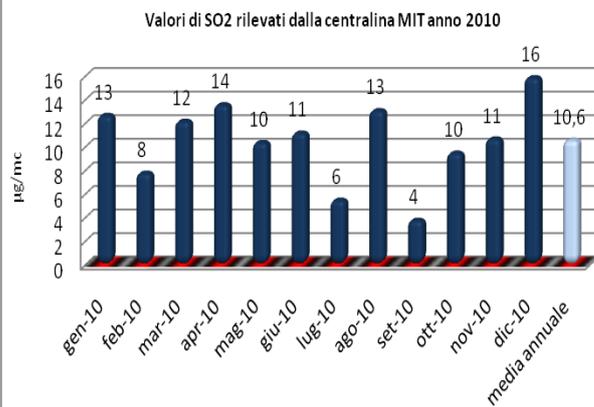
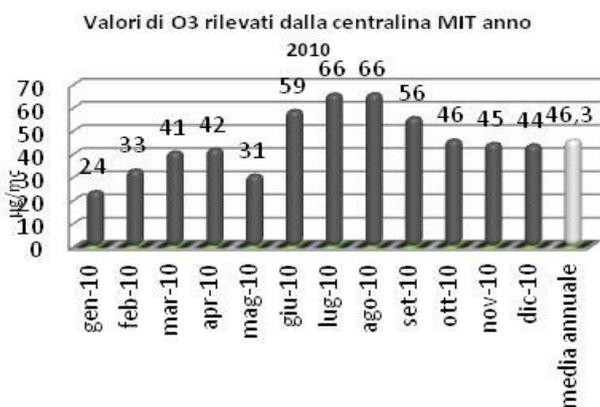
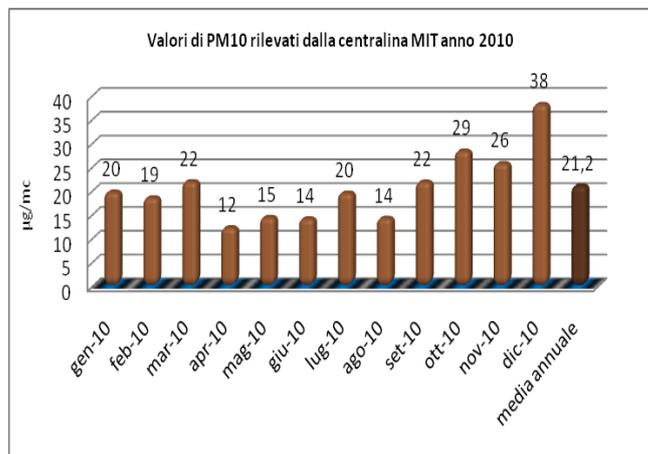


Tabella 2-7 Elaborazioni delle medie mensili rilevate per l'anno 2010 dalla centralina MIT



Per definire lo stato atmosferico attuale dell'area oggetto di studio, si è scelto di utilizzare i dati rilevati dalla centralina posta in prossimità della zona esaminata; in particolare la stazione più vicina all'area di Porto Canale, è la centralina situata presso il mercato Ittico (denominazione della stazione MIT), distante circa 800m in linea d'aria dall'area di intervento.

Nella Figura 2-15 si può osservare la zona in cui è collocata la centralina e la distanza tra la stazione e l'area di porto Canale.

I risultati precedentemente analizzati e le elaborazioni riportate nella Tabella 2-7 indicano come nell'area in questione non siano presenti criticità in merito agli inquinanti considerati.

Le medie annuali infatti risultano abbondantemente al di sotto dei limiti imposti dal D.Lgs. 155 del 2010.

2.4 Analisi delle interazioni opera-componente – Fasi Ante e Post Operam

2.4.1 Analisi del progetto

Il presente studio tende ad analizzare gli effetti, sulla componente Atmosfera, prodotti dalla delocalizzazione delle attività cantieristiche e di supporto alla nautica presenti attualmente all'interno dell'area del porto vecchio di Cagliari,

Il progetto prevede il ricollocamento dell'intero distretto della cantieristica, costituito attualmente da 14 unità produttive ubicate nello specchio portuale di Cagliari in un ambito funzionale specializzato, all'interno della colmata Est del porto Canale.

Il Distretto della cantieristica sarà collocato nella colmata Est per una superficie complessiva di circa 22.7 h dei quali circa 3.2 ha conquistati a mare mediante l'avanzamento di circa 71,50 m dell'attuale linea di riva.

Le aree del Distretto sono state suddivise in n°15 lotti dei quali:

- ✓ 1 con superficie di circa 5ha (alaggio e varo, di carenaggio, di manutenzione/riparazione e di rimessaggio invernale per imbarcazioni di lunghezza fino a oltre 50m);
- ✓ 4 con superficie di circa 1.35ha (per imbarcazioni di lunghezza fino a 35÷40 m);
- ✓ 4 con superficie di circa 1.25ha (per imbarcazioni di lunghezza fino a 20÷25 m)
- ✓ 6 con superficie di circa 3.500 mq (per imbarcazioni fino a 12÷15 m), con possibilità di rimessaggi, laboratori artigiani e altre attività complementari con la nautica (falegnamerie, idraulici, elettricisti, arredatori, ecc.).

La progettazione del distretto Cantieristica nell'area del porto Canale prevede l'avanzamento dell'attuale linea di riva della colmata Est del porto (per ottenere una



superficie di circa 22,7ha destinata al posizionamento dei lotti) e la creazione di un bacino di circa 2,5ha con profondità costante di 5m, per permettere il passaggio a mare anche di grandi imbarcazioni.

La protezione dal moto ondoso dello specchio acqueo prospiciente le aree del distretto sarà realizzata mediante un molo di sopraflutto ad andamento rettilineo radicato al molo guardiano Nord del porto Canale e da un molo di sottoflutto ad andamento curvilineo radicato al terrapieno dove è prevista la realizzazione del parco di S. Efisio, disposti in modo da riprodurre uno schema di difesa tipico dei porti a bacino. L'opera foranea, a sezione trapezoidale, prevede un nucleo costituito da tout-venant, uno strato filtro, realizzato con massi naturali di 1° categoria e una mantellata esterna costituita dai classici massi naturali di 2° categoria. La sezione tipo complessiva della diga presenta una larghezza pari a circa 10 m a quota +2.30 m s.m. Per il riempimento dei piazzali delle aree di colmata (molo Est e molo Nord) verranno utilizzati i materiali provenienti dai dragaggi dei fondali e del bacino del porto canale di Cagliari. Si è stimato che, per il riempimento di entrambi i moli, sarà necessario l'utilizzo di circa 540.000 mc di materiale proveniente da dragaggi di cui 256.000 mc verranno ricavati dal dragaggio dell'area di bacino del porto Canale. Per i moli Est e Sud è prevista la realizzazione di due dighe di protezione; una, lato mare sarà progettata con muro paraonde "a scogliera", tale da fornire protezione nei confronti del moto ondoso dissipandone l'energia tramite il frangimento; l'altra, lato bacino (utilizzata per l'attracco delle barche), verrà realizzata senza muro paraonde e senza berma al piede.

Per permettere ai lotti del distretto un affaccio diretto a mare, all'interno dell'area del distretto destinata ai cantieri, in posizione baricentrica, sarà realizzato un canale navigabile (profondità 5m) che bagna almeno un lato del perimetro di tutti i lotti nei quali è stata suddivisa la superficie del distretto.

2.4.2 Stima delle emissioni

In questo paragrafo vengono stimate le emissioni di NOx e PM10 prodotte da quelle attività che a seguito dell'intervento, potranno variare nel tempo andando ad influire sulla qualità dell'aria nella zona oggetto di intervento.

A tal proposito, saranno analizzate le emissioni prodotte dal traffico veicolare nell'area prospiciente il porto vecchio e il distretto della cantieristica e quelle generate dalla movimentazione dei natanti presso le aree di cantiere.

Per quanto riguarda il traffico veicolare, considerato lo schema viario dell'area di Cagliari, i dati di mobilità pendolare elaborati dal PUM e il monitoraggio puntuale delle sezioni/nodi veicolari prossime all'area oggetto di studio, si è proceduto ad una schematizzazione del grafo di rete di riferimento che considereremo per analizzare le

emissioni e le concentrazioni di NOx e PM10 prodotte dal traffico veicolare (Figura 2-16 e Figura 2-17).

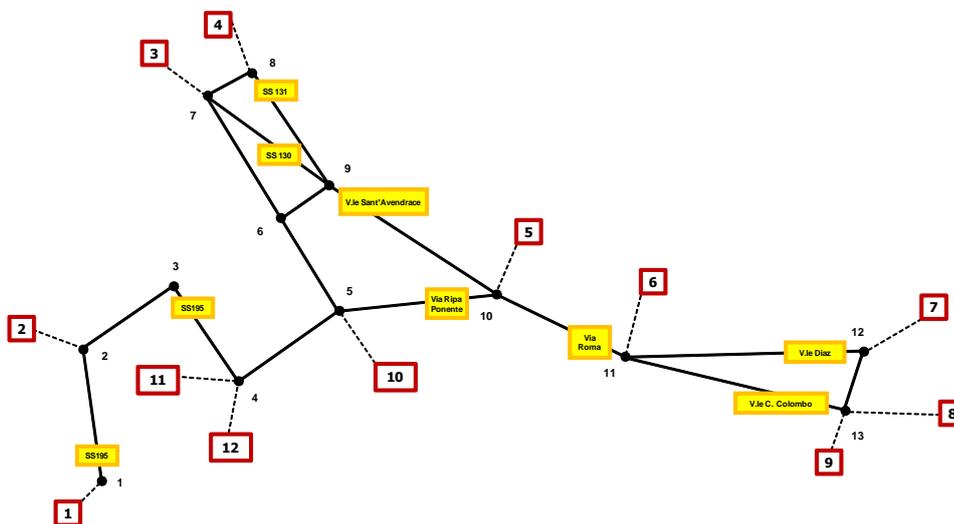


Figura 2-16 Grafo stradale di riferimento

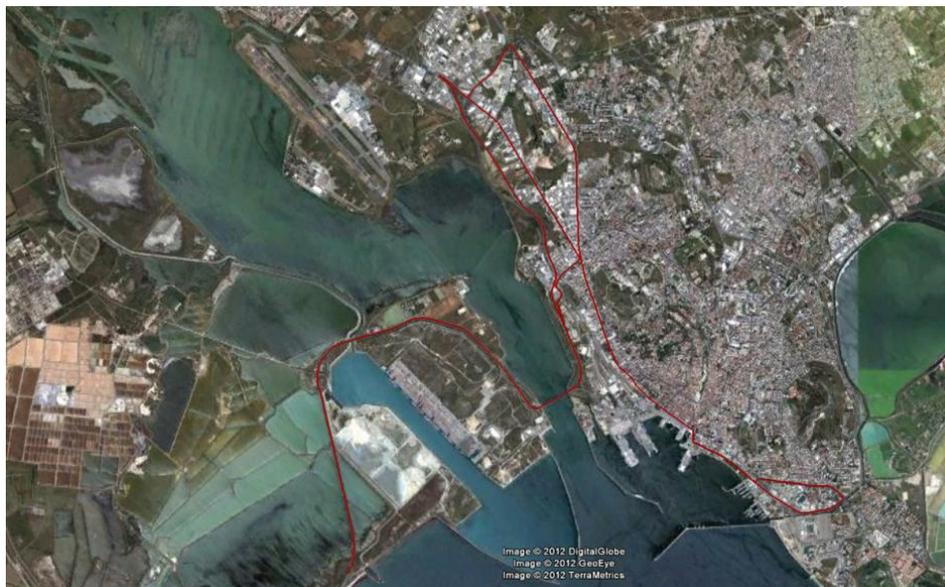


Figura 2-17 Visualizzazione della rete stradale considerata all'interno dell'area oggetto di studio

Per lo studio delle emissioni prodotte dal traffico navale movimentato presso le aree di cantiere si è fatto riferimento alla Metodologia di calcolo semplificata derivata dal progetto MEET (Methodologies for estimating air pollutant emission for transport) promosso dalla Comunità Europea. La stima del numero di imbarcazioni movimentate (per classi di lunghezza e tipologia di barca) è stata ricavata analizzando i dati forniti



da alcuni dei cantieri che verranno delocalizzati nell'area di porto Canale (7 su 14) e adattando tali valori alla superficie totale dell'intera area di cantiere.

2.4.2.1 Emissioni prodotte da traffico veicolare

Per calcolare le tonnellate degli inquinanti emesse dall'infrastruttura sia nello scenario attuale che in quello di progetto mediante il programma COPERT IV, è stato necessario ricavare, attraverso i dati in possesso dell'ACI, le diverse percentuali del parco veicolare circolante nell'ambito territoriale di riferimento suddiviso rispetto alla normativa sulle emissioni allo scarico, sia per quanto riguarda i veicoli leggeri sia per i veicoli pesanti, trattati differientemente dal software.

Per quanto concerne la definizione della composizione del parco veicolare allo stato attuale si è fatto riferimento ai dati ACI relativi all'anno 2010 per l'Area provinciale di Cagliari (ultimo anno in cui è disponibile direttamente la suddivisione secondo le classi COPERT).

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EU0	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5
BENZINA	<i>Fino a 1400</i>	7,97%	3,55%	13,86%	10,94%	15,70%	0,83%
	<i>1401 - 2000</i>	1,30%	0,94%	2,44%	1,41%	1,51%	0,09%
	<i>Oltre 2000</i>	0,15%	0,05%	0,10%	0,12%	0,22%	0,01%
GPL	<i>All</i>	0,46%	0,26%	0,62%	0,25%	1,33%	0,04%
GASOLIO	<i>Fino a 1400</i>	0,19%	0,03%	0,02%	2,18%	7,40%	0,14%
	<i>1401 - 2000</i>	0,68%	0,47%	2,98%	7,72%	8,58%	0,72%
	<i>Oltre 2000</i>	0,58%	0,32%	1,04%	1,45%	1,25%	0,11%

Tabella 2-8 Ripartizione Passenger Cars (Anno 2010) – Fonte ACI

	BENZINA	GPL	GASOLIO
FASCIA	<i>Fino a 3,5</i>	<i>all</i>	<i>Fino a 3,5</i>
EURO 0	1%	0%	19%
EURO 1	1%	0%	10%
EURO 2	2%	0%	18%
EURO 3	1%	0%	27%
EURO 4	1%	0%	18%
EURO 5	0%	0%	0%

Tabella 2-9 Ripartizione Light Duty Vehicles (Anno 2010) – Fonte ACI



ALIMENTAZIONE	FASCIA	EU0	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5
BENZINA	Oltre 3,5	0,43%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
GASOLIO	03,6 - 7,5	18,34%	1,79%	3,62%	3,88%	1,40%	0,52%
	07,6 - 12	16,84%	1,64%	1,99%	2,28%	0,91%	0,39%
	12,1 - 14	3,66%	0,20%	0,24%	0,27%	0,11%	0,04%
	14,1 - 20	7,19%	1,18%	1,79%	2,03%	0,68%	0,45%
	20,1 - 26	13,50%	2,10%	3,05%	2,52%	0,91%	0,24%
	26,1 - 28	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	28,1 - 32	0,19%	0,28%	1,42%	2,33%	0,62%	0,05%
	Oltre 32	0,54%	0,11%	0,03%	0,04%	0,07%	0,01%

Tabella 2-10 Ripartizione Heavy Duty Vehicles(Anno 2010) – Fonte ACI

Partendo dalle informazioni desunte dalla documentazione elaborata dal settore Studi e Ricerche dell'ACI, si sono ottenute le tabelle seguenti (cfr. da Tabella 2-8 a Tabella 2-10), da cui si evince la suddivisione percentuale del parco circolante nei diversi cicli di guida.

Relativamente alla composizione del parco circolante considerato nello scenario futuro (anno 2021), si è proceduto alla stima della variazione della ripartizione tra le classi COPERT secondo le tempistiche dettate dall'entrata in vigore dei futuri standard e delle limitazioni imposte sulle emissioni dei veicoli venduti dagli Stati membri dell'Unione Europea.

Partendo dal trend evolutivo che il parco veicolare italiano ha seguito negli ultimi anni e che ha registrato rispettivamente:

- Per i veicoli leggeri e i light duty un progressivo ma lento calo degli EURO 0, EURO 1, EURO 2 e EURO 3, con una sostanziale crescita degli EURO 4 e la comparsa degli EURO V;
- Per i veicoli pesanti un significativo calo solo per gli EURO 0, mentre pur diminuendo, gli standard EURO 1, EURO 2 e EURO 3 sono rimasti statisticamente stabili con una buona crescita degli EURO 4 e EURO 5.

La ripartizione in classi COPERT emissive per il parco veicolare leggeri e pesanti nello scenario 2021 è pertanto riportato in Tabella 2-11.



CLASSI	EU0	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6
PASSENGER CAR	0%	0%	5%	15%	25%	30%	25%
HEAVY DUTY	0%	0%	15%	25%	20%	30%	10%
LIGHT DUTY	0%	0%	10%	20%	25%	30%	15%

Tabella 2-11 Ripartizione in classi COPERT per il parco veicolare Anno 2021

A partire da tale ripartizione si è ricavato il totale dei veicoli per singolo standard emissivo al 2021. All'interno di ciascuno standard si è poi mantenuta la stessa distribuzione tra le cilindrata dei veicoli leggeri e il peso dei veicoli pesanti, stimati nello scenario 2010.

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EU0	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6
BENZINA	<i>Fino a 1400</i>	0,00%	0,00%	3,29%	6,82%	10,91%	12,86%	10,72%
	<i>1401 - 2000</i>	0,00%	0,00%	0,58%	0,88%	1,05%	1,45%	1,21%
	<i>Oltre 2000</i>	0,00%	0,00%	0,02%	0,07%	0,15%	0,22%	0,18%
GPL	<i>All</i>	0,00%	0,00%	0,15%	0,15%	0,92%	0,56%	0,46%
GASOLIO	<i>Fino a 1400</i>	0,00%	0,00%	0,01%	1,36%	5,14%	2,13%	1,78%
	<i>1401 - 2000</i>	0,00%	0,00%	0,71%	4,81%	5,96%	11,09%	9,24%
	<i>Oltre 2000</i>	0,00%	0,00%	0,25%	0,90%	0,87%	1,69%	1,41%

Tabella 2-12 Ripartizione Passenger Cars (Anno 2021)

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EU0	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6
BENZINA	<i>Fino a 3,5</i>	0,00%	0,00%	1,00%	0,92%	1,38%	0,00%	0,00%
GPL	<i>All</i>	0,00%	0,00%	0,02%	0,03%	0,53%	0,00%	0,00%
GASOLIO	<i>Fino a 3,5</i>	0,00%	0,00%	8,98%	19,05%	23,09%	30,00%	15,00%

Tabella 2-13 Ripartizione Light Duty Vehicles (Anno 2021)



ALIMENTAZIONE	FASCIA	EU0	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6
BENZINA	Oltre 3,5	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
GASOLIO	3,6 - 7,5	0,00%	0,00%	4,46%	7,26%	5,95%	9,05%	3,02%
	7,6 - 12	0,00%	0,00%	2,46%	4,26%	3,87%	6,90%	2,30%
	12,1 - 14	0,00%	0,00%	0,30%	0,51%	0,46%	0,71%	0,24%
	14,1 - 20	0,00%	0,00%	2,21%	3,81%	2,89%	7,86%	2,62%
	20,1 - 26	0,00%	0,00%	3,76%	4,72%	3,87%	4,29%	1,43%
	26,1 - 28	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	28,1 - 32	0,00%	0,00%	1,76%	4,37%	2,66%	0,95%	0,32%
	Oltre 32	0,00%	0,00%	0,03%	0,08%	0,29%	0,24%	0,08%

Tabella 2-14 Ripartizione Heavy Duty Vehicles(Anno 2021)

Il calcolo delle emissioni totali è stato ottenuto dalla sommatoria delle emissioni di ciascun tratto stradale analizzato considerando, come fattore di emissione, il valore ottenuto dalla somma dei singoli FE (relativi alla tipologia dei veicoli) frazionati rispetto al totale dei mezzi.

Il calcolo delle emissioni dei singoli tratti è stato ottenuto, per ciascuno scenario, in base alla relazione seguente:

$$E_{\text{arco}}[\text{g}] = (\text{LUNGHEZZA}_{\text{ARCO}} * (\text{FE}_{\text{LEG}} * \text{TRAFFICO}_{\text{LEG}} + \text{FE}_{\text{PES}} * \text{TRAFFICO}_{\text{PES}}))$$



Nella seguente tabella vengono mostrati i fattori di emissioni medi per i veicoli leggeri e pesanti restituiti dal software Copert per le simulazioni riguardanti lo scenario attuale:

Fattori di Emissione (g/Km veicolo)					
tipologia veicolo	% tipologia veicoli rispetto al totale dei mezzi circolanti	FE_PM10 relativo alla tipologia del mezzo	FE_PM10 preso rispetto al totale dei mezzi circolanti	FE_NOx relativo alla tipologia del mezzo	FE_NOx preso rispetto al totale dei mezzi circolanti
passenger cars	88%	0,0324684	0,0287115	0,427987476	0,3784645
Light Duty Vehicles	10%	0,1126721	0,0108483	0,960428891	0,0924716
Heavy Duty Vehicles	2%	0,2812814	0,0054652	6,405796747	0,1244624
totale	100%		0,05		0,60

Tabella 2-15 Fattori di emissione utilizzati per il calcolo delle emissioni riguardanti lo scenario attuale

Per il calcolo delle emissioni totali riferite allo scenario di progetto abbiamo utilizzato la stessa metodologia vista per l'analisi dello stato attuale.

Seguendo il trend evolutivo che il parco veicolare italiano ha seguito negli ultimi anni e considerando le tempistiche dettate dall'entrata in vigore dei futuri standard e delle limitazioni imposte sulle emissioni dei veicoli venduti dagli Stati Membri, si sono stimati, sempre attraverso l'utilizzo di Copert IV, i fattori di emissione da utilizzare per l'analisi dello scenario di progetto. Nello studio si considerano unicamente le emissioni a caldo prodotte agli scarichi degli autoveicoli.

Fattori di Emissione (g/Km veicolo)					
tipologia veicolo	% tipologia veicoli rispetto al totale dei mezzi circolanti	FE_PM10 relativo alla tipologia del mezzo	FE_PM10 preso rispetto al totale dei mezzi circolanti	FE_NOx relativo alla tipologia del mezzo	FE_NOx preso rispetto al totale dei mezzi circolanti
Passenger cars	88%	0,03	0,02	0,21	0,19
Light Duty Vehicles	10%	0,05	0,00	0,62	0,06
Heavy Duty Vehicles	2%	0,12	0,00	3,44	0,07
totale	100%		0,03		0,31

Tabella 2-16 Fattori di emissione utilizzati per il calcolo delle emissioni riguardanti lo scenario di progetto



Unendo le informazioni circa lunghezza dei singoli archi del grafo di rete considerato, il traffico veicolare presente lungo nello scenario attuale e di progetto durante il giorno medio dell'anno (TGM) e i fattori di emissione sopra mostrati, si calcolano le tonnellate/anno di inquinanti prodotte dai mezzi di trasporto sulle infrastrutture esaminate (Tabella 2-17).

Emissioni totali (tonnellate/anno)		
inquinanti	NOx	PM10
scenario attuale	301	22,76
scenario futuro	157,3	14,94

Tabella 2-17 Tonnellate annue prodotte dal traffico veicolare nello scenario attuale e di progetto

E' bene precisare che poiché lo studio trasportistico ha fornito per il grafo considerato i soli valori dei flussi nell'ora di punta, a titolo cautelativo, per lo studio delle emissioni di NOx e PM10 calcolate in tonnellate/anno, abbiamo ipotizzato il traffico prodotto nell'ora di punta come 8% del traffico totale giornaliero (ipotesi che sovrastima i flussi giornalieri e quindi annuali).

Per quanto riguarda gli inquinanti analizzati, al 2021 è prevista una riduzione delle emissioni, sui tratti stradali analizzati, sia per l'NOx che per il PM10 dovuti principalmente al rinnovamento del parco veicolare previsto.

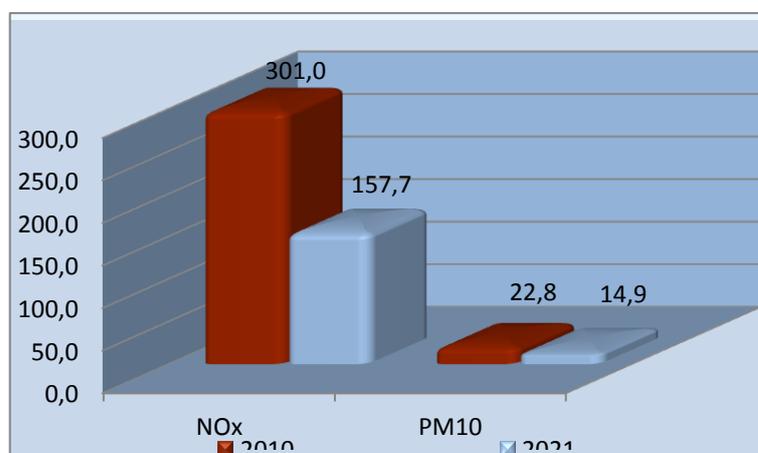


Figura 2-18 Confronto emissivo del PM10 tra lo scenario attuale e quello futuro



Complessivamente, rispetto allo scenario attuale, per lo scenario 2021 si prevede una riduzione di NO₂ pari a circa il 48%, stimabile in circa 140 tonnellate/anno mentre, per il PM₁₀ si osserva una riduzione delle emissioni dovuta a traffico veicolare di circa il 34%.

Nella Figura 2-19 vengono riassunte le variazioni dei livelli emissivi, prodotte dal parco veicolare all'interno dell'area di studio, nello scenario 2021 rispetto allo stato attuale.

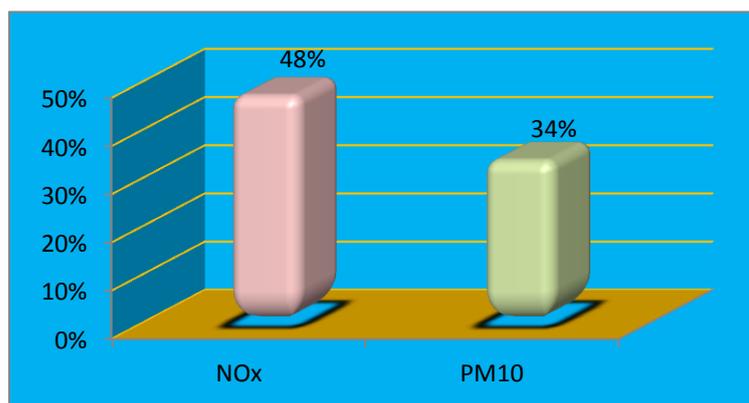


Figura 2-19 Variazione % dei livelli emissivi degli inquinanti considerati al 2021 rispetto allo scenario

Precisiamo inoltre come lo studio trasportistico non abbia evidenziato impatti significativi sul sistema della mobilità a seguito della delocalizzazione delle attività di cantieristica navale.

2.4.2.2 Emissioni prodotte in area portuale da attività navali

Le emissioni prodotte nell'area portuale normalmente derivano dalla combustione dei motori delle navi, ma possono anche essere associate ad evaporazione dei prodotti trasportati (emissione evaporative). Tali emissioni sono normalmente distinte in emissioni con effetti su scala globale (CO₂ ed altri gas ad effetto serra) ed emissioni con effetti su scala locale e regionale (CO, NO_x, COV, SO₂ e PM₁₀). Su scala europea, le emissioni di NO_x e di SO₂ attribuibili al traffico nazionale possono raggiungere valori importanti rispetto al totale delle emissioni nazionali (vedi Tabella 2-5) e si noti che le emissioni dovute al traffico nazionale, generalmente, rappresentano solo una piccola percentuale delle emissioni derivanti dal traffico marittimo internazionale.

Su scala mondiale, si stima che la navigazione sia responsabile di circa il 5 – 12% e di circa il 3 – 4% delle emissioni antropogeniche, rispettivamente, di NO_x ed SO₂ (vedi Lloyd's Register 1995). Si stima, ad esempio, che le emissioni totali di NO_x derivanti dalle attività di navigazione nell'Atlantico nord-orientale siano in prima approssimazione equivalenti alle emissioni totali di Francia e Danimarca, e



leggermente superiori alle emissioni attribuite al traffico stradale in Germania nel 1990. Per quanto riguarda l'SO₂, le emissioni navali sono stimate equivalenti alle emissioni totali della Francia. La tabella che segue schematizza, per diversi inquinanti, l'incidenza del traffico navale in Europa.

	Traffico navale: contributo % alle emissioni nazionali
SO ₂	0 – 80
NO _x	0 – 30
NMVOOC	0 – 5
CH ₄	0 – 2
CO	0 – 18
CO ₂	0 – 40
N ₂ O	0 - 1

0: le emissioni sono calcolate, ma il loro contributo è inferiore allo 0.1%

Tabella 2-18range Europeo di variabilità della percentuale delle emissioni navali su totale di ogni singolo Paese (Inventario Corinair 1994)

Si è studiato che le emissioni prodotte (e quindi i consumi) da una nave variano a seconda del tipo di situazione in cui si trova l'imbarcazione stessa. Si ottengono di conseguenza stati emissivi differenti a seconda del fatto che le navi si trovino in navigazione (cruising) piuttosto che in fase di manovra o stazionamento.

Da un punto di vista dei consumi ed emissioni, all'interno di un porto si possono identificare una fase di manovra e una fase di stazionamento (hotelling). Infatti, anche dopo il suo banchinamento, una nave continua ad emettere sostanze inquinanti in atmosfera (servirà potenza per fornire alla nave illuminazione, riscaldamento, refrigerazione, ventilazione, ecc); generalmente, per le navi a motore a combustione interna, per fornire potenza si usano generatori ausiliari (gruppi elettrogeni) alimentati a combustibile liquido (diesel).

Inoltre, per le navi cargo, si deve tener conto anche dell'alimentazione delle pompe utilizzate per caricare e scaricare le merci.

Tuttavia, considerando le emissioni indotte dalle tre fasi, le situazioni di Hotelling e di manovra producono emissioni percentualmente molto più basse rispetto alla fase di crociera.

La metodologia di calcolo, assunta nel nostro studio per la stima dei fattori emissivi e delle conseguenti emissioni per questa tipologia di sorgente, è stata desunta dal progetto MEET (Methodologies for estimating air pollutant emission for transport) promosso dalla Comunità Europea. In tale progetto sono proposti due differenti approcci metodologici per stimare il carico emissivo derivante dalle navi, uno



semplificato ed uno più dettagliato. Nello specifico la metodologia semplificata è quella adottata dal COMMUTE Project e mira a stimare le emissioni a partire da dati statici sul traffico marittimo noti o facilmente reperibili, mentre la metodologia dettagliata è mirata alla stima delle emissioni in aree per le quali sono più accurati i dati relativi ai movimenti e alle caratteristiche delle navi che arrivano e partono da una detta area. Vista la tipologia di strutture che verranno allocate all'interno dell'area di studio e in funzione dei dati in nostro possesso, per l'analisi dei fattori emissivi derivanti da traffico navale si è proceduto utilizzando la metodologia semplificata.

Una volta stabilito il consumo medio di combustibile (ricavato dalla Tabella 2-19 proposta nel progetto MEET e riguardante il consumo di carburante specifico per imbarcazione), il tempo di avvicinamento e manovra si ricavano, in funzione dei fattori di emissione secondo appunto il progetto MEET, le emissioni di ogni singolo inquinante.

Ship types	Average consumption (t/day)
Solid bulk	33,8
Liquid bulk	41,15
General Cargo	21,27
Container	65,88
Passenger/Ro-Ro/Cargo	32,28
Passenger	70,23
High speed ferry	80,42
Inland cargo	21,27
Sail ships	3,38
Tugs	14,35
Fishing	5,51
Other ships	26,4
All Ships	32,78

Tabella 2-19 Consumi medi di combustibili per varie tipologie di imbarcazioni(t/giorno)

Per i fattori di emissione si è fatto ricorso ai valori disponibili nell' Emission Inventory Guidebook 2009, relative alle imbarcazioni da diporto considerate utilizzando il Tier 3 emission factor for recreational vessels (cfr. Tabella 2-20).

Poiché il progetto del Distretto prevede la delocalizzazione delle aree di cantiere dalla zona del porto di Cagliari a quella del Porto Canale, per ricavare il traffico di barche ipotizzabile nella nuova area, si è fatto riferimento alle informazioni reperite dai cantieri navali che lavorano nell'area del porto di Cagliari.



Considerando che la superficie totale utilizzabile all'interno del Distretto della cantieristica si attesterà intorno ai 22,7ha e analizzando i dati forniti da alcuni cantieri, si è stimato che l'area adibita a servizi di manutenzione/rimessaggio delle imbarcazioni da diporto potrà ospitare circa 1.920 imbarcazioni l'anno.

E' bene sottolineare come questa stima sia assolutamente cautelativa in quanto nel conteggio delle imbarcazioni/anno abbiamo considerato la movimentazione mensile media del periodo di punta (circa 160 natanti). Tale movimentazione infatti è presente solo nel periodo primaverile.

Fuel type	Vessel type	Engine Type	Technology Layer	Nominal power	NMVOC	NH ₃	NO _x	TSP PM ₁₀	Fuel PM _{2.5}	
				[kW]						[g/kWh]
Gasoline	Other boats (< 20 ft)	Out board	2S	2003/44	8	45.49	0.002	2	10	791
			Conv.	8	254.69	0.002	2	10	791	
			4S	2003/44	8	21.60	0.002	7	0.08	426
			Conv.	8	21.60	0.002	7	0.08	426	
	Yawls and cabin boats	Out board	2S	2003/44	20	36.17	0.002	3	10	791
			Conv.	20	170.45	0.002	3	10	791	
			4S	2003/44	20	12.60	0.002	10	0.08	426
			Conv.	20	12.60	0.002	10	0.08	426	
	Sailing boats (< 26 ft)	Out board	2S	2003/44	10	42.61	0.002	2	10	791
			Conv.	10	254.69	0.002	2	10	791	
			4S	2003/44	10	21.60	0.002	7	0.08	426
			Conv.	10	21.60	0.002	7	0.08	426	
	Speed boats	In board	4S	2003/44	90	9.00	0.002	12	0.08	426
			Conv.	90	9.00	0.002	12	0.08	426	
		Out board	2S	2003/44	50	31.51	0.002	3	10	791
			Conv.	50	170.45	0.002	3	10	791	
			4S	2003/44	50	12.60	0.002	10	0.08	426
			Conv.	50	12.60	0.002	10	0.08	426	
Water scooters	Out board	2S	2003/44	45	31.91	0.002	3	10	791	
		Conv.	45	170.45	0.002	3	10	791		
		4S	2003/44	45	12.60	0.002	10	0.08	426	
		Conv.	45	12.60	0.002	10	0.08	426		
Diesel	Motor boats (27-34 ft)	In board	2003/44	150	1.67	0.002	8.6	1	275	
			Conv.	150	1.97	0.002	8.6	1.2	275	
	Motor boats (> 34 ft)	In board	2003/44	250	1.58	0.002	8.6	1	275	
			Conv.	250	1.97	0.002	8.6	1.2	275	
	Motor boats (< 27 ft)	In board	2003/44	40	1.77	0.002	9.8	1	281	
			Conv.	40	2.17	0.002	18	1.4	281	
	Motor sailers	In board	2003/44	30	1.87	0.002	9.8	1	281	
			Conv.	30	2.17	0.002	18	1.4	281	
	Sailing boats (> 26 ft)	In board	2003/44	30	1.87	0.002	9.8	1	281	
			Conv.	30	2.17	0.002	18	1.4	281	

Source: Winther & Nielsen, 2006

Tabella 2-20 Tier 3 emission factors for recreational vessels

Per il calcolo delle emissioni in atmosfera degli inquinanti NOx e PM10 considereremo un canale di 0,8 miglia nautiche con una velocità considerata nella fase di avvicinamento al distretto pari a 3 Knot (come da regolamento portuale).



Le imbarcazioni verranno considerate convenzionalmente tutte con motore diesel con una potenza nominale di 150KW.

Considerando pertanto una movimentazione di 8 imbarcazioni day, (1 imbarcazione l'ora per otto ore lavorative) e cinque giorni di lavoro a settimana, si ottiene una movimentazione complessiva di natanti indotta dalle aree di cantiere di 160 barche/mese e 1290 barche/anno.

Le emissioni di NOx e PM10 sono pertanto:

<i>emissioni totali NOx</i>		
<i>input</i>		<i>E (tonnellate/anno)</i>
<i>alimentazione</i>	<i>diesel</i>	<i>0,67</i>
<i>potenza nominale(KW)</i>	<i>150</i>	
<i>FE(g/Km*v)</i>	<i>232,18</i>	
<i>emissioni totali PM10</i>		
<i>input</i>		<i>E (tonnellate/anno)</i>
<i>alimentazione</i>	<i>diesel</i>	<i>0,09</i>
<i>potenza nominale(KW)</i>	<i>150</i>	
<i>FE(g/Km*v)</i>	<i>32,4</i>	

Tabella 2-21 emissioni di NOx e PM10 prodotto dalla movimentazione delle imbarcazioni indotta dai cantieri

Le emissioni stimate sia per l'NOx che per il PM10 si ipotizzano cautelativamente invariate in entrambi gli scenari. La variazione della loro ricaduta sulla qualità dell'aria nella zona portuale di Cagliari si vedrà nello studio delle concentrazioni in conseguenza della delocalizzazione dei cantieri navali.

Infine si può osservare come le emissioni generate dal traffico navale indotto dai cantieri sono minime rispetto a quelle prodotte dal traffico veicolare che interessa la viabilità nell'area del porto di Cagliari.



2.4.3 Analisi sulle concentrazioni

La analisi dei potenziali impatti sulla qualità dell'aria conseguenti alla realizzazione dell'opera in termini di variazione delle concentrazioni di NO₂ e PM₁₀ è afferita alle sole sorgenti che subiscono una sensibile variazione emissiva in termini quantitativi o di localizzazione spaziale, conseguenza dello spostamento dei cantieri all'interno del Porto Canale.

Verranno pertanto stimate le concentrazioni degli inquinanti prodotte dal traffico veicolare e dal traffico navale indotto dai cantieri.

Non verranno invece simulate le concentrazioni di NO₂ e PM₁₀ prodotte da tutte quelle sorgenti (ad esempio le emissioni delle attività commerciali del Porto Canale) supposte costanti in quanto non influenzate dallo spostamento delle aree dei cantieri navali.

Per la stima dei livelli di inquinamento atmosferico è stato scelto, sia per lo studio delle concentrazioni di NO₂ e PM₁₀ derivanti da traffico stradale che per quelle derivanti dalla movimentazione dei natanti (individuando un corridoio navale di accesso), il modello di dispersione *CALINE4* (A dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways) della *FHWA*, modello ufficiale EPA riconosciuto in sede internazionale. L'utilizzo del codice è stato migliorato attraverso l'impiego del software *CALRoads View* della *Lakes Environmental Software*, che costituisce interfaccia grafica per una gestione migliore del suddetto modello sia in fase di input che per la gestione completa (tabellare e grafica) dei dati di output.

Utilizzando i fattori di emissioni calcolati rispettivamente con il software COPERT 4 (per il traffico veicolare) e con la metodologia MEET (per la movimentazione delle imbarcazioni), nello studio in oggetto i parametri di output sono stati definiti nei seguenti termini:

- **Inquinanti:** Valori orari medi degli inquinanti NO₂ e PM₁₀. Per i valori medi orari (NO₂) e sulle 24 ore (PM₁₀) si è stimata la ricaduta in corrispondenza di condizione di massimo impatto potenziale (traffici pari al valore orario di picco e condizioni di diffusione "worst case");
- **Ricettori:** griglia di 440 ricettori posta in modo da ricoprire l'intera area di studio.

Oltre ai dati restituiti dal modello in formato numerico, relativi quindi ad un valore di concentrazione per ognuno dei ricettori inseriti e per ognuna delle medie normative di riferimento sopra enunciate, il programma ha realizzato delle mappe di isoconcentrazione dei valori suddetti, in modo da rendere ben visibile l'entità e l'andamento della dispersione dell'inquinamento prodotto.



Gli output che il modello andrà a restituire mostreranno l'entità dell'inquinamento prodotto dalle sorgenti considerate nei due scenari (ante operam e post operam) considerati.

2.4.3.1 Concentrazioni di NO2 e PM10 prodotte da traffico veicolare

Nella Tabella 2-22 vengono riportate le concentrazioni minime e massime per le medie normative degli inquinanti studiati.

Ricadute Emissioni traffico veicolare	Attuale				2021			
	NO2 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)		PM10 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)		NO2 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)		PM10 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MassimaMedia 1h	<1	<22			<1	<15		
MassimaMedia24h			<1	<8			<1	<5
MediaAnnuale	<1	<8	<0,5	<3	<1	<6	<0,5	<2

Tabella 2-22 Ricadute emissioni da traffico veicolare

Per quanto attiene i flussi veicolari le ricadute delle emissioni da essi prodotte sono graficate nelle Figura 2-20 - Figura 2-23; in tali immagini vengono riportate le medie annuali e la massima media oraria per quanto riguarda l' NO2, le medie annuali e la massima media giornaliera per il PM10.

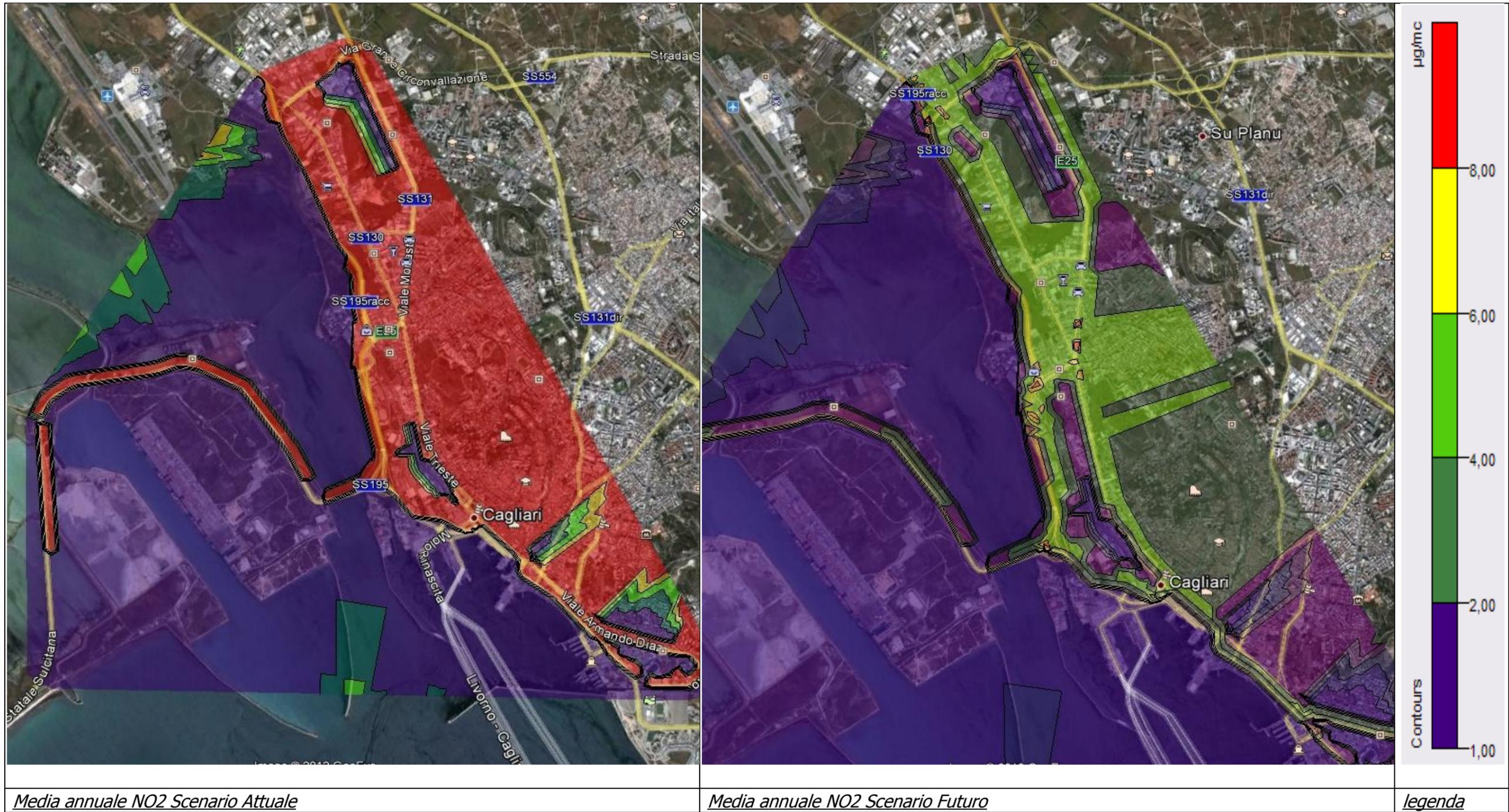


Figura 2-20 Concentrazione di NO2 (µg/mc) Media Anno – Emissioni Traffici Stradali – Scenario Attuale e Futuro

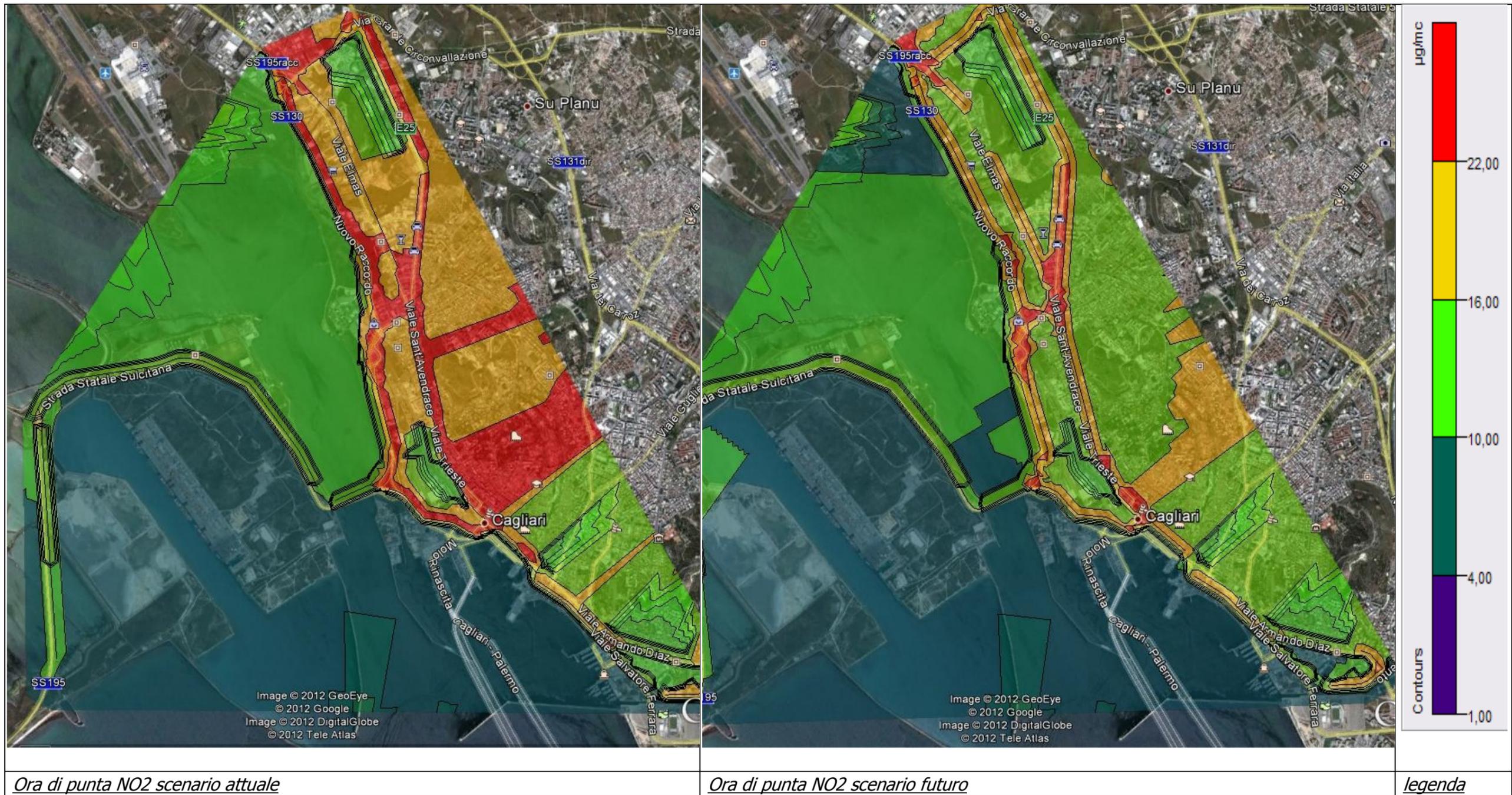


Figura 2-21 Concentrazione di NO2 (µg/mc) riferita all'ora di punta – Emissioni Traffici Stradali – Scenario Attuale e scenario futuro

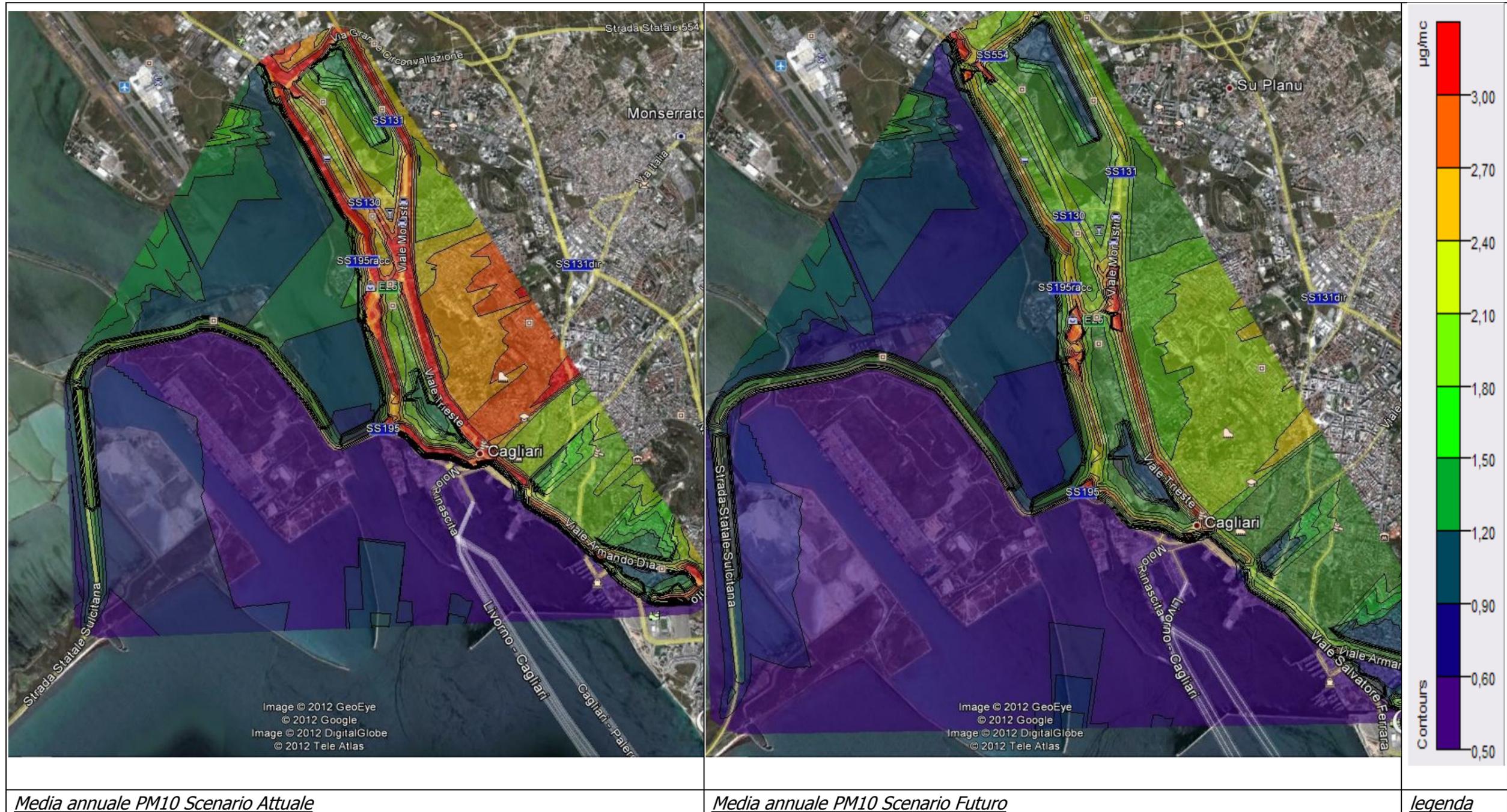


Figura 2-22 Concentrazione di **PM10** (µg/mc) Media Anno – Emissioni Traffici Stradali – Scenario Attuale e Futuro



Massima media giornaliera PM10 scenario attuale

Massima media giornaliera PM10 scenario futuro

legenda

Figura 2-23 Concentrazione di **PM10** ($\mu\text{g}/\text{mc}$) riferita all'ora di punta – Emissioni Traffici Stradali – Scenario Attuale e scenario futuro



2.4.3.2 Concentrazioni di NO₂ e PM₁₀ prodotte dal traffico navale

I valori minimi e massimi stimati per le concentrazioni derivanti dalle sole emissioni generate dalla movimentazioni dei natanti in ambito di cantiere sono:

Ricadute Emissioni movimentazione imbarcazioni	Attuale				2021			
	NO ₂ (µg/mc)		PM ₁₀ (µg/mc)		NO ₂ (µg/mc)		PM ₁₀ (µg/mc)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MassimaMedia 1h	<1	<8			<1	<8		
MassimaMedia24h			<0,3	<4			<0,3	<4
MediaAnnuale	<1	<3	<0,2	<1,6	<1	<3	<0,3	<4

Tabella 2-23 Ricadute emissioni da traffico navale

Per quanto riguarda lo studio relativo alle attività connesse alle emissioni derivanti dal traffico navale riportiamo le immagini delle curve di isoconcentrazione in output dal modello. Per l'NO₂ in Figura 2-24 e Figura 2-25 vengono riportate le medie annuali e la massima media oraria mentre, per il particolato con diametro medio delle particelle inferiore ai 10 µm, in Figura 2-26 e Figura 2-27 vengono riportate le medie annuali e la massima media giornaliera.

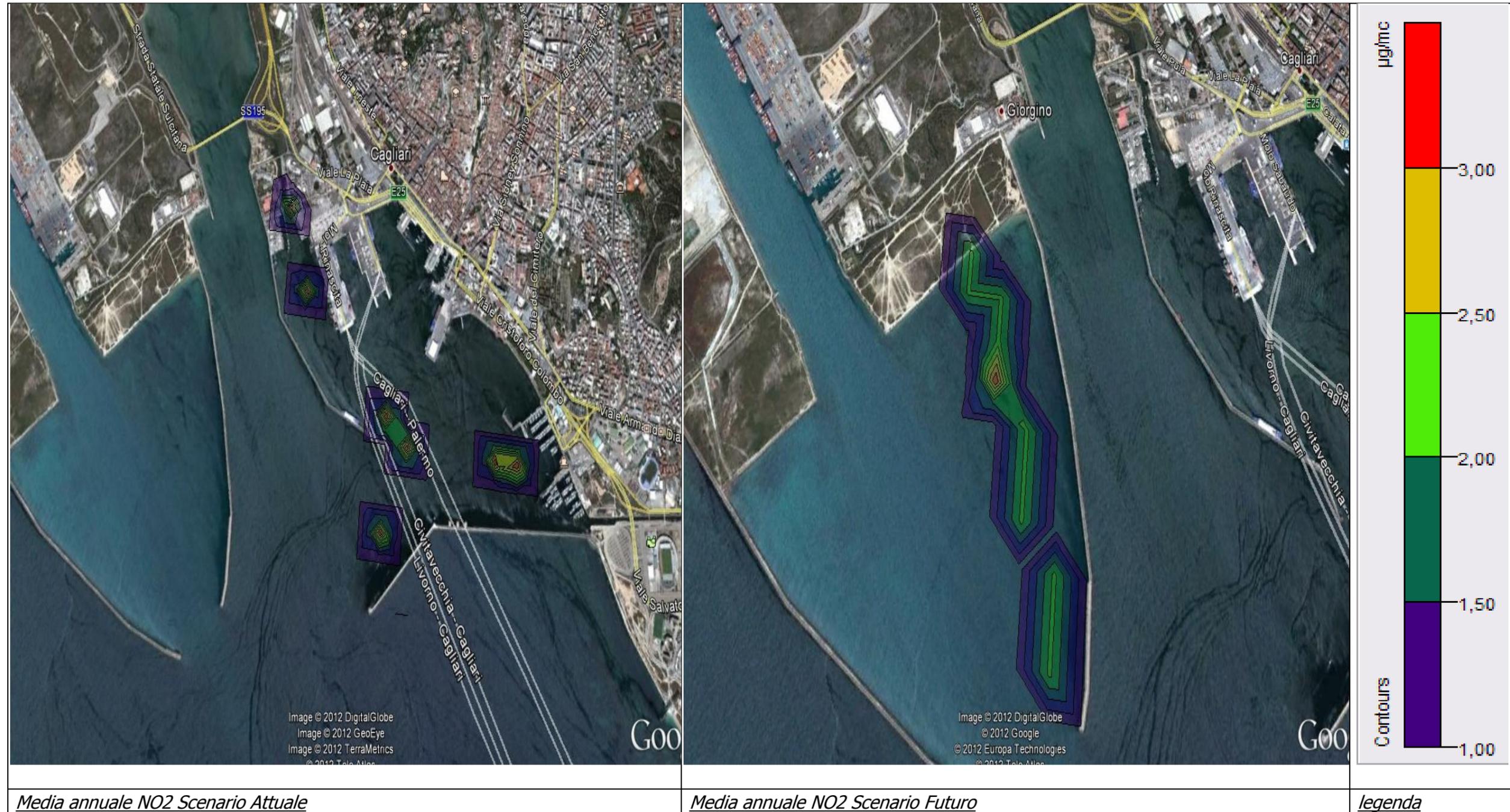


Figura 2-24 Concentrazione di NO_2 ($\mu\text{g}/\text{mc}$) Media Anno – Emissioni movimentazione navale da cantiere– Scenario Attuale e Futuro

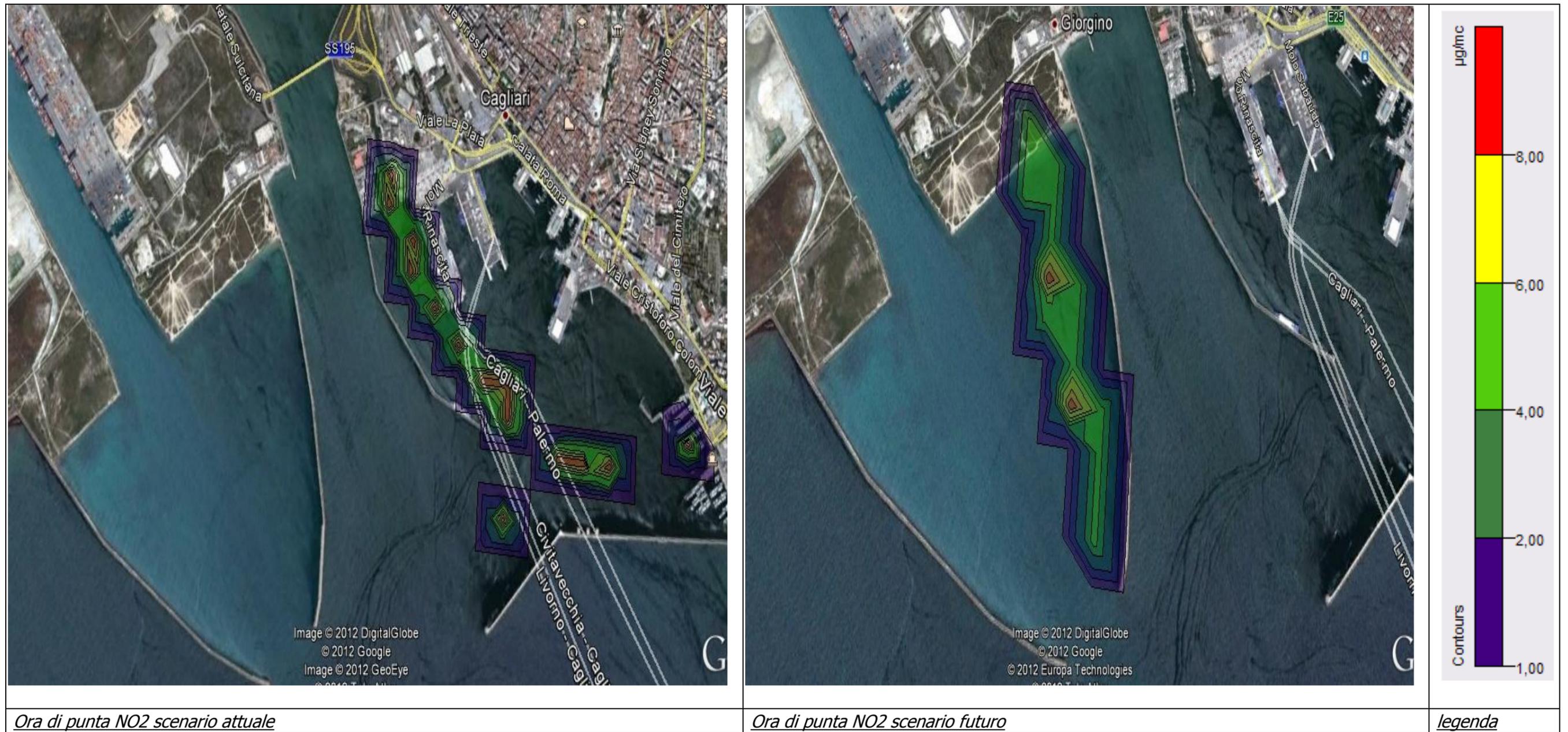
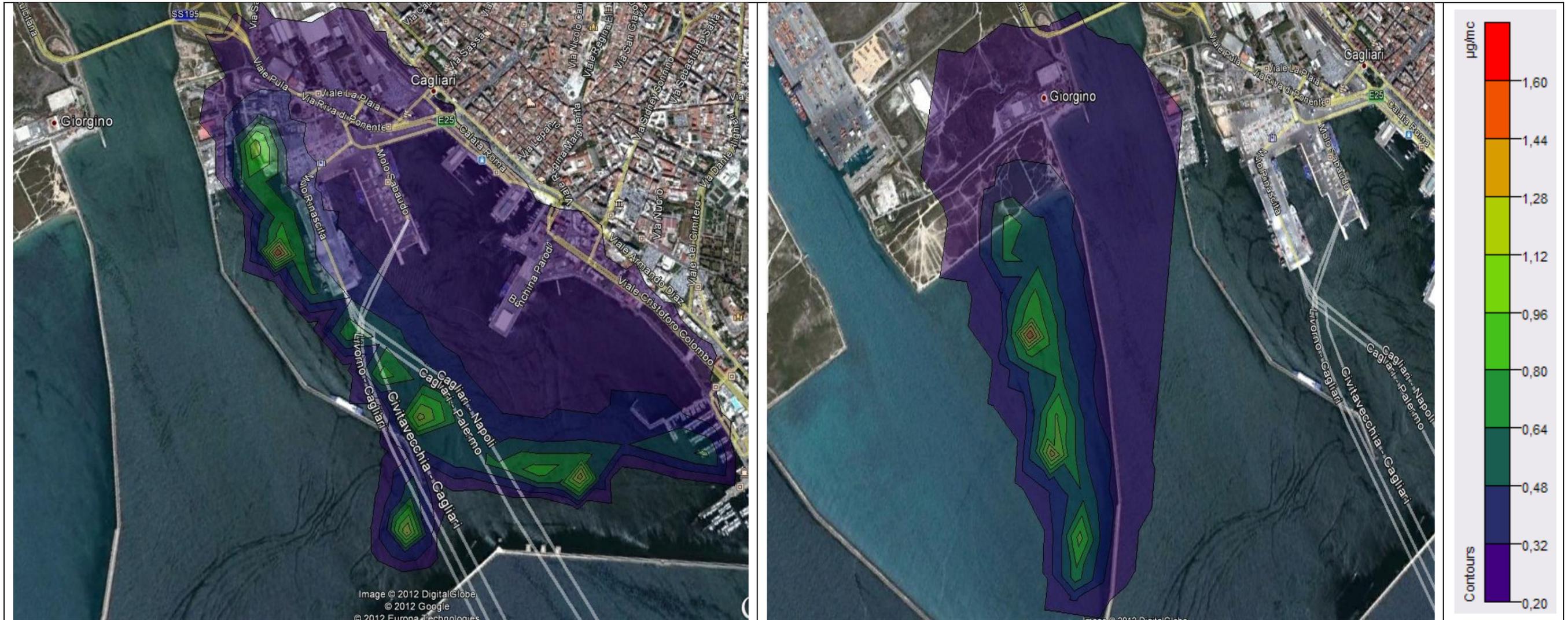


Figura 2-25 Concentrazione di NO₂ ($\mu\text{g}/\text{mc}$) riferita all'ora di punta – Emissioni movimentazione navale da cantiere – Scenario Attuale e scenario futuro



Media annuale PM10 Scenario Attuale

Media annuale PM10 Scenario Futuro

legenda

Figura 2-26 Concentrazione di PM10 (µg/mc) Media Anno – Emissioni movimentazione navale da cantiere – Scenario Attuale e Futuro



Figura 2-27 Concentrazione di PM10 (µg/mc) riferita all'ora di punta – Emissioni movimentazione navale da cantiere – Scenario Attuale e scenario futuro



2.4.4 Conclusioni

Prima di passare alla analisi conclusiva dello studio sopra illustrato, si vuole riportare all'attenzione del lettore la scelta di non procedere alla valutazione dello scenario programmatico. Tale decisione è influenzata dal fatto che i volumi di traffico auto veicolare previsti per lo scenario progettuale presentano un TGM medio per l'intero grafo superiore di circa il 2% rispetto a quello dello scenario programmatico (cfr. Quadro programmatico dello SIA). Pertanto a parità di movimentazioni di imbarcazioni da diporto connesse alle aree dei cantieri navali pure se in zone differenti del porto, la stima degli impatti corrispondenti al carico emissivo progettuale, sicuramente maggiore del corrispondente carico programmatico, assicura in entrambi gli scenari la corretta valutazione degli impatti.

Partendo dalla analisi degli attuali livelli di qualità dell'aria registrata dalla centralina del Mercato Ittico (orientata al monitoraggio del traffico) in merito ai livelli di PM10 e NO2 per l'anno 2010, possiamo osservare come per entrambi gli inquinanti ci troviamo in una situazione di piena compatibilità rispetto ai limiti previsti dal Decreto Legislativo 155/2010. Per il biossido di azoto si è riscontrato un valore medio annuo pari a 28,8 µg/mc a fronte di un limite di 40 µg/mc previsti ed un valore massimo orario che ha violato in una sola occasione sulle 18 consentite il limite dei 200 µg/mc. Per il particolato atmosferico con diametro massimo delle particelle pari a 10 µm, abbiamo registrato un valore medio annuo di 21,2 µg/mc contro un limite annuo di 40 µg/mc ed un valore medio giornaliero che ha superato in solo 7 occasioni sulle 35 consentite il valore massimo sulle 24 ore di 50 µg/mc. Tali risultati conducono ad un giudizio positivo circa la attuale qualità della aria nella zona interessata del progetto di ricollocamento della cantieristica del Porto di Cagliari previsto dall'attuale PRP vigente.

Per quanto attiene i risultati delle simulazioni delle ricadute delle emissioni relative ai traffici veicolari e a mare connessi con le attività della cantieristica da diporto riportiamo in Figura 2-24 la sintesi delle concentrazioni stimate:

Ricadute Emissioni	Attuale				2021			
	NO2 (µg/mc)		PM10 (µg/mc)		NO2 (µg/mc)		PM10 (µg/mc)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Max Media 1h	<1	<30			<1	<23		
Max Media 24h			<1	<12			<1	<9
Media Annua	<1	<11	<0,5	<4,6	<1	<9	<0,5	<3,2

Tabella 2-24 Ricadute emissioni totali



Da quanto riportato possiamo osservare come per entrambi gli inquinanti e per tutte le medie considerate ci sia una riduzione dei livelli stimati rispetto allo stato attuale.

Tale risultato dipende essenzialmente da tre fattori:

- Rinnovamento parco veicolare circolante a seguito evoluzione normativa emissiva europea per gli autoveicoli. Tale rinnovamento va a bilanciare l'aumento medio previsto del numero di veicoli che andranno ad interessare il grafo di rete considerato;
- Delocalizzazione delle attività della cantieristica portuale le cui emissioni pur non variando in maniera significativa in termini quantitativi tra i due scenari analizzati, avranno un minor impatto sulla qualità dell'aria. Lo spostamento delle attività di cantieristica in una porzione di territorio più ampia e meno antropizzata difatti faciliterà la diluizione degli inquinanti emessi;
- Alleggerimento del sistema della mobilità urbana grazie alla riduzione dei flussi veicolari per gli archi di rete viaria interni all'area comunale di Cagliari con conseguenti miglioramenti sulla fluidità stradale e sul carico emissivo locale derivante dagli scarichi degli autoveicoli.

In conclusione i risultati dello studio sugli impatti potenziali per la componente aria derivanti dal progetto in oggetto si ritengono non significativi per quanto detto.

2.5 Analisi interazione opera-componente – Fase Corso d'Opera

In queste pagine si sono analizzati i potenziali impatti sulla qualità dell'aria derivante dalla realizzazione del progetto in oggetto.

La determinazione dei fattori di emissione, delle emissioni e la valutazione dei risultati è condotta sulla base delle "Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" (redazione ARPA Toscana, adozione DGP Firenze n. 213 del 03/11/2009)

Nelle LLGG sono contenute le soglie di emissione al di sotto delle quali l'attività di trattamento di materiali polverulenti può essere ragionevolmente considerata compatibile con l'ambiente, derivanti dall'analisi effettuata tramite l'applicazione di modelli di dispersione.

Le LLGG, facendo riferimento ad una meteorologia tipica del territorio pianeggiante della Provincia di Firenze, considerando concentrazioni di fondo dell'ordine dei 20 µg/m³ ed un'emissione di durata pari a 10 ore/giorno, per il rispetto dei limiti di concentrazione per il PM10, individuano alcuni valori di soglia delle emissioni al variare della distanza tra recettore e sorgente, ed al variare della durata annua (in giorni/anno) delle attività che producono tale emissione.



In funzione di questo approccio metodologico, le LLGG definiscono sotto forma tabellare, per classi di durata delle attività (da < 100 gg/anno a > 300 gg/anno), i valori soglia per classi di distanza, associando un giudizio che può essere:

1. Nessuna azione
2. Monitoraggio presso il recettore e valutazione modellistica con dati sito specifici
3. Non compatibile, laddove tuttavia in ogni caso è possibile effettuare una valutazione modellistica che produca una quantificazione dell'impatto da confrontare con i valori limite di legge per la qualità dell'aria, e che quindi eventualmente dimostri la compatibilità ambientale dell'emissione.

I passaggi metodologici sono:

- Determinazione dei fattori di emissioni e delle emissioni relative a ciascuna delle attività costruttive ritenute maggiormente impattanti in termini di emissione di polvere;
- Valutazione delle emissioni sulla base dei criteri (durata delle attività e distanza dai ricettori) fissati dalle LLGG ArpaT
- Stima dei livelli di concentrazione attesi solo in corrispondenza del secondo e del terzo caso dei tre previsti dalle LLGG ArpaT, con modellazione attraverso ISC3 (Industrial Source Complex – EPA).

Sulla scorta della logica di lavoro definita dalle citate Linee Guida, per quanto concerne la analisi degli impatti determinati dai traffici di cantierizzazione, si è proceduto secondo le seguenti fasi:

- Analisi dei flussi di traffico di base relativi agli archi interessati dai flussi di cantierizzazione;
- Calcolo dei fattori di emissione allo scarico per gli inquinanti NO₂ e PM₁₀, mediante la metodologia CORINAIR – COPERT IV;
- Valutazione dell'incremento emissivo tra gli scenari ante operam e fase di realizzazione, mediante una parametrizzazione ad hoc, con l'individuazione di una soglia di discriminazione rispetto alla necessità di operare un più approfondito studio modellistico, condotto con il software Caline IV (CALTrans).

2.5.1 Analisi del progetto

Il presente studio, come detto, concerne il progetto denominato "Distretto Della Cantieristica", previsto dall'Autorità Portuale di Cagliari nei propri strumenti programmatici.

Il Distretto della cantieristica è collocato nella colmata est del porto canale di Cagliari ed occupa una superficie complessiva di circa 22.7 ha dei quali circa 3.2 ha



conquistati a mare mediante l'avanzamento di circa 71,50 m dell'attuale linea di riva. Le aree del Distretto sono state suddivise in n°15 lotti dei quali uno ha una superficie di circa 5 ha e consentirà l'insediamento di un cantiere in grado di fornire servizi di alaggio e varo, di carenaggio, di manutenzione/riparazione e di rimessaggio invernale per imbarcazioni di lunghezza fino a oltre 50 m (mega yacht e maxi yacht), quattro hanno una superficie di circa 1.35 ha e sono stati dimensionati per consentire l'insediamento di cantieri in grado di fornire lo stesso tipo di servizi per imbarcazioni di lunghezza fino a 35÷40 m, quattro hanno una superficie di circa 1.25 ha e sono stati dimensionati per consentire l'insediamento di cantieri in grado di fornire lo stesso tipo di servizi per imbarcazioni di lunghezza fino a 20÷25 m e 6 hanno mediamente una superficie di circa 3.500 mq e consentiranno l'insediamento di cantieri di più piccole dimensioni (per imbarcazioni fino a 12÷15 m), rimessaggi, laboratori artigiani e altre attività complementari con la nautica (falegnamerie, idraulici, elettricisti, arredatori, ecc.).

Nel dettaglio l'analisi dei potenziali impatti sulla qualità dell'aria nel corso della realizzazione delle opere incluse nel progetto in oggetto è stato suddiviso secondo due ambiti spaziali diversi:

- Per le aree di cantiere si indagherà delle emissioni del solo particolato nella sua frazione con diametro medio delle particelle <10 µm (PM10);
- Per la viabilità ordinaria si indagherà delle emissioni allo scarico di particolato nella sua frazione con diametro medio delle particelle <10 µm (PM10) e di Biossido di Azoto (NO₂).

A tal proposito in questo paragrafo vogliamo analizzare le attività costruttive per individuare, anche da un punto di vista quantitativo, quelle attività passibili di generare emissioni di PM10 ed NO₂ non trascurabili.

In buona sostanza la realizzazione del progetto in oggetto consiste nella:

- Realizzazione di una banchina di riva: Lungo il fronte lato mare del distretto della cantieristica è stata prevista la realizzazione di una banchina che in corrispondenza del canale interno di navigazione si interrompe per 40 m realizzando appunto l'ingresso nel canale. La soluzione tecnica adottata per la realizzazione del muro di banchina è del tipo a palancole metalliche con ancoraggio;
- Realizzazione di un canale di navigazione interno: per garantire anche ai lotti posti in seconda e terza fila un acceso indipendente a mare, in posizione baricentrica è stata prevista la realizzazione di un canale navigabile lungo circa 270 m e largo 50 m con fondale dragato a quota -3.50 m s.m. dimensionato per consentire il passaggio ad imbarcazioni di lunghezza fino a 25 m.



Analogamente alla banchina di riva, anche per la realizzazione delle banchine interne del canale, la tipologia costruttiva scelta è del tipo a palancole con ancoraggio.;

- Realizzazione del molo Sud e della banchina Est: allo scopo di aumentare la capacità delle casse di colmata per il contenimento dei materiali di risulta dei dragaggi dei fondali dei porti di Cagliari previsti nel nuovo P.R.P. e di ridurre quindi i volumi di materiali in esubero che non potendo essere collocati all'interno di vasche di colmata dovranno essere sversati a mare, per la realizzazione dei piazzali del molo Sud e della banchina Est è stato previsto l'impiego di materiali provenienti dai dragaggi eseguiti in ambito portuale. Considerato che i volumi degli scavi e dei dragaggi previsti nel presente progetto sono appena sufficienti per permettere la realizzazione del piazzale a tergo della banchina di riva del Distretto e di una parte, peraltro modesta, del piazzale della banchina Est, nel presente progetto è stata prevista la realizzazione solo della prima fase esecutiva del molo Sud e della banchina Est. In particolare in entrambi i casi è stata prevista la realizzazione lungo i rispettivi perimetri degli argini di delimitazione delle due colmate e degli argini interni alle vasche necessarie per la gestione dei sedimenti immessi al loro interno e delle acque di esubero che devono uscire durante le fasi di riempimento;
- Realizzazione del molo Ovest: Per garantire alla darsena operativa del Distretto della Cantieristica una adeguata protezione sia dal moto ondoso che "penetra" all'interno dell'avamposto del porto canale attraverso l'imboccatura che dalle onde generate dalle navi in transito dirette alle banchine del porto canale, è stata prevista la realizzazione di un molo di sottoflutto (molo Ovest) ad andamento curvilineo radicato al terrapieno dove è prevista la realizzazione del parco di S. Efisio;
- Realizzazione apertura molo di Levante: In ottemperanza alle prescrizioni contenute nel voto con il quale il consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha espresso parere favorevole sul nuovo P.R.P. dei porti di Cagliari, al fine di separare, per ovvi motivi di sicurezza della navigazione, il flusso delle imbarcazioni da diporto dirette al Distretto della nautica da quello delle Navi commerciali che frequentano il porto canale, lungo il molo guardiano di Levante, in corrispondenza della deviazione planimetrica presente a circa 480 m dalla radice del molo stesso, è stata prevista l'apertura di un varco di circa 80 m.

Per tutti i dettagli costruttivi si rimanda comunque al Quadro di Riferimento Progettuale.



Quindi la progettazione di cantiere è stata strutturata su i seguenti parametri:

- Produttività giornaliera media di scavo/movimentazione terre con mezzi gommati: ≈ 720 metri cubi al giorno;
- Produttività giornaliera media di dragaggio: ≈ 1133 metri cubi al giorno;
- Tipo e numero mezzi d'opera: ≈ 1 draga semovente auto caricante e refluyente + 4 macchine per la movimentazione terra,
- Percentuale di riutilizzo materiale dragato: $\approx 100\%$
- N° viaggi per movimentazione inerti : ≈ 24 viaggi al giorno (solo andata);
- Turno di lavoro: 8 ore;
- Durata complessiva attività: 24 mesi naturali e consecutivi (dalla analisi del cronoprogramma dei lavori si evince un certo grado di sovrapposizione delle attività e una durata di messa in opera del materiale scavato e approvvigionato minore dei 24 mesi considerati. Ma la scelta cautelativa ipotizzata nello studio emissivo (cfr. paragrafo 2.5.2) di sommare tutte le emissioni delle varie attività costruttive per la stima dei relativi impatti, come se le operazioni fossero eseguite in contemporanea, giustifica comunque la soluzione adottata di spalmare sull'intera durata dei cantieri i quantitativi di materiale movimentati e posati).

Dalla tipologia di attività ora descritta e dai parametri per la progettazione di cantiere si è passati all'individuazione delle attività ritenute maggiormente impattanti in termini emissivi e riportate nell'elenco seguente:

- Dragaggio;
- Formazione moli e banchine;
- Movimento mezzi su piste non asfaltate;
- Movimento mezzi su strade asfaltate.

Le attività ai precedenti punti a, b e c sono confinate all'interno dell'area di cantiere, mentre l'emissione relativa al movimento mezzi su strade asfaltate è relativa alle sole emissioni allo scarico dei mezzi di trasporto terre.

Tra le sorgenti di polveri sono stati trascurati i motori delle macchine operatrici, il cui contributo appare quantitativamente limitato. Analogamente sono state trascurate le emissioni generate dalle eventuali attività di preparazione dell'area di cantiere (scotico, sistemazione piazzale, ecc.), che, benché comportino lavori di movimento terra, hanno una durata ridotta. Per queste attività si prevede comunque una riduzione della polverosità attraverso eventuale bagnatura sistematica del terreno.



2.5.2 Stima delle emissioni

Le emissioni sono state stimate a partire dalla analisi del progetto eseguita in precedenza, andando poi a determinare i fattori di emissione e le emissioni sulla base delle "Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" (redazione ARPA Toscana, adozione DGP Firenze n. 213 del 03/11/2009), linee guida che si rifanno ai dati e modelli dell'US-EPA riportati nel documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, utilizzando i parametri di cantierizzazione elencati nel precedente paragrafo.

Si precisa come, in via cautelativa, saranno sommate le emissioni di tutte le attività in precedenza individuate (punti a, b e c) per determinare le emissioni orarie dell'area di cantiere, come se i mezzi e gli addetti alla costruzione fossero sempre contemporaneamente all'opera.

Si fa presente che i fattori di emissione forniti dall'EPA sono in genere riferiti al Particolato Totale (PTS), dal quale per ricavare le emissioni di PM10 si è ipotizzato, in analogia a quanto riportato nelle LLGG citate, che queste corrispondano al 60% delle emissioni di PTS.

Inoltre, sempre in analogia alle LLGG citate, si è assunta una densità del materiale pari a 1.7 Mg/m³.

2.5.2.1 Emissioni relative alle attività di dragaggio

Il dragaggio è l'operazione di scavo eseguita da una imbarcazione (battello-draga) mediante draghe (macchine scavatrici) per asportare sabbia, ghiaia e detriti da un fondo subacqueo, sia in acque marine poco profonde sia in zone di acqua dolce, e rilocarli altrove.

Nel progetto in oggetto la quantità di materiale dragato saranno interamente riutilizzati in loco per fini costruttivi e/o di riempimento.

In termini esemplificativi di modellizzazione di tali attività ai fini della loro quantificazione in termini di emissioni di polveri in aria, possiamo rappresentare le operazioni di dragaggio come quelle di scavo e carico mezzi movimento terra, mezzi che in questo caso ipotizziamo non presenti in quanto la draga è assunta di tipo semovente e dotata di sistema di tubazioni per il riutilizzo diretto del materiale dragato.

Nella tabella seguente sono indicati i valori dei fattori di emissione assunti per le singole attività di scavo e carico del materiale, da cui una volta inseriti i valori dei parametri necessari al calcolo dell'emissione oraria si ricaverà, come somma delle singole emissioni, il valore in g/h da utilizzare per la stima degli impatti secondo le LLGG citate.



SCAVO	FATTORE EMISSIONE	NOTE
Fattore di emissione PM10 EPA 30502760 Sand Handling, transfer and storage	FE = 0.0004 kg/Mg	Si dovrà stabilire il peso in Mg del materiale trattato per ora di attività
CARICO MATERIALE	FATTORE EMISSIONE	NOTE
Fattore di emissione PM10 EPA 30502031 Truck Loading Conveyor	FE = 0.0001 kg/Mg	Si dovrà stabilire il peso in Mg del materiale trattato per ora di attività

Tabella 2-25 Fattori di Emissionedi PM10 prodotto durante le attività di costruzione in oggetto. [Rif.:EPA-AP-42]

Quindi assunti i seguenti parametri:

- Produttività oraria in base ai parametri di cantierizzazione adottati = 241.4 Mg/h.

Procedendo ai calcoli relativi si arriva ad una emissione oraria pari a:

$$E_{\text{dragaggio}} = 121 \text{ g/h}$$

A questo punto però occorre effettuare alcune considerazioni sullo stato del materiale dragato, in particolare in merito al suo contenuto di umidità (moisture content). Difatti come indicato nelle LLGG citate a proposito dei sistemi di controllo e abbattimento delle polveri prodotte nel corso di attività che trattano materiali potenzialmente polverulenti, più il terreno è asciutto minore è l'efficienza di rimozione. In particolare In base all'andamento sperimentale della curva mostrata in figura più è alto il contenuto di umidità nel materiale trattato minore è la sua emissione di polveri nel corso del trattamento.

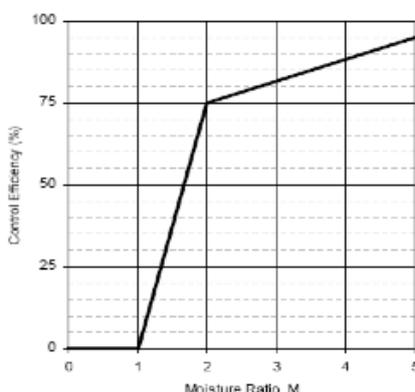


Figura 2-28 Andamento dell'efficienza di abbattimento delle emissioni in funzione del contenuto di umidità

Nel caso di specie il contenuto di umidità del materiale dragato è molto alto rispetto al materiale secco e in via cautelativa potremmo assumerlo pari 2, quindi il valore di emissione sarà ridotto a:

$$E_{\text{dragaggio, rid.}} = 121 * 0,75 \text{ g/h} = 30,2 \text{ g/h}$$

2.5.2.2 Emissioni attività per la costruzione di moli e banchine

Un'altra attività suscettibile di produrre emissioni di polveri è quella che coinvolge la formazione di moli e banchine, attività che possono essere assimilate in termini emissivi alla formazione e stoccaggio del materiale in cumuli.

Il fattore di emissione è riportato nella tabella seguente e da questo una volta inseriti gli idonei parametri, sarà calcolata l'emissione in g/h :

STOCCAGGIO	FATTORE EMISSIONE	NOTE
Fattore di emissione PM10 EPA 13.2.4 Aggregate Handling and Storage Piles	$FE \text{ (kg/Mg)} = k (0.0016) (u/2.2)^{1.3} (M/2)^{1.4}$	Si dovrà stabilire i quantitativi in Mg di materiale stoccato, indicando: k, coefficiente che dipende dalle dimensioni del particolato, u velocità del vento (m/s) e M contenuto in percentuale di umidità

Tabella 2-26 Fattori di Emissione di PM10 prodotto durante le attività di costruzione in oggetto. [Rif.:EPA-AP-42]



Quindi assunti i seguenti parametri:

- Coefficiente k per PM10=0.35;
- Velocità del vento = Velocità media comune Cagliari (2.2 m/s);
- Contenuto di umidità nel terreno assunto come da AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors - Table 13.2.4-1. Typical silt and moisture contents of materials at various industries, per la pietra (Various limestone) = 2.1%;
- Produttività oraria in base ai parametri di cantierizzazione adottati = 90 Mg/h.

Procedendo ai calcoli relativi si arriva ad una emissione oraria pari a:

$$E_{\text{moli e banchine}} = 91,7\text{g/h}$$

2.5.2.3 Emissioni attività movimento stradenon asfaltate

Un'altra attività suscettibile di produrre emissione di polveri è lo spostamento dei mezzi sulle piste di cantiere non asfaltate e aree di cantiere.

Nel caso di specie consideriamo le piste di lunghezza massima pari ad 1 km.

L'emissione relativa sarà sommata alle altre per determinare l'emissione complessiva. Il fattore di emissione è riportato nella tabella seguente e da questo una volta inseriti gli idonei parametri, sarà calcolata l'emissione in g/h :

PISTE NON ASFALTATE	FATTORE EMISSIONE	NOTE
Fattore di emissione PM10 EPA 13.2.2 Unpaved Roads	$FE \text{ (kg/km)} = k (0.2891) (s/12)^a (W/3)^b$	Si dovrà stabilire i km percorsi per ora di attività e fornire il contenuto di limo del materiale trattato (s), il peso medio del veicolo (W), i coefficienti k, a e b.

Tabella 2-27 Fattori di Emissione di PM10 prodotto durante le attività di costruzione in oggetto. [Rif.:EPA-AP-42]

Quindi assunti i seguenti parametri:

- Il valore delle costanti k, a e b, per il PM10 sono assunti, come da AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors - Table 13.2.2-2. Constants for equations 1a and 1b, rispettivamente pari a: 1.5, 0.9 e 0.45;
- I valori di limo (silt) per cui è valida l'espressione sopra riportata rientrano nell'intervallo tra 1.8% e 25.2%. Poiché la stima di questo parametro è



difficile, in mancanza di informazioni specifiche si adotta un valore compreso tra 12% e 22% come suggerito dalle LLGG: 12%;

- Peso medio veicoli utilizzati per il trasporto terre, ipotizzando che i mezzi utilizzati siano assimilabili ad autocarri da 30 mc con peso a vuoto di 160 quintali, il peso medio di tali mezzi (carichi in entrata e scarichi in uscita o viceversa) è assunto pari a = 41 tonnellate ;
- Distanza media percorsa su pista non asfaltata: 100 m .

Procedendo ai calcoli relativi si arriva ad una emissione oraria pari a:

$$E_{\text{piste non asfaltate}} = 413,9 \text{ g/h}$$

2.5.2.4 Emissioni attività movimento strade asfaltate.

Un'altra emissione di inquinanti dell'aria connessa con le attività di costruzione del progetto in analisi è quella relativa ai rilasci allo scarico dei mezzi adibiti al trasporto terre. Emissioni che non sono confinate nell'area di cantiere ma che vengono distribuite lungo tutto il percorso di viabilità locale seguito da tali mezzi per raggiungere il punto di carico/scarico e per far ritorno al cantiere.

Le emissioni considerate in questostudio sono relative, come detto, agli inquinanti PM10 e NO2 e il relativo tasso emissivo sarà calcolato attraverso la metodologia COPERT IV. Metodologia che si applica ad auto passeggeri, veicoli commerciali leggeri e pesanti, bus, motocicli e ciclomotori, suddivisi per classi di cilindrata, o portata, tipo di alimentazione e normativa di riferimento. COPERT IV Permette la stima delle emissioni di tutti gli inquinanti regolamentati dalla normativa europea (CO, NOx, COVNM, PM) e della CO2 sulla base dei consumi di combustibile. Vengono altresì calcolate le emissioni di alcuni inquinanti non regolamentati come CH4, N2O, NH3, SO2, metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), inquinanti organici persistenti (POP) e infine fornisce le emissioni di COVNM suddivise nelle singole specie.

La stima delle emissioni viene effettuata in base alla scelta di un insieme di parametri quali velocità medie, percorrenze e curve di consumo ed emissione "speed-dependent"; queste ultime vengono fornite dagli autori del modello come "best fitting" di diverse curve relative a prove sperimentali, solitamente definite in letteratura "cicli di guida". Le emissioni totali sono calcolate dal software come prodotto dei dati di attività forniti dall'utilizzatore con i fattori di emissione dipendenti dalle velocità.

Le emissioni stimate possono generalmente considerarsi costituite da tre componenti:



- emissioni prodotte durante l'attività del motore stabilizzato termicamente: emissioni "a caldo" (hot emission);
- emissioni generate durante la partenza a temperatura ambiente: partenza a freddo (cold over-emission). Convenzionalmente, sono le emissioni che si verificano quando la temperatura dell'acqua di raffreddamento è inferiore a 70°C. Alla somma delle emissioni a caldo e di quelle a freddo viene abitualmente dato il nome di emissioni allo scarico (exhaust emission);
- emissioni di COVNM dovute all'evaporazione del combustibile.

Le emissioni a caldo sono stimate per tutte le tipologie di veicoli, le emissioni a freddo per i veicoli leggeri, quelle evaporative sono rilevanti per i soli veicoli a benzina. Il modello COPERT considera le informazioni relative al parco circolante suddiviso per tipologia di veicolo (autovetture passeggeri, veicoli commerciali leggeri, bus e veicoli commerciali pesanti, ciclomotori e motoveicoli), tipo di combustibile utilizzato (benzina, gasolio, gas di petrolio liquefatto), classe di anzianità, in relazione alle normative europee di introduzione di dispositivi per la riduzione delle emissioni, classe di cilindrata (per le autovetture) o di peso complessivo (per i veicoli commerciali); a ciascuna classe dei veicoli così ripartiti sono associate altre informazioni relative alle condizioni di guida quali le percorrenze medie annue e le velocità medie distinte in base al ciclo di guida ovvero alla tipologia di percorso effettuato (urbano, extraurbano, autostradale). Ad ogni classe e per ciascun inquinante sono associate delle funzioni di stima delle emissioni e dei consumi dipendenti dalla velocità.

Nel presente studio si è adottato il fattore di emissione medio per veicoli pesanti calcolato rispetto al parco veicolare caratteristico della provincia di Cagliari.

I fattori adottati sono riportati in tabella:

INQUINANTE	FATTORE EMISSIONE (g/Km*veh)
NOx	6,4
PM10	0,28

Tabella 2-28 Fattori di emissione allo scarico [Rif.:COPERT IV]

Considerato che nel presente studio si è stabilito che i viaggi giornali sono circa 3 di andata e 3 di ritorno, abbiamo assunto che nell'ora si muovono circa 3 camion per chilometro di viabilità ordinaria impegnata dai mezzi d'opera.

La metodologia impiegata nel calcolo degli impatti è stata strutturata sui seguenti punti:



1. Calcolo delle emissioni per ogni tratto considerato nello studio di traffico relativo e per il quale si riportano le tabelle seguenti, in cui si evidenzia il valore emissivo senza il traffico pesante indotto dai cantieri e con il traffico indotto (riportata di seguito nel presente paragrafo)
2. Valutazione dell'incremento dovuto alle emissioni allo scarico dei veicoli pesanti connessi con le lavorazioni rispetto alle emissioni derivanti dai flussi normalmente presenti sulle strade interessate (riportata nel paragrafo 2.4.2).

INQUINANTE	FATTORE EMISSIONE (g/Km*giorno)
NOx	307,2
PM10	13,44

Tabella 2-29 Emissione allo scarico mezzi d'opera strade asfaltate [Rif.:COPERT IV]

2.5.3 Conclusioni

Per quanto concerne la valutazione degli impatti delle emissioni calcolate nei paragrafi precedenti per le attività di cantiere si procederà, come detto, al confronto del valore dell'emissione in g/h con i valori riportati in Tabella 2-30 (i valori sono anch'essi espressi in g/h), che fanno riferimento alle soglie assolute di emissione di PM10 secondo le LLGG citate.

Tali soglie sono valide nelle ipotesi che il terreno sia piano e le concentrazioni di fondo siano intorno ai 20 µg/m³, condizioni che sono rispettate dal nostro ambito di studio.

Intervallo distanza (m)	Giorni di emissione annui					
	>300	300 – 250	250 – 200	200 – 150	150 – 100	<100
0 - 50	145	152	158	167	180	208
50 - 100	312	321	347	378	449	628
100 – 150	608	663	720	836	1038	1492
>150	830	908	986	1145	1422	2044

Tabella 2-30 Soglie assolute di emissione di PM10

Nel caso specifico la nostra emissione, in assenza di opere e/o attività di mitigazione, corrisponde nel suo complesso a 535.8 g/h che per una durata delle attività superiore ai 300 giorni non rispetterebbe per distanze fino a 100 m, né i valori in Tabella 2-30 né ovviamente i valori di tale tabella ridotti del fattore di sicurezza come proposto dalla succitate LLGG.



D'altronde tenendo conto che la progettazione di cantiere prevede tutta una serie di opere e attività atte alla mitigazione dei potenziali impatti sulla qualità dell'aria (cfr.paragrafo 2.5), in particolare rispetto alla produzione di polveri nell'area di cantiere sul fronte avanzamento lavori, possiamo ritenere che le emissioni di polveri effettivamente prodotte nel corso delle attività di costruzione siano sensibilmente ridotte. In particolare come riportato dalle LLGG relativamente ai sistemi di controllo e abbattimento, si può considerare che un buon programma di trattamento superficiale del terreno, soprattutto delle pistedi cantiere, consenta una riduzione delle emissioni che oscillada un minimo del 50% ad un massimo superiore al 90%. Nel nostro caso ipotizzando un'efficienza di abbattimento del 70%, avremmo una emissione complessiva ridotta pari a 181,8 g/h e considerato che intorno alle aree di cantiere l'unica zona con insediamenti residenziali è il rione marittimo di Giorgino che dista oltre 250 m dalle zone di attività, il valore così stimato è in linea sia con quanto riportato in Tabella 2-30 sia rispetto a gli stessi valori riportati in tabella e ridotti di un fattore di sicurezza pari a 2 come proposto dalle LLGG.

Per quanto concerne la valutazione degli impatti delle emissioni relative al movimento dei mezzi trasporto terre sulla viabilità ordinaria si è proceduto con la classificazione seguente che tiene conto della variazione nello scenario emissivo in corso d'opera rispetto allo stesso arco stradale in ante operam:

Variazione %	Impatto
<5%	Nessun Impatto
>5%	Valutazione modellistica della ricaduta

Tabella 2-31 Soglie variazione emissione per PM10 e NO2 allo scarico rispetto ante operam

In base a quanto calcolato in Tabella 2-32 e in base alle soglie fissate in Tabella 2-31, l'incremento dei flussi veicolari di mezzi pesanti a causa della presenza dei cantieri di costruzione non genererà impatti significativi nelle aree.



Arco	Inquina.	TGM	Mezzi	Emissione	Emissione	Variazione
		Attuale		AO	CO	CO/AO
		Veic/d	Veic/d	g/km*d	g/km*d	%
Arco SS195	NOx	12.068	48	7181	543	4,28
intorno a Porto Canale	PM10	12.068	48	307	13	2,48

Tabella 2-32 Variazione emissione per PM10 e NO2 allo scarico rispetto ante operam

La scelta di stimare la variazione delle emissioni per il solo tratto della SS195 – Strada Statale Sulcitana che cinge il Porto Canale, scaturisce dalla considerazione che questo tratto è il più impattato rispetto all’aumento numerico dei veicoli pesanti che su di esso transitano nel periodo di costruzione del nuovo distretto della cantieristica del Porto di Cagliari.



Figura 2-29 Arco della SS195 analizzato

La verifica dell’assenza di impatti per questo tratto assicura il rispetto della qualità dell’aria ante operam anche per la restante viabilità interessata dai flussi di cantiere che, tra l’altro, tendono a disperdersi su più percorsi diluendo il carico emissivo corrispondente su una superficie maggiore.

2.5.4 Interventi di mitigazione per l’abbattimento delle emissioni di polvere

Le principali problematiche indotte dalla fase di realizzazione delle opere in progetto sulla componente ambientale in questione riguardano essenzialmente la produzione



di polveri che si manifesta sia nelle aree di cantiere che lungo strade interessate dal passaggio dei mezzi d'opera per il trasporto terre.

Per il contenimento delle emissioni delle polveri nelle aree di cantiere e nelle aree di viabilità dei mezzi utilizzati, i possibili interventi volti a limitare le emissioni di polveri possono essere distinti in:

- Interventi per la riduzione delle emissioni di polveri nelle aree di attività e dai motori dei mezzi di cantiere;
- Interventi per la riduzione delle emissioni di polveri nel trasporto degli inerti e per limitare il risollevarimento delle polveri.

Con riferimento al primo punto, gli autocarri e i macchinari impiegati nel cantiere dovranno avere caratteristiche rispondenti ai limiti di emissione previsti dalla normativa vigente.

A tal fine, allo scopo di ridurre il valore delle emissioni inquinanti, potrà ipotizzarsi l'uso dei motori a ridotto volume di emissioni inquinanti ed una puntuale ed accorta manutenzione.

Per quanto riguarda la produzione di polveri indotta dalle lavorazioni e dalla movimentazione dei mezzi di cantiere potranno essere adottate alcune cautele atte a contenere tale fenomeno.

In particolare al fine di contenere la produzione di polveri generata dal passaggio dei mezzi di cantiere occorrerà effettuare la bagnatura periodica della superficie di cantiere. Tale intervento sarà effettuato tenendo conto del periodo stagionale con un aumento di frequenza durante la stagione estiva e in base al numero di mezzi circolanti nell'ora sulle piste. L'efficacia del controllo delle polveri con acqua dipende essenzialmente dalla frequenza con cui viene applicato.

Per il contenimento delle emissioni di polveri nel trasporto degli inerti si prevede l'adozione di opportuna copertura dei mezzi adibiti al trasporto.

Al fine di evitare il sollevamento delle polveri i mezzi di cantiere dovranno viaggiare a velocità ridotta e dovranno essere lavati giornalmente nell'apposita platea di lavaggio e dovrà prevedersi la pulizia ad umido degli pneumatici degli autoveicoli in uscita dal cantiere;

Si dovranno ridurre nel minor tempo possibile le superfici non asfaltate e per ciò che riguarda la viabilità al contorno dell'area di cantiere, si provvederà a mantenere puliti i tratti viari interessati dal passaggio dei mezzi.

Si dovrà definire un layout di cantiere tale da aumentare la distanza delle sorgenti potenziali di polvere dalle aree critiche, con particolare attenzione alle aree residenziali sottovento. A tal proposito nella fase di progettazione sono state già tracciate alcune ipotesi di viabilità da definire in fase di predisposizione dei lavori di infrastrutturazione delle aree progettate nel PRP (zone G2e e G5a), come si evince



dalla Figura 2-30, al fine di ridurre al minimo i potenziali fastidi ai residenti del rione marittimo di Giorgino.



Figura 2-30 Ipotesi di viabilità da definire in fase di predisposizione dei lavori di infrastrutturazione delle aree progettate nel PRP (zone G2e e G5a)

APPENDICE

La metodologia di calcolo delle emissioni: COPERT IV

Il modello di calcolo denominato COPERT (Computer Programme to calculate Emissions from Road Traffic) (Eggleston et al.1993) è basato su un ampio insieme di parametri che tengono conto delle caratteristiche generali del fenomeno e delle specifiche realtà di applicazione.

Il programma è stato finanziato e sviluppato dall'EEA, nel quadro delle attività dello European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC), per fornire un insieme di strumenti ai paesi europei per la realizzazione degli inventari annuali delle emissioni, al fine di raccogliere, in modo trasparente e standardizzato, dati coerenti e comparabili insieme a procedure di raccolta e presentazione in accordo con le specifiche delle convenzioni e dei protocolli internazionali, nonché della legislazione dell'Unione Europea.

COPERT IV è un programma MS ACCESS© in ambiente Windows©.

Si tratta del quarto aggiornamento della metodologia sviluppata da un gruppo di lavoro internazionale e che attualmente è rivolta verso diverse attività, come il programma COST 319 (COST, 1998) per la stima delle emissioni del settore dei trasporti, il progetto MEET (Methodologies to Estimate Emissions from Transport) finanziato dalla Commissione Europea (DG VII) nel quadro del 4° Programma Quadro nell'area dei Trasporti e, nello stesso Programma Quadro, il programma di "ispezione



e revisione" (Inspection and Maintenance Programme) finanziato dalle DG XI, DG VII e DG XVII (I/M, 1998).

L'applicazione software della metodologia COPERT IV è stata sviluppata per la compilazione di inventari nazionali su base annuale, comunque è stata anche utilizzata con un grado accettabile di approssimazione anche ad una risoluzione più alta, come per la compilazione di inventari urbani e con una risoluzione spaziale di 1x1 km² e risoluzione temporale di 1 ora. Un modulo software addizionale e separato stima le emissioni dirette da motori a combustione interna utilizzati in applicazioni "off-road" come agricoltura, silvicoltura, giardinaggio, industria, navigazione, ferrovie. COPERT IV si applica ad auto passeggeri, veicoli commerciali leggeri e pesanti, bus, motocicli e

ciclomotori suddivisi per classi di cilindrata, o portata, tipo di alimentazione, normativa di riferimento.

Permette la stima delle emissioni di tutti gli inquinanti regolamentati dalla normativa europea (CO, NO_x, COVNM, PM) e della CO₂ sulla base dei consumi di combustibile. Vengono altresì calcolate le emissioni di alcuni inquinanti non regolamentati come CH₄, N₂O, NH₃, SO₂, metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), inquinanti organici persistenti (POP) e infine fornisce le emissioni di COVNM suddivise nelle singole specie.

La stima delle emissioni viene effettuata in base alla scelta di un insieme di parametri quali velocità medie, percorrenze e curve di consumo ed emissione "speed-dependent"; queste ultime vengono fornite dagli autori del modello come "best fitting" di diverse curve relative a prove sperimentali, solitamente definite in letteratura "cicli di guida".

Nell'ambito di questo studio per omogeneità con la terminologia di COPERT, il termine "ciclo di guida" (per esempio urbano, extra urbano autostradale) denoterà complessivamente la tipologia emissiva stimata dal modello per ciascun tipo di percorso (urbano, extra urbano autostradale), tenendo conto dell'insieme dei parametri di base che lo caratterizzano.

Le emissioni totali sono calcolate dal software come prodotto dei dati di attività forniti dall'utilizzatore con i fattori di emissione dipendenti dalle velocità.

Le emissioni stimate possono generalmente considerarsi costituite da tre componenti:

- emissioni prodotte durante l'attività del motore stabilizzato termicamente: emissioni "a caldo" (hot emission);
- emissioni generate durante la partenza a temperatura ambiente: partenza a freddo ed effetti di preriscaldamento (cold over-emission).
Convenzionalmente, sono le emissioni che si verificano quando la temperatura dell'acqua di raffreddamento è inferiore a 70°C. Alla somma delle emissioni a



caldo e di quelle a freddo viene abitualmente dato il nome di emissioni allo scarico (exhaust emission);

- emissioni di COVNM dovute all'evaporazione del combustibile.

Le emissioni a caldo sono stimate per tutte le tipologie di veicoli, le emissioni a freddo per i veicoli leggeri, quelle evaporative sono rilevanti per i soli veicoli a benzina.

Il modello COPERT considera le informazioni relative al parco circolante suddiviso per tipologia di veicolo (autovetture passeggeri, veicoli commerciali leggeri, bus e veicoli commerciali pesanti, ciclomotori e motoveicoli), tipo di combustibile utilizzato (benzina, gasolio, gas di petrolio liquefatto), classe di anzianità, in relazione alle normative europee di introduzione di dispositivi per la riduzione delle emissioni, classe di cilindrata (per le autovetture) o di peso complessivo (per i veicoli commerciali); a ciascuna classe dei veicoli così ripartiti sono associate altre informazioni relative alle condizioni di guida quali le percorrenze medie annue e le velocità medie distinte in base al ciclo di guida ovvero alla tipologia di percorso effettuato (urbano, extraurbano, autostradale).

Ad ogni classe e per ciascun inquinante sono associate delle funzioni di stima delle emissioni e dei consumi dipendenti dalla velocità.

Tali funzioni rappresentano delle curve medie di emissione e di consumo di carburante ricavate da misure sperimentali per diverse tipologie e marche di veicoli e si riferiscono a prove realizzate in vari paesi europei, su una varietà di cicli di guida urbani ed extraurbani, inclusi quelli previsti dalle varie normative europee. Non sono ancora disponibili studi completi che consentano di utilizzare specifiche curve nazionali, ma nelle prossime versioni del software saranno inseriti dati di misura provenienti da prove realizzate sul parco nazionale.

Il modello di simulazione della dispersione: CALINE 4

Il modello si fonda sul concetto di zona di rimescolamento per caratterizzare la dispersione degli inquinanti sopra la sede stradale ed utilizza l'equazione di diffusione gaussiana di seguito riportata:

$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) * \left[\exp\left(-\frac{(z-z_s)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+z_s)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

dove: c = concentrazione nel punto $P(x,y,z)$ espressa in $\mu g/m^3$.
 z_s = altezza effettiva dell'emissione espressa in metri.



Q = portata di inquinanti completamente immessa in atmosfera espressa in g/s .

u = velocità media del vento espressa in m/s .

σ_y, σ_z = deviazioni standard della distribuzione di concentrazione, rispettivamente lungo l'asse y e l'asse z , espresse in metri.

Per la stima dei coefficienti della dispersione orizzontale e verticale si può ricorrere ad un metodo semiempirico che utilizza i dati meteorologici per individuare le classi di stabilità dell'atmosfera e poi sulla base di risultati di esperimenti di diffusione con traccianti descrive gli andamenti di σ_y e σ_z in funzione di x (distanza dalla sorgente) per ogni classe di stabilità.

Premesso che l'assunzione fondamentale dell'approccio gaussiano, cioè la distribuzione normale delle concentrazioni, si verifica in realtà in situazioni assolutamente ideali di stazionarietà del fenomeno e di turbolenza omogenea dell'atmosfera, il modello che ne deriva ha comunque nella semplicità e nella praticità dell'applicazione importanti vantaggi che ne fanno strumento di larghissimo impiego. Dato che *CALINE4* restituisce i valori medi orari delle concentrazioni di inquinanti, è necessario fornire al modello dati di input mediati sull'ora sia riguardanti la meteorologia sia le informazioni sul traffico relative ai tratti stradali considerati.

Lo studio può essere condotto sia rappresentando le sorgenti e le condizioni meteorologiche tramite i valori medi che si registrano più frequentemente, sia inserendo come input i dati rappresentativi della situazione peggiore che può verificarsi utilizzando per la direzione del vento, principale responsabile del destino degli inquinanti, l'ipotesi worst-case, in questo modo il modello considera, per ogni singolo punto recettore, il vento diretto dalla sorgente emissiva verso il punto stesso. Il modello considera inoltre lo spazio direttamente sopra la sede stradale come una zona di emissioni uniforme e turbolenta. Tale zona è chiamata 'mixing zone' ed è definita come la regione al di sopra del manto stradale fino a 3 metri lateralmente alla strada. La larghezza addizionale tiene conto dell'iniziale dispersione orizzontale creata dalla scia dei veicoli. All'interno della *mixing zone* si assume che i principali fenomeni di dispersione siano la turbolenza meccanica indotta dal moto veicolare e la turbolenza termica causata dagli scarichi gassosi a temperatura elevata simulando il parametro di dispersione iniziale verticale in funzione del tempo di residenza dell'inquinante entro la mixing zone.

Il modello *CALINE4* è stato verificato dall'EPA usando i dati ricavati da molti studi effettuati in campo. Questi studi hanno rappresentato un'ampia varietà delle possibili applicazioni del modello e sono stati svolti nella maggior parte dei casi mediante gas "traccia" rilasciati in condizioni note. Questo tipo di dato offre la migliore verifica diretta di *CALINE4* perché elimina il bisogno di valutare un fattore di emissione composito.



Dagli studi effettuati sono stati ricavati diversi grafici riportanti le concentrazioni restituite dal modello e quelle invece rilevati con adeguati strumenti di misura.

Almeno il 75% dei dati stimati rientrano nei criteri minimi per giudicare adeguate le prestazioni di un modello di dispersione degli inquinanti, indicati in figura dall'area interna alle due rette di colore rosso.

Bisogna inoltre sottolineare che la maggior parte dei punti che cadono all'esterno di tale area rappresentano comunque sovrappredizioni della situazione reale, mantenendosi quindi in condizioni di sicurezza.

Il tipo di risultato esibito nel grafico è tipico della comparazione dei risultati di un modello gaussiano ai dati misurati. L'insieme dei dati misurati contengono risultati mediati su un periodo di tempo durante il quale avvengono variazioni significative della direzione del vento; queste variazioni tendono ad abbassare le concentrazioni di picco per i recettori sottovento diffondendo le emissioni su un'area più grande. Il modello gaussiano presume che la direzione del vento assegnata sia costante nel tempo, e che la variabilità nella direzione sia distribuita normalmente. Si avrà una sovrappredizione quando la direzione prevalente del vento utilizzata nel modello ricade all'interno delle due direzioni di vento prevalenti realmente misurate.

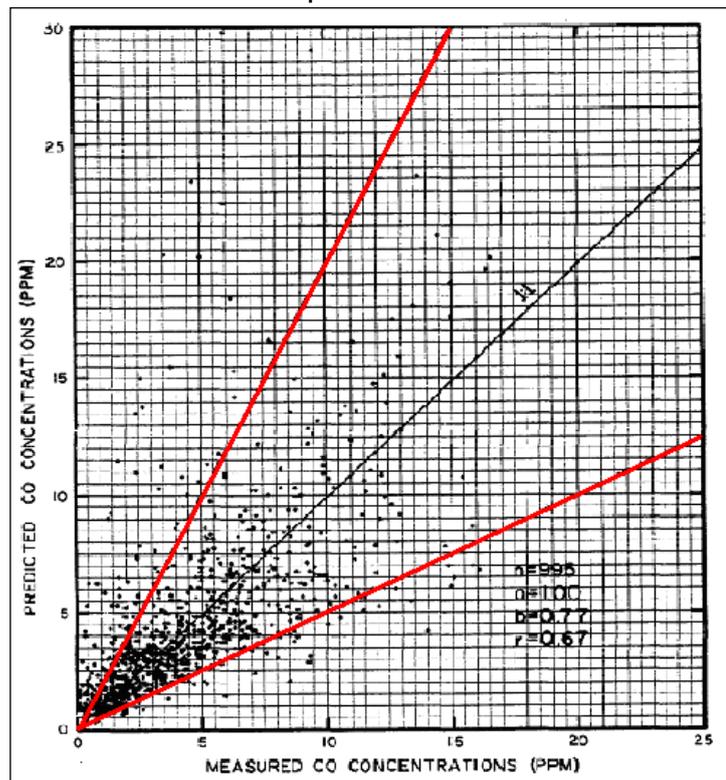


Figura 2-31 Paragone tra le concentrazioni misurate in situ e quelle stimate dal modello

Gli input richiesti dal modello possono essere schematizzati come segue:

- Caratteristiche delle sorgenti;



- Parametri meteorologici;
- Posizionamento dei recettori.

Le sorgenti

Il tratto di strada studiato viene rappresentato attraverso differenti tratti (link) aventi caratteristiche omogenee sia dal punto di vista del traffico circolante sia riguardo le caratteristiche fisiche che una strada può presentare. L'insieme dei dati di tipo fisico richiesti dal modello sono i seguenti:

- coordinate degli estremi del tratto stradale;
- larghezza della strada;
- altezza della strada rispetto al piano di campagna;
- tipologia del tracciato (trincea, rilevato, viadotto, ecc.).

Per caratterizzare le emissioni della sorgente lineare studiata è necessario inserire:

- numero dei veicoli circolanti in un ora;
- fattore di emissione caratterizzante tale traffico, espresso in grammi per miglio-veicolo.

Per la stima delle emissioni dal settore dei trasporti su strada, nell'ambito del progetto europeo CORINAIR (COOrdination INformation AIR), è stato messo a punto un programma di calcolo, che viene periodicamente implementato, denominato COPERT IV (Computer Programme for calculating Emissions from Road Transport). Il metodo di calcolo delle emissioni si basa sul concetto di "fattore di emissione" definito come quantità in grammi di inquinante emessa per km percorso da ciascuna tipologia di veicolo esaminata. A tal fine è necessario definire la composizione del parco veicolare circolante lungo l'infrastruttura stradale esaminata disaggregato per:

- tipo di alimentazione (benzina, diesel, GPL);
- cilindrata;
- anzianità.

L'anzianità dei veicoli viene presa in considerazione perché nel corso degli anni si sono succedute una serie di normative europee che hanno imposto restrizioni sempre più severe per le emissioni veicolari.

Per tutte le categorie di veicoli (eccetto i ciclomotori e i veicoli pesanti a benzina) i fattori di emissione degli inquinanti principali (monossido di carbonio (CO), ossidi di



azoto (NO_x), composti organici volatili non metanici (NMVOC), materia particolato (PM_{10})) vengono definiti in funzione della velocità.

Inoltre per tutte le categorie di veicoli vengono distinti tre tipi di percorsi:

- Percorso urbano;
- Percorso extrarbuna;
- Percorso autostradale.

Secondo la metodologia, che sta alla base del programma di calcolo, le emissioni da traffico veicolare vengono suddivise in tre tipi:

- Emissioni a caldo;
- Emissioni a freddo;
- Emissioni evaporative.

Le emissioni a caldo (temperatura dell'acqua del radiatore maggiore di 70°C) sono quelle generate dai motori a combustione interna quando la temperatura del motore ha raggiunto il normale regime di funzionamento. Le emissioni a freddo sono quelle che si verificano quando il motore opera ad una temperatura inferiore a quella di regime. Ciò provoca da un lato un extra-consumo di combustibile e dall'altro una diversa modalità di combustione; ambedue i fenomeni provocano un aumento delle emissioni per tutti i tipi di veicoli e per tutte le modalità di guida, ma è preponderante nei percorsi urbani e pertanto solo questo tipo di percorso viene preso in considerazione nel programma di calcolo. Esistono infine le emissioni evaporative di composti organici volatili non metanici (COVNM), rilevanti soprattutto per gli autoveicoli a benzina.

Pertanto il calcolo dei fattori di emissione per ogni singolo inquinante richiede la conoscenza dei seguenti parametri di input:

- Categoria del veicolo (alimentazione e cilindrata);
- Anno di produzione;
- Velocità media (tipologia di strada percorsa).

Utilizzando il software COPERT 4 sono stati calcolati i fattori di emissione per gli inquinanti monossido di carbonio, ossidi di azoto e particolato sottile PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$.

I parametri meteorologici

L'input meteorologico del modello è costituito dai valori orari dei seguenti parametri:

- velocità del vento;



- direzione di provenienza del vento;
- temperatura media;
- classe di stabilità atmosferica;
- altezza dello strato di mescolamento.

Il modello ipotizza che sull'intera area di studio e nell'arco temporale di calcolo risultino costanti i parametri meteorologici forniti.

La classe di stabilità rappresentativa del grado di turbolenza dell'atmosfera, in quanto esprime la sua capacità di disperdere gli inquinanti, deve essere indicata attraverso le classi di stabilità di Pasquill che individuano sette classi di stabilità (A,B,C,D,E,F,G) ricavate in base a diverse classi di vento in superficie, all'insolazione e alle classi di nuvolosità durante le ore notturne. Le classi A, B, e C rappresentano situazioni di instabilità dell'atmosfera e quindi situazioni in cui è facilitata la dispersione degli inquinanti, le classi da E a G rappresentano condizioni di stabilità ovvero situazioni in cui gli inquinanti rimangono confinati. Infine la classe D costituisce una situazione di neutralità dell'atmosfera, situazione intermedia rispetto alle due precedenti.

L'altezza dello strato di mescolamento è il parametro che determina la quota massima cui possono giungere le concentrazioni degli inquinanti prodotte dalle sorgenti in relazione all'ostacolo alla diffusione verticale (verso l'alto) posto da eventuali strati di aria calda, che le emissioni dovessero incontrare nel loro moto ascensionale. All'interno dello strato di mescolamento avvengono fenomeni di turbolenza meccanica generati dal movimento dei veicoli lungo il percorso stradale e fenomeni di turbolenza termica prodotti dagli scarichi gassosi a temperatura elevata. Da questa definizione emerge l'importanza dell'identificazione spaziale del volume di aria all'interno del quale avviene la miscelazione dei gas per caratterizzare il processo di dispersione degli inquinanti.

I ricettori

Il software permette di inserire recettori puntuali, lineari e griglie più o meno fitte di nodi recettori. Per ogni punto indicato il modello restituisce il valore delle concentrazioni stimate dell'inquinante in esame salvando tale risultato in un file di testo. L'utilizzo del software CALRoads View permette anche una restituzione grafica degli output mediante mappe con curve di isoconcentrazione in cui ad ogni intervallo di concentrazione definito viene associato un differente colore in modo da rendere immediatamente visualizzato l'andamento degli inquinanti prodotti in relazione alla distanza dalla sorgente.



L'utilizzo dei recettori lineari risulta particolarmente utile per stimare l'impatto che una sorgente lineare come una strada provoca su eventuali recettori posti all'interno di fasce poste a determinate distanze dal ciglio della strada.

E' quindi consigliabile posizionare più linee di recettori posti a distanze variabili dai 10 metri dal ciglio della strada sino a circa 250 metri al fine di avere un output che mostri chiaramente l'andamento della concentrazione in relazione alla distanza dalla sorgente.

Il modello di simulazione della dispersione: ISC ST3

ISC3 (Industrial Source Complex, versione 3) è uno dei modelli più utilizzati per lo studio della dispersione degli inquinanti primari, cioè sostanze che non vengono formate da reazioni chimiche in atmosfera (come ad esempio l'ozono) ma vengono esclusivamente emesse dalle sorgenti. E' un modello di riferimento dell'EPA (Environmental Protection Agency) per lo studio della dispersione e della deposizione degli inquinanti gassosi e particolati emessi da un'ampia gamma di sorgenti; grazie alla sua attendibilità questo modello è definito di I° livello, cioè utilizzato per effettuare uno screening di una situazione in esame verificandone gli standard di qualità dell'aria.

Le caratteristiche tecniche salienti di ISC3 sono le seguenti:

- Tipo di sorgenti considerate: puntiforme, lineare, areale, volumetrica;
- Calcolo del contributo di sorgenti multiple;
- Applicazione sia in ambito urbano sia rurale, in presenza di terreno sia pianeggiante sia leggermente complesso;
- Considerazione delle caratteristiche fisiche dei gas emessi;
- Riproduzione degli effetti della dispersione entro un raggio di 50 km dalla sorgente.

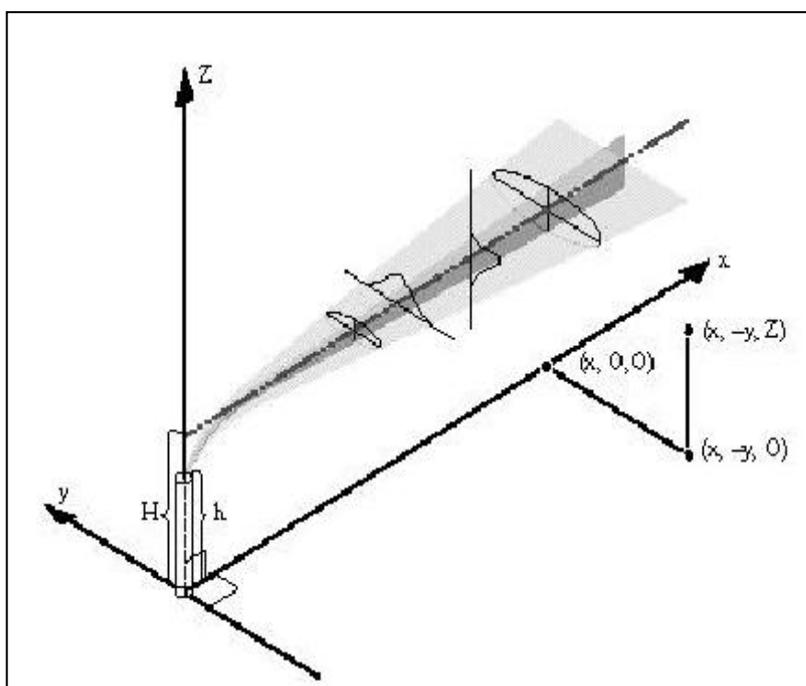
La teoria di approccio al problema della dispersione utilizzata dal modello è quella euleriana che studia il trasporto e la dispersione degli inquinanti rispetto ad un sistema fisso solidale con la terra, contrapponendosi a quella lagrangiana che sfrutta un sistema di riferimento solidale con la particella in movimento con l'ipotesi semplificativa della conservazione della massa nel tempo. Fissando arbitrariamente quindi una terna di assi cartesiani solidali con il sito studiato può essere utilizzata l'equazione di diffusione degli inquinanti in atmosfera per calcolare le diverse concentrazioni (c) che si riscontrano a diverse distanze dalla sorgente:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + w \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right)$$



in cui i termini comprendenti le tre direzioni della velocità media u , v , w , rispettivamente lungo gli assi x , y , z , sono i termini convettivi che tengono conto del fluido veicolante la sostanza ed i termini a destra dell'uguaglianza sono invece quelli responsabili della dispersione turbolenta, dove K rappresenta il coefficiente della dispersione turbolenta anisotropa. L'impiego di opportune ipotesi permette di giungere ad una particolare soluzione dell'equazione della diffusione. Ipotizzando che la direzione del vento medio prevalente sulle altre due sia quella lungo l'asse delle x (componente u) e considerando i tre termini K costanti ed uguali ad un determinato valore, si può integrare analiticamente l'equazione assumendo che la sostanza inquinante venga trasportata dal vento nel verso in cui spira e che la distribuzione della concentrazione media dell'inquinante nel piano verticale perpendicolare alla direzione del vento possa essere espressa da una legge di tipo gaussiano.

I modelli gaussiani partono dal presupposto che la distribuzione della dispersione abbia una forma a campana il cui picco diminuisce allontanandosi dalla sorgente con un corrispondente allargamento del plume. Nel campo tridimensionale avremo due "campane", una sul piano verticale e l'altra sul piano orizzontale, diverse tra loro a causa delle diverse caratteristiche della turbolenza nelle due direzioni.



Distribuzione gaussiana in cui si evidenzia l'andamento del plume orizzontale e del plume verticale.

Applicando le suddette ipotesi si giunge all'equazione utilizzata per stimare le concentrazioni c in un qualunque punto di coordinate (x,y,z) :



$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-z_s)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+z_s)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

dove:

c = concentrazione nel punto $P(x,y,z)$ espressa in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

z_s = altezza effettiva dell'emissione espressa in metri.

Q = portata di inquinanti completamente immessa in atmosfera espressa in g/s.

u = velocità media del vento espressa in m/s.

$\sigma_y; \sigma_z$ = deviazioni standard della distribuzione di concentrazione, rispettivamente lungo l'asse y e l'asse z , espresse in metri.

Per la stima dei coefficienti della dispersione orizzontale e verticale si può ricorrere ad un metodo semiempirico che utilizza i dati meteorologici per individuare le classi di stabilità dell'atmosfera e poi sulla base di risultati di esperimenti di diffusione con traccianti descrive gli andamenti di σ_y e σ_z in funzione di x (distanza dalla sorgente) per ogni classe di stabilità. Per le aree urbane il codice utilizza la relazione di Briggs:

$$\sigma_{y,z}(x) = axe^{(b+cx^f)d}$$

mentre per quelle rurali quella di Turner:

$$\sigma_{y,z}(x) = ax^e(b+cx^f)^d$$

mentre per quelle rurali quella di Turner:

$$\sigma_y(x) = 465.11628 x \tan(TH)$$

$$TH = 0.01745 [\epsilon - \gamma \ln x]$$

$$\sigma_z(x) = ax^\beta$$

dove x è la distanza sottovento, mentre a, b, c, d, e, f e sono i coefficienti empirici determinati per ogni classe di stabilità atmosferica.

Premesso che l'assunzione fondamentale dell'approccio gaussiano, cioè la distribuzione normale delle concentrazioni, si verifica in realtà in situazioni assolutamente ideali di stazionarietà del fenomeno e di turbolenza omogenea dell'atmosfera, il modello che ne deriva ha comunque nella semplicità e nella praticità dell'applicazione importanti vantaggi che ne fanno strumento di larghissimo impiego. Il modello ISC3 permette infatti di studiare un'ampia tipologia di sorgenti inquinanti includendo nel suo database informazioni necessarie a trattare sorgenti puntuali,



lineari, superficiali e volumetriche permettendo così una corretta rappresentazione della realtà esaminata.

Per eseguire una corretta applicazione del modello è necessario inserire tutti i dati di input richiesti dal software, quali:

- Tipologia dell'inquinante studiato;
- Caratteristiche delle sorgenti inquinanti;
- Condizioni meteorologiche caratterizzanti il sito;
- Caratteristiche orografiche della zona in esame.

La prima cosa da definire è l'inquinante di cui si vuole stimare la dispersione o la deposizione, sia secca che umida, specificando anche le unità di misura da utilizzare nello studio e l'arco temporale su cui si desiderano mediare le concentrazioni restituite dal modello.

Successivamente bisogna caratterizzare le sorgenti presenti nello scenario rappresentato, indicandone la posizione e le dimensioni, il fattore di emissione e altre caratteristiche tipiche della sorgente in esame, quali ad esempio, se si è in presenza di un camino, la velocità di fuoriuscita e dei fumi e la loro temperatura.

Per una corretta stima della dispersione è inoltre indispensabile fornire al modello i parametri meteorologici utili a definire i parametri matematici utilizzati nell'equazione della dispersione degli inquinanti precedentemente illustrata. Per fare questo è indispensabile costruire un file di testo caratterizzante meteorologicamente il territorio esaminato e successivamente importato come input nel modello. I parametri utilizzati per una corretta caratterizzazione sono:

- temperatura;
- velocità e direzione del vento prevalente;
- altezza dello strato limite;
- radiazione solare;
- nuvolosità.

Il modello ISC3 consente inoltre di tener conto dell'orografia della zona studiata permettendo di importare diversi formati di file contenenti l'andamento delle relative curve di livello.

L'ultimo dato da inserire riguarda le coordinate dei punti recettori, quei punti cioè in cui si vuole che il modello restituisca la concentrazione dell'inquinante studiato. ISC3 fornisce una vasta gamma di metodologie per inserire i recettori nel modo più opportuno, permettendo di scegliere tra recettori puntuali, lineari, griglie rettangolari e circolari fino ad arrivare a forme geometriche più complesse facilmente adattabili ad ogni esigenza che il caso può richiedere.



Il modello ISC3 utilizzato presenta un interfaccia grafica messa a punto dalla Lakes Environmental Software che oltre a semplificare l'immissione dei dati richiesti analizza i dati di output restituiti fornendo, oltre ai valori puntuali registrati in un file di testo, delle mappe con curve di isoconcentrazione che rendono immediata la comprensione della dispersione stimata.



3 AMBIENTE IDRICO

3.1 Metodologia di lavoro

3.1.1 Obiettivi e finalità

La caratterizzazione dell'ambiente idrico superficiale, svolta nel presente capitolo, ha lo scopo di descrivere le peculiarità di tale componente ambientale in riferimento all'ambito di studio considerato, che riguarda il Golfo del Cagliari nell'area dell'avamposto est del Porto Canale.

L'obiettivo di tale descrizione è quello di mettere in risalto gli aspetti maggiormente significativi e rappresentativi dei corpi idrici superficiali, onde individuare le caratteristiche "sensibili" agli effetti causati dalla presenza e dalla realizzazione dell'Opera in progetto.

3.1.2 Criteri di studio

Lo studio della componente ambientale in esame si basa essenzialmente sulla preliminare descrizione delle sue caratteristiche nella condizione attuale *ante operam* e nella successiva individuazione delle possibili interferenze che definiscono il rapporto tra l'Opera e l'Ambiente. In sintesi i criteri di studio si articolano come segue:

1. inquadramento territoriale dell'ambito di studio;
2. verifica preliminare delle fonti conoscitive disponibili;
3. disamina del quadro normativo di riferimento;
4. descrizione degli aspetti climatici, idrografici ed idraulici;
5. analisi dell'intervento in progetto;
6. individuazione delle possibili interferenze, sia per la fase di esercizio sia per quella di cantiere;
7. valutazione delle interferenze e soluzioni adottabili.

L'analisi dell'intervento in progetto metterà in risalto le azioni permanenti e transitorie che interagiscono con gli aspetti dell'ambiente idrico superficiale precedente descritti, permettendo di individuare le tematiche, cioè le tipologie delle possibili interferenze, su cui concentrare l'attenzione per valutare il grado di rilevanza delle conseguenze della interazione tra l'Opera e l'Ambiente. Infine, laddove necessario, si indicheranno le soluzioni adottabili per contenere e limitare gli effetti di tali interazioni.



3.2 Quadro conoscitivo ante operam

3.2.1 Inquadramento territoriale dell'ambito di studio

L'ambito di studio preso in considerazione per le analisi condotte in questa sede ricade interamente nel territorio del Comune di Cagliari e comprende il Golfo di Cagliari, per la parte marina, ed il relativo entroterra, costituito dal Porto Canale e dallo Stagno di Santa Gilla. L'ambito rientra nell'Unità Idrografica Omogenea del Flumini Mannu di Cagliari-Cixerri, e l'idrografia principale è rappresentata dal Flumini Mannu e dal Riu Cixerri.

3.2.2 Fonti conoscitive e quadro normativo di riferimento

3.2.2.1 Generalità

Le fonti conoscitive ed il quadro normativo di riferimento per contestualizzare la caratterizzazione dell'ambiente idrico superficiale dell'ambito di studio è costituito fondamentalmente dal Piano di Assetto idrogeologico (PAI) e dal Piano di Tutela delle Acque (PTA). Il Piano di Gestione del Distretto idrografico, per quanto riguarda la qualità delle acque superficiali, riprende interamente quanto previsto dal PTA.

3.2.2.2 Il Piano di Assetto idrogeologico

Nelle aree di pericolosità idraulica il PAI ha, tra le altre, le finalità di:

- garantire nel territorio della Regione Sardegna adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici e tutelare quindi le attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e culturale esposti a potenziali danni;
- inibire attività ed interventi capaci di ostacolare il processo verso un adeguato assetto idrogeologico di tutti i sottobacini oggetto del piano;
- impedire l'aumento delle situazioni di pericolo e delle condizioni di rischio idrogeologico esistenti alla data di approvazione del piano;
- evitare la creazione di nuove situazioni di rischio attraverso prescrizioni finalizzate a prevenire effetti negativi di attività antropiche sull'equilibrio idrogeologico dato, rendendo compatibili gli usi attuali o programmati del territorio e delle risorse con le situazioni di pericolosità idraulica e da frana individuate dal piano;
- creare la base informativa indispensabile per le politiche e le iniziative regionali in materia di delocalizzazioni e di verifiche tecniche da condurre sul rischio specifico esistente a carico di infrastrutture, impianti o insediamenti.

Le Norme di Attuazione del PAI perseguono gli obiettivi di tutela idrogeologica mediante disposizioni specifiche per le aree a diverso grado di pericolosità idraulica. Tali disposizioni vincolano l'uso e la trasformazione del territorio, nonché limitano la



tipologia e la natura degli interventi ammessi, prescrivendo misure idonee a mitigare il rischio.

Per gli interventi di pubblica utilità che rivestono particolare rilevanza sotto il profilo economico e sociale e per i quali siano state rilasciate concessioni, autorizzazioni, nulla osta o altri equivalenti provvedimenti di assenso, che risultino in contrasto o che rendano più onerosa la sua attuazione, l'Ente competente al rilascio della concessione può subordinarne l'attuazione alla valutazione positiva di uno studio di compatibilità idraulica, predisposto a cura dell'attuatore, dal quale risulti la coerenza delle iniziative con le misure di mitigazione del rischio previste dal PAI medesimo ovvero le opere di mitigazione necessarie.

3.2.2.3 Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Si ricorda, come detto nel Quadro di riferimento Programmatico, che il PSFF è in fase di pubblicazione per l'accoglimento delle osservazioni e la formulazione delle controdeduzioni prima dell'adozione definitiva e successiva approvazione finale.

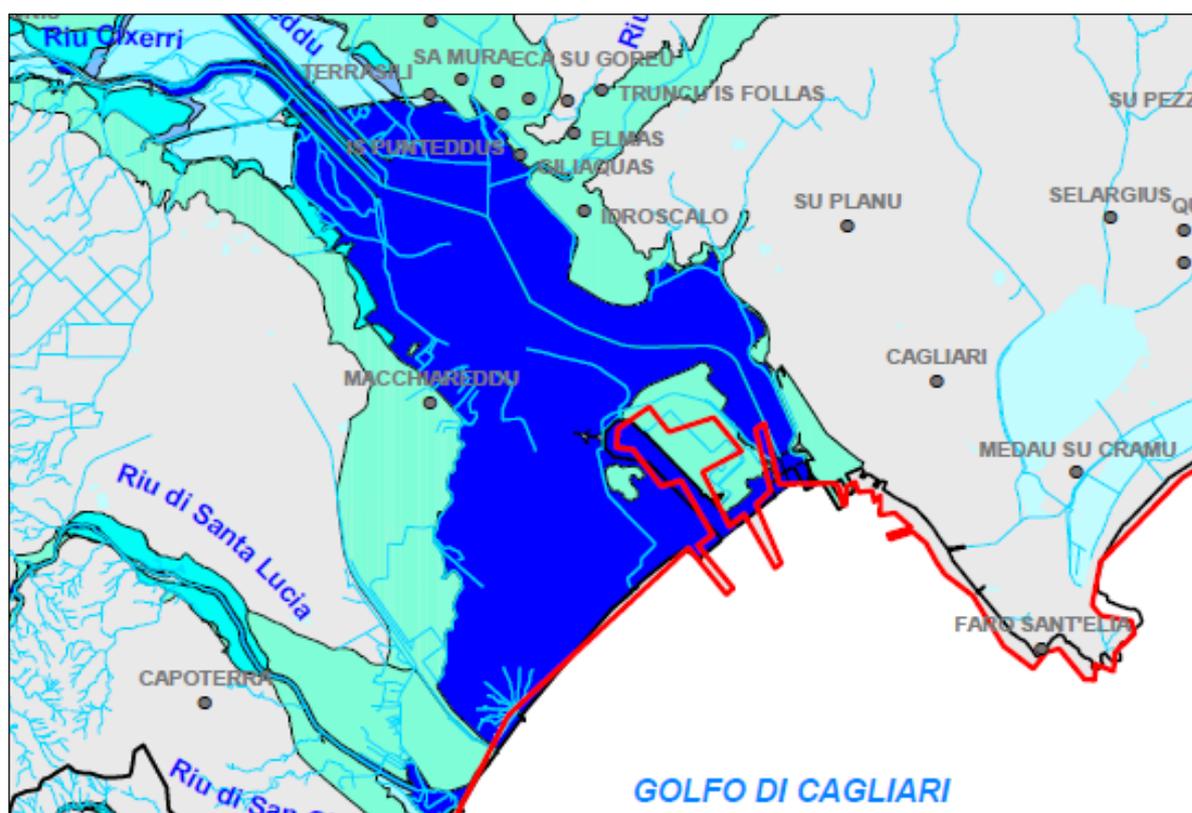
A seguito della conclusione dell'iter approvativo del PSFF, si verificherà la compatibilità dell'intervento in progetto, relativamente all'avanzamento della linea di costa di circa 71,50 m per la realizzazione della banchina di riva, con le nuove norme di attuazione del piano; tale area, infatti, come mostra la Figura 3-1, ricade nella fascia A₂ o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici; tale fascia individua l'alveo a sponde piene del corso d'acqua, definito solitamente da nette scarpate che lo limitano.

La fascia geomorfologica descrive, nel tratto terminale in analisi, una piana valliva molto ampia, subpianeggiante, densamente coltivata, maggiormente estesa in destra rispetto al lato sinistro, dove il versante invece degrada più velocemente verso il corpo idrico. Il limite della fascia C rappresenta l'involuppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale, integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio; pertanto l'estensione delle aree inondate è stata definita, sulla scorta dei risultati idraulici, ripercorrendo gli ambiti alluvionali dei rii secondari affluenti e della rete di canali di bonifica che copre la pianura sino allo stagno di Santa Gilla. Le criticità evidenziate dalla fascia sono legate alla rilevante



antropizzazione del territorio in prossimità delle confluenze fluviali: l'abitato di Serramanna è compreso in gran parte in fascia C, mentre Villasor, Decimoputzu, Villaspeciosa, Decimomannu, Uta e Assemini ci rientrano pienamente. In tutti questi casi, alla competenza fluviale del Flumini Mannu si somma quella di un affluente secondario: il torrente Leni e il riu Malu a Serramanna, il riu Malu e il canale riu Malu a Villasor, il riu s'Ulmù a Decimoputzu, il riu Mannu, il riu Mannu di Santa Sperate e il Flumineddu a Villaspeciosa e Decimomannu, il Cixerri a Uta, il riu de Giacù Melonu e il Flumineddu ad Assemini.

In foce la fascia è stata tracciata seguendo il limite della piana alluvionale che raccorda i primi versanti collinari con il complesso sistema idrico della piana del Campidano, coinvolgendo, unitamente alla complementare fascia C del Cixerri, le vaste aree umide dello stagno di Santa Gilla (canali e aree portuali e di navigazione, bacini di itticultura, canali di bonifica) sino alla costa litoranea.



Carta delle fasce fluviali

LEGENDA:

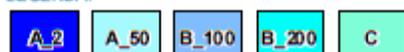


Figura 3-1: Stralcio della Carta delle fasce fluviali del P.S.F.F.



3.2.2.4 Il Piano di Tutela di Acque

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA) è uno strumento conoscitivo e programmatico che si pone come obiettivo l'utilizzo sostenibile della risorsa idrica.

Il Piano di Tutela delle Acque prevede che entro il 31 dicembre 2016 debbano essere raggiunti i seguenti obiettivi di qualità ambientale:

- a) i corpi idrici significativi superficiali e sotterranei mantengano o raggiungano la qualità ambientale corrispondente allo stato di "buono", come definito nell'allegato 1 del DLgs 152/06;
- b) sia mantenuto, ove già esistente, lo stato di qualità ambientale "elevato" come definito nell'allegato 1 del DLgs 152/06.

Ogni corpo idrico superficiale classificato, o tratto di esso, deve conseguire almeno lo stato di qualità ambientale "sufficiente", come definito dall'allegato 1 del medesimo Decreto, entro il 31 dicembre 2008.

Per lo stagno di Santa Gilla l'obiettivo sarà dato dal controllo dei carichi di nutrienti, che non dovranno superare quelli rilevati nell'ambito dello studio sopra citato. In particolare, quando verrà completato lo schema fognario depurativo 276, dovrà garantirsi un adeguato apporto di acque dolci allo stagno che eviti un ulteriore incremento della salinità delle acque; per lo stagno di Santa Giusta l'obiettivo sarà dato da una drastica riduzione dei carichi di nutrienti in ingresso al fine di limitare il più possibile i fenomeni distrofici.

3.2.3 Aspetti climatici

3.2.3.1 Temperature

La distribuzione spaziale della media delle temperature in Sardegna è fortemente influenzata dal sistema orografico. I periodi marzo-aprile e settembre-novembre rappresentano due marcate transizioni che delimitano le due stagioni climatiche tipiche delle regioni mediterranee. Nella stagione invernale domina l'effetto dovuto al mare (con conseguente continentalità delle zone interne), mentre nella stagione estiva domina l'effetto stabilizzante delle aree anticicloniche con evidente gradiente nord-sud nei valori di temperatura. A questi effetti si sommano sempre quelli dovuti alla struttura orografica, la cui complessa distribuzione è la principale fonte di variabilità locale di tutti i fenomeni meteorologici che interessano l'isola (Figura 3-2).

Il regime termico della zona di Cagliari è caratterizzato da valori di temperatura media diurna compresi tra i 16,5 °C ed i 17 °C, con temperature superiori ai 30 °C per almeno sessanta giorni all'anno, e massime che talvolta superano i 40 °C (42°C nel luglio del 1983). Le temperature medie massime diurne variano tra i 16 e i 22 °C. Le temperature minime diurne, che si registrano generalmente durante la stagione invernale, ed in particolare nel mese di gennaio e più raramente in quello di febbraio,



mostrano valori compresi tra i 7 ed i 13 °C (con una minima assoluta di – 3°C a gennaio del 2002). Le escursioni termiche diurne sono generalmente comprese tra i 10 ed i 12 °C, range che risulta influenzato dalla presenza dei venti. Il grafico riportato nella figura seguente mostra l'andamento delle temperature registrate a Cagliari dal 1947 al 2003.

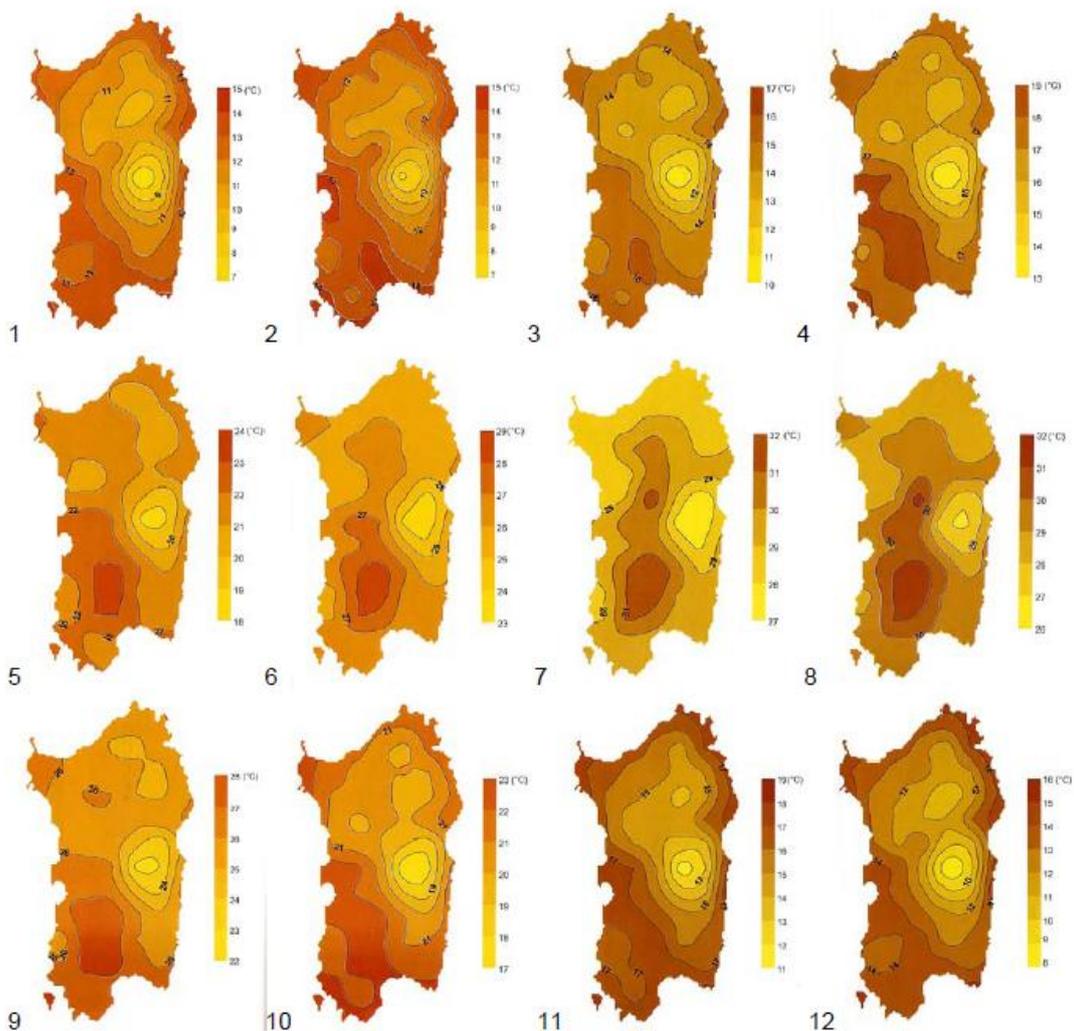
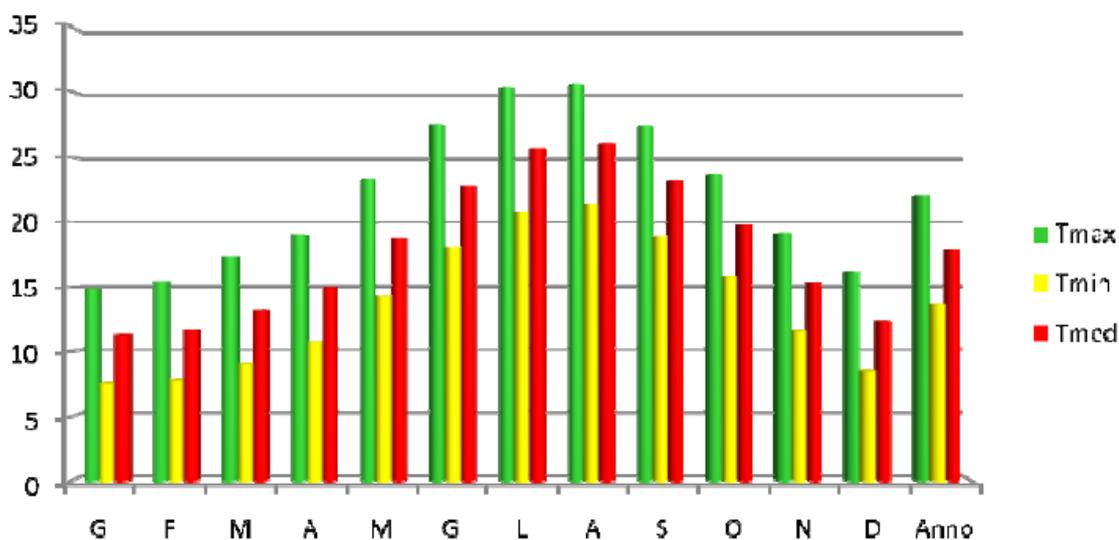


Figura 3-2: Valore medio delle temperature massima mensile per i mesi da gennaio a dicembre



Rappresentazione grafica dell'andamento delle temperature registrate a Cagliari dal 1974 al 2003 - Piano di Gestione del Parco del Molentargius (2008)

3.2.3.2 Precipitazioni

L'analisi delle medie annuali di precipitazione in Sardegna mette in evidenza la presenza di quattro zone piovose con medie annuali massime di precipitazione fino a 1100-1200 mm/anno: le aree a ridosso del Gennargentu (Barbagie, Ogliastra e zone limitrofe), la parte centrale della Gallura (a ridosso del Limbara), l'altopiano di Campeda ed infine l'Iglesiente. La Nurra ed il Campidano si presentano come zone secche, assieme ad una terza, di più difficile delimitazione, localizzabile nella fascia centrale del Nord-Sardegna (attorno al bacino del Coghinas) (Figura 3-3). L'andamento mensile delle precipitazioni, analogamente a quanto osservato per le temperature, evidenzia la presenza di due stagioni: una relativa al periodo che va da ottobre ad aprile, e l'altra che si estende da maggio a settembre. Il passaggio fra le due stagioni è particolarmente marcato fra settembre ed ottobre, in corrispondenza del quale, per le zone piovose, si va da valori di 40-60 mm/mese a valori di 80-160 mm/mese, mentre risulta meno evidente il passaggio fra aprile e maggio. Il confronto dei dati meteo-climatici del trentennio 1961-1990 con la stagione piovosa del 2008-2009 mette in evidenza che le precipitazioni di ottobre-aprile sono state le più abbondanti degli ultimi quaranta anni, in particolare in termini di numero di giorni di pioggia, se si considera che mediamente un giorno su tre sull'intero periodo è stato piovoso (Figura 3-4 e Figura 3-5).

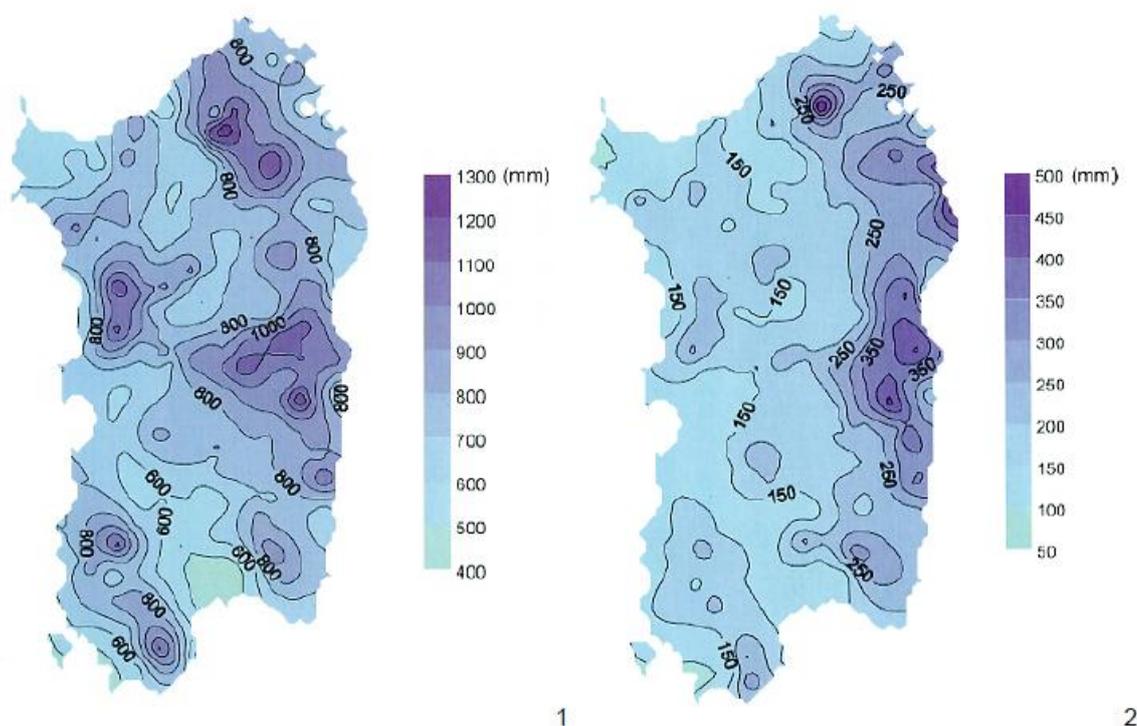


Figura 3-3: Valore medio annuale di precipitazione e corrispondente deviazione standard

Assolutamente eccezionali risultano, inoltre, le precipitazioni dei primi quattro mesi (ottobre-gennaio) per l'effetto combinato dell'alluvione del 22 ottobre che ha colpito l'area vasta di Cagliari, dei due nubifragi che hanno investito la Baronia a novembre e di un numero molto elevato di giorni di pioggia. Per il quadrimestre ottobre-gennaio, il confronto con gli ultimi otto decenni ha evidenziato che solo le piogge del 1940-41 sono paragonabili a quelle del 2008-2009.

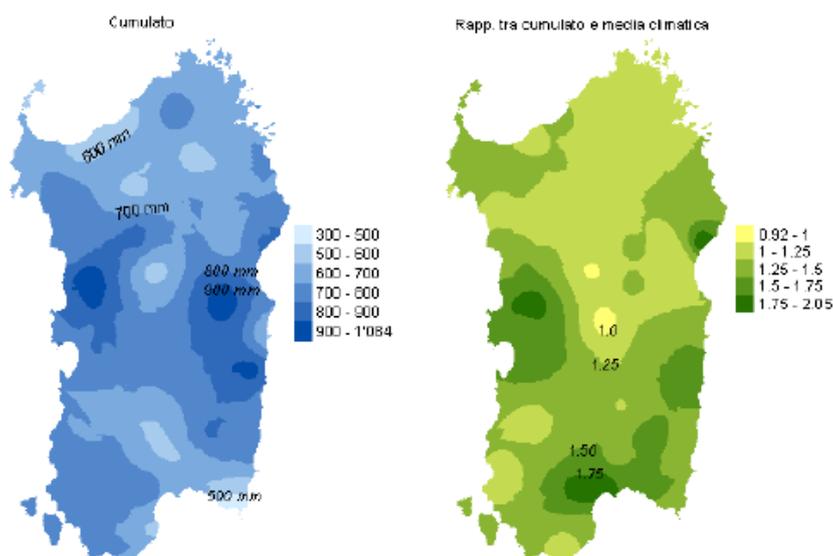


Figura 3-4: Cumulato di precipitazione di ottobre 2008 – aprile 2009 e confronto con la media climatica

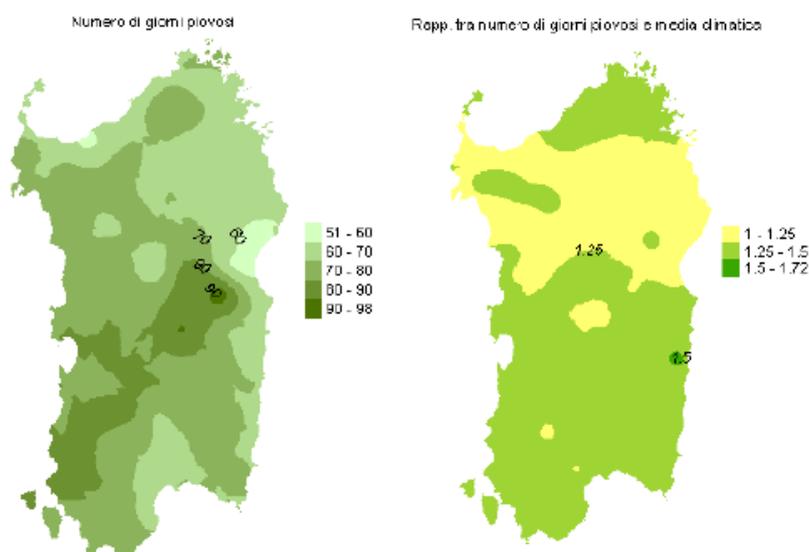
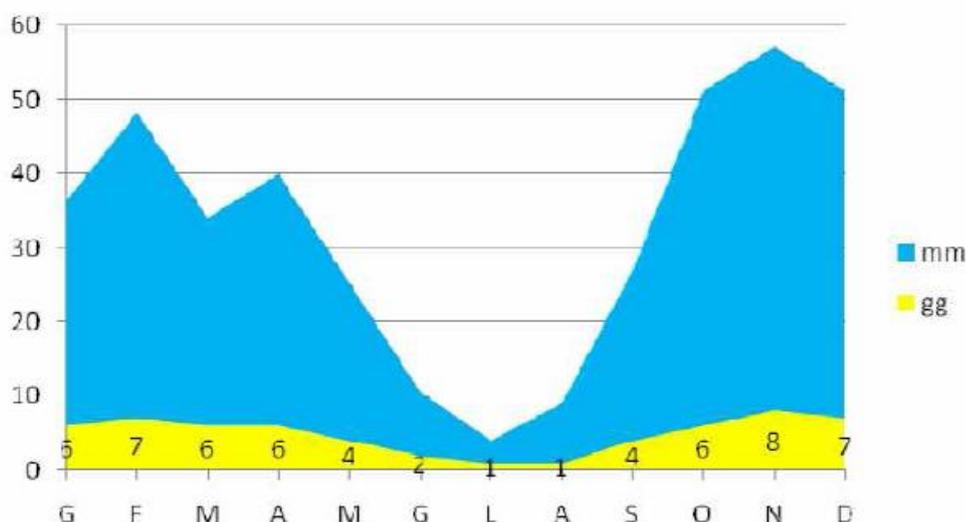


Figura 3-5: Numero dei giorni piovosi di ottobre 2008 – aprile 2009 e confronto con la media climatica

L'andamento pluviometrico stagionale della zona di Cagliari è contraddistinto da un minimo di piovosità estiva e da un massimo autunno-invernale. Le precipitazioni sono comprese tra 153,4 mm (2001) e 632,4 mm (1976), con una media annua di 394,1 e sono distribuite in 57 giorni piovosi. Il mese di luglio presenta il minor numero di giorni piovosi e la quantità più bassa di precipitazioni, mentre i mesi più piovosi sono novembre e dicembre (fonte: Piano di Gestione del Parco del Molentargius, 2008).



Andamento della piovosità e del numero di giorni piovosi registrati a Cagliari dal 1974 al 2003 - Piano di Gestione del Parco del Molentargius (2008)

La media annuale di giorni sereni, con nuvolosità inferiore a 3/10 di cielo coperto, è pari a 145, quella di giorni nuvolosi, con nuvolosità compresa tra 3/10 ed 7/10 di cielo coperto, è pari a 101 e quella di giorni coperti, con nuvolosità superiore 7/10, risulta di 124.

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Tmax	14,8	15,4	17,3	19,0	23,2	27,5	30,4	30,6	27,4	23,7	19,1	16,1	22,0
Tmin	7,5	7,7	9,0	10,7	14,2	18,0	20,8	21,3	18,9	15,7	11,5	8,5	13,7
Tmed	11,2	11,6	13,1	14,9	18,7	22,7	25,6	26,0	23,1	19,7	15,3	12,3	17,9
mm	36,3	48,2	34,1	39,9	25,3	10,6	4,1	9,1	27,0	51,2	57,1	51,1	394,0
gg	6	7	6	6	4	2	1	1	4	6	8	7	58

Valori medi mensili e annuali delle temperature massime, minime e medie (°C), delle precipitazioni (mm) e dei giorni piovosi (gg), registrati a Cagliari dal 1974 al 2003 - Piano di Gestione del Parco del Molentargius (2008)

3.2.4 Aspetti idrografici

3.2.4.1 Generalità

L'idrografia della Sardegna si presenta con i caratteri tipici delle regioni mediterranee. Tutti i corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime torrentizio, dovuto, fondamentalmente, alla stretta vicinanza tra i rilievi e la costa. I corsi d'acqua hanno prevalentemente pendenze elevate, nella gran parte del loro percorso, e sono soggetti ad importanti fenomeni di piena nei mesi tardo autunnali ed a periodi di magra rilevanti durante l'estate, periodo in cui può verificarsi che un certo corso d'acqua resti in secca per più mesi consecutivi.

Gli unici corsi d'acqua che presentano carattere perenne sono il Flumedosa, il Coghinas, il Cedrino, il Liscia, il Temo ed il fiume Tirso, il più importante dei fiumi



sardi.

Il secondo fiume in ordine di importanza è il Flumendosa, che nasce nel versante orientale del massiccio del Gennargentu, si estende per 147.8 km, con un bacino sotteso di 1'841.77 km² e sfocia nella costa sud-orientale dell'isola.

Con deliberazione n. 45/57 del 30/10/1990, la Giunta Regionale ha ufficializzato il frazionamento dell'intero ambito regionale in queste sette sub-aree, già peraltro individuate nell'ambito del Piano per il Razionale Utilizzo delle Risorse Idriche della Sardegna (Piano Acque) redatto nel 1987. L'area di studio ricade all'interno della zona 7, Flumendosa – Campidano – Cixerri.

Il Flumendosa (Flumini Mannu di Cagliari) è il quarto fiume della Sardegna per ampiezza di bacino e con una lunghezza dell'asta principale di circa 96 km, rappresenta il più importante fiume della Sardegna Meridionale. Il suo corso, che si svolge in direzione NE-SO, ha origine da molti rami sorgentiferi dall'altipiano calcareo del Sarcidano, si sviluppa attraverso la Marmilla e, costituitosi in un unico corso, sbocca nella piana del Campidano sfociando in prossimità di Cagliari nelle acque dello Stagno di S. Gilla. Il Flumini Mannu di Cagliari si differenzia notevolmente dagli altri corsi d'acqua dell'Isola per i caratteri topografici del suo bacino imbrifero. L'asta principale per quasi metà del suo sviluppo si svolge in pianura, al contrario della maggior parte dei corsi d'acqua sardi aventi come caratteristica la brevità del corso pianeggiante rispetto a quello montano. Gli affluenti principali del Flumini Mannu di Cagliari sono:

1. in destra: il Canale Vittorio Emanuele, che drena le acque della depressione di Sanluri, e il Torrente Leni, che convoglia le acque di numerose sorgenti del Monte Linas e giunge nella piana del Campidano in territorio di Villacidro;
2. in sinistra: il Torrente Lanessi, col quale confluisce presso lo sbocco in pianura e che scorre prevalentemente negli scisti e nel miocene della Trexenta, e il Riu Mannu di San Sperate che drena, con il Rio Flumineddu, le acque della Trexenta.

Lungo il corso principale è ubicato l'invaso di Is Barroccus, con capacità massima di invaso di 12 milioni di mc. L'invaso è gestito dall'EAF.

Il Riu Cixerri, l'altro fiume principale della zona 7., ha le sue sorgenti nel versante settentrionale del massiccio del Sulcis e scorre poi pressoché perpendicolare alla linea di costa occidentale, ricevendo, prima di gettarsi nello stagno di Santa Gilla, l'apporto di numerosi affluenti che drenano il versante meridionale del massiccio dell'Iglesiente e quello settentrionale del massiccio del Sulcis, mantenendosi paralleli alla linea della costa occidentale.



Altri elementi importanti dell'idrografia superficiale sono l'invaso del Cixerri a Genna is Abis, nel Basso Cixerri, e quello del Rio Canonica a Punta Gennarta, il primo a gravità massiccia, gestito dall'EAF, il secondo gestito da consorzio di bonifica del Cixerri.

Altro elemento caratteristico dell'idrografia superficiale di questa Unità Idrografica è lo Stagno di Santa Gilla, dove confluiscono le acque sia del Flumini Mannu che del Cixerri, oltre che di una serie di corsi d'acqua minori, tra cui si segnalano il Rio Sa Nuscedda, il Riu Murta, il Riu di Sestu, mentre il Rio di Santa Lucia, sfocia anch'esso nell'area umida di Santa Gilla, nel corpo idrico denominato Saline di Capoterra.



3.2.4.2 Descrizione della laguna e circolazione delle acque continentali e delle acque marine

Lo Stagno di Cagliari originariamente occupava una superficie di circa 4.000 ha compresa tra il cordone litoraneo di La Plaja, il Rio di Santa Lucia, l'area industriale di Macchiareddu-Grogastu; le foci del Fluminimannu-Rio Cixerri a nord; gli abitati di Assemmini, Elmas e Cagliari ad est. La genesi è riconducibile alle fasi deposizionali dei



corsi d'acqua, conseguenti alla trasgressione marina verificatasi al termine del Quaternario, che hanno determinato l'accumulo degli apporti solidi e la formazione di una barra sommersa.

Così come rappresentato nelle carte dell'Istituto Geografico Militare del 1885, le successive modeste oscillazioni del livello del mare hanno portato ad una configurazione caratterizzata da uno specchio d'acqua principale e da un intorno più o meno paludoso, di forma assimilabile ad un triangolo avente come base il cordone litoraneo di circa 8 km e l'altezza di circa 10 km. All'interno dello stagno erano presenti le isole di *sa Illetta*, *de sa Figu Murisca*, *Isoledda*, *de is Fraris*, *de is Cadenas*, *Ischeras* e *Bischeras*.

Gli immissari che afferiscono allo stagno sono principalmente il Fluminimannu ed il *Rio Cixerri* ed altri piccoli corsi d'acqua a carattere stagionale, quali il *Rio di Santa Lucia*, il *Rio sa Nuxedda*, il *Rio Giacu Meloni*, il *Rio sa Murta*, il *Rio is Molentis* e il *Rio di Sestu*. Complessivamente i loro bacini di alimentazione occupano una superficie di circa 2.154 km² (circa 1/15 dell'intera superficie della Sardegna).

Partendo dal cordone litoraneo e percorrendo il perimetro dello stagno in senso antiorario si incontrano i seguenti corsi d'acqua:

- *Rio Santa Lucia* – Nasce dai rilievi ad ovest di Capoterra ed è alimentato da un vasto bacino imbrifero (102,2 km²) impostato quasi interamente in corrispondenza del massiccio paleozoico del Sulcis e solo nell'ultimo tratto scorre sui depositi quaternari. L'elevata impermeabilità delle litologie che costituiscono l'ossatura geologica della regione conferisce al reticolo un andamento dendritico. La lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua è di 25 km e ricade interamente nel comune di Capoterra.
- *Rio Cixerri* – Nasce poco a sud di Iglesias e percorre l'omonima valle in direzione W-E, con un andamento a tratti anastomizzato, e confluisce nella piana del Campidano dopo aver oltrepassato la soglia di Siliqua. Entro il suo bacino idrografico, esteso 534,7 km², ricadono 6 centri abitati. Dato il suo carattere torrentizio, il corso d'acqua può raggiungere portate anche di 8 m³/sec, che possono divenire pressoché trascurabili durante il periodo siccitoso e/o estivo. L'asta principale è lunga 50,6 km.
- Fluminimannu– Con un bacino imbrifero di 1.517 km² rappresenta il più importante corso d'acqua della Sardegna meridionale. Al suo interno ricadono circa 50 centri abitati. È caratterizzato da deflussi permanenti seppure in funzione delle stagioni e delle piogge. Il Fluminimannu nasce nel Tacco del Sarcidano, alimentato da numerose sorgenti di contatto tra i calcari mesozoici ed il basamento cristallino paleozoico, e prosegue entro il dominio miocenico della Marmilla, dove riceve gli affluenti provenienti dalla Giara di Gesturi. Nel suo tratto terminale il fiume scorre entro la piana alluvionale del Campidano secondo un



andamento rettilineo N-S per confluire infine allo Stagno di Cagliari. Gli affluenti principali del Fluminimannu sono il Rio Bau di Casteddu, il Rio Lanessi, il Rio Leni, il Rio Malu ed il Rio Mannu di San Sperate che confluisce circa 6 km prima della foce. L'asta principale è lunga 97,3 km.

- *Rio sa Nuxedda*
- *Rio Giacù Meloni*
- *Rio sa Murta*
- *Rio is Molentis*
- *Rio di Sestu*

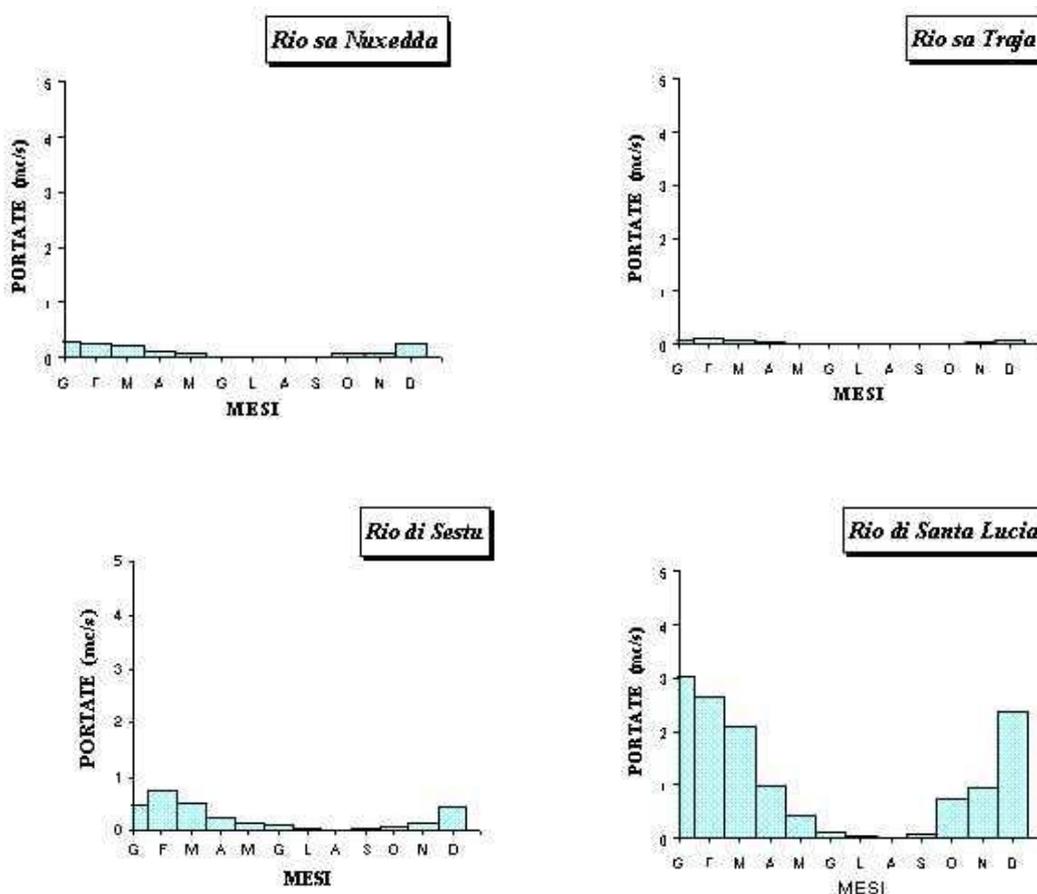


Figura 3-6 Diagrammi di portata dei principali tributari dello Stagno di Cagliari relativi al periodo 1922-1975. (Cao, 1980; Istituto di Idraulica, Università di Cagliari, 1983).

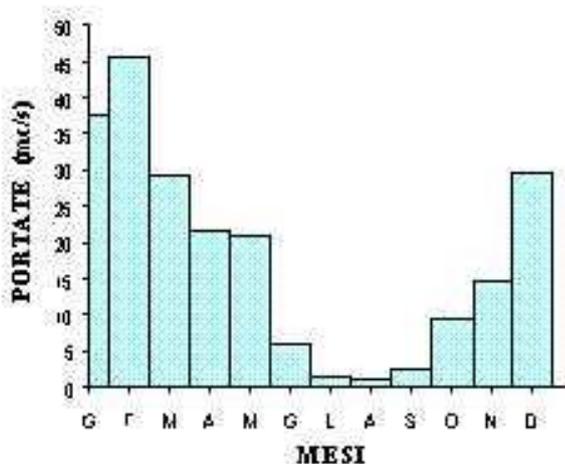


Figura 3-7 Portate medie mensili del bacino Fluminimannu–Rio Cixerri + rii minori + Rio Santa Lucia relativi al periodo 1922-1975 (Cao, 1980; Istituto di Idraulica, Università di Cagliari, 1983).

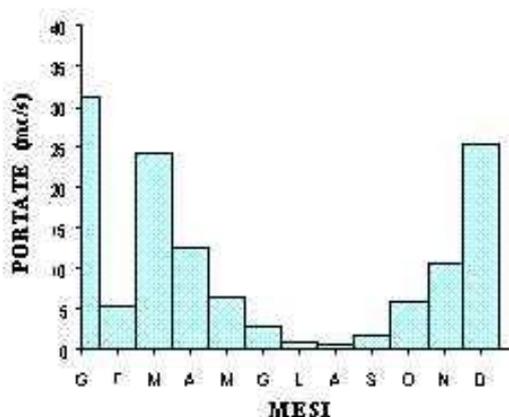


Figura 3-8 Portate medie mensili del bacino Fluminimannu–Rio cixerri + rii minori + Flumendosa relativi al periodo 1922-1975 (Cao, 1980; Istituto di Idraulica, Università di Cagliari, 1983).

Le portate rappresentate nei diagrammi precedenti (Cfr. Figura 3-6, Figura 3-7, Figura 3-8) sopra indicate sono venute a modificarsi sensibilmente dopo il 1975, con la realizzazione di dighe e traverse nei bacini tributari.

Parimenti è avvenuto per il tasso di ricambio interno alla laguna aperta ed allo Stagno di Capoterra i quali peraltro, hanno subito notevoli riduzioni superficiali e, per quanto riguarda la laguna di Santa Gilla, anche la realizzazione di opere di regolazione, la cui completa messa in funzione non è ancora del tutto avvenuta.



In particolare i deflussi del Fluminimannu-*Rio Cixerri* negli anni compresi tra il 1965 e il 1985 hanno risentito anche del non completo utilizzo delle portate derivate dal sistema del Flumendosa che sono state in parte scaricate nel Fluminimannued in parte nel *Rio di Sestu*, incrementando in questo modo gli apporti alla laguna di circa il 50%

Come si evince dai diagrammi, il contributo dei corsi d'acqua minori (*Rio di Sestu, Rio sa Nuxedda, Rio sa Traja e Rio sa Murta*) è sempre inferiore ad un m³/sec e nei mesi estivi si riduce a valori quasi nulli o nulli. Peraltro, i deflussi di questi corsi d'acqua - ad eccezione del *Rio sa Nuxedda* - poiché raccolgono reflui urbani ed industriali, in seguito alle opere di intercettazione alla foce, vengono convogliate al porto commerciale attraverso il canale di guardia perimetrale della laguna.

Le acque del *Rio di Santa Lucia* alimentano lo Stagno di Capoterra che rimane idraulicamente separato dalla laguna a causa dell'interposto sistema dei bacini evaporanti delle saline. L'asta principale è interrotta, subito dopo la confluenza del *Gutturreddu* nel *Gutturumannu*, da una traversa fluviale.

3.2.5 Qualità delle acque superficiali

Lo stato di qualità dei corpi idrici può essere valutato sia in base alla specifica destinazione d'uso (destinato alla produzione di acqua potabile, balneazione, acque idonee alla vita dei pesci e dei molluschi), sia in base allo stato ecologico, cioè alla loro naturale capacità di autodepurazione e di sostegno di comunità animali e vegetali ampie e diversificate. Lo Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua, rappresentato dall'indice SECA, è determinato secondo la metodologia descritta nell'allegato 1 del D.Lgs. 152/99, integrando due indici: il Livello di Inquinamento da Macrodescrittori (LIM) e l'Indice Biotico Esteso (IBE). Il LIM è determinato sulla base dei valori dei macrodescrittori chimici (ossigeno disciolto, BOD5, COD, NH4, NO3, fosforo totale, ortofosfato) e da un significativo parametro microbiologico, l'Escherichia coli. I corsi d'acqua sono classificati in funzione del valore assunto dall'indice SECA, in classi di qualità: ottimo, buono, sufficiente, scarso e pessimo secondo la codifica seguente.

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
IBE	≥ 10	8 - 9	6 - 7	4 - 5	1 - 2 - 3
LIM	480-560	240-475	120-235	60-115	< 60

Tabella 3-1 Classificazione dei corsi d'Acqua



La caratterizzazione della qualità delle acque superficiali ricadenti nell'ambito di studio del presente lavoro può quindi essere affrontata in base ai dati riportati nel Piano di Tutela delle Acque della Regione Sardegna, che classifica i corpi idrici in base al giudizio sul loro Stato ambientale. Per i corpi idrici afferenti all'ambito di studio la rete di monitoraggio della Regione Sardegna fornisce, per le analisi condotte tra il 2002 ed il 2004, i risultati riportati nella seguente tabella.

Id Bacino	Nome bacino	Id Corpo Idrico	Nome corpo idrico	Id Stazione	Data Inizio Campion.	Data Fine Campion.	LIM	IBE	SECA	Giudizio 152
0001	Flumini Mannu	CS0001	Flumini Mannu	00010303	01/02/2002	01/03/2004	2	2	2	BUONO
				00010801	01/02/2002	01/03/2004	4	4	4	SCADENTE
				00010802	01/02/2002	01/03/2004	3	3	3	SUFFICIENTE
0002	Riu Mannu di San Sperate	CS0001	Riu Mannu di San Sperate	00020801	01/03/2002	01/04/2004	3	5	5	PESSIMO
				00020802	01/03/2002	01/04/2004	3	2	3	SUFFICIENTE
0302	Riu Cixerri	CS0001	Riu Cixerri	03020708	01/02/2002	01/04/2004	3	3	3	SUFFICIENTE
				03020823	01/02/2002	01/04/2004	3		0	N/D

Tabella 3-2 Classificazione dello stato ambientale dei corsi d'acqua dell'U.I.O. del Flumini Mannu

L'U.I.O. n.1 presenta molti corpi idrici classificati come acque di transizione, alcuni dei quali tra i più importanti dell'intera Sardegna, in quanto facenti parte di parchi e aree protette, in particolare lo Stagno di Santa Gilla che, come precedentemente ricordato, drena le acque dei due corsi d'acqua principali, il Flumini Mannu e il Cixerri. Sono inoltre presenti il sistema del Molentargius (Stagno del Molentargius e Saline di Stato di Cagliari) e una serie di corpi idrici di piccola estensione aventi notevole rilevanza paesaggistica – ambientale, che interessano in particolare le aree costiere del territorio Domus De Maria.

Per la definizione dello stato ambientale delle acque lagunari e degli stagni costieri si valuta il numero di giorni di anossia/anno che coinvolgono oltre il 30% della superficie del corpo idrico misurata nelle acque di fondo secondo lo schema della tabella 18 dell'Allegato 1 del D. Lgs. 152/99, riportato di seguito.

	BUONO	SUFFICIENTE	SCADENTE
Numero giorni di anossia/anno	≤1	≤10	>10

Tabella 3-3 Stato ambientale delle acque lagunari e degli stagni costieri



Nell'area interessata è monitorato, ai sensi del D.Lgs. 152/1999, lo stagno di S. Gilla con un totale di 22 stazioni di campionamento, come riportato nella figura seguente.

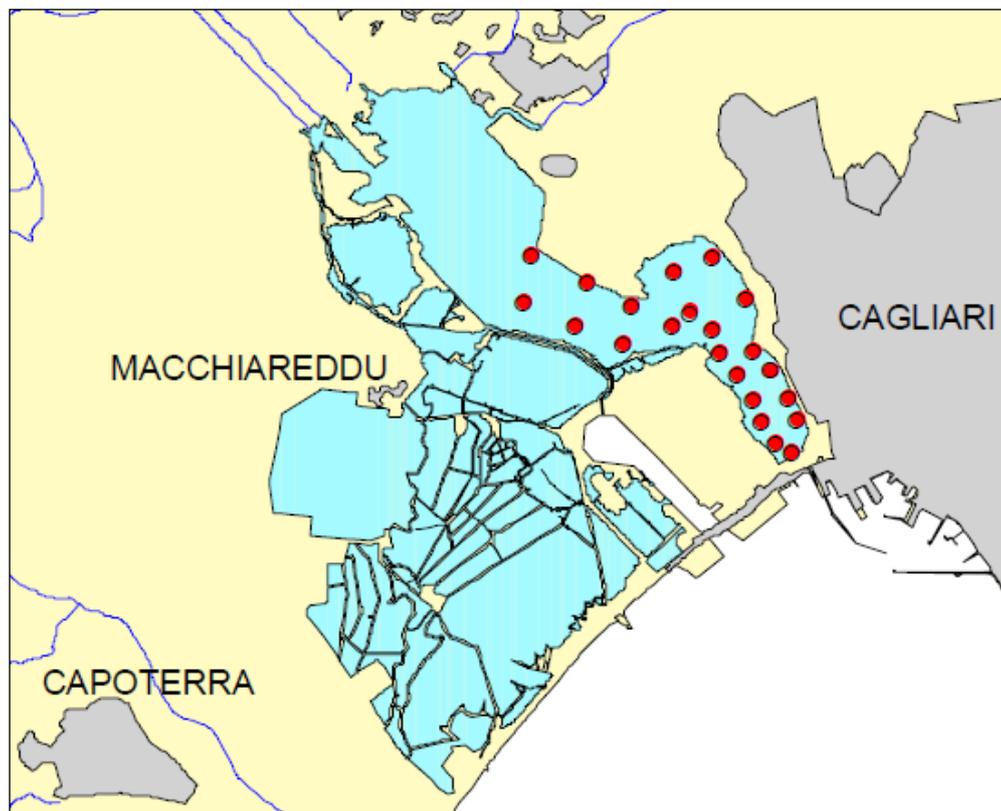


Figura 3-9 Ubicazione dei punti di monitoraggio nello stagno di S. Gilla – Studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel Comune di Capoterra, aprile 2009



n. bacino	bacino	località	ID_acque di transizione	stazione		ossigeno in superficie (sat. %)	ossigeno in superficie (mg/L)	ossigeno sul fondo (sat %)	ossigeno sul fondo (mg/L)
32	Riu Cixerri	Santa Gilla	AT51	03020801	medie	87,63	8,4	87,65	8,4
					min	65,43	5,3	64,19	5,2
					max	111,00	11,1	112,87	11,4
			AT51	03020802	medie	97,07	9,3	95,77	9,1
					min	67,23	6,3	67,31	6,3
					max	130,29	11,7	125,00	11,6
			AT51	03020803	medie	93,17	8,9	88,38	8,4
					min	77,36	6,6	73,33	6,5
					max	113,60	11,4	110,77	11,4
			AT51	03020804	medie	89,84	8,6	87,96	8,4
					min	68,09	6,1	68,42	6,0
					max	114,00	11,4	115,20	11,5
			AT51	03020805	medie	89,94	8,5	90,19	8,6
					min	72,09	5,8	72,96	5,9
					max	113,00	11,3	112,75	11,8
			AT51	03020806	medie	92,57	8,8	91,83	8,7
					min	75,48	7,4	75,00	7,4
					max	115,70	11,6	109,86	11,3
			AT51	03020807	medie	92,65	8,8	93,21	8,9
					min	75,24	7,1	75,43	7,0
					max	112,75	11,5	110,58	11,5
			AT51	03020808	medie	91,86	8,6	92,02	8,7
					min	75,96	7,2	75,48	7,4
					max	118,87	10,9	119,12	12,2
			AT51	03020809	medie	91,26	8,7	91,48	8,7
					min	71,64	6,9	72,28	6,7
					max	118,87	12,6	119,90	12,2
			AT51	03020810	medie	93,62	8,9	91,37	8,7
					min	73,27	6,4	74,65	6,8
					max	122,87	13,0	115,67	11,8
			AT51	03020811	medie	92,78	8,8	91,31	8,6
					min	70,00	6,9	71,09	6,6
					max	117,00	11,9	115,67	11,8
			AT51	03020812	medie	85,63	8,2	84,47	8,0
					min	49,11	4,4	63,53	5,4
					max	102,94	10,7	99,37	10,2
			AT51	03020813	medie	83,93	7,9	85,34	8,0
					min	53,69	4,8	53,69	4,8
					max	99,38	11,6	102,67	10,8
			AT51	03020814	medie	86,06	8,1	85,07	8,0
					min	69,54	6,1	67,90	5,5
					max	104,50	11,2	106,38	11,3
AT51	03020815	medie	88,69	8,5	85,56	8,1			
		min	62,50	5,6	67,42	6,0			
		max	108,50	11,5	109,25	11,7			
AT51	03020816	medie	91,09	8,7	84,47	8,0			
		min	67,67	5,9	59,23	5,2			
		max	105,94	11,9	102,16	10,5			
AT51	03020817	medie	91,35	8,8	87,37	8,3			
		min	67,92	6,4	68,28	6,1			
		max	119,31	12,3	109,52	11,5			

Tabella 3-4 Valori minimi, medi e massimi di ossigeno disciolto (anni 2002-2006) - Studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel Comune di Capoterra, aprile 2009



n. bacino	bacino	località	ID_acque di transizione	stazione		ossigeno in superficie (sat. %)	ossigeno in superficie (mg/L)	ossigeno sul fondo (sat %)	ossigeno sul fondo (mg/L)	
			AT51	03020818	medie	93,40	8,9	89,43	8,5	
						min	67,83	6,3	68,94	6,4
						max	126,60	12,4	117,02	12,2
			AT51	03020819	medie	94,22	9,0	81,45	7,8	
						min	65,53	5,7	55,75	4,9
						max	147,48	12,0	111,52	10,0
			AT51	03020820	medie	97,28	9,4	89,96	8,5	
						min	68,51	6,7	69,11	6,8
						max	123,61	12,0	116,95	12,3
			AT51	03020821	medie	97,07	9,3	93,57	8,9	
						min	69,36	7,2	70,21	7,3
						max	117,19	12,0	114,76	12,1
			AT51	03020822	medie	92,52	8,8	87,36	8,3	
						min	72,41	6,8	64,05	5,6
						max	120,56	11,0	114,36	11,1
						min	60,00	5,1		
						max	115,00	10,0		

Tabella 3-5 (segue da Tabella 3-4): Valori minimi, medi e massimi di ossigeno disciolto (anni 2002-2006) - Studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel Comune di Capoterra, aprile 2009

In base ai dati derivati dal monitoraggio non si individuano anossie significative e lo stato di qualità delle acque di transizione può essere assunto come buono. Per fornire un quadro più completo sullo stato qualitativo delle acque di transizione nel documento *Studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel Comune di Capoterra* sono stati calcolati, per tutte le stazioni, i valori minimi, medi e massimi, dei parametri fisico – chimici, chimici e batteriologici per il periodo 2002 – 2006. I valori ottenuti sono stati quindi ulteriormente sintetizzati in modo da individuare un unico campo di variazione dei valori per singolo corpo idrico. La tabella che segue riporta i valori medi minimi e massimi dei parametri chimici e batteriologici nel periodo 2002 – 2006.

BACINO	Acque di transizione	Località		pH	Temperatura (°C)	Ntot (µg/L)	N-NH4 (µg/L)	N-NO3 (µg/L)	N-NO2 µg/l	P-PO4 (µg/l)	Ptot (µg/L)	Trasparenza (m)	Clorofilla (µg/L)	Salinità	Enterococchi UFC/100 ml	Fitoplankton
Riu Cixerri	AT5001	Santa Gilla	max	8,8	28,1	2538	543	2450	120	129	72,9	7	59,9	3570	130	4481560
			min	7,9	6,8	n.r.	39	n.r.	8,8	8,8	1	0,2	0,3	2	n.r.	
			med	8,3	18,6	550	69	312,8	19,8	19,8	40,2	1,1	8,1	41,76	9	564418

Tabella 3-6 Valori medi, minimi e massimi dei parametri chimici e batteriologici relativi agli anni 2002-2006 - Studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel Comune di Capoterra, aprile 2009



3.3 Rapporto Opera – Ambiente

3.3.1 Analisi delle azioni di progetto

L'analisi del rapporto tra l'Opera in progetto e l'ambiente idrico superficiale si basa sulla preliminare individuazione delle azioni di progetto che potenzialmente possono interferire con l'attuale assetto idrologico – idraulico dell'ambito di studio. Tale assetto mette in risalto, come descritto nel paragrafo relativo al quadro conoscitivo ante operam, quali siano le peculiarità ambientali su cui concentrare l'attenzione, al fine di individuare le tematiche di interesse in base alle quali esprimere la valutazione degli effetti delle possibili interferenze. Le azioni di progetto vengono quindi studiate, in questa sede, in funzione della loro interdipendenza con i seguenti aspetti, sia per la fase di esercizio, sia per quella di cantiere:

- A) alterazione della circolazione idrica superficiale,
- B) variazione della qualità delle acque superficiali di transizione,
- C) approvvigionamenti idrici e scarichi per le aree di cantiere.

Gli elementi dell'intervento in progetto che entrano in relazione con gli aspetti ambientali sopra indicati sono brevemente descritti nella seguente tabella.

FASE	ELEMENTI		AZIONI SULL'AMBIENTE
Esercizio	Opere a terra	piazzali e viabilità	alterazione della circolazione idrica superficiale
		rete fognaria e rete di smaltimento acque meteoriche	variazione della qualità delle acque superficiali di transizione
	Opere a mare	banchine e moli	alterazione della circolazione idrica superficiale
			variazione della qualità delle acque superficiali di transizione
Realizzazione	Opere a terra	piazzali e viabilità	approvvigionamenti idrici e scarichi per le aree di cantiere
	Opere a mare	banchine e moli	

Tabella 3-7 Elementi progettuali potenzialmente interferenti con l'ambiente idrico superficiale



3.3.2 Individuazione delle possibili interferenze

3.3.2.1 Fase di esercizio

L'individuazione delle possibili interferenze con l'ambiente idrico superficiale consiste essenzialmente nell'individuare i possibili impatti associati alla presenza dell'Opera ed attribuendo a ciascun impatto, o categoria di impatti (le interferenze), un grado di rilevanza stimato in base all'ipotesi che essi causino la maggior pressione sull'ambiente in assenza di interventi di mitigazione. In seguito all'analisi delle caratteristiche dell'intervento in progetto si è ritenuto, come detto, che le tipologie di interferenze riguardino la circolazione idrica superficiale e la qualità delle acque superficiali. La tabella seguente riporta in sintesi la stima dei possibili impatti ed il relativo grado di rilevanza.

CATEGORIA DI INTERFERENZA	POSSIBILI IMPATTI	GRADO DI RILEVANZA
A) alterazione della circolazione idrica superficiale	A.1) variazione delle caratteristiche di corrivazione	medio
B) variazione della qualità delle acque superficiali di transizione	B.1) peggioramento dell'attuale grado di qualità ambientale	medio

Tabella 3-8 Individuazione delle interferenze e della rilevanza dei possibili impatti

I possibili impatti individuati in questa sede sono di fatto determinati dalla realizzazione di nuove superfici impermeabili, sia per le opere a terra sia per quelle a mare. Bisogna a questo punto ricordare che il progetto delle opere a terra è stato oggetto di una procedura di verifica di esclusione dalla VIA, la quale ha indicato alcune prescrizioni e raccomandazioni da ottemperare in merito al tema dello smaltimento delle acque dei piazzali. Tali ottemperanze sono state pienamente recepite dal Progetto Definitivo delle Opere a terra preso in esame in questa sede.

Le considerazioni che seguono si riferiscono quindi al Progetto Definitivo delle Opere a mare, pur rimanendo valide anche per le superfici pavimentate delle Opere a terra. L'alterazione della circolazione idrica superficiale può essere causata, come detto, dall'aumento di superfici impermeabili, il quale di conseguenza modifica le caratteristiche del deflusso superficiale. Tale possibile impatto è stimato con un grado di rilevanza medio, poiché l'area interessata da tali nuove superfici si trova nella porzione terminale del bacino idrografico, proprio in corrispondenza del recapito finale delle acque di ruscellamento superficiale, dove i deflussi sono già concentrati e la portata drenata per unità di superficie (il cosiddetto coefficiente udometrico) risulta elevata.



La variazione della qualità delle acque superficiali di transizione è potenzialmente legata al funzionamento degli scarichi delle acque civili e di piazzale, che, se non opportunamente dimensionati, possono peggiorare l'attuale grado di qualità del corpo idrico ricettore, che, nel caso in esame, è costituito dal mare, le cui acque hanno caratteristiche fortemente interdipendenti con lo sbocco della laguna e con le acque di transizione. In virtù, quindi, del delicato equilibrio qualitativo di questo sistema di acque marino costiere, per tale possibile impatto il grado di rilevanza è stimato di grado medio.

3.3.2.2 Fase di cantiere

I possibili impatti determinati dalle interferenze associate alla fase di realizzazione dell'Opera vengono analizzati, analogamente a quanto detto per la fase di esercizio, attribuendo loro un grado di rilevanza stimato in base all'ipotesi che essi causino la maggior pressione sull'ambiente in assenza di interventi di mitigazione. In funzione delle caratteristiche del cantiere, si è individuata, come detto, la categoria di interferenza associata agli approvvigionamenti idrici ed agli scarichi. La tabella seguente riporta in sintesi la stima dei possibili impatti ed il relativo grado di rilevanza.

CATEGORIA DI INTERFERENZA	POSSIBILI IMPATTI	GRADO DI RILEVANZA
C) approvvigionamenti idrici e scarichi per le aree di cantiere	C.1) alterazione della qualità del ciclo delle acque	medio

Tabella 3-9 Individuazione delle interferenze e dei possibili impatti per la fase di cantiere

Il tema degli approvvigionamenti idrici è usualmente associato alle aree di cantiere in riferimento al fatto che le lavorazioni possono avere un fabbisogno idrico precedentemente non valutato nella gestione delle risorse ambientali. Analogamente, il tema degli scarichi delle acque di processo, o semplicemente delle acque reflue in genere, richiede attenzione al fine di non immettere sul suolo, nel reticolo idrico superficiale o direttamente a mare sostanze inquinanti. La possibile alterazione della qualità del ciclo delle acque nel caso in esame ha, infatti, una rilevanza di grado medio poiché le modalità operative del cantiere e la durata complessiva delle lavorazioni non escludono a priori tali possibili impatti.



3.3.3 Valutazione delle interferenze e soluzioni adottabili

3.3.3.1 Fase di esercizio

L'analisi del rapporto tra l'Opera in progetto e l'ambiente idrico superficiale si è basata, come descritto nei paragrafi precedenti, sull'individuazione delle interferenze e dei possibili impatti indotti dalla presenza e dalla realizzazione degli interventi in progetto. La valutazione del grado di rilevanza di tali impatti consente di individuare le possibili soluzioni per ridurre gli eventuali effetti negativi sull'ambiente.

In particolare si è visto che la realizzazione di nuove superfici impermeabili, cioè i banchinamenti ed i moli, hanno influenza sul comportamento quali quantitativo del sistema smaltimento – corpo ricettore. Tuttavia il sistema di collettamento delle acque meteoriche di piazzale e quello di smaltimento delle acque di processo, legate alle attività che si svolgeranno nei vari lotti e sulla banchina dei servizi ancillari, potranno efficacemente contenere gli impatti potenziali stimati, grazie soprattutto alla presenza delle vasche di prima pioggia che svolgeranno l'importante compito di intercettare le sostanze inquinanti. Al fine di ottimizzare il funzionamento di tali sistemi si potrà prevedere di dotare gli organi di scarico di un sistema di rilascio graduale, onde mantenere quanto più possibile l'invarianza idraulica delle aree. Inoltre si potranno prevedere attività di monitoraggio delle acque di scarico, al fine di controllare il funzionamento del sistema.

3.3.3.2 Fase di cantiere

Gli impatti potenziali stimati in relazione agli approvvigionamenti idrici ed agli scarichi per le aree di cantiere sono fortemente influenzati dalla tipologia di attività che verranno svolte. Al fine di contenere quanto più possibile la potenziale alterazione del ciclo delle acque, si potrà utilizzare la rete di riciclo delle acque industriali, gestita dal CASIC.



4 SUOLO E SOTTOSUOLO

4.1 Metodologia di lavoro

4.1.1 Obiettivi e finalità

La caratterizzazione del suolo e del sottosuolo, svolta nel presente capitolo, ha lo scopo di descrivere le peculiarità di tale componente ambientale in riferimento all'ambito di studio considerato, che riguarda il Golfo del Cagliari nell'area dell'avamposto est del Porto Canale.

L'obiettivo di tale descrizione è quello di mettere in risalto gli aspetti maggiormente significativi e rappresentativi del suolo e del sottosuolo, onde individuare le caratteristiche "sensibili" agli effetti causati dalla presenza e dalla realizzazione dell'Opera in progetto.

4.1.2 Criteri di studio

Lo studio della componente ambientale in esame si basa essenzialmente sulla preliminare descrizione delle sue caratteristiche nella condizione attuale *ante operam* e nella successiva individuazione delle possibili interferenze che definiscono il rapporto tra l'Opera e l'Ambiente. In sintesi i criteri di studio si articolano come segue:

1. inquadramento geologico dell'ambito di studio;
2. verifica preliminare delle fonti conoscitive disponibili;
3. disamina del quadro normativo di riferimento;
4. descrizione degli aspetti geolitologici, geomorfologici ed idrogeologici;
5. analisi dell'intervento in progetto;
6. individuazione delle possibili interferenze, sia per la fase di esercizio sia per quella di cantiere;
7. valutazione delle interferenze e soluzioni adottabili.

L'analisi dell'intervento in progetto metterà in risalto le azioni permanenti e transitorie che interagiscono con gli aspetti del suolo e del sottosuolo precedente descritti, permettendo di individuare le tematiche, cioè le tipologie di interferenze possibili, su cui concentrare l'attenzione per valutare il grado di rilevanza delle conseguenze della interazione tra l'Opera e l'Ambiente. Infine, laddove necessario, si indicheranno le soluzioni adottabili per contenere e limitare gli effetti di tali interazioni.

4.2 Quadro conoscitivo ante operam

4.2.1 Inquadramento geologico dell'ambito di studio

L'ambito di studio preso in considerazione per le analisi condotte in questa sede ricade interamente nel territorio del Comune di Cagliari e comprende il Golfo di



Cagliari, per la parte marina, ed il relativo entroterra, costituito dal Porto Canale e dallo Stagno di Santa Gilla. L'ambito sottende la parte più meridionale del cosiddetto rift oligo-miocenico della Sardegna, all'interno del quale si è definito, in tempi successivi a partire dal Pliocene, il cosiddetto graben del Campidano.

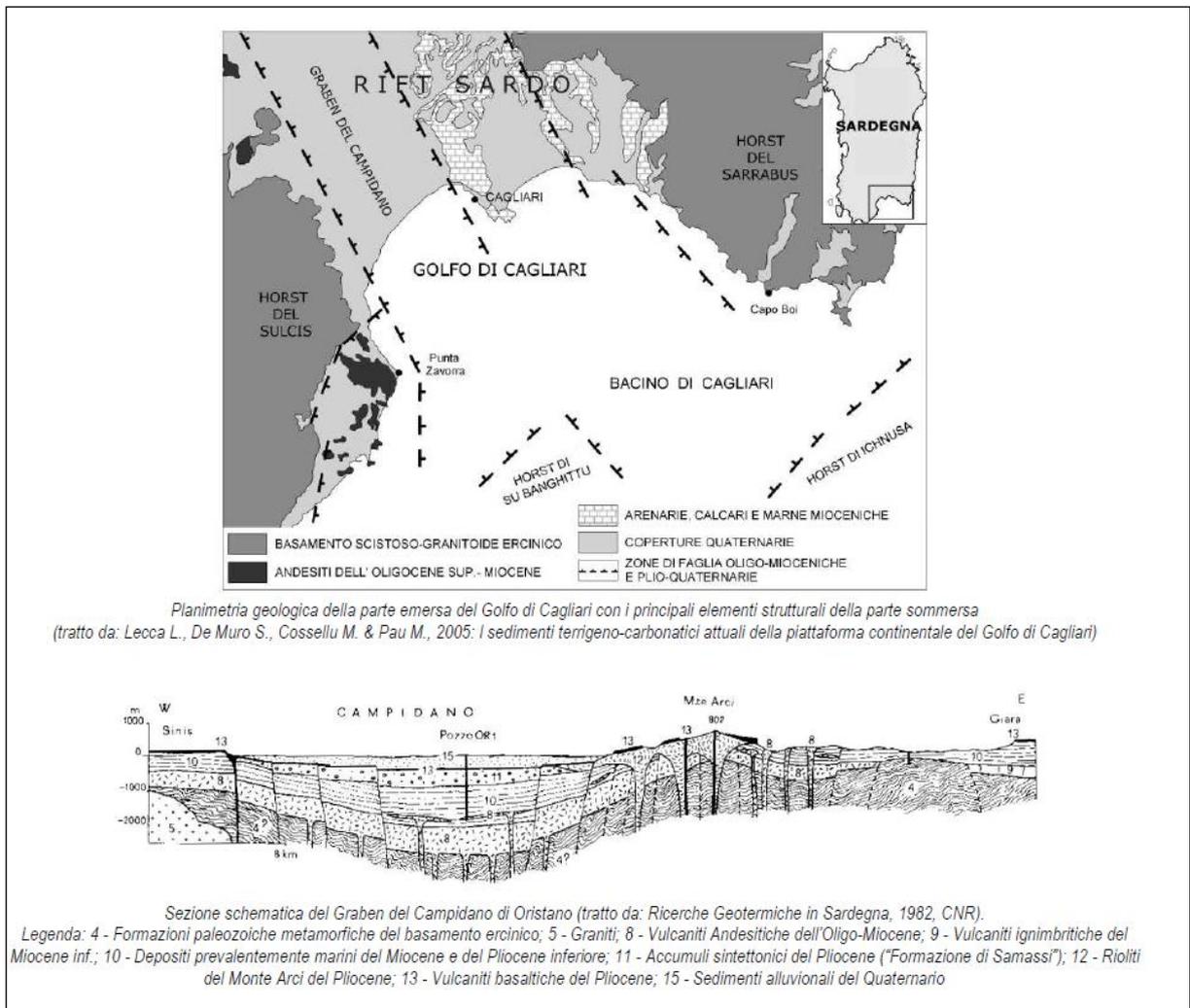


Figura 4-1 Inquadramento geologico dell'ambito di studio

4.2.2 Fonti conoscitive

Il lavoro è stato organizzato e svolto nel modo di seguito sintetizzato:

- Ricerca e consultazione della bibliografia esistente: i lavori scientifici riguardanti la geologia dell'area di interesse non sono risultati particolarmente numerosi. La bibliografia utilizzata è comunque stata elencata nella parte finale di questa relazione.



- Ricerca e raccolta della cartografia topografica comprendente l'area di interesse: la raccolta della cartografia è principalmente consistita nel reperimento delle seguenti nuove sezioni I.G.M. a scala 1:25.000:
 - Foglio 557 - sez. III. "Cagliari",
 - Foglio 565, sez. I "Capoterra",
 - Foglio 556, sez. II "Assemini",
 - Foglio 566 - sez. IV. "La Maddalena".

4.2.3 Quadro normativo di riferimento

Il quadro normativo di riferimento per contestualizzare la caratterizzazione del suolo e sottosuolo dell'ambito di studio è costituito fondamentalmente dal Piano di Assetto idrogeologico (PAI) e dal Piano di Tutela delle Acque (PTA). Il Piano di Gestione del Distretto idrografico, per quanto riguarda le acque sotterranee, riprende interamente quanto previsto dal PTA.

Nelle aree di pericolosità da frana il PAI ha, tra le altre, le finalità di:

- garantire nel territorio della Regione Sardegna adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici e tutelare quindi le attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e culturale esposti a potenziali danni;
- inibire attività ed interventi capaci di ostacolare il processo verso un adeguato assetto idrogeologico di tutti i sottobacini oggetto del piano;
- impedire l'aumento delle situazioni di pericolo e delle condizioni di rischio idrogeologico esistenti alla data di approvazione del piano;
- evitare la creazione di nuove situazioni di rischio attraverso prescrizioni finalizzate a prevenire effetti negativi di attività antropiche sull'equilibrio idrogeologico dato, rendendo compatibili gli usi attuali o programmati del territorio e delle risorse con le situazioni di pericolosità idraulica e da frana individuate dal piano;
- creare la base informativa indispensabile per le politiche e le iniziative regionali in materia di delocalizzazioni e di verifiche tecniche da condurre sul rischio specifico esistente a carico di infrastrutture, impianti o insediamenti.

Le Norme di Attuazione del PAI perseguono gli obiettivi di tutela idrogeologica mediante disposizioni specifiche per le aree a diverso grado di pericolosità da frana. Tali disposizioni vincolano l'uso e la trasformazione del territorio, nonché limitano la tipologia e la natura degli interventi ammessi, prescrivendo misure idonee a mitigare il rischio.

Per gli interventi di pubblica utilità che rivestono particolare rilevanza sotto il profilo economico e sociale l'Ente competente al rilascio della concessione può subordinarne l'attuazione alla valutazione positiva di uno studio di compatibilità geologico –



geotecnica, predisposto a cura dell'attuatore, dal quale risulti la coerenza delle iniziative con le misure di mitigazione del rischio previste dal PAI medesimo ovvero le opere di mitigazione necessarie.

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA) è uno strumento conoscitivo e programmatico che si pone come obiettivo l'utilizzo sostenibile della risorsa idrica.

Il Piano di Tutela delle Acque prevede che entro il 31 dicembre 2016 debbano essere raggiunti i seguenti obiettivi di qualità ambientale:

a) i corpi idrici significativi superficiali e sotterranei mantengano o raggiungano la qualità ambientale corrispondente allo stato di "buono", come definito nell'allegato 1 del DLgs 152/06;

b) sia mantenuto, ove già esistente, lo stato di qualità ambientale "elevato" come definito nell'allegato 1 del DLgs 152/06.

Ogni corpo idrico superficiale classificato, o tratto di esso, deve conseguire almeno lo stato di qualità ambientale "sufficiente", come definito dall'allegato 1 del medesimo Decreto, entro il 31 dicembre 2008.

Per lo stagno di Santa Gilla l'obiettivo sarà dato dal controllo dei carichi di nutrienti, che non dovranno superare quelli rilevati nell'ambito dello studio sopra citato. In particolare, quando verrà completato lo schema fognario depurativo 276, dovrà garantirsi un adeguato apporto di acque dolci allo stagno che eviti un ulteriore incremento della salinità delle acque; per lo stagno di Santa Giusta l'obiettivo sarà dato da una drastica riduzione dei carichi di nutrienti in ingresso al fine di limitare il più possibile i fenomeni distrofici.

4.2.4 Aspetti geologici

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di formazioni geologiche relativamente recenti, nel quadro generale del settore in cui esso è situato. Si tratta, infatti, di formazioni essenzialmente quaternarie che ad ovest sono bordate dai rilievi paleozoici del settore di Capoterra, a nord-est dalle colline mioceniche del settore di Cagliari e, a nord e nord-ovest, dalla pianura del Campidano, anch'essa colmata prevalentemente da sedimenti di età quaternaria.

Per comodità, possiamo suddividere l'area circostante il Golfo di Cagliari in tre settori:

- Il settore di Capoterra
- Il settore di Cagliari e del Campidano meridionale
- Il settore delle Saline

Il settore di Capoterra

Tale area è caratterizzata dalla estesa presenza di rilievi montuosi costituiti da formazioni geologiche appartenenti al basamento ercinico, da importanti intrusioni



magmatiche di leucograniti, da estesi depositi quaternari alluvionali, più o meno terrazzati, al piede dei rilievi e da sedimenti di spiaggia recenti nella fascia costiera.

Il basamento paleozoico di questo settore è caratterizzato dalla presenza di litologie di età variabile dal Cambro-Ordoviciano sino al Carbonifero inferiore. Esso costituisce una porzione del segmento sardo della catena ercinica che, com'è noto, si estende nelle adiacenti regioni dell'Europa meridionale.

In particolare, l'area di Capoterra occupa una posizione particolare nell'ambito della suddetta catena, in quanto vi è rappresentato il punto nel quale, durante l'orogenesi, la "zona a falde" (più metamorfica e deformata, che da qui si estende fino alla Sardegna settentrionale) si è accavallato tettonicamente sulla "zona esterna" (tipica dell'Iglesiente-Sulcis e con minore deformazione e grado metamorfico).

Il contatto di accavallamento tettonico che sovrappone la Zona a Falde alla Zona Esterna, passa a NW dell'abitato di Capoterra, attraversa il settore della Miniera di S. Leone e, con andamento circa NW-SE, si prolunga verso l'Iglesiente-Fluminese.

L'Unità dell'Arburese è l'unità tettonica presente nella Zona a Falde della Sardegna sud-occidentale; essa è rappresentata da una potente successione costituita prevalentemente da metarenarie e metasiltiti di colore grigio-verde. Essa è caratterizzata, quasi ubiquitariamente, da strutture sedimentarie quali stratificazione piano-parallela e incrociata e dall'assenza di macrofossili.

I caratteri lito-stratigrafici di questa formazione sono analoghi a quelli di altre formazioni ben conosciute in altri settori del basamento ercinico, quali la Formazione delle Arenarie di S. Vito (Sarrabus-Gerrei), la Formazione di Solanas (Gerrei-Sarcidano), etc.

Sulla base del ritrovamento di alcuni particolari microfossili (acritarchi), l'età di queste formazioni è generalmente riferita al Cambriano-Ordoviciano-inf.

La successione paleozoica della *Zona Esterna* che affiora nell'area di Capoterra è caratterizzata da una maggiore variabilità litologica: vi affiorano, infatti, metarenarie ordoviciane sup., metapeliti scure siluriane, metacalcari siluro-devoniani e una successione silicoclastica prevalentemente costituita da metarenarie e metasiltiti, particolarmente potente ed estesa, stratigraficamente sovrastante le precedenti, la cui età è riferibile al Carbonifero inf.

Solo recentemente in questa formazione, analogamente ed altre affioranti nel Sarrabus-Gerrei e nella Trexenta, sono stati riconosciuti quei peculiari caratteri (quali olistoliti, brecce e conglomerati contenenti clasti di rocce di età siluro-devoniana: liditi, calcari, etc.) che hanno permesso di distinguerla dalle formazioni cambro-ordoviciane con le quali, effettivamente, condividono alcuni caratteri litostratigrafici (i tipi litologici prevalenti, la frequente presenza di strutture sedimentarie quali



stratificazioni piano-parallele, incrociate, etc...) e gli spessori di varie centinaia di metri.

La presenza di estesi affioramenti di leucograniti ercinici, intrusi in tutte le formazioni sopra descritte, ha provocato nelle rocce incassanti effetti di termometarmorfismo.

Nei sedimenti clastici contenuti nei sedimenti alluvionali (terrazzati e non) quaternari che si trovano ai piedi dei rilievi citati, sono chiaramente riconoscibili le litologie appena descritte.

Il settore di Cagliari e del Campidano meridionale

Le colline di Cagliari sono costituite da una successione sedimentaria marina miocenica che è confinata, ad ovest, dai sedimenti continentali plio-quaternari del Campidano meridionale e a sud-ovest da quelli delle Saline.

Più in particolare, la successione presente in questo settore è rappresentata da una successione miocenica a carattere trasgressivo, prima continentale poi marino, seguita da depositi quaternari antichi e recenti, continentali e, subordinatamente, litoranei; la successione, dal basso verso l'alto, è la seguente:

Formazione di Ussana (Oligocene sup-Aquitano inf.)

La Formazione di Ussana (Pecorini & Pomesano-Cherchi, 1969) è costituita prevalentemente di conglomerati poligenici e arenarie continentali con matrice argillosa rosso-violacea, arenarie e siltiti litorali con ostreidi, mitilidi, ceritidi. Gli ambienti deposizionali di questa formazione sono variabili: dai sedimenti più grossolani, che corrispondono a depositi di scarpata e di conoide alluvionale si passa a sedimenti di granulometria più fine di tipo torrentizio e fluviale e, infine, ad altri ancora più fini di ambienti fluvio-lacustri, lagunari e litorali. Gli spessori possono raggiungere i 500 m (presso Dolianova).

Argille di Fangario: (Langhiano medio-Serravalliano inf.)

Si tratta di una formazione argilloso-marnosa che diventa, verso l'alto, sempre più arenaceo-marnosa. A Cagliari è stata rinvenuta solo in sondaggi e affiora prevalentemente presso Sestu, Monserrato e poco a nord dell'area rilevata dello Stagno di S. Gilla. Le argille più o meno sabbiose che la costituiscono sono anch'esse fossilifere, con abbondanti Foraminiferi planctonici e bentonici, Brachiopodi, Echinidi, Ostracodi, etc. L'ambiente di deposizione è riferibile a condizioni batiali. Nella parte alta della formazione inizia un ciclo regressivo a cui corrisponde una diminuzione della batimetria.



Arenarie di Pirri (Serravalliano)

Questa formazione affiora soprattutto nella zona di Cagliari e nei suoi dintorni. Si tratta di alternanze di arenarie marnose, calcareniti, siltiti più o meno cementate, spesso friabili, di ambiente litorale. I clasti sono soprattutto costituiti da elementi di quarzo, feldspati e miche, mentre la calcite costituisce prevalentemente il cemento. Solo localmente esse sono fossilifere, con resti di bivalvi ed echinidi e Foraminiferi planctonici.

Calcari di Cagliari (Tortoniano-Messiniano)

Si tratta prevalentemente di calcari e arenarie marnose di piattaforma con molluschi e alghe calcaree. La successione classica di questa formazione è rappresentata, dal basso verso l'alto, da una serie di caratteristiche litologie le cui denominazioni derivano dall'utilizzo che ne è stato fatto, nel passato, nel campo dell'edilizia. Queste sono, dal basso verso l'alto:

- la *Pietra Cantone*: costituita da calcari marnosi, talora arenacei, di colore giallo chiaro. La componente argillosa e quella arenacea, la cementazione non molto avanzata, contribuiscono a rendere relativamente tenere le rocce appartenenti a questa formazione. Il contenuto fossilifero è abbondante ed è costituito da resti di Briozoi, Bivalvi, Gasteropodi, Cefalopodi, pesci, rettili, etc... Sulla base dei Foraminiferi planctonici e bentonici è stato possibile attribuire questa unità litostratigrafica al Tortoniano-Messiniano (Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969; Cherchi, 1974; Cherchi & Tremolieres, 1984; Cherchi, 1985)
- il *Tramezzario*: costituito da biocalcareni talora marnose, più o meno grossolane, di colore bianco, contenenti minuti clasti che ne determinano l'aspetto farinoso e frammenti fossili: bivalvi, gasteropodi etc. La parte basale del Tramezzario è caratterizzata da discordanze angolari, faglie sinsedimentarie, *slumpings*, superfici di erosione e breccie intraformazionali.
- la *Pietra Forte*: costituita da calcari, talvolta massivi, di scogliera in facies di bioerma e biostroma, competenti e tenaci, di colore bianco. L'ambiente deposizionale può essere ricondotto a condizioni litorali e infralitorali. Anch'esso è ricco di resti fossili, tra i quali si distinguono per abbondanza i lithothamni, ma anche da molluschi vari, colonie di briozoi, etc.
L'età della Pietra Forte, sulla base della posizione stratigrafica e della fauna, è riferibile al Messiniano (Cherchi, 1985; Leone *et alii*, 1992).

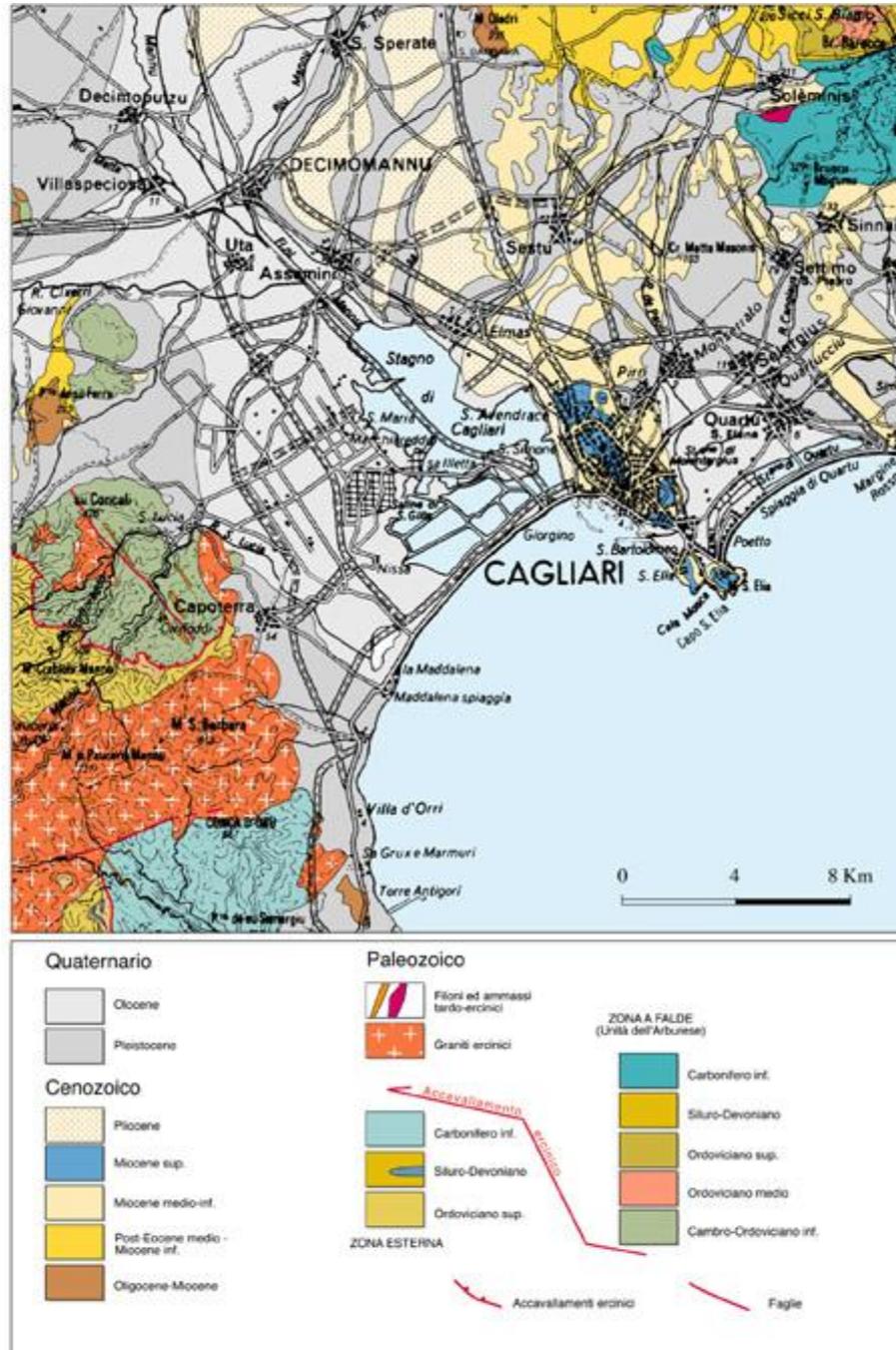


Figura 4-2 Carta geologica schematica alla scala 1:200.000 dell'area comprendente il Golfo di Cagliari

Formazione di Samassi (Pliocene)

A ridosso del bordo orientale del Graben plio-quaternario del Campidano affiora una formazione rappresentata prevalentemente da un complesso continentale



conglomeratico marnoso-arenaceo, costituito dalla Formazione di Samassi. Si tratta di una formazione pliocenica, prevalentemente fluvio-deltizia, che rimaneggia i sedimenti miocenici e pliocenici. Tali depositi sedimentari sono caratterizzati dalla presenza di nuduli e concrezioni calcareo-argillose alternate ad argille. I depositi clastici più grossolani possono avere granulometrie variabili da pochi centimetri fino a circa 0,5 m e provengono sia da formazioni mioceniche, delle quali rimaneggiano anche i fossili, che dal basamento paleozoico.

I depositi clastici della Formazione di Samassi hanno un'origine legata alla formazione e alla successiva evoluzione e abbassamento del Graben del Campidano e alla conseguente erosione dei rilievi ad esso adiacenti.

La presenza di questa formazione nel settore in studio è legata alla sua localizzazione prossima al bordo orientale del suddetto graben, il cui abbassamento tettonico è stato via via colmato dai sedimenti provenienti dai rilievi morfo-tettonici situati ad est.

Il settore delle Saline

Come già accennato, questo settore è caratterizzato dalla presenza di sedimenti quaternari più o meno recenti, quali depositi alluvionali a granulometria variabile, sia terrazzati che sciolti, sabbie costiere, limi e argille palustri nella parte centrale del settore in studio, e di svariati materiali da riporto legati all'evoluzione antropica subita. La descrizione dettagliata di questi tipi litologici sarà descritta più avanti.

In particolare, possono essere distinte le seguenti formazioni, dal basso verso l'alto stratigrafico:

- *Terreni di riporto artificiale* di varia natura, granulometria e provenienza. I blocchi di dimensioni maggiori sono stati utilizzati come frangiflutti presso le opere portuali.

Altri abbondanti ammassi di materiali grossolani, costituiti in prevalenza da frammenti grossolani di arenarie fossilifere a cemento calcareo della Panchina tirreniana, provenienti dai lavori di dragaggio del porto canale, sono stati riportati e distribuiti tra il porto-canale e la località *Sa Illetta*, sopraelevando la topografia originaria di qualche metro.

Materiali conglomeratici di origine alluvionale sono stati utilizzati per realizzare vie di comunicazione ed argini artificiali all'interno dello stagno.

Materiali conglomeratico-sabbiosi sono stati utilizzati per costruire ampi spiazzi, antistanti il mare, lungo la costa presso il settore del porto-canale.

I materiali più fini, invece, sono stati utilizzati per realizzare i sottili argini che suddividono le varie vasche utilizzate nelle saline e riempire i bacini cdi colmata presenti nel settore ad E-NE di Macchiareddu. Questi materiali, tuttavia,



prevalentemente limi e argille, sono stati prelevati dalle aree immediatamente adiacenti.

- *Depositi di spiaggia e dune costiere attuali*: si tratta di sabbie prevalentemente quarzose e feldspatiche sciolte, ricche di resti conigliari di molluschi attuali, che si estendono per alcuni chilometri lungo la costa tra le località Giorgino e la Maddalena. Questi depositi, soprattutto nell'area del porto canale, sono stati talora fortemente inquinati da materiali da riporto.

- *Limi, limi argillosi, argille fluvio-lacustri e palustri*:

Queste litologie sono ben rappresentate in tutta l'area centrale dello Stagno di S. Gilla e costituiscono i sedimenti a granulometria più fine presenti nell'area di studio.

Tra questi sedimenti fini, possono essere distinti i seguenti due tipi:

- limi argillosi di colore rossastro, con scarsa componente clastica grossolana, di origine alluvionale;
- -argille limose e limi argillosi di colore scuro con abbondante frazione organica.

- *Panchina tirreniana*: si tratta di tipici depositi prevalentemente arenacei e conglomeratici ad abbondante cemento calcareo, talora con stratificazione incrociata, ricchi di concrezioni calcaree e resti fossili di molluschi marini, attribuibili al Tirreniano II. Essi rappresentano antichi depositi litoranei che, cementati dai processi diagenetici, ora testimoniano le conseguenze legate alla trasgressione marina avvenuta durante l'ultimo interglaciale Riss-Wurm. In particolare, la presenza di *Strombus bubbonius* ha consentito di risalire alle condizioni climatiche esistenti durante la deposizione di questi sedimenti, che corrispondono ad un periodo caldo-umido (il piano *Tirreniano* è stato istituito da ISSEL nel 1914, proprio nella zona di Calamosca, presso il Capo S. Elia).

Durante questo intervallo di tempo, a causa dello scioglimento di importanti masse di ghiacci, il livello del mare doveva essere significativamente più alto rispetto a quello attuale. Nella zona dello stagno la "Panchina tirreniana", infatti, ora emerge per circa 2 m dall'attuale livello del mare.

- *Depositi alluvionali non terrazzati* sono costituiti da depositi alluvionali sciolti, ormai non più interessati da processi di trasporto fluviale, presenti nel settore occidentale e nel settore settentrionale della carta. Si tratta di sabbie e ghiaie poco o nulla cementate, con elementi di varia natura, la cui provenienza è, frequentemente identificabile nei rilievi ercinici del Sulcis orientale, nell'erosione dei depositi alluvionali terrazzati più antichi e dai rilievi miocenici a E del Campidano (per quanto riguarda la zona settentrionale della carta).



- *Depositi alluvionali recenti*: si tratta di depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi, ancora in evoluzione e interessati dai processi di trasporto fluviale, che sono localizzati in prossimità degli attuali alvei fluviali dei corsi d'acqua principali del settore. Nei pressi delle foci del Rio Flumini Mannu e del Rio Cixerri prevalgono litologie più fini, limoso-argillose di colore rossastro.

- *Depositi alluvionali terrazzati e di conoide*: si tratta di depositi alluvionali grossolani, conglomeratici, eterometrici e poligenici, più o meno elaborati e cementati, con matrice argilloso-arenacea. I clasti provengono principalmente dallo smantellamento dei rilievi paleozoici del settore di Capoterra, e sono prevalentemente costituiti da metamorfiti e granitoidi ercinici. Questi depositi affiorano in abbondanza in tutta la pianura compresa tra la costa e i rilievi montuosi del Sulcis sud-orientale.

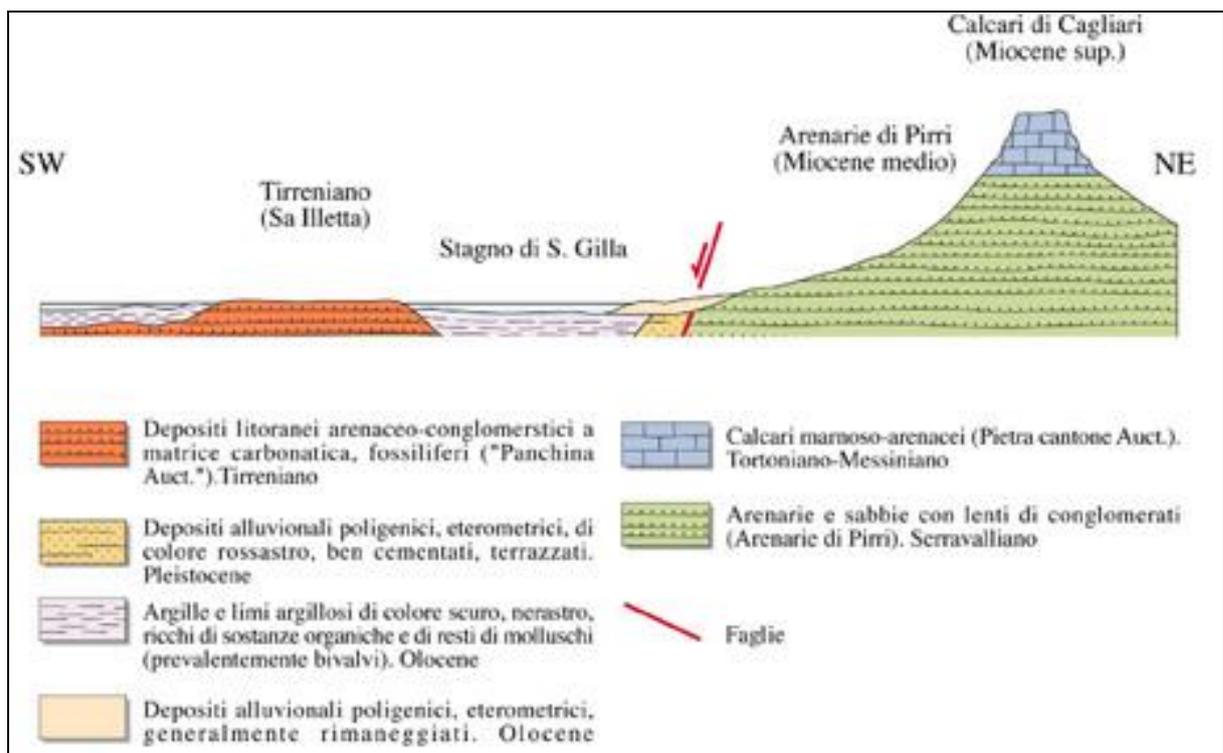


Figura 4-3 Profilo schematico mostrante i rapporti sedimentari tra le formazioni geologiche presenti nell'area della Stagno di S. Gilla.

4.2.5 Caratterizzazione geotecnica dell'area di studio

4.2.5.1 Le indagini eseguite

La caratterizzazione geotecnica dell'area di studio è stata svolta nell'ambito della progettazione definitiva delle opere in esame con lo scopo di ricostruire l'assetto litotecnico locale e di determinare le grandezze fisico – meccaniche dei terreni



presenti, al fine di fornire il necessario supporto al calcolatore delle strutture per la scelta della tipologia di fondazione più adeguata sia per le strutture a terra (edifici ed opere di urbanizzazione primaria) che per quelle a mare (banchine e moli portuali).

Le indagini si sono esplicitate nell'esecuzione di alcuni sondaggi geognostici, integrati sia da prove penetrometriche S.P.T. nel corso delle trivellazioni, sia da prove penetrometriche continue di tipo C.P.T.; sono state inoltre condotte prove di laboratorio su campioni rappresentativi del sedime.

Più precisamente sono state eseguite le seguenti indagini e prove la cui ubicazione è stata stabilita con il criterio di ricostruire il sedime dell'intero comparto in studio distribuendo le prove ed i sondaggi secondo uno schema di punti al vertice ed al centro di un rettangolo "virtuale":

- Sondaggi geognostici: n. 4
- Test speditivi su spezzoni di carota (P.P. e V.T.)
- Prove Penetrometriche statiche tipo C.P.T.: n. 12
- Prelievo di campioni semidisturbati di terreno: n. 6
- Classificazione delle Terre secondo CNR-UNI 10006: n. 2
- Prove Edometriche: n. 1

L'ubicazione dei sondaggi eseguiti è riportata nella figura seguente.





LEGENDA

-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Prova penetrometrica CPT

Figura 4-4 Ubicazione dei sondaggi geognostici

I sondaggi (denominati S1÷S4) sono stati eseguiti nel rispetto delle “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” (1977) dell’Associazione Geotecnica Italiana.

La tecnica utilizzata è stata quella a rotazione con carotaggio integrale, diametro \varnothing 101 mm, con estrazione del 100% di terreno attraversato, utilizzando aste di perforazione \varnothing 76 mm e carotiere semplice con tagliente in widia, impiegando una sonda idraulica specifica per indagini geognostiche (cfr. Foto 4-1).



Foto 4-1 Sonda utilizzata per le trivellazioni

4.2.5.2 I risultati delle indagini

In sintesi, sulla base di quanto emerso dalla campagna di indagini, la successione litotecnica dell’areale di sedime – a partire dal piano di campagna – può essere così schematizzata:

AREE A TERRA

- [A] Terreni di riporto
- [B] Sabbie fini limose carbonatiche
- [C] Limi ± sabbiosi ± argillosi con livelli paglia marina
- [D1] Sabbie fini limose
- [D2] Sabbie più o meno ciottolose e ghiaie
- [E] Argille più o meno sabbiose

AREE A MARE



- [M] Melme
- [B] Sabbie fini limose carbonatiche
- [C] Limi ± sabbiosi ± argillosi con livelli paglia marina
- [D1] Sabbie fini limose
- [D2] Sabbie più o meno ciottolose e ghiaie
- [E] Argille più o meno sabbiose

La tabella seguente riporta il riepilogo delle caratteristiche geotecniche determinate in seguito alle indagini.

RIEPILOGO									
LITOSTRATO	qc	fs	N _{SPT(eq)}	γ _{nat}	Dr	c	φ	E _{el}	E _{ed}
A Riporto	50	1,00	12	2,05	80		37	45	70
M Melma	3	2,00	1	1,25		0,10			10
B Sabbia carbonatica da fine a grossolana poco addensata	18	0,55	4,5	1,90	22		32	30	35
C1 Limo con paglia marina	4	0,40	1,5	1,65		0,10	22	5	10
C2 Limo moderatamente consistente	12	0,65	4	1,85		0,45	12	19	25
D1 Sabbia da fine a grossolana da sciolta o moderatamente addensata	38	1,05	5	2,05	22		33	60	95
D2 Ghiaia e sabbia grossolana da moderatamente ad addensata	150	2,65	15	2,10	50		35	160	200
E1 Argilla moderatamente consistente	30	1,50	15	2,00		1,50		52	70
E2 Argilla da consistente a molto consistente	68	2,70	34	2,15		3,00		75	100

LEGENDA: Quota = riferita al letto dello strato in m; Qc = Resistenza alla punta statica in daN/cm² fs = Resistenza laterale in daN/cm²
N_{SPT(eq)} = Standard Penetration Test Equivalente in numero di colpi (MEARDI & MEIGH, 1972) γ_{nat} = Peso di volume naturale in kN/m³
Dr = Densità relativa in % (Jamolkowski, 1985); c = Coesione in daN/cm² (TERZAGHI) φ = Angolo di resistenza al taglio in ° (Durgunoglu & Mitchell, 1973)
E_{el} = Modulo elastico in daN/cm² (Buisman - Sanglerat, 1965) E_{ed} = Modulo edometrico in daN/cm² (Trofimenkov, 1974)
E_{el} = Qc·1,5 (per terreni essenzialmente sabbiosi con Rp > 50) E_{ed} = Qc·α (α ⇒ per terreni coesivi)

Tabella 4-1 Risultati delle prove geotecniche

4.2.6 Caratterizzazione dei sedimenti marini dell'area di studio

Per la caratterizzazione dei sedimenti marini provenienti dall'area dell'avamporto est del Porto Canale di Cagliari sono state effettuate due campagne di indagini: una svolta dall'ISPRA nel mese di aprile 2011, l'altra dal Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente (DiSVA) dell'Università Politecnica delle Marche – Ancona, nel mese di luglio 2011.

Le indagini effettuate hanno tenuto conto delle prescrizioni del D.M. 24 gennaio 1996 del Ministero dell'Ambiente, integrate dalle indicazioni riportate nel "Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare redatto da ICRAM ed APAT (2007).

La valutazione della qualità dei sedimenti e la conseguente classificazione è basata sulla integrazione dei risultati relativi alle caratteristiche fisiche, chimiche ed ecotossicologiche dei materiali. I riferimenti per tale classificazione sono costituiti dai livelli chimici di base (LCB) e dai livelli chimici limite (LCL) delle sostanze presenti nei materiali analizzati e dai requisiti ecotossicologici degli stessi.



La figura seguente mostra l'ubicazione dei campionamenti effettuati da ISPRA nell'aprile 2011, nell'area prospiciente la banchina di riva.



Figura 4-5 Ubicazione dei punti di campionamento per i sedimenti marini (ISPRA – Aprile 2011)

Alla luce dei risultati ottenuti, la gran parte dei sedimenti dell'area è da considerarsi di buona qualità ambientale con prevalenza di sabbie. Si evidenzia un unico dato, trascurabile, di contaminazione puntiforme dovuto molto probabilmente allo sversamento di materiali contenenti composti antivegetativi; uno sversamento recente, rispetto alla suddetta indagine, interessa il solo livello superficiale della subarea P5, da ritenersi, tuttavia, occasionale, non ripetuto nello spazio e nel tempo.

Per quanto riguarda i campionamenti svolti dalla DISVA (Università Politecnica delle Marche – Ancona), la localizzazione dei punti di indagine sono riportati nella figura seguente:

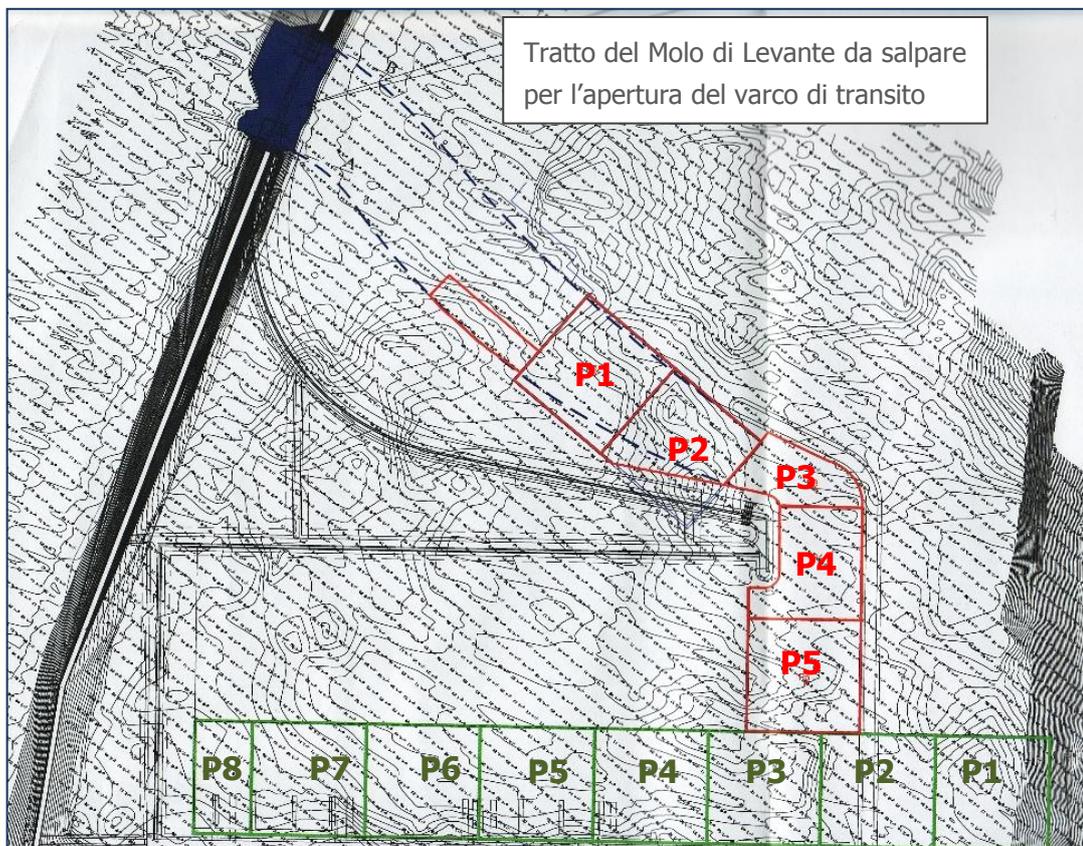


Figura 4-6 In verde le aree di campionamento eseguita da ISPRA (aprile 2011) in corrispondenza della banchina riva; in rosso le aree di campionamento eseguito dal DISVA di Ancona (luglio 2011) per il canale di accesso.

I risultati delle analisi svolte mostrano che la gran parte dei sedimenti dell'area è caratterizzata prevalentemente dalla presenza di sabbia o ghiaia. Tra i parametri chimici si segnalano alcuni valori leggermente superiori a LCB per As, Zn e TBT, nonché di naftalene per quanto riguarda i composti organici. I risultati della caratterizzazione chimica indicano una contaminazione puntiforme da composti organostannici, dovuta molto probabilmente allo sversamento di materiali antivegetativi; la presenza di tali composti solo negli strati superficiali conferma inoltre uno sversamento recente, e da ritenersi occasionale in quanto non costante nello spazio e nel tempo.

I risultati della batteria di saggi ecotossicologici non sono risultati sempre in linea con quelli chimici. In particolare, a causa della elevata sensibilità del riccio di mare rispetto agli altri due saggi ecotossicologici, si è deciso di dare maggior peso ai risultati complessivi della batteria facendo riferimento a criteri di ponderazione integrata in accordo con le indicazioni UNICHIM (Piva et al., 2011); in quest'ottica, nella elaborazione finale che ha portato alla classificazione dei materiali, i risultati che hanno evidenziato embriotossicità del *Paracentrotus lividus* sono stati declassati (da D a C*, e da C a B*, cfr. Tabella 4-3).



L'integrazione delle informazioni relative alle caratteristiche fisiche, chimiche ed ecotossicologiche ha portato alla classificazione dei materiali riportata in Tabella 4-2, dove, per i vari campioni, sono riassunti solo i risultati chimici e biologici che hanno influenzato i risultati dell'elaborazione finale. Nella Tabella 4-3 sono invece riportate le opzioni di gestione, in ordine di priorità di utilizzo, per le diverse classi di qualità dei materiali.

Campioni	As	Zn	TBT	naftalene		Vibrio fisheri	Paracentrotus lividus	Acartia tonsa		Classificazione
P1 AV 0-20	<LCB	<LCB	>LCB	>LCB		B	C*	AA		B2
P2 AV 0-50	<LCB	<LCB	<LCB	>LCB		A	B*	AA		B2**
P2 100-150	<LCB	<LCB	<LCB	<LCB		A	A	AA		A1
P2 AV 100-150	<LCB	<LCB	<LCB	>LCB		A	C*	AA		B2**
P3 AV 0-50	<LCB	<LCB	>LCB	>LCB		A	C*	CC		B2
P3 AV 100-150	<LCB	<LCB	<LCB	<LCB		A	C*	BC		B1
P4 AV 0-50	<LCB	<LCB	<LCB	>LCB		A	A	AA		A2
P4 AV 50-100	<LCB	<LCB	<LCB	<LCB		A	A	AA		A2
P5 AV 0-50	>LCB	>LCB	>LCB	>LCB		A	A	AA		A2
P5 AV 50-100	>LCL	>LCB	<LCB	>LCB		A	A	AA		B2**

* I risultati del saggio di embriotossicità su *Paracentrotus lividus* sono stati declassati a causa della elevata sensibilità di risposta di questo saggio (vedi testo).

** Vedi testo successivo per un ulteriore commento.

Tabella 4-2 Classificazione dei sedimenti marini



Classe	Opzioni di gestione
A1	Sabbie (pelite < 10%) <ul style="list-style-type: none">• Ripascimento della spiaggia emersa;• Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero comprese le deposizioni finalizzate al ripristino della spiaggia sommersa;• Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale;• Riutilizzi a terra;• Spostamento in ambiente sommerso;• Deposizione in bacini di contenimento;• Immersione in aree marine non costiere.
A2	<ul style="list-style-type: none">• Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero compresa la deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa (solo nel caso di prevalente composizione sabbiosa) salvo diverse disposizioni di cui alla normativa regionale.• Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale;• Riutilizzi a terra;• Spostamento in ambiente sommerso;• Deposizione in bacini di contenimento;• Immersione in aree marine non costiere.
B1	<ul style="list-style-type: none">• Riutilizzi a terra;• Spostamento in ambiente sommerso;• Deposizione in bacini di contenimento che assicurino il trattamento di tutte le frazioni granulometriche del sedimento sugli argini laterali (incluso il riempimento di banchine).
B2	<ul style="list-style-type: none">• Riutilizzi a terra;• Deposizione all'interno di bacini di contenimento che assicuri il trattamento di tutte le frazioni granulometriche dei materiali sugli argini laterali e sul fondo.• Smaltimento presso discarica a terra.
C1	<ul style="list-style-type: none">• Rimozione in sicurezza che limiti l'eventuale diffusione della contaminazione e operazioni di recupero;• Rimozione in sicurezza e deposizione in bacini di contenimento che assicuri il trattamento di tutte le frazioni granulometriche dei materiali sugli argini laterali e sul fondo.• Rimozione in sicurezza e smaltimento alternativo
C2	<ul style="list-style-type: none">• Materiale la cui rimozione e gestione deve essere sottoposta a procedure di particolare cautela ambientale

Tabella 4-3 Classi di qualità dei materiali e relative opzioni di gestione in ordine di priorità di utilizzo

I campioni superficiali P1 AV 0-20 e P3 AV 0-40 risultano classificati come B2, caratterizzati, oltre che da livelli di naftalene >LCB, anche dalla presenza di TBT e da effetti biologici significativi in almeno 2 saggi biologici.

Per questi sedimenti si prevede il conferimento all'interno di una vasca conterminata e impermeabilizzata sia sui lati che sul fondo.

I campioni P2 AV (0-50) e P2 AV (100-150) ed il campione P5 AV (50-100) risultano anch'essi classificati come B2. Tuttavia bisogna sottolineare che tale giudizio deriva per i campioni P2 AV (0-50 e 100-150) da un valore leggermente superiore a LCB unicamente per il naftalene, e da una elevata tossicità misurata però soltanto nel saggio di embriotossicità sul riccio.

Il campione P5 AV 50-100 è invece classificato come B2 solo per i livelli di As di poco superiori a LCL, nonostante la completa assenza di effetti di tossicità non permette di confermare una reale biodisponibilità di tale elemento.

Il sedimento P3 AV 100-150 è stato classificato come B1 in quanto, nonostante l'assenza di livelli preoccupanti di contaminanti chimici, è risultato caratterizzato da un'elevata tossicità nei confronti di due diverse tipologie di saggi; tali risultati suggeriscono il confinamento all'interno di appositi bacini di contenimento.



I campioni P4 AV 0-50, P4 AV 50-100 e P5 AV 0-50 (quest'ultimo pur con qualche valore chimico >LCB) non hanno mostrato alcuna evidenza di tossicità, risultando pertanto classificabili come materiale A2, che è da ritenersi una risorsa da riutilizzare come riempimento di banchine o per ripascimenti di spiagge sommerse.

4.2.7 Aspetti geomorfologici

Il Porto Canale e l'infrastruttura portuale industriale di Cagliari, costruita negli anni '80 per colmamento dell'area dell'antico quartiere dei pescatori Giorgino, in gran parte demolito, e di Sa Illetta, l'isolotto da tempo unito alla terraferma, che si addentra nello Stagno di Cagliari; la costruzione del Porto Canale ha comportato la realizzazione della deviazione della Strada Statale n. 195 "Sulcitana", passando ora a Sa Illetta e a nord del Porto Canale, oltre che la realizzazione di un nuovo ponte che attraversa più all'interno la laguna di Santa Gilla.

Dal punto di vista geologico, l'area occupata dallo stagno e una depressione che fa parte integrante della fossa del Campidano. Questa fossa si è originata nell'Era Quaternaria per erosione fluviale delle arenarie che formavano la Panchina Tirrenica, seguita da cicliche regressioni e ingressioni marine in periodi successivi (Versiliano). La depressione meridionale venne definitivamente colmata dal mare e in epoche molto recenti ne è stata separata da un cordone litoraneo sabbioso detto La Playa. Dell'originaria Panchina Tirrenica restano tracce a Sa Illetta e in alcuni siti della terraferma all'interno di Cagliari.

I fondali sono mediamente bassi, la massima profondità rilevata in alcuni punti è di 2,5 metri, tuttavia negli ultimi decenni l'alterazione degli sbocchi naturali di collegamento al mare e della circolazione delle correnti ha provocato il deposito di materiali e l'innalzamento del fondale.

Date le caratteristiche geografiche e topografiche dell'area, caratterizzata come descritto da un ambiente lagunare-stagnale situato a ridosso della fascia costiera e da saline con relative vasche di evaporazione, risulta evidente che il Porto Canale costituisce un elemento di discontinuità morfologica e morfodinamica che, ormai, è divenuto parte integrante del sistema. Dal punto di vista litologico si può affermare che l'area è costituita, in superficie, quasi interamente da terreni di riporto accumulati per deposito di materiali dragati entro le vasche di colmata e caratterizzati quindi da scadenti proprietà geotecniche. Solo nel settore settentrionale (Sa Illetta) e lungo l'originaria linea di costa impostata sul cordone lagunare (Giorgino est ed ovest), sono presenti depositi sabbiosi di origine marina.



4.2.8 Acque sotterranee

4.2.8.1 Aspetti generali

L'analisi idrogeologica si basa sull'individuazione e sulla classificazione degli acquiferi (o rocce-serbatoio) che possono essere così definiti:

"Le rocce o l'insieme di rocce che hanno caratteristiche tali da consentire l'assorbimento, l'immagazzinamento, il deflusso e la restituzione di acque sotterranee in quantità apprezzabili".

Partendo dalla Carta delle Unità Idrogeologiche in scala 1:250.000 realizzata sulla base della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:250.000, sono stati individuati 37 complessi acquiferi principali, costituiti da una o più *Unità Idrogeologiche* con caratteristiche idrogeologiche sostanzialmente omogenee (fonte Piano di Tutela delle Acque).

Poiché gli acquiferi naturali, visti a piccola scala, sono tutti discontinui, eterogenei ed anisotropi, è possibile accorparli per tipologia delle litologie, delle caratteristiche idrogeologiche e per area geografica, definita *Complesso acquifero*.

I complessi acquiferi presenti nell'ambito di studio del presente lavoro, individuati sulla base della loro potenzialità e, secondariamente, della loro vulnerabilità, appartengono alle tipologie riportate nella Figura 4-7e riepilogati nella Tabella 4-4.

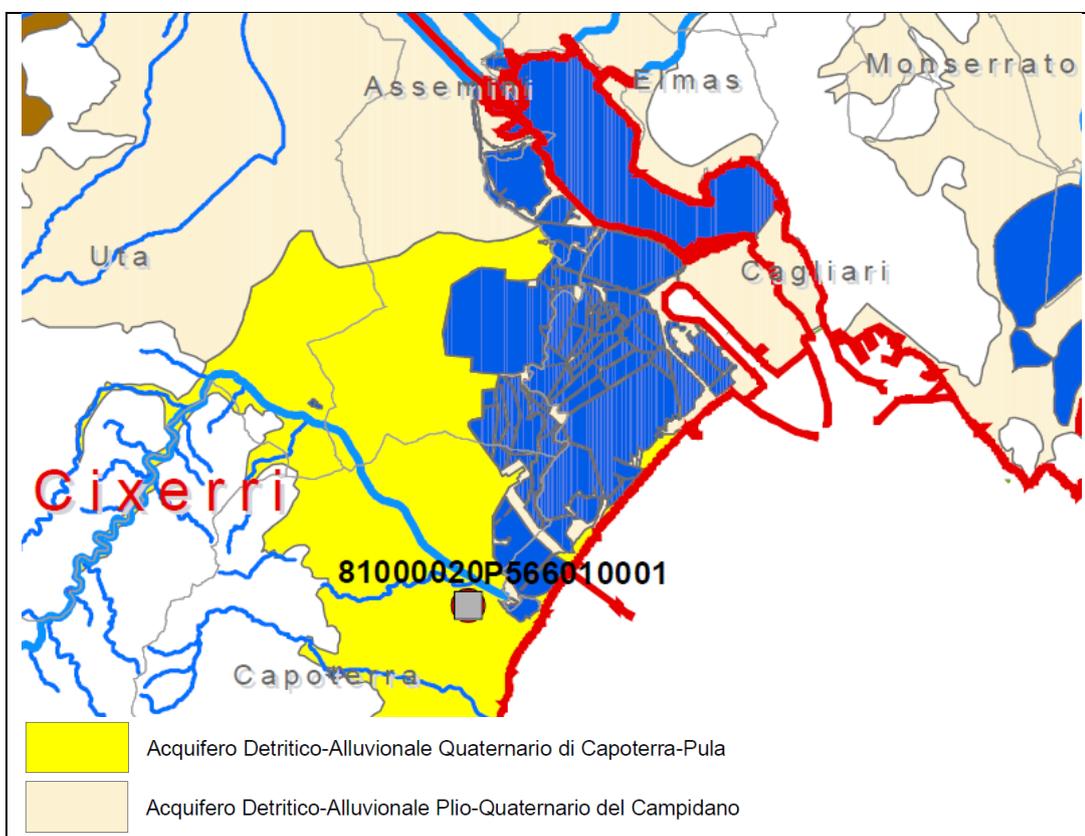


Figura 4-7 Complessi acquiferi dell'ambito di studio



COMPLESSO ACQUIFERO	UNITÀ IDROGEOLOGICHE	PERMEABILITÀ
Acquifero Detritico-Alluvionale Quaternario di Capoterra-Pula	1) Unità Detritico-Carbonatica Quaternaria; 2) Unità delle Alluvioni Plio-Quaternarie.	Permeabilità per porosità complessiva medio-bassa; localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana e, nelle facies carbonatiche, anche per fessurazione
Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano	1) Unità Detritico-Carbonatica Quaternaria 2) Unità delle Alluvioni Plio-Quaternarie 3) Unità Detritica Pliocenica	Permeabilità per porosità complessiva medio-bassa; localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana e, nelle facies carbonatiche, anche per fessurazione

Tabella 4-4 Tipologie di complessi acquiferi presenti nell'ambito di studio

4.2.8.2 Caratterizzazione dell'area di studio

La caratterizzazione dell'assetto piezometrico dell'area di studio è stata eseguita nell'ambito delle indagini geologico – geotecniche svolte per lo sviluppo della progettazione definitiva delle opere in esame. Il livello della falda è stato misurato nei fori di sondaggio al termine delle operazioni di perforazione ed è risultato essere di un valore costante e pari a 2 m dal piano campagna.

4.2.8.3 Qualità delle acque

La qualità delle acque sotterranee è monitorata, per gli acquiferi significativi individuati dal Piano di Tutela delle Acque (PTA), in base alle misure effettuate in pozzi esistenti che fanno parte della rete di monitoraggio. Per l'ambito di studio del presente lavoro sono disponibili i pozzi riportati nella Tabella 4-5. Le classi di criticità degli acquiferi sono definite dal PTA, rispetto ai parametri di base riportati nella Tabella 4-6 secondo le seguenti definizioni:

- Classe 1: acquiferi nei quali uno o più parametri ricadono in classe 4 secondo le tabelle 20 e 21 dell'Allegato 1 del D.Lgs. 152/99 e s.m.i., e ciò è da attribuirsi con certezza all'attività antropica e la contaminazione è rilevante ed estesa territorialmente;
- Classe 2: acquiferi nei quali uno o più parametri ricadono in classe 4 secondo le tabelle 20 e 21 dell'Allegato 1 del D.Lgs. 152/99 e s.m.i., per i quali deve essere verificato se l'inquinamento è legato all'attività antropica o a cause naturali e, nel caso dei composti azotati, se la contaminazione è realmente diffusa o solo puntuale;



- **Classe 3:** acquiferi nei quali uno o più parametri ricadono in classe 4 secondo le tabelle 20 e 21 dell'Allegato 1 del D.Lgs. 152/99 e s.m.i., e ciò è da attribuirsi probabilmente a cause naturali o alla scarsa rappresentatività dei punti d'acqua, anche se non è da scartare senza ulteriori riscontri l'ipotesi che ciò possa essere dovuto a fenomenologie inquinanti.

CODICE	COMUNE	UTILIZZO	NOME ACQUIFERO
81000016	Turri	irriguo	Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano
81000019	Villa San Pietro	irriguo	Acquifero Detritico-Alluvionale Quaternario di Capoterra-Pula
81000020	Capoterra	irriguo	Acquifero Detritico-Alluvionale Quaternario di Capoterra-Pula

Tabella 4-5 Stazioni costituenti la rete di monitoraggio delle acque sotterranee

Parametro	Unità misura	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 0 (*)
C: E.S.	µS/cm (20°C)	> 400	< 2500	< 2500	>2500	>2500
Cloruri	mg/l	< 25	< 250	< 250	>250	>250
Manganese	µg/l	< 20	< 50	< 50	>50	>50
Ferro	µg/l	<50	<200	< 200	>200	>200
Nitrati	mg/l di NO ₃	< 5	< 25	< 50	> 50	
Solfati	mg/l di SO ₄	< 25	< 250	< 250	>250	>250
Ione ammonio	mg/l di NH ₄	< 0,05	< 0,5	< 0,5	>0,5	>0,5

(*) Se la presenza di tali sostanze è di origine naturale, viene automaticamente attribuita la classe 0

Tabella 4-6 Classificazione chimica per le acque sotterranee (fonte PTA)



ACQUIFERO	PARAMETRI ANALIZZATI		
	Cr, SO ₄ , C.E.S.	Fe, Mn, metalli	Composti azotati
Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano	1	1	3
Acquifero Detritico-Alluvionale Quaternario di Capoterra-Pula	1	nd	nd

Tabella 4-7 Classi di criticità degli acquiferi

Per il punto sito nei pressi di Capoterra si hanno a disposizione i dati di monitoraggio dal 2003 al 2008 e, pertanto, è possibile tracciare un quadro dell'andamento dei principali parametri rappresentativi della qualità chimica delle acque (fonte: Studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel Comune di Capoterra).

Il sistema di classificazione delle acque sotterranee del D.Lgs. 152/1999 (al quale si fa riferimento nelle more del completamento delle attività finalizzate alla caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei ai sensi del D.Lgs. 152/2006) prendeva in considerazione i parametri conducibilità elettrica specifica, cloruri, solfati, nitrati, ione ammonio, ferro e manganese. Sulla base dei limiti riportati nella tabella 20 dell'Allegato 1 del D.Lgs. 152/99 – "Classificazione chimica in base ai parametri di base" e possibile attribuire una classe di qualità chimica per ciascuno di tali parametri, come riportato nella tabella che segue. La classe di qualità chimica complessiva da attribuire all'acqua sotterranea è la peggiore tra quelle determinate per ciascun parametro.

Pertanto, utilizzando la media dei dati disponibili dal 2003 al 2008 per ciascun parametro si ottiene la seguente classificazione per il pozzo di monitoraggio di Capoterra.

Parametro	CES	cloruri	solfati	nitrati	ione ammonio	ferro	manganese
Classe	2	4	2	3	2	1	2

Classificazione chimica - parametri di base - Studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel Comune di Capoterra, aprile 2009

Tabella 4-8 Classificazione chimica delle acque sotterranee in base ai parametri di base

Pertanto la classe di qualità chimica da attribuire alle acque è la classe 4, cioè "impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti". In questo caso la classe 4 deriva dal valore elevato di cloruri, attribuibile al fenomeno dell'intrusione salina causata dall'eccessivo sfruttamento della falda, fenomeno ben noto per il settore di Capoterra. Anche la concentrazione media di nitrati, pari a 34



mg/L, e relativamente elevata e in due campionamenti sono stati superati i 50 mg/L (norma di qualità fissata dalla Dir. 2006/118 CE).

4.3 Rapporto Opera – Ambiente

4.3.1 Analisi dell'intervento in progetto

L'analisi del rapporto tra l'Opera in progetto ed il suolo e sottosuolo si basa sulla preliminare individuazione delle azioni di progetto che potenzialmente possono interferire con l'attuale assetto geomorfologico ed idrogeologico dell'ambito di studio. Tale assetto mette in risalto, come descritto nel paragrafo relativo al quadro conoscitivo ante operam, quali siano le peculiarità ambientali su cui concentrare l'attenzione, al fine di individuare le tematiche di interesse in base alle quali esprimere la valutazione degli effetti delle possibili interferenze. Le azioni di progetto vengono quindi studiate, in questa sede, in funzione della loro interdipendenza con i seguenti aspetti, sia per la fase di esercizio, sia per quella di cantiere:

- A) alterazione della circolazione idrica sotterranea,
- B) contaminazione dei suoli e dei sedimenti marini,
- C) interazione con le dinamiche di trasporto solido dei sedimenti marini.

Gli elementi dell'intervento in progetto che entrano in relazione con gli aspetti ambientali sopra indicati sono brevemente descritti nella seguente tabella.

FASE	ELEMENTI		AZIONI SULL'AMBIENTE
Esercizio	Opere a terra	– avanzamento di 71,50 m della linea di costa	alterazione della circolazione idrica sotterranea contaminazione dei suoli e dei sedimenti marini
	Opere a mare	– banchine e moli	contaminazione dei suoli e dei sedimenti marini interazione con le dinamiche di trasporto solido dei sedimenti marini
Realizzazione	Opere a terra	– avanzamento di 71,50 m della linea di costa	alterazione della circolazione idrica sotterranea
	Opere a mare	– dragaggi – banchine e moli	contaminazione dei suoli e dei sedimenti marini

Tabella 4-9 Elementi progettuali potenzialmente interferenti con l'ambiente idrico superficiale



4.3.2 Individuazione delle possibili interferenze

4.3.2.1 Fase di esercizio

L'individuazione delle possibili interferenze con il suolo ed il sottosuolo consiste essenzialmente nell'individuare i possibili impatti associati alla presenza dell'Opera ed attribuendo a ciascun impatto, o categoria di impatti (le interferenze), un grado di rilevanza stimato in base all'ipotesi che essi causino la maggior pressione sull'ambiente in assenza di interventi di mitigazione. In seguito all'analisi delle caratteristiche dell'intervento in progetto si è ritenuto, come detto, che le tipologie di interferenze riguardino la circolazione idrica sotterranea, la qualità dei suoli e dei sedimenti marini e le dinamiche di trasporto solido di questi ultimi. La tabella seguente riporta in sintesi la stima dei possibili impatti ed il relativo grado di rilevanza.

CATEGORIA DI INTERFERENZA	POSSIBILI IMPATTI	GRADO DI RILEVANZA
D) alterazione della circolazione idrica sotterranea	D.1) variazione delle caratteristiche del deflusso sotterraneo	basso
E) contaminazione dei suoli e dei sedimenti marini	E.1) peggioramento dell'attuale grado di qualità ambientale	medio
F) interazione con le dinamiche di trasporto solido dei sedimenti marini	F.1) innesco o aggravio dei fenomeni di erosione costiera	basso

Tabella 4-10: Individuazione delle interferenze e della rilevanza dei possibili impatti

I possibili impatti individuati in questa sede sono di fatto determinati dalla realizzazione di nuove superfici impermeabili, sia per le opere a terra sia per quelle a mare. Bisogna a questo punto ricordare che il progetto delle opere a terra è stato oggetto di una procedura di verifica di esclusione dalla VIA, la quale ha avuto esito positivo. Le considerazioni che seguono si riferiscono quindi al Progetto delle Opere a mare, pur rimanendo valide anche per le superfici pavimentate delle Opere a terra. La variazione delle caratteristiche del deflusso sotterraneo può essere causata dalla riduzione dell'infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano localmente l'acquifero costiero, a causa della presenza di nuove superfici impermeabili. Tale possibile impatto è però stimato con un grado di rilevanza basso, poiché la riduzione di infiltrazione è molto modesta rispetto all'estensione dell'acquifero costiero.



Il peggioramento dell'attuale grado di qualità ambientale dei suoli e dei sedimenti marini può essere dovuto alla messa in posto di materiale con caratteristiche diverse da quelli autoctoni. Per tale possibile impatto il grado di rilevanza è stimato di grado medio in ragione del delicato equilibrio qualitativo del sistema di acque marino costiere in cui si trova l'Opera in progetto, che potrebbe essere alterato qualora i materiali di riempimento delle nuove superfici a mare dovessero contenere sostanze inquinanti, che a contatto con l'acqua possono facilmente essere trasportate.

L'interazione con le dinamiche di trasporto solido dei sedimenti marini può generare un'alterazione dell'attuale equilibrio costiero, in quanto la presenza di nuove strutture poste trasversalmente alle correnti litoranee determina l'arresto del trasporto dei sedimenti ad opera di queste correnti e conseguentemente l'insorgere di fenomeni di erosione costiera a causa del ridotto apporto di sedimenti. Tuttavia la rilevanza di tale impatto è senz'altro di grado basso in quanto le opere a mare in progetto non interferiscono con le correnti litoranee principali.

4.3.2.2 Fase di cantiere

I possibili impatti determinati dalle interferenze associate alla fase di realizzazione dell'Opera vengono analizzati, analogamente a quanto detto per la fase di esercizio, attribuendo loro un grado di rilevanza, stimato in base all'ipotesi che essi causino la maggior pressione sull'ambiente in assenza di interventi di mitigazione. In funzione delle caratteristiche del cantiere, si sono individuate, come detto, le categorie di interferenze associate all'alterazione della circolazione idrica sotterranea ed alla contaminazione dei suoli e dei sedimenti marini. La tabella seguente riporta in sintesi la stima dei possibili impatti ed il relativo grado di rilevanza.

CATEGORIA DI INTERFERENZA	POSSIBILI IMPATTI	GRADO DI RILEVANZA
A) alterazione della circolazione idrica sotterranea	A.1) aumento dell'intrusione salina	basso
B) contaminazione dei suoli e dei sedimenti marini	B.1) peggioramento dell'attuale grado di qualità ambientale	medio

Tabella 4-11: Individuazione delle interferenze e dei possibili impatti per la fase di cantiere

Il fenomeno dell'intrusione salina è sempre presente nelle aree costiere, dove la falda di acqua dolce "galleggia" su quella di acqua salata. L'equilibrio dell'interfaccia del cosiddetto cuneo salino è spesso di tipo instabile, in funzione soprattutto del regime della falda di acqua dolce. L'aumento dell'intrusione salina può essere causato dagli eventuali emungimenti di acque di falda per le attività di cantiere, che, abbassando



localmente la quota della superficie piezometrica di acqua dolce determinano un conseguente innalzamento della quota dell'interfaccia con la falda di acqua salata. Tale fenomeno può in generale compromettere gli usi della risorsa idrica e creare problemi alle attività agricole, ma nel caso in esame la rilevanza di questo impatto potenziale è stimata di grado basso, in quanto l'assetto idrogeologico è fortemente influenzato dal regime delle acque di transizione del sistema lagunare. Un piano di monitoraggio delle acque sotterranee in fase di cantiere potrà tenere sotto controllo l'eventuale instaurarsi dei fenomeni citati e guidare nella scelta ed attuazione delle misure più idonee alla loro mitigazione, come ad esempio l'immissione di acqua dolce nel sottosuolo o la scelta alternativa di approvvigionamento idrico dall'esterno.

Il peggioramento della qualità ambientale dei suoli e dei sedimenti è di particolare importanza per l'ecosistema lagunare nel cui contesto si colloca l'area di intervento dell'Opera in progetto. La presenza di eventuali sostanze inquinanti nei sedimenti che verranno dragati può innescare fenomeni di propagazione degli inquinanti stessi, che andrebbero così a contaminare zone attualmente non inquinate. Poiché attraverso il trasporto dei sedimenti fini avviene anche il trasporto delle sostanze nutritive dei microrganismi facenti parte dell'ecosistema lagunare, nonché degli eventuali contaminanti, la rilevanza di tale impatto potenziale è stimata di grado medio.

4.3.3 Valutazione delle interferenze e soluzioni adottabili

4.3.3.1 Fase di esercizio

L'analisi del rapporto tra l'Opera in progetto ed il suolo e sottosuolo si è basata, come descritto nei paragrafi precedenti, sull'individuazione delle interferenze e dei possibili impatti indotti dalla presenza e dalla realizzazione degli interventi in progetto. La valutazione del grado di rilevanza di tali impatti consente di individuare le possibili soluzioni per ridurre gli eventuali effetti negativi sull'ambiente.

In particolare si è visto che la realizzazione di nuove superfici impermeabili, cioè i piazzali, i banchinamenti ed i moli, hanno influenza sul grado di qualità ambientale dei suoli e dei sedimenti, qualora i materiali di riempimento delle nuove superfici a mare dovessero contenere sostanze inquinanti, che a contatto con l'acqua possono facilmente essere trasportate. In effetti il progetto delle nuove banchine prevede la conterminazione del materiale impiegato per i riempimenti, di conseguenza tale sistema, abbinato ad un attento controllo delle caratteristiche dei materiali conferiti, potrà efficacemente scongiurare il pericolo di propagazione degli inquinanti.

4.3.3.2 Fase di cantiere

Per quanto riguarda la gestione dei sedimenti dragati, si ricorda che l'Autorità Portuale di Cagliari ha commissionato uno studio di dettaglio sulla qualità dei sedimenti marini, i cui risultati hanno sostanzialmente mostrato la possibilità di



reimpiego di tali sedimenti, tranne che in alcuni punti di campionamento, per i quali è già stata definita la destinazione di impiego, che riguarda il riempimento di una cassa di colmata esterna all'area di progetto ed avente caratteristiche progettuali idonee a contenere tali materiali. Tale attività è stata autorizzata dalla Provincia di Cagliari⁴ che ha indicato alcune prescrizioni in merito alle modalità di dragaggio, conferimento, sedimentazione e sversamento delle acque derivanti dalla deposizione. In particolare si prevede di utilizzare una draga del tipo aspirante, autocaricante e refluyente dotata di disgregatore semovente che, dopo aver caricato i materiali di dragaggio in oggetto, ormeggerà a fianco della sponda ovest del porto canale ed effettuerà il refluento di detto materiale nella vasca di contenimento impermeabile.

Per ridurre il rischio di propagazione degli inquinanti durante le attività di dragaggio, potranno essere impiegate barriere in tessuto gommato, con grebbiatura al fondo ed elevata capacità di filtro.

⁴ Autorizzazione n. 2 del 29/10/2010



5 VEGETAZIONE, FLORA FAUNA, ED ECOSISTEMI TERRESTRI

5.1 Premessa

Nell'ambito del Quadro di Riferimento Ambientale, l'analisi della componente vegetazione, flora e fauna definisce l'assetto naturalistico dell'area esaminata, al fine di valutarne la sensibilità e la vulnerabilità relativamente alla realizzazione dell'opera di progetto. Trattandosi di un'area portuale e considerando le azioni di progetto, in questa sede sarà esaminato solo il sistema terrestre e le opere che interessano esclusivamente la terra emersa; per le opere in progetto ricadenti in mare si rimanda al capitolo relativo all'ecosistema marino.

Le azioni di progetto ricadono in prossimità del Porto Canale (Golfo di Cagliari), contiguo al sistema lagunare caratterizzato da un buon livello di biodiversità e di conservazione degli habitat, e da una fragilità propria delle zone umide, ecosistemi fondamentali per il mantenimento degli equilibri naturali.

Data la particolarità e la complessità ecologica dell'area di cui fa parte il Porto Canale, l'analisi della componente naturalistica rappresenta l'aspetto maggiormente rilevante nell'ambito dello studio, per cui la sua trattazione è stata compiuta ad un livello di dettaglio adeguato.

5.2 Metodologia di lavoro

L'ambito di studio è stato delineato tenendo conto della localizzazione delle aree protette presenti nell'area, descritte al paragrafo 5.3.2, con l'obiettivo di comprendere nell'area vasta, ambiti omogenei, evitando di interrompere la continuità degli ecosistemi presenti; nello specifico, l'area esaminata comprende lo Stagno di Cagliari, la zona delle saline (vasche di evaporazione e vasche di salinizzazione) e, in modo marginale, il tessuto urbano consolidato del capoluogo sardo.

In tal modo la perimetrazione coincide quasi completamente con quella attualmente in vigore del SIC "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla", a cui sono aggiunti l'area del Porto Canale, le aree periodicamente allagate in località Terr'e Olla, la foce fluviale del Rio Santa Lucia e il settore occidentale dell'abitato di Cagliari.

Individuato l'ambito di interesse, l'analisi della componente parte dall'inquadramento biogeografico e bioclimatico di area vasta, al fine di individuare le caratteristiche geografiche, climatiche, morfologiche e fisiche del comprensorio in cui si inserisce l'area di studio; mediante tali caratteristiche si definisce dapprima la vegetazione potenziale, quindi l'assetto attuale dei luoghi.

Successivamente viene effettuata la ricognizione delle aree di interesse naturalistico sottoposte a tutela secondo le normative comunitarie, nazionali e regionali in modo da definire il livello di qualità della zona in esame e individuare possibili aree sensibili.



L'area vasta è definita anche attraverso la caratterizzazione della destinazione d'uso dei suoli e l'analisi dei popolamenti animali presenti.

Nell'area del Porto Canale, dove sono concentrate le azioni di progetto, l'analisi della vegetazione è stata effettuata ad un dettaglio maggiore, data la complessità ecologica della zona.

Per la trattazione in esame è stata effettuata in primo luogo una ricerca bibliografica presso la Regione Sardegna e l'Università di Cagliari, procedendo via via a progressivi livelli di approfondimento, volta ad acquisire i dati esistenti e ad evidenziare eventuali lacune informative.

In particolare, per l'analisi della componente vegetazionale si è fatto riferimento a lavori specifici (Corrias, Valsecchi, "Le attuali conoscenze sulla vegetazione degli stagni costieri della Sardegna"; De Martis, Bocchieri, Onnis, 1983 "Ecologia e flora della Stagno di Santa Gilla (Cagliari)"; Brambilla et al., 1982 "Analisi fitosociologica della seriazione psammofila costiera nella Sardegna meridionale") e a lavori a carattere più generale (Arrigoni, 1968 "Fitoclimatologia della Sardegna"). Inoltre, sono stati consultati, ove possibile, i piani di gestione dei siti sottoposti a regimi di tutela.

I dati acquisiti relativi alle formazioni vegetali hanno consentito di delimitare i consorzi vegetazionali strutturalmente e fisionomicamente omogenei, ben evidenziati nella "Carta della vegetazione" (scala 1:10000). Oltre alla carta di analisi delle fitocenosi è stata redatta una "Carta d'uso del suolo e delle unità ecosistemiche" (scala 1:25000), per la segnalazione delle principali destinazioni d'uso del territorio esaminato. La carta illustra anche le unità ecosistemiche, in quanto queste risultano alquanto omogenee e riferibili soltanto ai sistemi lagunare, antropico e marino.

Per l'analisi dei popolamenti faunistici, oltre ai sopralluoghi effettuati, sono state raccolte in letteratura le indicazioni sulle presenze faunistiche passate ed attuali ed è stata analizzata la distribuzione delle diverse specie in relazione agli habitat presenti nel territorio.

I dati relativi alla Fauna vertebrata derivano da studi tecnico – scientifici compiuti nell'area dello Stagno di Cagliari nell'ambito del Progetto Life 96 "Gilia", presentato dai Comuni di Assemini, Cagliari, Capoterra ed Elmas, approvato dall'Unione Europea e successivamente ripreso per la compilazione del Piano di Gestione del pSIC ITB040023 "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla".

Il progetto ha avuto come obiettivo il mantenimento e il miglioramento dello stato di conservazione dell'ecosistema stagnale e della biodiversità del sito, tramite una serie di interventi coordinati nell'ambito di un Piano di gestione integrata, predisposto dai



Comuni interessati, di concerto con gli Assessorati Regionali della Difesa dell'Ambiente e della Programmazione e con l'Amministrazione Provinciale di Cagliari. La segnalazione delle presenze ornitiche (derivanti da censimenti compiuti dalla Regione Sardegna, Assessorato Difesa Ambiente – Comitato Regionale Faunistico) ha permesso di evidenziare le principali aree di interesse relative all'avifauna (nidificante e migratoria), riportate nella "Carta delle aree di interesse avifaunistico" (scala 1:25000).

Inoltre, è stato consultato lo Studio di Incidenza Ambientale redatto per il SIC "Stagno di Cagliari, saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla", allegato al presente SIA.

5.3 Inquadramento generale dell'area di studio

L'inquadramento di area vasta ha lo scopo di caratterizzare il sistema in cui si inserisce il Porto Canale di Cagliari, in modo da definirne in maniera compiuta lo stato ante-operam del territorio attraverso l'inquadramento climatico, vegetazionale e faunistico. Inoltre, vengono esaminate le aree di interesse naturalistico insistenti nell'area, che rappresentano e conservano gli elementi di pregio naturalistico.

5.3.1 Inquadramento biogeografico e bioclimatico

Nell'ambito del patrimonio naturalistico delle zone umide, particolare importanza ha avuto da sempre in Sardegna il complesso degli stagni e delle lagune dislocati nel Campidano meridionale, attorno alla città di Cagliari. Attualmente le colline calcaree mioceniche, sulle quali si è sviluppata parte della città, sono lambite ad Ovest dallo Stagno di Santa Gilla (Stagno di Cagliari) e ad Est dagli Stagni di Quartu e Molentargius.

L'area in esame, ubicata all'interno del sistema costiero del Golfo di Cagliari, costituisce la zona umida costiera più ampia della Regione, estesa per circa 4.000 ha lungo il confine ovest del capoluogo sardo, che attualmente continua ad ampliare il suo tessuto urbano ed industriale, a discapito delle zone umide peristagnali.

Lo Stagno di Cagliari è delimitato a SE dal cordone litoraneo de La Playa, che lo separa dal mare, ad Est dalle colline di Cagliari, a Nord e a NW dalle foci di vari immissari tra cui il Cixerri e il fiume Mannu e ad W dal complesso industriale e dalle saline di Macchiareddu.

Il sistema lagunare è stato da sempre influenzato da eventi naturali, come gli scambi fra le acque continentali e quelle marine, a cui si sono aggiunte modifiche di tipo antropico legate alle espansioni urbanistiche e industriali della zona di Cagliari, nonché le bonifiche del Campidano meridionale, che hanno modificato il regime, la portata e la qualità delle acque degli immissari che sboccano nella laguna.



Le variazioni planimetriche della zona sommersa sono state continue in conseguenza dell'avanzamento della linea di costa e della realizzazione delle opere di bonifica.

La morfologia lagunare ha subito sensibili modificazioni anche a causa della realizzazione del Porto Canale, progettato nel 1965, che avrebbe permesso alle navi l'accesso all'adiacente agglomerato industriale.

Nella fascia circostante lo Stagno di Cagliari, infatti, gravitano importanti complessi industriali, concentrati soprattutto nella località di Macchiareddu, nel cui ambito ricadono l'area del CASIC, l'Enichem, la Rumianca, le saline Contivecchi ed altri impianti minori.

L'area esaminata è costituita per la maggior parte dal sistema delle saline: le acque salate sono prelevate tramite idrovora dal mare e fatte circolare, per gravità o tramite stazioni di pompaggio, nelle vasche evaporanti, separate da argini e comunicanti mediante chiuse.

L'area è caratterizzata da un potenziale naturalistico piuttosto elevato, anche se la presenza nel suo intorno di aree industriali, di un porto canale e la vicinanza con il tessuto urbano cagliaritano, rendono alquanto vulnerabile il sistema.

Dal un punto di vista climatico l'area esaminata è caratterizzata da un clima di tipo subtropicale – semiarido, con estate calda e forte deficit idrico, ma con massimi termici attenuati dall'influenza termoregolatrice del mare.

Le temperature medie annue sono comprese tra 15 e 16,9 °C, con la media del mese più freddo (gennaio) compresa tra 6,5 e 9,9 °C; la temperatura media da tre a quattro mesi risulta superiore a 20°C e le precipitazioni medie presentano valori compresi tra 430 e 550 mm/a.

I dati di precipitazioni e temperatura, con diagramma termopluviometrico, riportati di seguito, sono relativi alla stazione di Cagliari Università e dimostrano come al valore massimo invernale si giunga dopo abbondanti precipitazioni autunnali e che il periodo siccitoso è rappresentato da quello estivo.

Stazione	Stagione umida (mm)								Stagione secca (mm)						Annuo Totale
	Ott.	Nov	Dic.	Gen	Feb	Mar	Apr	Tot	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Tot	
Cagliari	61,4	55,0	63,2	49,4	51,1	38,6	34,9	353,6	31,0	10,6	3,4	8,1	31,7	84,8	438,4

Stazione	Temp. (°C)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Cagliari S.I.	Max	14,4	14,8	16,6	18,9	23,0	27,1	29,9	30,0	27,1	23,2	18,8	15,8
	Min	7,3	7,6	8,7	10,6	13,7	17,7	20,5	20,8	18,7	15,2	11,2	8,8
	Med	10,9	11,2	12,7	14,8	18,4	22,4	25,2	25,4	22,9	19,3	15,0	12,3



Relativamente ai venti, come accade per tutta la Sardegna, si registra una netta dominanza in frequenza ed in intensità del maestrale (NW) e subordinatamente dello scirocco (SE). In conseguenza delle elevate temperature e della frequenza dei venti di velocità sostenuta, nell'area dello stagno di Santa Gilla l'evaporazione è elevata, con valori che salgono a partire da aprile sino a luglio per poi tornare ad abbassarsi sensibilmente nel mese di agosto.

Le condizioni climatiche che caratterizzano l'area sono proprie dell'orizzonte delle boscaglie e macchie litoranee, facenti parte del climax termoxerofilo delle foreste miste di sclerofille e delle macchie costiere. Le zone litoranee della Sardegna centro – meridionale e dei versanti orientali dell'isola, sono costituite da boscaglie o macchie primarie (non cedue); le forme di degradazione sono rappresentate da macchie o garighe.

Oltre che dalle condizioni climatiche dell'area vasta, nel caso esaminato i caratteri della vegetazione sono fortemente influenzati da fattori topografici ed edafici, propri dell'ambiente lagunare, che delineano l'assetto generale del territorio.

Mediante lo studio della destinazione d'uso dei suoli che compongono l'area di studio è stato possibile redigere la "Carta dell'uso del suolo e delle unità ecosistemiche", in scala 1:25000. I dati sull'uso del suolo, sulla copertura vegetale e sulla transizione tra le diverse categorie d'uso risultano importanti per la formulazione delle strategie di gestione sostenibile del patrimonio paesistico-ambientale e per valutare le trasformazioni da un uso "naturale" (ad esempio, le aree umide presenti nel territorio indagato), ad un uso "semi-naturale" (coltivi e saline), o "artificiale" (edilizia, industria, infrastrutture, etc.).

L'area è caratterizzata principalmente dal sistema lagunare che comprende lo stagno di Cagliari, ampie zone paludose e le vasche di salinizzazione ed evaporazione delle saline presenti in questa porzione del territorio. Questi elementi occupano quasi del tutto la parte centrale ed occidentale dell'ambito individuato.

A nord della zona di Macchiareddu, dove sono presenti gli impianti delle saline, si rinvengono impianti arborei artificiali, per lo più a *Eucalyptus sp.* alternati a campi coltivati e prati artificiali.

La porzione orientale dell'ambito di studio, invece, è caratterizzata, a sud, dal tessuto urbano continuo della città di Cagliari, dalla stazione ferroviaria e dalle strutture del Porto Vecchio, mentre a nord una vasta area è occupata dall'aeroporto Cagliari – Elmas. Nel territorio compreso tra queste due aree si alternano prati artificiali, campi coltivati e insediamenti industriali e commerciali.

L'area del Porto Canale è localizzata in posizione sub-centrale nell'ambito di studio ed è caratterizzata dalla presenza di ampie zone incolte o con vegetazione rada e saline



ormai in disuso, della lunga banchina del porto, di prati artificiali e colture, del piccolo abitato del rione Giorgino e di un tratto della Strada Statale N. 195 – Sulcitana.

5.3.2 Le aree di interesse naturalistico

Nell'ambito dell'inquadramento di area vasta, è stata effettuata la disamina delle aree sottoposte a tutela ambientale in base alla normativa comunitaria, nazionale, provinciale, locale, al fine di segnalare la presenza di aree di pregio naturalistico (cfr. tav. CADC QPRM 11 "Carta dei vincoli e dei regimi di tutela", in scala 1:25000).

Per quanto riguarda la normativa comunitaria, nella Rete Natura 2000, una rete coordinata e coerente di SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e ZPS (Zone di Protezione Speciale) designati per la tutela degli habitat e delle specie animali e vegetali, inclusi nella Direttiva Habitat 92/43/CEE (*Conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche*) e nella Direttiva Uccelli 79/409/CEE e successive modifiche (*Conservazione degli Uccelli selvatici*), sono stati individuati i seguenti siti ricadenti nell'area vasta:

- SIC Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla (ITB040023) [D.M. 14/03/2011]
- ZPS Stagno di Cagliari (ITB044003) [D.M. 19/06/2009]

Inoltre, lo stagno di Cagliari rientra tra le zone umide di importanza internazionale, ai sensi della Convenzione Ramsar, del 2 febbraio 1971:

- Sito Ramsar Laguna di Santa Gilla (3IT018)[D.M. 01/08/77]

Ancora, a livello regionale, si segnalano nell'area due oasi permanenti di protezione faunistica e di cattura, ai sensi della L.R. 29/07/1998 n. 23:

- Oasi di Santa Gilla e Capoterra
- Oasi di Molentargius

5.3.2.1 SIC Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla e ZPS Stagno di Cagliari

La localizzazione del SIC ITB040023 (cfr. Figura 5-1), come già accennato, ha contribuito alla definizione dell'ambito di studio; esso include anche, per la maggior parte della sua estensione, la ZPS "Stagno di Cagliari" (cfr. Figura 5-2).

Il sito ricade nei limiti amministrativi dei comuni di Cagliari, Elmas, Assemini e Capoterra e comprende l'intera area umida e alcune aree peristagnali dello Stagno di Cagliari, complesso corpo idrico formatosi nei sistemi di foce del Flumini Mannu, del Riu Cixerri, del Rio di Santa Lucia e di altri affluenti secondari, nell'area meridionale del Campidano.

L'area occupata dai due siti è inserita nella regione biogeografia mediterranea.

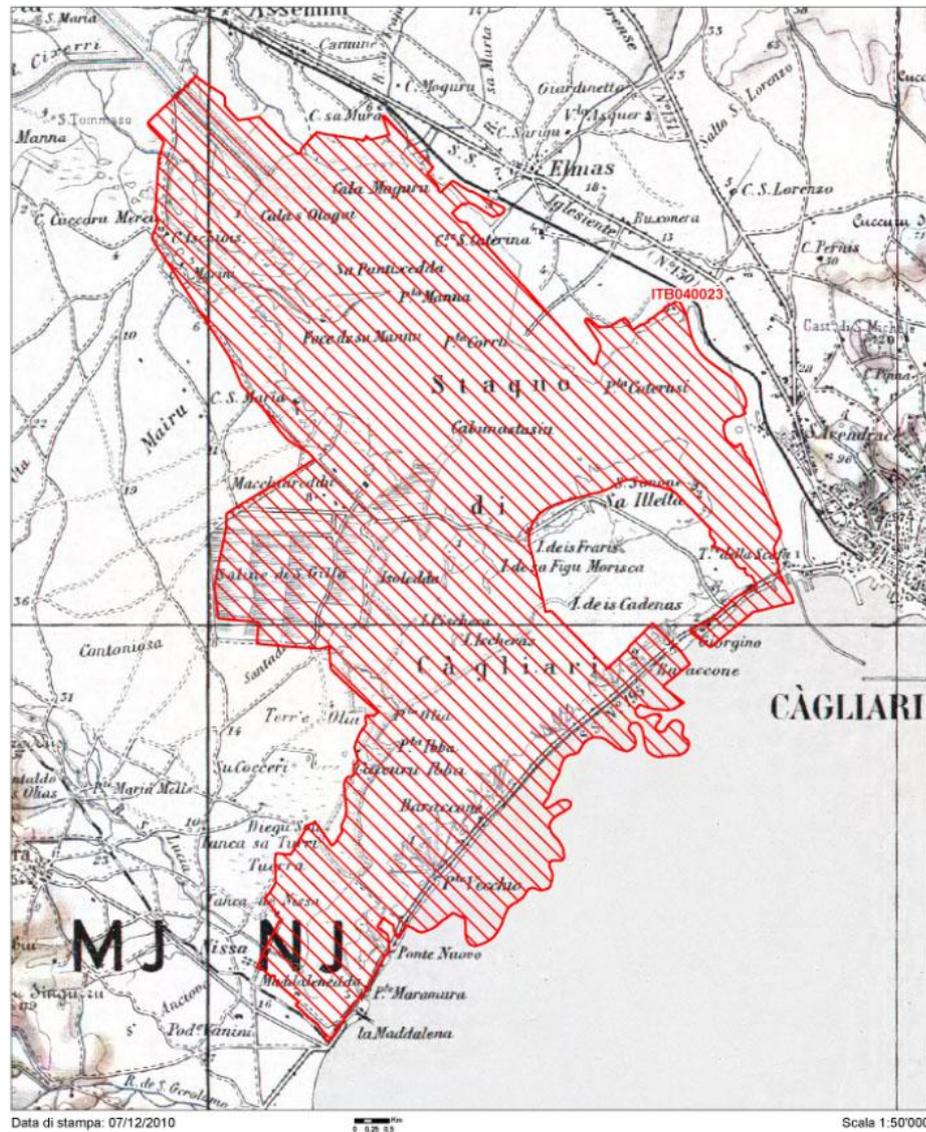


Figura 5-1 SIC ITB00023 "Stagno di Cagliari, saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla" (Fonte: www.minambiente.it)

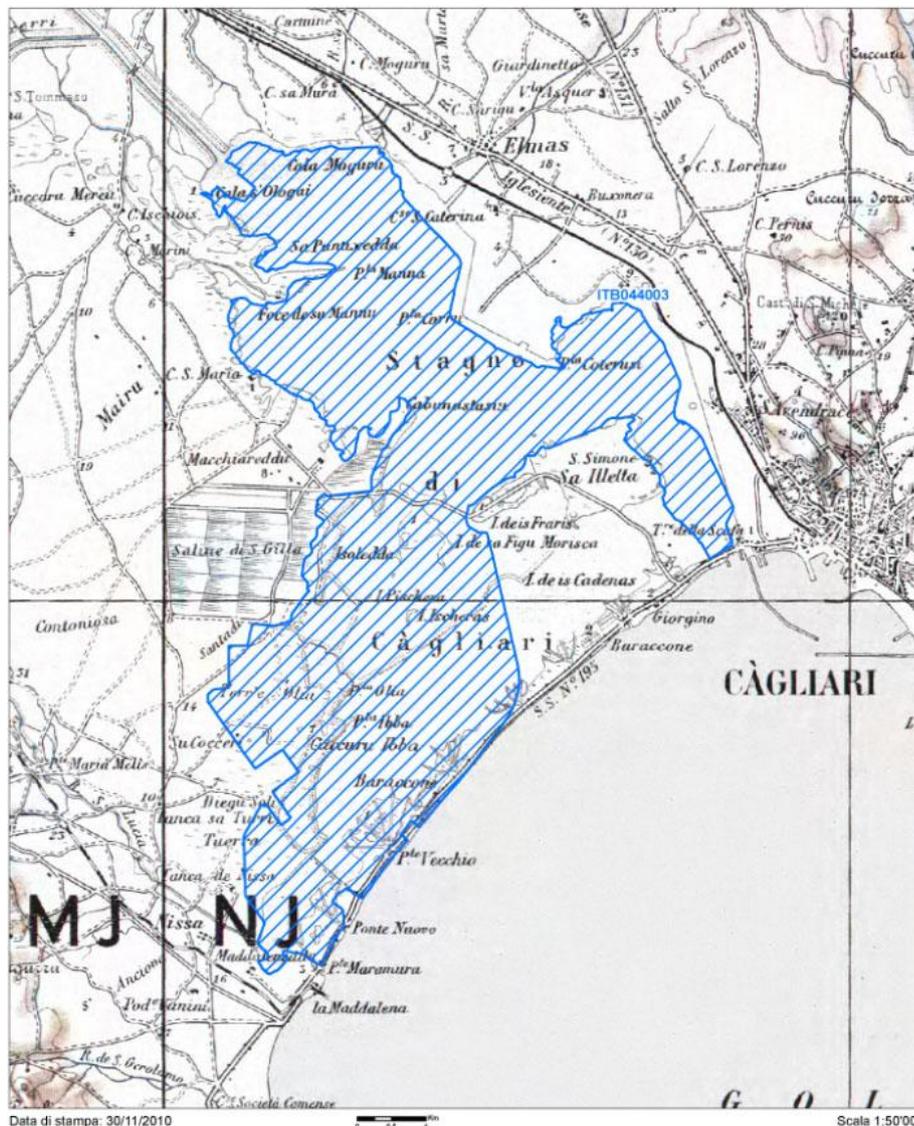


Figura 5-2 ZPS ITB044003 "Stagno di Cagliari" (Fonte:www.minambiente.it)

La vegetazione del SIC e della ZPS è molto complessa e variabile; ciò è dovuto soprattutto al fatto che, essendo localizzati in una zona umida, questa, al cambiare delle stagioni e delle condizioni climatiche, manifesta delle evidenti differenze nella diversificazione fisionomica strutturale delle varie formazioni vegetali.

Nonostante il forte grado di alterazione antropica degli assetti naturali, nell'area oggetto del presente studio, sono presenti diverse forme associative della vegetazione spontanea che configurano, in alcuni casi, habitat di interesse comunitario. Il sito si inquadra nei "Siti a dominanza di Coste basse", essendo caratterizzato dalla presenza degli habitat 11.50*Lagune costiere, 11.20*Praterie di posidonia (*Posidonion oceanicae*), 15.10*Steppe salate mediterranee (*Limonietales*), 14.20 Praterie e fruticeti alofili mediterranei etermo-atlantici (*Sarcocornietea fruticosi*), 14.10 Pascoli inondatai mediterranei (*Juncetalia maritimi*) e 13.10



Vegetazione annua pioniera di Salicornia e altre specie annuali delle zone fangose e sabbiose (con * vengono indicati gli habitat prioritari, ai sensi della Direttiva 92/43/CEE, c.d. Direttiva Habitat).

La fauna è rappresentata soprattutto dagli uccelli acquatici, con presenza di specie migratorie (svernanti e di passo) e stanziali, molte delle quali (46) elencate nell'Allegato 1 della Direttiva 79/409/CEE (c.d. Direttiva Uccelli).

Inoltre, i formulari standard del SIC e della ZPS riportano specie di pesci, come il nono (*Aphanius fasciatus*), ciprinide autoctono italiano, ma anche anfibi, come l'endemica raganella sarda (*Hyla sarda*).

5.3.2.2 Sito Ramsar Laguna di Santa Gilla

L'area di Santa Gilla rientra tra i siti tutelati ai sensi della "Convenzione relativa alle zone umide di importanza internazionale soprattutto come habitat degli uccelli acquatici" firmata a Ramsar (Iran) il 2 febbraio 1971 e ratificata con Decreto del Presidente della Repubblica 13 marzo 1976 n. 448 (G.U. 6/8/1977, n. 214).

Il sito rappresenta, per estensione e biodiversità, una delle zone umide più importanti d'Europa; ospita infatti un elevato numero di specie di animali rare o minacciate (oltre 70 specie d'uccelli in pericolo, per un numero di individui che supera le 30.000 unità).

5.3.2.3 Oasi permanenti di protezione faunistica e di cattura di Santa Gilla e Capoterra e di Molentargius

Le oasi di protezione faunistica e di cattura rappresentano un'ulteriore regime di tutela, in questo caso a livello regionale, stabilito ai sensi della L. R. 29/07/1998 n. 23.

Queste aree sono destinate alla conservazione delle specie selvatiche, favorendo il rifugio della fauna stanziale, la sosta della fauna migratoria ed il loro irradimento naturale (Art. 23 della suddetta legge).

La tutela della fauna selvatica è finalizzata al mantenimento della biodiversità, compatibilmente con le esigenze economiche, sociali, culturali, peculiari della Regione e contribuisce, attraverso interventi di gestione e valorizzazione della fauna stessa, all'obiettivo generale di uno sviluppo durevole (Art. 3).

All'interno delle oasi, ogni azione rivolta alla fauna selvatica non deve determinare l'uccisione, la cattura o il disturbo delle specie che la compongono. Secondo la L. R. 23/1998, anche le catture per fini di studio e di ricerca scientifica devono essere autorizzate dall'Assessore regionale della difesa dell'ambiente.

Le due oasi sono contigue e comprendono porzioni del territorio del capoluogo, ma anche quello dei comuni di Assemini, Capoterra (Santa Gilla e Capoterra), Elmas, Monserrato, Selargius, Quartucciu e Quartu Sant'Elena (Molentargius).



5.3.3 Analisi dei popolamenti animali

La presente analisi ha lo scopo di delineare i principali aspetti dei popolamenti faunistici presenti nell'area vasta, al fine di valutarne il grado di interesse naturalistico e la sensibilità rispetto alle realizzazioni delle opere in progetto.

Particolare attenzione è stata rivolta al popolamento ornitico, per il quale, come indicato al paragrafo precedente, l'area è stata designata come zona umida di interesse internazionale ai sensi della Convenzione Ramsar e, successivamente, come Zona di Protezione Speciale (ZPS) ai sensi della Direttiva Uccelli (79/49/CEE e succ. mod.). La trattazione intende fare una stima generale delle risorse faunistiche, riguardo il livello di diversità e lo status di conservazione, con particolare attenzione alle specie di interesse comunitario, ovvero quelle inserite negli Allegati II e IV della Direttiva Habitat e nell'Allegato I della Direttiva Uccelli, e quelle inserite nella Lista Rossa dei Vertebrati Italiani (Bulgarini et al., 1998).

L'analisi è stata realizzata sulla base di osservazioni sul campo, soprattutto per gli uccelli, e attraverso l'esame dei dati bibliografici disponibili, tratti dal Piano di gestione del SIC "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla" (ITB040023) (Sindaco et al., 2006, Brichetti e Fracasso, 2003, 2004, 2005, Mocchi De Martis -Check – map 2004, Mocchi De Martis e Secci, 1997, Associazione per il Parco di Molentargius, Saline Poetto, 2002) e dallo Studio di Incidenza Ambientale redatto per il suddetto SIC da Studio Tecnico Naturalistico (2008, Cagliari).

Sono stati presi in considerazione i seguenti gruppi di animali:

- Macroinvertebrati acquatici: *Bivalvia*, *Gasteropoda* e *Cephalopoda* (*Mollusca*), *Crostea* (*Arthropoda*) *Echinoidea* e *Asteroidea* (*Echinodermata*)
- *Osteitti*
- *Anfibi e Rettili*
- *Uccelli*
- *Mammiferi*

Complessivamente, è stata riscontrata la presenza di 174 specie di cui 25 inserite nell'Allegato II della Direttiva Habitat (92/43/CEE) e nell'Allegato I della Direttiva Uccelli (79/409/CEE). Dei vertebrati segnalati (123 specie), 31 specie figurano nella Lista rossa nazionale dei vertebrati.

Macroinvertebrati acquatici

Questo gruppo è rappresentato prevalentemente da Molluschi e Crostacei. Dei primi si contano 39 specie tra le classi di Bivalvi, Gasteropodi e Cefalopodi delle quali nessuna è inserita nell'Allegato II della Direttiva Habitat.

Alcuni Bivalvi, come la vongola verace (*Venerupis decussata*), la vongola gialla (*Venerupis aurea*), la cozza (*Mytilus galloprovincialis*), il cuore edule o cuore di



laguna (*Cerastoderma glaucum*) e i Gasteropodi murice e murice spinoso (*Murex trunculus* e *M. brandaris*), sono di notevole interesse economico.

Per quanto riguarda i Crostacei, anche in questo caso, delle 8 specie rinvenute, nessuna è elencata nell'Allegato II della Direttiva di riferimento.

Gli Echinodermi sono presenti nell'area con 5 specie, anch'esse non citate dalla Direttiva Habitat.

Osteitti

I pesci ossei sono rappresentati da 32 specie, distribuite tra la zona marina antistante il cordone dunale che separa la laguna dal mare, le acque marine e salmastre della laguna e le foci del Mannu e del Cixerri.

L'area costiera e l'area lagunare rappresentano un continuum ecologico all'interno del quale si sviluppano le attività trofiche eriproduttive di numerose specie quali ad esempio: lampreda di mare (*Petromyzon marinus*, ciclostoma appartenente all'infraphylum Agnatha), latterino (*Atherina boyeri*), cheppia (*Alosa fallax*), muggine bosega (*Chelon labrosus*), muggine dorato (*Liza aurata*), muggine calamita (*Liza ramada*), muggine musino (*Liza saliens*), cefalo (*Mugil cephalus*), anguilla (*Anguilla anguilla*), sogliola (*Solea vulgaris*), spigola (*Dicentrarchus labrax*), orata (*Sparus aurata*), mormora (*Lithognathus mormyrus*), sparlotta (*Diplodus annularis*), triglia di fango e di scoglio (*Mullus barbatus* e *M. surmuletus*), gozzo nero e paganello (*Gobius niger* e *G. paganellus*).

Oltre la lampreda di mare, 2 specie di pesci ossei sono elencati nell'Allegato II della Direttiva Habitat: la cheppia (*Alosa fallax*) ed il nono (*Aphanius fasciatus*), inserite anche nel protocollo sulle Aree Specialmente Protette e la Biodiversità in Mediterraneo (ASPIM della Convenzione di Barcellona) e nella Convenzione di Berna.

Anfibi e Rettili

L'erpetofauna dello Stagno di Cagliari è rappresentata da 2 specie di anfibi e 10 specie di rettili.

Per quanto riguarda gli anfibi, le due specie segnalate appartengono entrambe all'ordine degli anuri e sono inserite nell'Allegato IV della Direttiva Habitat e nell'Allegato II della Convenzione di Berna: il rospo smeraldino (*Bufo viridis*) e la raganella sarda (*Hyla sarda*). Quest'ultima è un endemismo della Sardegna.

Tra le specie di rettili rilevate, le testuggini *Caretta caretta* e *Emys orbicularis* sono inserite negli allegati II e IV della Direttiva Habitat; nell'allegato IV si trovano anche la lucertola campestre e la lucertola tirrenica (*Podarcis sicula cettii* e *P. tiliguerta*), il biacco (*Coluber viridiflavus*) e il gongilo ocellato (*Chalcides ocellatus*).



Figurano invece nell'allegato II o III della Convenzione di Berna i due gechi Emidattilo turco (*Hemidactylus turcicus*) e *Tarentola mauritanica*, la luscengola (*Chalcides chalcides*) e la biscia viperina (*Natrix maura*).

Uccelli

L'avifauna rappresenta il gruppo animale più numeroso nell'area di Santa Gilla in quanto la ricchezza e la tipologia degli habitat presenti ne fanno una zona di elezione per gli uccelli. L'importanza di questa zona umida a tale riguardo, come già indicato nel paragrafo 5.3.2, è riconosciuta a livello internazionale ai sensi della Direttiva 79/409/CEE e della Convenzione di Ramsar.

Sono state considerate, ai fini della redazione della presente analisi, le specie eventualmente, probabilmente o certamente nidificanti nell'area di studio, facendo riferimento a dati bibliografici e alle osservazioni dirette sul campo.

Nell'area si contano in totale 65 specie di cui 19 elencate nell'allegato I della Direttiva Uccelli e 23 inserite nella Lista Rossa dei vertebrati italiani (Bulgarini et al., 2006).

Nella Tabella 5-1 si riporta la check-list delle specie nidificanti presenti nell'area e i relativi regimi di tutela.

Tabella 5-1 Check-list dell'avifauna nidificante nell'area di studio. Nidificazione: E= eventuale (dati bibliografici non verificati), P= presumibile (individui osservati in periodo riproduttivo, ma senza indicazione di nidificazione), C= certa (Presenza di nidi, pulli, giovani involati); Lista Rossa Nazionale: EN = Inpericolo di estinzione, VU = Vulnerabile, LR = A più bassorischio.

SPECIE		Nidificazione	All. I Direttiva 79/409/CEE	Lista Rossa Nazionale
Nome scientifico	Nome comune			
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	Cannareccione	P		
<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	Cannaiola	P		
<i>Alauda arvensis</i>	Allodola	P	*	
<i>Alcedo atthis</i>	Martin pescatore	P	*	
<i>Anas platyrhynchos</i>	Germano reale	E		
<i>Anser anser</i>	Oca selvatica	E		EN
<i>Anthus campestris</i>	Calandro	E	*	
<i>Apus apus</i>	Rondone comune	P		
<i>Ardea purpurea</i>	Airone rosso	E	*	LR
<i>Ardeola ralloides</i>	Sgarza ciuffetto	E	*	VU
<i>Athene noctua</i>	Civetta	E		
<i>Burhinus oedicephalus</i>	Occhione	E	*	EN
<i>Buteo buteo</i>	Poiana	E		
<i>Carduelis carduelis</i>	Cardellino	C		



<i>Carduelis chloris</i>	Verdone	C		
<i>Charadrius alexandrinus</i>	Fratino	P		LR
<i>Charadrius dubius</i>	Corriere piccolo	E		LR
<i>Circus aeruginosus</i>	Falco di palude	E	*	EN
<i>Cisticola juncidis</i>	Beccamoschino	C		
<i>Corpus corone cornix</i>	Cornacchia grigia	P		
<i>Delichon urbica</i>	Balestruccio	P		
<i>Egretta garzetta</i>	Garzetta	P	*	
<i>Falco tinnunculus</i>	Gheppio	P		
<i>Gallinula chloropus</i>	Gallinella d'acqua	P		
<i>Gavia stellata</i>	Strolaga maggiore	E		
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Sterna zampenere	E	*	EN
<i>Himantopus himantopus</i>	Cavaliere d'Italia	P	*	LR
<i>Hirundo rustica</i>	Rondine	P		
<i>Ixobrychus minutus</i>	Tarabusino	E	*	LR
<i>Lanius collurio</i>	Averla piccola	P	*	
<i>Lanius senator</i>	Averla capirossa	P		LR
<i>Larus genei</i>	Gabbiano roseo	E	*	EN
<i>Larus michahellis</i>	Gabbiano reale	C		
<i>Larus ridibundus</i>	Gabbiano comune	P		VU
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Usignolo	P		
<i>Melanocorypha calandra</i>	Calandra	E	*	LR
<i>Miliaria calandra</i>	Strillozzo	P		
<i>Muscicapa striata</i>	Pigliamosche	P		
<i>Netta rufina</i>	Fistione turco	E		EN
<i>Otus scops</i>	Assiolo	E		LR
<i>Parus caeruleus</i>	Cinciarella	P		
<i>Parus major</i>	Cinciallegra	C		
<i>Passer hispaniolensis</i>	Passera sarda	C		
<i>Passer muntanus</i>	Passera montana	P		
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Cormorano	P	*	EN
<i>Phoenicopterus ruber</i>	Fenicottero rosa	P		
<i>Porphyrio porphyrio</i>	Pollo sultano	E	*	VU
<i>Rallus aquaticus</i>	Porciglione	P		LR
<i>Recurvirostra avocetta</i>	Avocetta	P	*	LR
<i>Saxicola torquata</i>	Saltimpalo	P		
<i>Serinus serinus</i>	Verzellino	C		
<i>Sterna caspia</i>	Sterna maggiore	E	*	
<i>Sterna hirundo</i>	Sterna comune	P		



<i>Sternula albifrons</i>	Fraticello	E	*	VU
<i>Streptopelia turtur</i>	Tortora selvatica	E		
<i>Sturnus unicolor</i>	Storno nero	C		
<i>Sylvia atricapilla</i>	Capinera	C		
<i>Sylvia conspicillata</i>	Sterpazzola di Sardegna	P		
<i>Sylvia melanocephala</i>	Occhiocotto	C		
<i>Sylvia undata</i>	Magnanina	E		
<i>Tachybaptus ruficollis</i>	Tuffetto	P		
<i>Tadorna tadorna</i>	Volpoca	P		EN
<i>Turdus merula</i>	Merlo	C		
<i>Tyto alba ernesti</i>	Barbagianni	E		LR

Alla precedente check-list devono essere aggiunte 2 specie, la pernice di mare (*Glareola pratincola*) e la nitticora (*Nycticorax nycticorax*), anch'esse inserite nell'allegato I della Direttiva Uccelli, indicate nel formulario standard della ZPS IT044003 "Stagno di Cagliari", aggiornato a settembre 2010, per le quali la nidificazione è ritenuta "molto rara". Inoltre, da segnalare il fenicottero rosso (*Phoenicopterus ruber*) per il quale sono riportati fino a 1000 coppie e la sterna comune (*Sterna hirundo*) presente con 100 coppie.

I dati avifaunistici hanno permesso di suddividere l'area di studio in unità ambientali a cui è stato assegnato un diverso livello di interesse avifaunistico e conservazionistico, sulla base di alcuni parametri quali la ricchezza di specie, la presenza di specie di interesse regionale, nazionale ed europeo, la presenza di contingenti di interesse a diverse scala di distribuzione.

I parametri relativi alle specie di uccelli suddivisi in nidificanti e migratrici/ospiti sono stati successivamente integrati nella graduatoria dell'interesse conservazionistico, che ha individuato le seguenti classi di interesse, riportate nelle "Carta delle aree di interesse avifaunistico", in scala 1:25000, allegata:

- internazionale (vasche di evaporazione delle saline, area delle foci Mereu, Tramontana, Riu Mannu, Cixerri e Stagno di Capoterra e Foce del Rio Santa Lucia)
- nazionale (Laguna aperta, Canale e vasca di Porto San Pietro, Acquitrini da Donna Laura a Punta Coterusi, Vasche pensili)
- regionale (Laghetti di Assemmini e altre zone parastagnali, cordone litoraneo di La Plaia e mare antistante, area del Porto Canale)
- locale (vasche salanti delle Saline e Sa Illetta o San Simone)

Nelle unità di elevato interesse si riscontra una forte concentrazione dell'avifauna migratrice/ospite (Podicipedidae, Ciconiformes, *Phoenicopterus ruber*, Anatidae, Accipitriformes, Rallidae, Limicolae, Laridae e Sternidae); in particolare, l'area delle



vasche evaporanti nell'ultimo decennio ha ospitato contingenti nidificanti di importanza internazionale di specie di interesse conservazionistico europeo (*Larus genei* e *Gelochelidon nilotica*), contingenti svernanti di interesse nazionale e internazionale di ardeidi, fenicotteri, anatidi e laro-limicoli.

Attualmente il popolamento ornitico nidificante si è modificato rispetto agli anni '80. Le colonie di gabbiano roseo (*Larus genei*), sterna zampenere (*Gelochelidon nilotica*) e fenicottero (*Phoenicopterus ruber*) si sono trasferite nello Stagno di Molentargius, ma lo Stagno di Cagliari continua a rappresentare un sito di alimentazione per il periodo riproduttivo; la garzetta (*Egretta garzetta*) e l'airone guardabuoi (*Bubulcus ibis*) dal 1994 hanno costituito una colonia (garzaia) nei pressi dell'aeroporto di Elmas. (cfr. Foto 5-1)



Foto 5-1 Alcuni uccelli presenti nello Stagno di Cagliari, dall'alto in basso, da sinistra a destra: *Larus genei*, *Recurvirostra avocetta*, *Ixobrychus minutus*, *Phoenicopterus ruber*, *Himantopus himantopus*, *Sternula albifrons* (Foto: L. Simoncini)



Mammiferi

I dati riguardanti questa classe di vertebrati sono stati desunti dall'analisi e dalla ricerca bibliografica (Boitani et al., 2002; Spegnesi et al., 2002; Sarà, 1998; Corbet e Ovenden, 1986; Mocci De Martis e Secci, 1997), data la difficoltà di effettuare osservazioni dirette e la mancanza di tecnologie specifiche, ad esempio per quanto riguarda i Chiroteri.

Nell'area di studio, sono presenti, o presumibilmente presenti, 14 specie di mammiferi delle quali 1 è elencata nell'allegato II della Direttiva Habitat: si tratta del chiroterio rinolofo maggiore (*Rhinolophus ferrumequinum*). Appartenenti ai chiroteri anche altre 3 specie inserite nella Lista Rossa Nazionale: il pipistrello albolimbato (*Pipistrellus kuhlii*), il pipistrello nano (*Pipistrellus pipistrellus*) e il vespertilio maggiore (*Myotis myotis Borkhausen*).

Un'altra specie inserita nella Lista Rossa Nazionale è la rara lepre sarda (*Lepus capensis mediterraneus*), un iacomorfo giudicato vulnerabile, ovvero si trova ad un alto livello di estinzione allo stato selvatico nel futuro a medio termine.

Da segnalare diversi endemismi che, insieme a *Lepus capensis mediterraneus*, caratterizzano la mammalofauna dell'area: *Erinaceus europaeus italicus*, *Suncus etruscus pachyurus* e *Crocidura russula ichnusae*.

Tra i carnivori, è presente la volpe sarda (*Vulpes vulpe ichnusae*), anch'essa endemica, che frequenta tutti i tipi di ambienti e si spinge fino ai dintorni dell'area umida.

5.4 Inquadramento ambientale specifico

In questa sezione si intende esaminare l'area di studio ad un livello di dettaglio maggiore, restringendo l'analisi alla zona di intervento, ovvero l'area del Porto Canale.

Di seguito saranno descritti le formazioni vegetali e i popolamenti animali che caratterizzano strettamente l'area interessata dalle azioni di progetto, in particolare la colmata di Levante, dove avverranno gli interventi di sistemazione dell'avamposto del Porto Canale, e le aree immediatamente contigue in modo da acquisire le conoscenze necessarie e propedeutiche all'analisi delle interferenze tra l'opera e l'ambiente in cui si inserisce.

5.4.1 Analisi delle formazioni vegetali

La porzione di territorio esaminata è delimitata, nella parte occidentale, dalla Strada Statale Sulcitana N.195 e comprende tutta l'area industriale del Porto Canale, con la lunga banchina e le strutture accessorie, la colmata di Levante e la colmata di



Ponente, le Saline Vecchie de su Cuccuru e l'agglomerato di Giorgino; la parte orientale dell'area comprende il Porto Vecchio di Cagliari, compreso tra il Nuovo Molo di Ponente e il Nuovo Molo di Levante.

L'area è stata studiata dal punto di vista vegetazionale, mediante un approccio fisionomico – strutturale, finalizzato a definire le principali fitocenosi presenti, riportate nella "Carta della vegetazione" allegata, in scala 1:10.000 (cfr. tav. CADC QAMB 06).

Le fitocenosi sono a diretto contatto tra loro e il limite fisico tra di esse si presenta a volte poco definito, trattandosi di raggruppamenti tra loro piuttosto simili dal punto di vista compositivo e strutturale.

Confrontando i dati bibliografici, le cartografie disponibili e le osservazioni sul campo, gli aspetti vegetazionali identificati nell'area di intervento sono stati suddivisi nelle seguenti categorie:

- *Formazioni psammofile dei litorali*
- *Formazioni arbustive ed erbacee alo-nitrofile*
- *Associazioni vegetali erbacee di aree degradate miste a lembi di fitocenosi ad alofite*
- *Formazioni ad alofite perenni ed annuali*
- *Gariga a dominanza di *Cistus monspeliensis* e altre essenze tipiche della macchia mediterranea bassa*
- *Vegetazione tipica degli ambienti salmastri*
- *Impianti artificiali a *Eucalyptus sp.*, *Pinus sp.*, *Cupressus sp.*, etc.*
- *Aree portuali*
- *Zone residenziali e produttive prive di vegetazione*

Formazioni psammofile dei litorali

Questa categoria comprende formazioni molto frammentate e discontinue, soggette ad una pressione antropica notevole quale calpestio, rimaneggiamento, movimento sabbie, discariche. Le specie caratteristiche di questo aggruppamento sono il ravastrello marittimo (*Cakile maritima ssp. aegyptiaca*) e la salsola erba-cali (*Salsola kali*). Più all'interno, si insediano alcune specie che tendono a colonizzare i modesti rilievi sabbiosi, stabilizzandoli e determinandone l'aumento delle dimensioni: *Sporobolus pungens* ed *Agropyron junceum*, specie note entrambe col nome volgare di gramigna delle spiagge, camomilla marina (*Anthemis maritima*), calcatreppola marittima (*Eryngium maritimum*), euforbia delle spiagge (*Euphorbia peplis*) e poligono marittimo (*Polygonum maritimum*). Sulle dune embrionali maggiormente rilevate si osserva lo sparto pungente (*Ammophila littoralis*), a cui si accompagnano altre specie psammofile presenti anche nelle formazioni limitrofe. A tratti, in aree particolarmente soggette a calpestio e rimaneggiamento, si osservano densi popolamenti a camomilla marina.



Formazioni arbustive ed erbacee alo-nitrofile

Queste formazioni tendono a colonizzare soprattutto le aree degradate con substrati più o meno salsi. La specie dominante, in queste cenosi, è l'atriplice alimo (*Atriplex halimus*), che assieme all'assenzio arbustivo (*Artemisia arborescens*), meno abbondante, occupa soprattutto le zone in cui sono presenti accumuli detritici di varia natura, spesso ricoprendoli completamente. Accanto alle due specie principali se ne osservano molte altre, alcune delle quali tipicamente ruderali e sinantropiche. Fra esse ricordiamo il tabacco glauco (*Nicotiana glauca*), lo spazzaforno (*Thymelaea hirsuta*), l'enula cepittoni (*Inula viscosa*), alcune specie di euforbie (*Euphorbia sp.*) e di ortiche (*Urtica sp.*). Nelle zone più prossime allo stagno, all'aumentare quindi della salinità del substrato, l'assenzio arbustivo, che non tollera i terreni più salsi, tende a scomparire, l'atriplice alimo risulta meno abbondante o addirittura assente e la pianta più significativa è la *Suaeda fruticosa*. Oltre a queste, le specie che più frequentemente si osservano in questi aggruppamenti sono l'enula bacicci (*Inula crithmoides*), l'erba-franca legnosa (*Frankenia laevis*), la salicornia fruticosa (*Arthrocnemum fruticosum*).

Associazioni vegetali erbacee di aree degradate miste a lembi di fitocenosi ad alofite

Nella zona si osservano formazioni di vegetazione pioniera costituite per lo più da specie erbacee annuali e caratterizzate dalla costante e spesso abbondante presenza di enula cepittoni (*Inula viscosa*) a cui si accompagnano numerose altre specie quali saeppola canadese (*Conyza canadensis*), euforbia (*Euphorbia sp.*), erba medica (*Medicago sp.*), ononide (*Ononis sp.*), etc. Inoltre, si osservano estesi tappeti erbacei costituiti da vegetazione bassa e strisciante a ginestrino delle scogliere (*Lotus cytisoides*).

Tali nuclei sono localizzati nelle aree più degradate o modificate da riporti o colmate, nei coltivi abbandonati, etc. È bene sottolineare che una copertura erbacea alquanto discontinua si segnala nell'area di pertinenza del Porto Canale, interessata dal progetto di banchinamento, denotando un livello di interesse naturalistico alquanto modesto.

Formazioni ad alofite perenni ed annuali

Si tratta di specie perenni siacamefitiche suffrutticose, sia succulente, che vegetano nelle aree peristagnali consubstrati argilloso-limosi, soggette ad inondazioni marine periodiche più o meno prolungate. Le piante che caratterizzano gli aggruppamenti perenni sono sostanzialmente la salicornia fruticosa (*Arthrocnemum fruticosum*), salicornia glauca (*Arthrocnemum glaucum*) e salicornia strobilacea (*Halocnemum strobilaceum*).

L'aspetto a salicornia strobilacea, o alocnemeto, tende a colonizzare i settori caratterizzati da una maggiore concentrazione salina nel terreno (spesso



decisamente superiore a quella marina). In questa cenosi, oltre alle salicornie indicate, si rilevano l'atriplice portulacoides (*Halimione portulacoides*) ed il gramignone delle saline (*Puccinellia convoluta*). Tra le formazioni ad alofite perenni, l'artrocnemeto a salicornia fruticosa è l'aspetto decisamente più diffuso e meglio caratterizzato. Un'altra cenosi legata all'artrocnemeto a salicornia fruticosa, ma che si insedia di preferenza su suoli meno salsi, un po' rialzati e contenenti sostanza organica, è quella caratterizzata da atriplice portulacoides, in genere ad elevata copertura, e fungo di malta (*Cynomorium coccineum*). Su substrati a salinità ancor minore, dove le sommersioni marine si verificano soltanto per brevi periodi ed i ristagni d'acqua piovana sono più prolungati, l'artrocnemeto sfuma verso un aspetto a giunco foglioso (*Juncus subulatus*), a tratti particolarmente fitto. Nelle cenosi vegetalia ciclo annuale, di notevole importanza è la presenza del limonio (*Limonium sp.*); per il resto troviamo specie crassulente che colonizzano i luoghi salati e temporaneamente inondati, in particolar modo i bordi delle acque stagnanti ed i bacini di colmata, dove spesso formano densi popolamenti (cfr. Foto 5-2)

Gariga a dominanza di *Cistus monspeliensis* e altre essenze tipiche della macchia mediterranea bassa

Si tratta di aspetti vegetazionali di estensione estremamente modesta e costituiti essenzialmente da nuclei di vegetazione arbustiva bassa a cisto marino (*Cistus monspeliensis*) o, molto più raramente, a cisto femmina (*Cistus salvifolius*) a cui si accompagnano sporadicamente altre essenze caratteristiche della macchia mediterranea, quali olivastro (*Olea europea var. sylvestris*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), lavanda (*Lavandula stoechas*), etc. Accanto a questi nuclei di macchia, si osservano talvolta piccoli aggruppamenti caratterizzati dalla presenza di elicriso (*Helichrysum italicum ssp. microphyllum*) e di numerose specie pioniere fra cui va ricordata, almeno da un punto di vista quantitativo, la carlina raggio d'oro (*Carlina corymbosa*).

Vegetazione tipica degli ambienti salmastri

Nelle aree più propriamente palustri, debolmente salmastre, lungo i bordi dei canali sono da segnalare canneti a cannuccia di palude (*Phragmites australis*) (cfr. Foto 5-3), e tifeti a lisca maggiore (*Typha latifolia*) e lisca a foglie strette (*Typha angustifolia*). A ridosso delle suddette formazioni vi sono i giuncheti a giunco pungente (*Juncus acutus*), che preferiscono le aree con substrati argillosi umidi, poco salmastri, a ridosso sia delle formazioni ad alofite perenni, sia dei canneti.

Impianti artificiali a *Eucalyptus sp.*, *Pinus sp.*, *Cupressus sp.*, etc.

Le essenze citate sono state utilizzate lungo la S.S. N.195, impiantate in aree agricole e industriali o semplicemente ai bordi della strada. La specie maggiormente presente



è l'eucalipto, ma vi sono anche pini, cipressi e acacie (*Acacia sp.*) che, in alcuni casi, mostrano la tendenza a spontaneizzarsi.

Aree portuali

Le zone di pertinenza del porto, prive di vegetazione.

Zone residenziali e produttive prive di vegetazione

È compresa in questa categoria anche la viabilità presente nell'area. La vegetazione, se presente, è ridotta e caratterizzata da specie alloctone.



Foto 5-2 Formazioni ad alofite: in primo piano cespugli di *Juncus acutus* e, oltre la pista sterrata, esemplari di *Limonium sp.* (Foto: L. Simoncini)



Foto 5-3 Canneti a *Phragmites australis* (Foto: L. Simoncini)

5.4.2 Analisi dei popolamenti animali

La zona del Porto Canale (circa 807 ha), caratterizzata da scarsa copertura vegetale, presenta un numero di specie riprodottesi pari a 27, suddiviso in *Reptilia* (5 specie), *Aves* (16 specie), *Mammalia* (6 specie); il numero di specie di Uccelli svernanti è 49. La "Carta delle aree di interesse avifaunistico" indica questa zona come "unità ambientale di interesse regionale" in funzione della ricchezza delle specie e dell'interesse conservazionistico.

Tra le specie di Rettili di cui è stata riscontrata la riproduzione nel Porto Canale sono da segnalare *Hemidactylus turcicus*, *Tarentola mauritanica*, *Podarcis sicula cettii*, *Chalcides chalcides*, *Coluber viridiflavus*.

Tra i Mammiferi sono da segnalare *Erinaceus euripeus*, *Crociodura russula*, *Oryctolagus cuniculus*, *Rattus norvegicus*, *Rattus rattus*, *Mus musculus*, specie ubiquitarie legate ad ambienti antropizzati; la riproduzione delle due specie di Anfibi, *Bufo viridis* e *Hyla sarda*, segnalate nell'area dello Stagno di Cagliari, non è stata rilevata nella zona del Porto Canale.

Le specie di Uccelli con i più alti livelli di abbondanza riprodottesi nell'area del Porto Canale nel periodo 1988-1997, sono *Charadrius alexandrinus*, *Sterna albifrons*, *Larus cachinnans*, *Alcedo atthis*, *Calidris minuta*.



5.5 Analisi delle interferenze

Con il capitolo seguente si intendono valutare le interazioni tra l'opera in progetto e il territorio su cui essa verrà realizzata, al fine di individuare possibili interferenze con le componenti analizzate.

La realizzazione del Distretto della Cantieristica nell'avamposto di levante del Porto Canale, previsto dall'Autorità Portuale di Cagliari, favorirà l'installazione di insediamenti industriali, commerciali e artigianali nel settore di attività della cantieristica per la nautica da diporto.

Tale opera si colloca nella colmata est del Porto Canale della quale occuperà la maggior parte della sua estensione, eccezion fatta per il realizzando Parco di S. Efisio previsto a fianco del Distretto, al limite occidentale della colmata, ovvero all'imboccatura dell'attuale canale del porto industriale.

L'area occupata ha una superficie complessiva di circa 23 ha; di questi, circa 3 ha si ottengono dall'avanzamento di 71,50 m, verso mare, dell'attuale linea di riva.

Le azioni di progetto prevedono la realizzazione di opere a terra e opere a mare (cfr. Figura 5-3). Per quanto riguarda queste ultime, come già indicato in premessa, si rimanda al capitolo relativo all'ecosistema marino.

Le opere a terra consistono nell'urbanizzazione primaria del Distretto (viabilità, impianti e reti tecnologiche) e la suddivisione delle aree in lotti. Inoltre, all'interno dei lotti verrà eseguito lo scotico superficiale e lo spianamento alla quota di imposta del pacchetto di pavimentazione.

Le aree del Distretto sono state suddivise in 15 lotti, dei quali 14 posizionati su tre file a partire dalla banchina di riva (Figura 5-3): un lotto da 5 ettari, che occupa tutto il settore occidentale del Distretto, destinato all'insediamento cantieri in grado di fornire servizi per imbarcazioni di lunghezza fino a oltre 50 m; quattro da 1,35 ha, per cantieri dedicati a imbarcazioni di 35-40 m, posizionati sulla prima fila lato mare; quattro lotti da 1,25 ha per cantieri dedicati a imbarcazioni di 20-25 m, localizzati sulla seconda e terza fila; infine, sei lotti più piccoli, di superficie pari a 0,35 ha, sono collocati nella parte posteriore del Distretto.

Per la configurazione delle opere a terra la Commissione Tecnica per la Verifica dell'Impatto Ambientale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha dato il parere favorevole di non assoggettabilità alla procedura di VIA con prot.DSA-2008-0032270 del 11/11/2008.

Il progetto definitivo delle opere a terra è stato già esaminato dalla III Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che lo ha approvato nel corso dell'adunanza del 27 luglio 2011 con voto n° 64/2011.

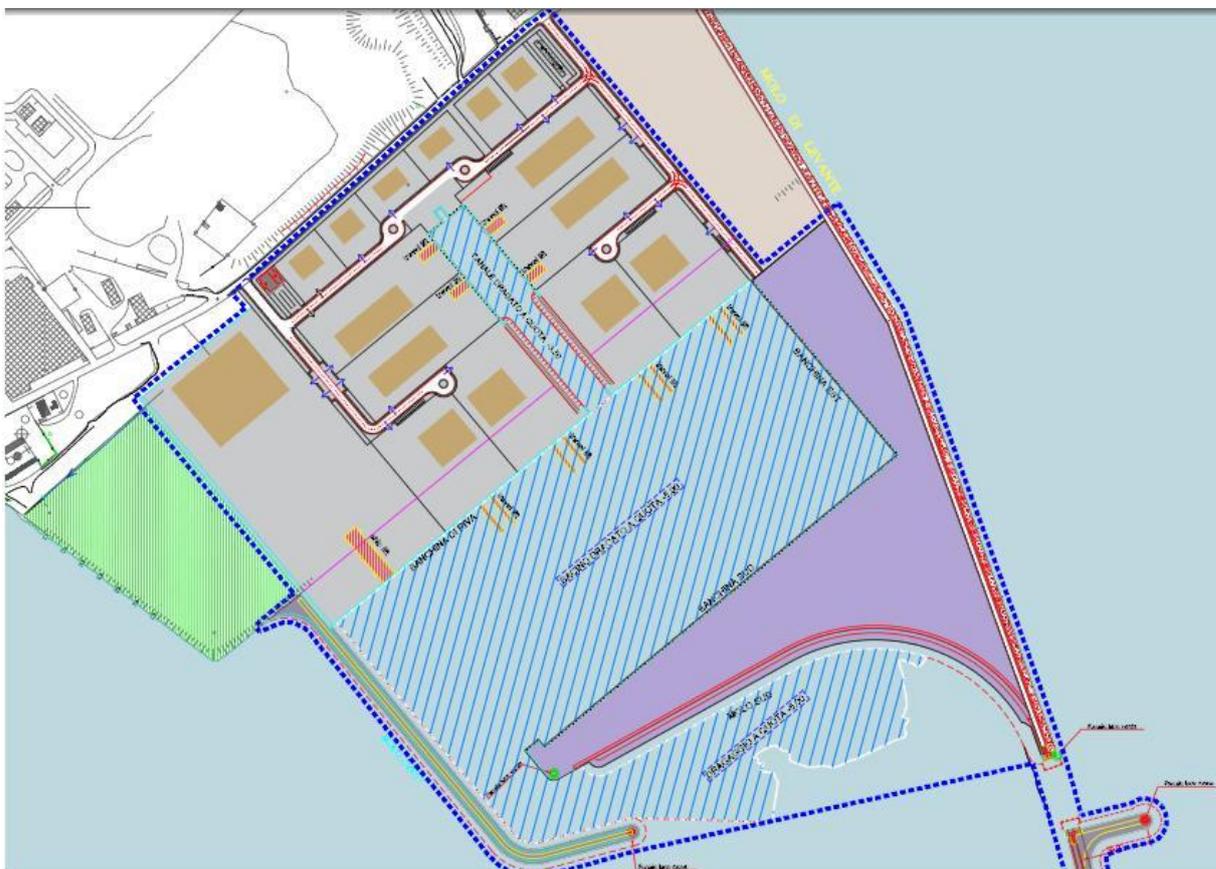


Figura 5-3 Progetto delle opere a terra e delle opere a mare

Per l'accesso da terra ai singoli lotti è stata prevista la realizzazione di una viabilità interna che si dirama da Viale Pula. Il progetto prevede anche due aree da destinare a parcheggio, individuate lungo la nuova viabilità, in corrispondenza delle intersezioni con Viale Pula.

Per garantire l'affaccio diretto al mare per tutti i lotti, è prevista la realizzazione di un canale navigabile largo 50 m e lungo 270 m, che arriverà a servire anche i lotti più interni.

La protezione dal moto ondoso dello specchio acqueo prospiciente le aree del Distretto è realizzata mediante un molo di sopraflutto (molo Sud) a pianta trapezoidale, banchinato internamente, radicato al molo guardiano di levante del Porto Canale, e da un molo di sottoflutto (molo Ovest) ad andamento curvilineo radicato al terrapieno dove è prevista la realizzazione del parco di S. Efisio, disposti in modo da riprodurre uno schema di difesa tipico dei porti a bacino.

La delimitazione della nuova darsena è completata ad est da una banchina lunga circa 250 m, dotata di un piazzale a tergo di superficie pari a circa 2,1 ha.

Infine, per quel che riguarda le opere a terra, è prevista la realizzazione delle varie reti tecnologiche: le reti di distribuzione dell'acqua potabile e dell'acqua industriale, la



rete fognaria, i sistemi di smaltimento delle acque meteoriche, impianto antincendio, etc.

Per l'analisi delle interferenze della componente analizzata è stato effettuato un incrocio dei dati relativi alla distribuzione delle formazioni vegetali e ai popolamenti animali presenti nel territorio e l'opera in progetto.

L'occupazione di suolo generata dalla realizzazione dell'opera, può provocare la sottrazione diretta di fitocenosi e di habitat per le specie animali.

Dalla "Carta della vegetazione" si nota che l'area interessata dalle azioni di progetto, creata artificialmente e antropizzata, è caratterizzata per circa 12 ha da formazioni arbustive ed erbacee alo-nitrofile con specie pioniere. Questo tipo di vegetazione rispecchia le caratteristiche del territorio in quanto tende a colonizzare soprattutto le aree degradate con substrati a concentrazione salina medio – alta.

Sono presenti, con copertura minore, formazioni di alofite perenni e annuali (ca. 3,5 ha), lembi di gariga (ca. 4,8 ha) e altre cenosi tipiche degli ambienti paludosi e salmastri (ca. 2,6 ha).

L'attuazione degli interventi previsti dal progetto, quali l'avanzamento dell'attuale linea di costa, nonché la realizzazione del canale interno all'avamposto, comporterà l'asportazione delle fitocenosi presenti nell'area, ad esclusione dell'estremità occidentale, dove verrà realizzato il Parco di S. Eufisio.

Le formazioni che verranno eliminate mostrano una bassa valenza dal punto di vista naturalistico e sono presenti con livelli di copertura decisamente esigui; inoltre, la frammentazione e il degrado che le contraddistinguono fanno ritenere l'interferenza generata dalla realizzazione delle opere in progetto non significativa.

La scarsa copertura vegetale, non fa di quest'area un sito sensibile dal punto di vista faunistico, rispetto alle zone limitrofe. Per di più, l'area del Porto Canale, risulta già occupata in parte da un'infrastruttura portuale. Nello stato attuale, quindi, le caratteristiche ambientali dell'area portuale denotano una situazione di naturalità piuttosto ridotta, causata dal prevalere nel corso dei decenni di attività antropiche che ne hanno modificato l'assetto originario.

Le specie che popolano la zona sono per lo più ubiquitarie e ad ampia diffusione, adattate a vivere in aree modificate dall'uomo, per cui si ritiene non si verificheranno sostanziali alterazioni rispetto alle caratteristiche degli habitat frequentati.

Durante la fase di costruzione, il disturbo provocato dalla movimentazione dei mezzi di cantiere potrebbe provocare il temporaneo allontanamento delle specie animali rispetto all'area di intervento, ma tale effetto risulta di modesta entità, considerato che la maggior parte delle specie presenti sono antropofile e pertanto non risultano particolarmente sensibili.

La maggior parte delle specie animali frequenta il sistema lagunare, che non subirà alterazioni a seguito della realizzazione e dell'esercizio dell'opera.



Il parere favorevole della Commissione Tecnica per la Verifica dell'Impatto Ambientale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare di non assoggettabilità alla procedura di VIA (prot.DSA-2008-0032270 del 11/11/2008) per la configurazione delle opere a terra, riconoscendo che l'aspetto vegetazionale più interessante è rappresentato dalla presenza dell'endemica *Limonium sp.*, localizzata nel settore orientale della colmata, ha prescritto che tale habitat prioritario (1510) debba essere riprodotto nell'area destinata a parco della chiesa di S.Efisio su una superficie corrispondente ad almeno 4 ettari.

Il limonio dà origine ad associazioni riconducibili all'ordine dei *Limonietalia*, habitat che la Direttiva 92/43/Cee classifica come prioritario (*Steppe salate mediterranee*, cod. 1510*). A questo habitat sono da riferire le praterie alofile caratterizzate da specie erbacee perenni, presenti nelle aree costiere, ai margini di depressioni salmastre litoranee, caratterizzate da forte aridità estiva.

Nell'area in esame, l'habitat si presenta piuttosto frammentato, come mostra, ad esempio, l'immagine successiva (cfr. Foto 5-4).



Foto 5-4 Habitat 1510* *Steppe salate mediterranee* frammentato e degradato. In fondo, cespugli di *Limonium sp.* Sullo sfondo si intravedono i massi del molo di levante e l'agglomerato di Giorgino (Foto: L. Simoncini)



Oltre a mostrare una considerevole frammentazione, l'habitat presenta una modesta copertura in questa area: si calcola che la superficie interessata è pari a 0.13 ha a fronte di un'estensione totale dell'habitat, all'interno del SIC, pari a circa 1.200 ha. Si ritiene, quindi, che la sottrazione di questa modesta superficie non modifichi le caratteristiche e l'integrità complessiva dell'habitat e si configuri una interferenza non significativa.

Per quanto riguarda la componente faunistica, l'analisi di incidenza ha evidenziato la scarsità di condizioni ecologiche tali da favorire l'insediarsi o la presenza permanente della quasi totalità della fauna citata nel SIC, soprattutto dell'avifauna, sia stanziale che migratoria; l'area in esame, quindi, non può essere considerata sensibile dal punto di vista faunistico.

In ottemperanza alle prescrizioni, di cui al sopra citato parere, l'inizio dei lavori delle opere a terra sarà preceduto da una campagna di cattura dei conigli selvatici, presenti nell'area, da concordare con gli enti preposti.

Per il dettaglio degli interventi a verde si rimanda alla descrizione nel relativo capitolo del quadro di riferimento progettuale.



6 ECOSISTEMA MARINO

6.1 Inquadramento generale

La conoscenza delle caratteristiche morfologiche, biologiche e fisico-chimiche di un sito è importante per avere una visione completa dell'area e permette di comprendere l'evoluzione territoriale che può avere luogo in ambito costiero in seguito del carico antropico dovuto all'ampliamento di un'opera portuale. Le informazioni ricavate si riferiscono ad una scala geofisica inizialmente più ampia, per poi scendere, laddove siano reperibili dati relativi a ricerche scientifiche sito specifiche, nel particolare dell'area di studio.

La fascia costiera della Regione Autonoma Sardegna si estende per circa 1.731 km. Sull'isola sono presenti le seguenti aree marine protette:

1. Santuario dei cetacei;
2. isola dell'Asinara;
3. Capo caccia- isola piana;
4. Capo carbonara;
5. Penisola di Sinis isola malventre;
6. Tavolara punta coda cavallo.

Oltre alle citate aree marine la Sardegna è ricca di Siti d'Interesse Comunitario (SIC) e di Zone di Protezione Speciale (ZPS).

In particolare facendo riferimento all'area oggetto del presente studio possiamo notare che il tratto di costa interessato dalla presenza del porto di Cagliari ricomprende, in particolare, il cosiddetto Stagno di Cagliari (ZPS ITB044003 e SIC ITB040023) così composto:

- Stagno di Cagliari;
- Saline di Macchiareddu;
- Laguna di Santa Gilla;

Queste 3 aree occupano una superficie di circa 59,83km², sono riconosciute negli elenchi ufficiali delle aree umide da sottoporre a tutela, sono classificate come Zona di Protezione Speciale (ZPS) ai sensi della Direttiva n. 409 del 1979 ("Uccelli selvatici") dell'Unione Europea, Zona umida di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar e sono inserite nella Rete Ecologica Natura 2000 (cfr.Figura 6-1).

Lo stagno di Cagliari è ubicato in un antico fondovalle, scavato dal Rio Mannu e dal Rio Cixerri, colmato con depositi fluviali, palustri marini. Tale complesso è attualmente compreso in un agglomerato urbano e industriale e pertanto subisce notevoli pressioni antropiche. La laguna è caratterizzata inoltre dalla presenza di diversi immissari provenienti dai bacini idrografici del Rio Cixerri, FluminiMannu e Rio



Mannu ed una serie di canali artificiali realizzati per la regimazione delle acque provenienti dai bacini scolanti minori che confluiscono nella laguna. Tutti i canali sono collettati nel canale di guardia, che si sviluppa nel confine orientale e sbocca nel bacino portuale di Cagliari. L'area dello stagno è suddivisa in 5 sub aree di cui una è denominata "Sa Illetta". Sa Illetta è un tratto di terraferma appartenente in origine all'isola di San Simone, che in seguito è stata collegata al lembo litoraneo e alla località di Macchiareddu. Questa zona ha subito una drastica trasformazione a seguito della costruzione del Porto Canale e della deviazione della Statale Sulcitana. Ciò detto si può capire come l'area risulta a rischio ambientale in quanto sono presenti scarichi industriali nella parte centrale ed il porto canale.

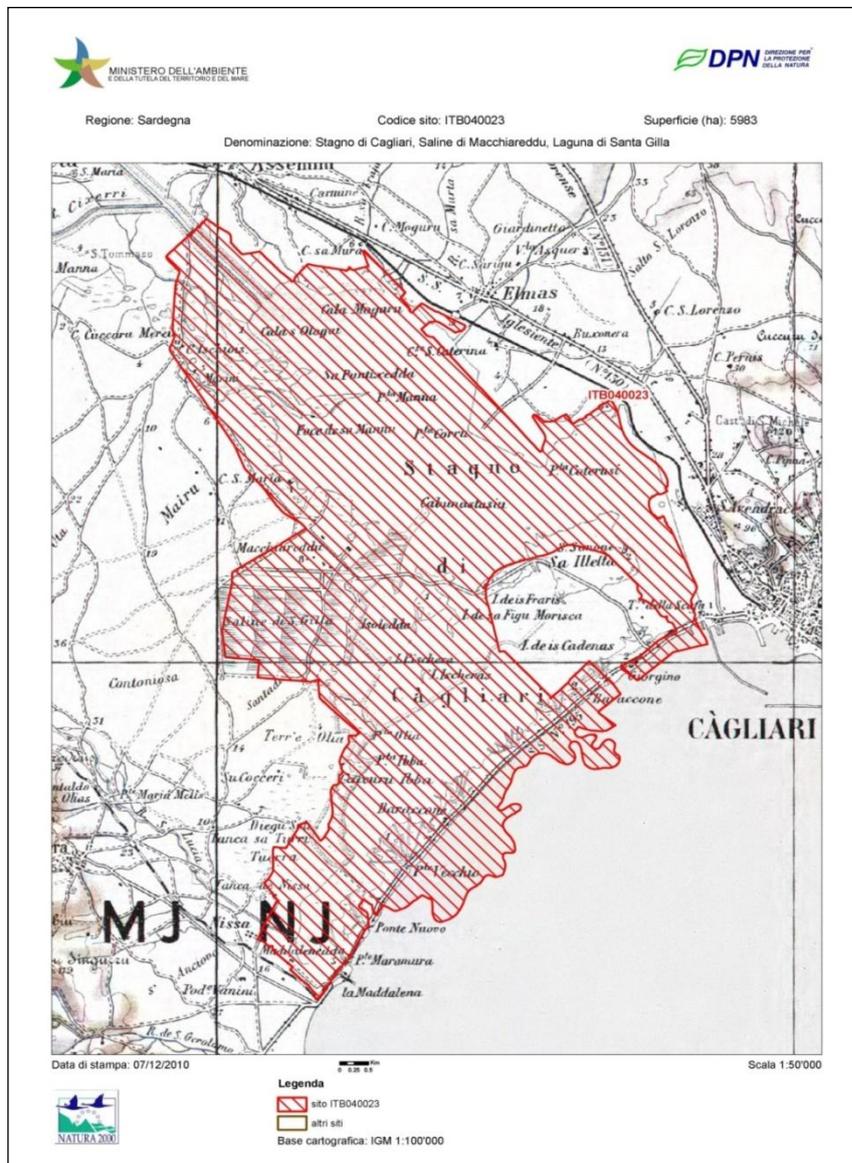


Figura 6-1 Cartografia siti Rete natura 2000. Fonte Ministero dell'Ambiente e della T. T. e del Mare



6.2 Geologia marina

Il margine continentale della Sardegna meridionale è caratterizzato da un sistema deposizionale sottomarino controllato dalla tettonica marina distensiva pliocenica e suddiviso in diversi bacini marginali (WEELZ et alii 1981), nei quali pervengono i contributi sedimentari dei vari segmenti della piatta forma continentale (LECCA et alii, 1998).

La scarpata è incisa da un reticolo di valli sottomarine e di numerosi canali tributari. Il ciglio si trova ad una profondità di circa -125m, per risalire a quote inferiori in corrispondenza dell'arretramento per erosione regressiva delle testate dei *canyons*. Nella zona distale delle valli sottomarine si estendono corpi sedimentali a conoide batiale, al raccordo con la piana batiale sardo/algerina. In scarpata superiore sono riconoscibili tracce di scivolamenti gravitativi e flussi torbidity non canalizzati che danno luogo ad accumuli di base di pendio. L'assetto morfostrutturale del margine è articolato da valli e *sea-mounts* isolati.

Il bacino di Cagliari costituisce la parte più interna del sistema sedimentario dell'interno del margine, delimitato e controllato dai blocchi tettonici della Sardegna meridionale, in particolare dai movimenti dei blocchi sottomarini dei monti Inchnusa e di Su Banghittu. Tali bacini meridionali chiudono a sud il Rifoligo-miocenico della Sardegna meridionale riattivato durante il Plio-quadernario da movimenti estensionali correlati con l'apertura del Tirreno meridionale.

6.3 Geomorfologia

La carta nautica del golfo di Cagliari mostra un alto morfologico alla profondità di -40 m, cui segue verso terra una depressione a -50m, si tratta di un sistema barriera-laguna relitto, legato all'ultima risalita del mare olocenico (ULZEGA et alii, 1986).

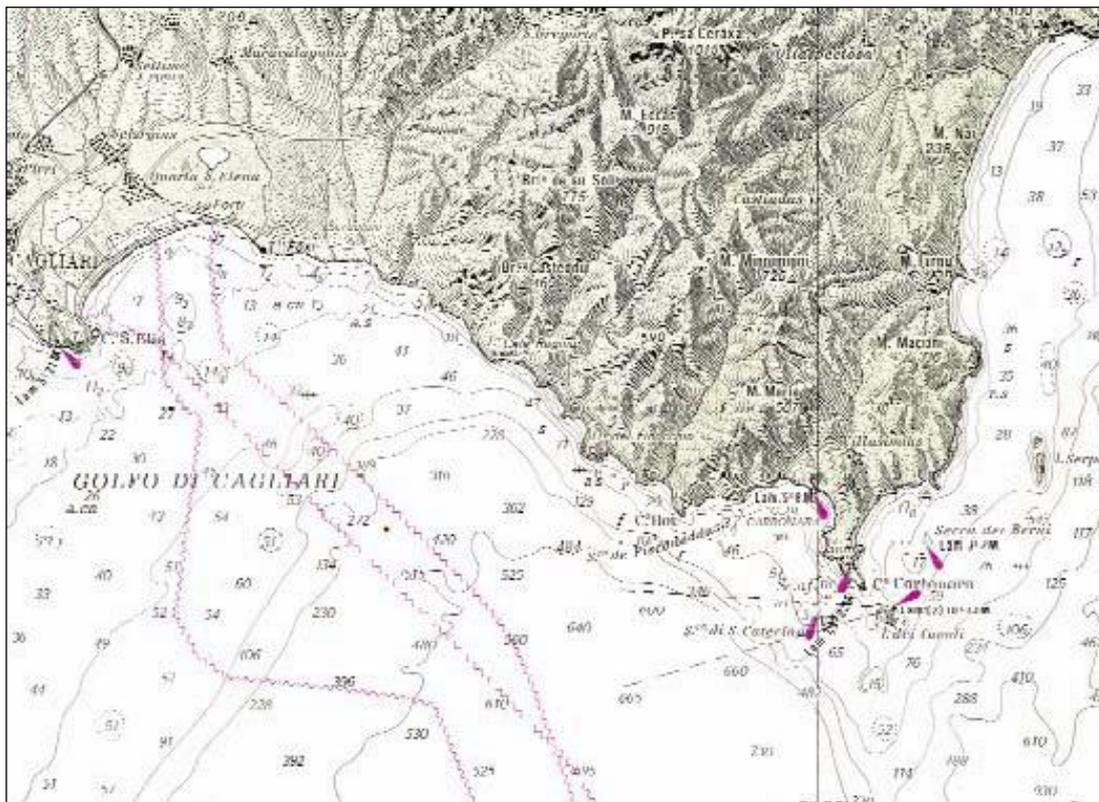


Figura 6-2 Carta nautica golfo di Cagliari

Qui l'antico cordone litorale si è conservato in *facies* di *beach rock*, bancate arenaceo conglomeratiche debolmente inclinate verso il largo, ben rappresentate dalle immagini del sonar laterale (**quadri 1b**), mentre verso terra la depressione colmata da sedimenti fini e torbe identifica la paleo-laguna (**quadro 1c**).

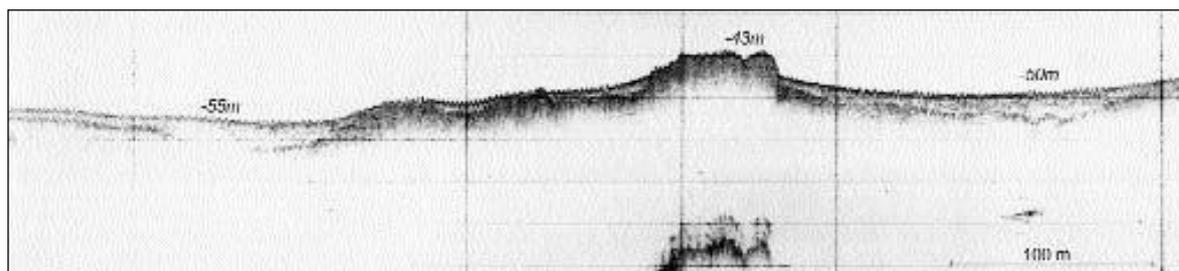


Figura 6-3 Quadro 1b facies di beach rock

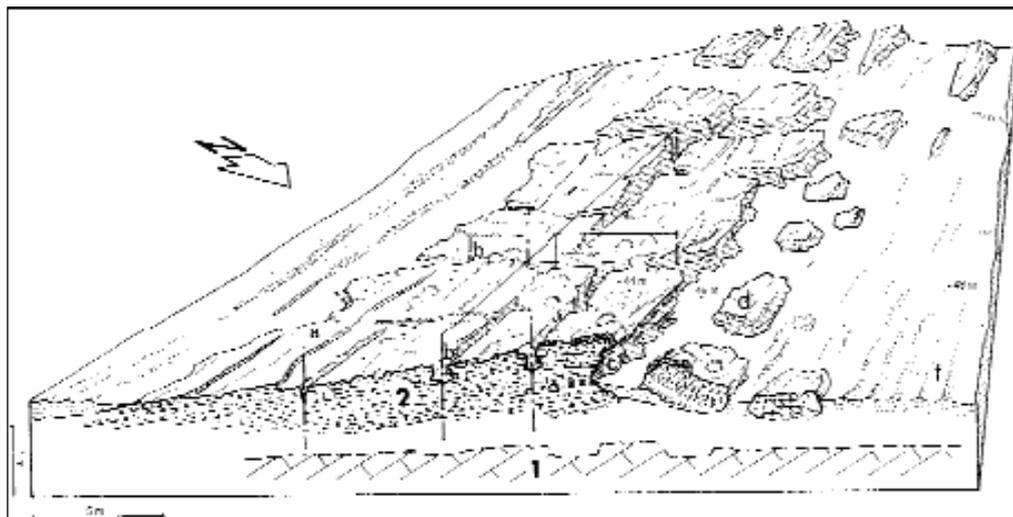


Figura 6-4 Quadro 1c

6.4 Ambiente idrico

6.4.1 Qualità delle acque marino costiere e di transizione

Il Porto di Cagliari sorge nella zona più interna del golfo. Lo specchio d'acqua si estende per 2.065.000 mq complessivi, mentre la superficie a terra è pari a 333.250 mq (fonte: Autorità Portuale).

Prima di affrontare la parte relativa alla qualità delle acque marino costiere è utile osservare che lo "Studio della Penetrazione del moto ondoso e della circolazione idrica all'interno della darsena del Distretto Della Cantieristica" eseguito a marzo 2011 condotto (ai sensi del D.M. 14/4/1998) applicando il modello matematico agli elementi finiti denominato SMS (SurfacewaterModeling System), che risolve le equazioni non lineari per le acque basse (non linear shallow water equations), considerando il nuovo bacino in progetto, evidenzia:

- una soddisfacente attenuazione del moto ondoso generato dagli stati di mare reputati più gravosi ai fini dell'agitazione ondosa interna, anche con eventi estremi associati a tempi di ritorno decennali e cinquantennali;
- che in corrispondenza della parte più interna del nuovo bacino portuale, con particolare riferimento alla darsena posta a Nord del bacino stesso, potrebbero crearsi delle zone di ristagno con possibile decadimento della concentrazione di ossigeno.

Pertanto, per ovviare al problema della scarsa circolazione all'interno del nuovo bacino portuale è stato opportunamente dimensionato e verificato un sistema in grado di forzare la circolazione naturale e quindi migliorare la capacità di ricambio idrico dell'intero sistema.



Informazioni sullo stato qualitativo dell'area oggetto di studio si possono ricavare da un'indagine ambientale condotta da Arpas ed ISPRA (ex ICRAM) sulla laguna di Santa Gilla e gli stagni di Capoterra, Marceddì e San Giovanni nel 2007, nell'ambito delle attività di studio del territorio, finalizzate alla verifica dello stato di qualità delle matrici ambientali, potenziali bersagli della contaminazione, e ad un eventuale inserimento di tali aree all'interno del Sito di Bonifica di interesse nazionale del Sulcis-Iglesiente-Guspinese.

Dall'analisi dei dati riportati nel documento "Monitoraggio dei corpi idrici ai sensi del D.Lgs. 152/99 e ss. mm. Relazione periodo ottobre 2006 dicembre 2007 redatto dall'Agenzia Regionale per la Protezione Dell'ambiente della Sardegna (ARPAS)" si evince che sono stati eseguiti i campionamenti e le analisi sulle acque della laguna di Santa Gilla allo scopo di completare il piano di monitoraggio concordato ICRAM e ARPAS. Le stazioni di prelievo sono quelle identificate nella cartografia (cfr. Figura 6-5) predisposta con alcune modifiche dovute alle variazioni stagionali delle maree e delle condizioni meteo-climatiche. I campioni di acque nelle stazioni campionate risultano ben ossigenati, con scarsa presenza di clorofilla, e conducibilità compatibili con l'ambiente lagunare, con l'esclusione di quelle prospicienti agli immissari dei bacini scolanti.

Per quanto riguarda la **colonna d'acqua** si sottolinea l'assenza di contaminazioni ad esclusione dei punti situati in prossimità delle foci degli immissari nella laguna, in relazione agli apporti di nutrienti. Sulla base del monitoraggio eseguito i risultati mostrano che nelle matrici ambientali indagate sedimenti, acque e biota, non sono presenti elementi, chimico-batterologici ed ecotossicologici, tali da considerare l'area del compendio lagunare contaminata. Alla luce di quanto precedentemente descritto le puntuali forme di contaminazione riscontrate sono ben localizzate.

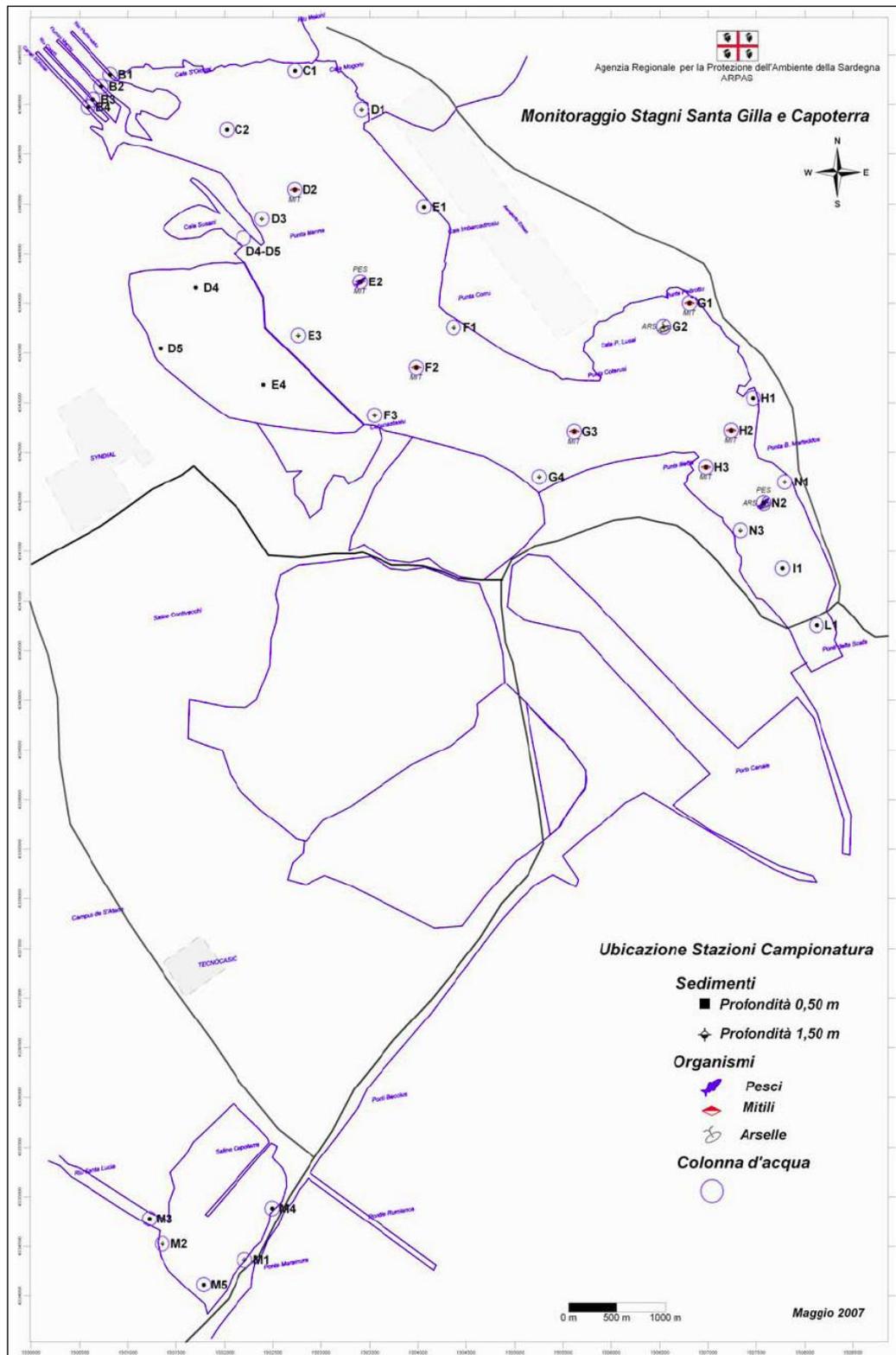


Figura 6-5 Ubicazione stazioni di monitoraggio- Fonte Arpas



In relazione alle acque marino - costiere, sono stati estrapolati i dati presenti nel data base del Si.Di.Mar. (Sistema Difesa Mare - Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare) così come riportato anche nel Rapporto Ambientale della Valutazione Ambientale Strategica.

Il Si.Di.Mar. fornisce dati ambientali marini inerenti l'andamento di parametri rilevati in mare tramite campagne oceanografiche o stazioni fisse e mobili di rilevamento. I dati ottenuti dalle analisi effettuate ogni 15 giorni sulle variabili indagate sono elaborati statisticamente con un indice denominato CAM. La finalità dell'indice CAM è quella di fornire un giudizio sulla qualità delle acque intesa anche come rischio igienico - sanitario basata su dati oceanografici di base.

In particolare le variabili utilizzate sono: nitrati (NO₃); nitriti (NO₂); ammoniaca (NH₄); fosfati (PO₄); silicati (SiO₄); salinità; trasparenza; clorofilla a. L'indice CAM classifica le acque come:

- E Elevata qualità - acque incontaminate;
- M Media qualità - acque con diverso grado di eutrofizzazione, ma ecologicamente integre;
- B Bassa qualità - acque eutrofizzate con evidenze di alterazioni ambientali anche di origine antropica.

In riferimento al progetto Si.Di.Mar l'ambito di analisi è interessato dalla presenza della stazione di monitoraggio di Cagliari (stazione 0013) (cfr.Figura 6-6).

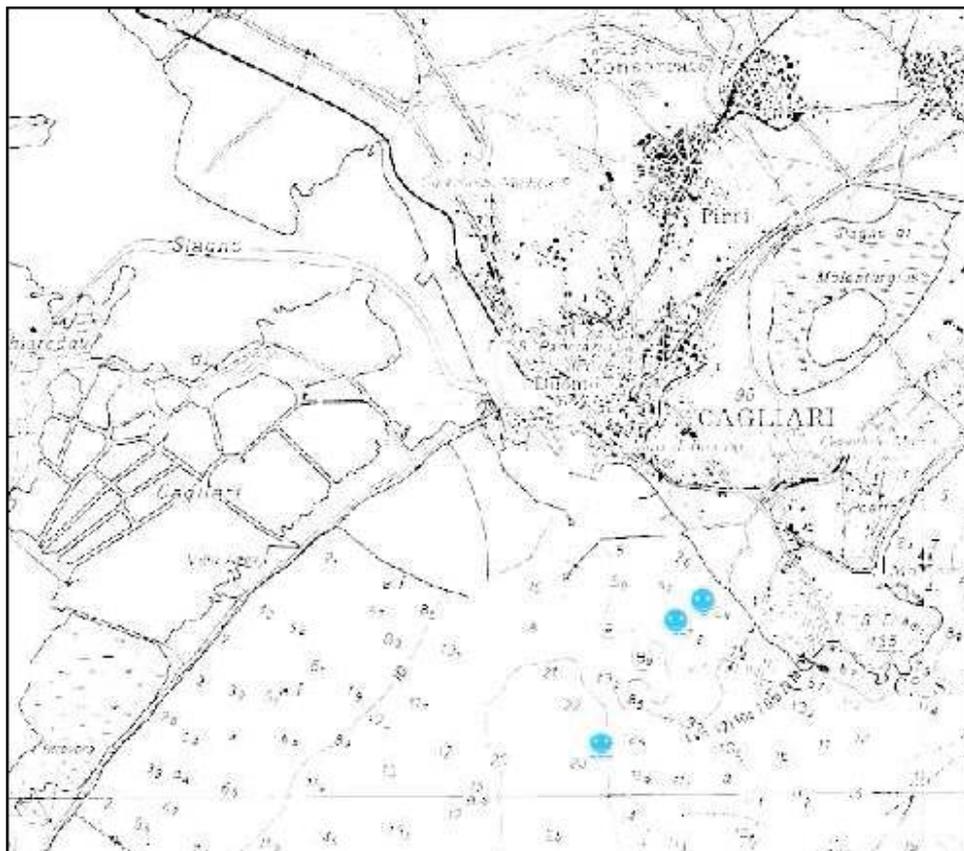


Figura 6-6 Stazioni di monitoraggio Si.Di.Mar. per il Golfo di Cagliari - Fonte Ministero Ambiente -Si. Di. Mar

Di seguito si riportano i dati relativi al periodo 2006 – 2009, per la stazione di riferimento (una campagna ogni 15 giorni). Si nota che le acque vengono per lo più valutate di qualità elevata. Le maggiori criticità sono state rilevate 2005, nella stazione di alto mare che per sette volte ha fatto registrare un valore complessivo dell'indice CAM pari a B – bassa qualità.

	Campagna 2006																							
	01		02		03		04		05		06		07		08		09		10		11		12	
Indice complessivo qualità delle acque	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A	1A	2A
Acqua Sottocosta	M	E	B	E	M	M	E	M	E	E	E	E	B	E	E	E	E	E	E	B	E	E	E	M
Acqua Intermedia	M	M	B	E	M	M	E	M	M	E	E	E	B	M	E	M	E	E	E	B	M	M	E	M
Acqua Alto Mare	M	M	B	M	M	B	E	M	M	E	E	E	M	M	E	M	E	E	E	M	M	M	M	M

Tabella 6-1Indice CAM per la stazione 0013 – Cagliari (fonte: Si.Di.Mar. - Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare) M= B= E=

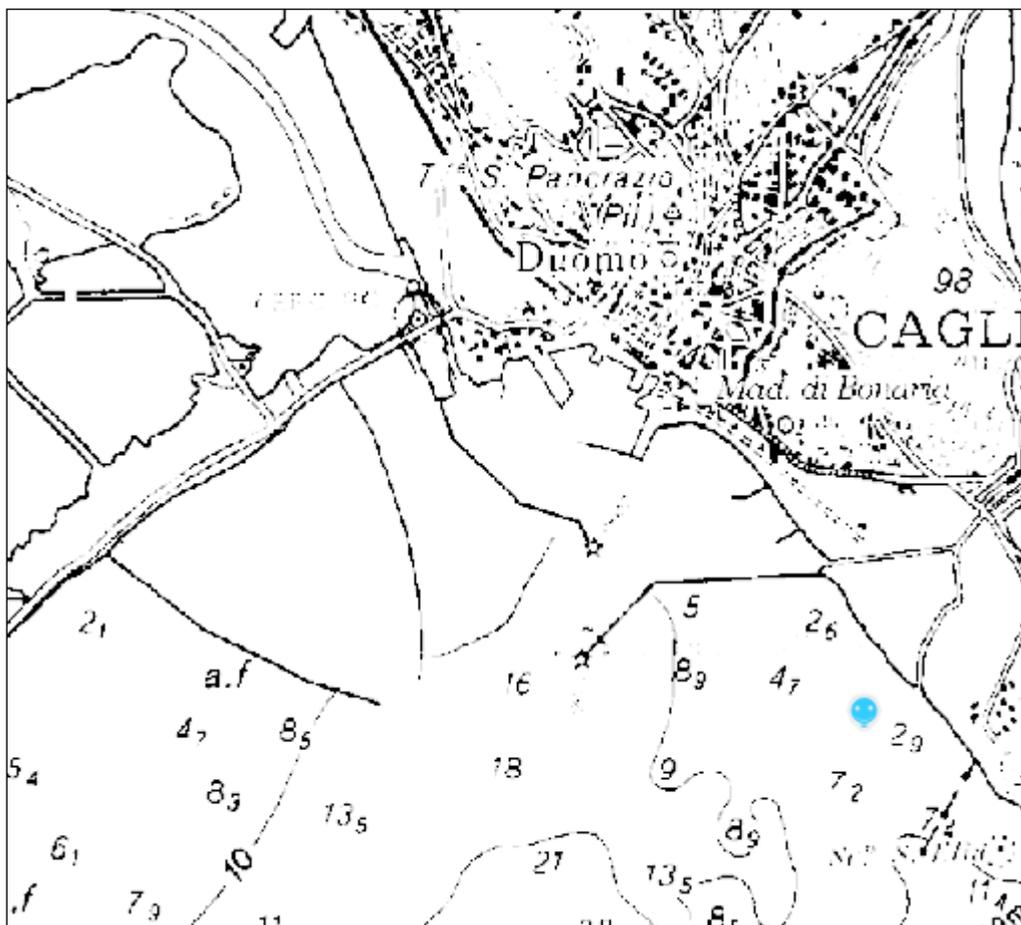


Figura 6-7Indice di qualità acque costiere monitoraggio Si.Di.Mar. per il Golfo di Cagliari campagna aprile 2009

I risultati della campagna di monitoraggio riportati si riferiscono alla stazione n.13 (acqua sotto costa) che si trova ad una profondità di 6m. In tal stazione durante la campagna di aprile 2009 è stato riscontrato un indice di qualità dell'ambiente marino ELEVATO. I parametri considerati sono riportati nella seguente tabella.

Parametri	valori
Salinità	36,140
Trasparenza (m)	55
Clorofilla (mg/mc)	0,250
Ammoniaca (NH ₄ -μM/mc)	1,680
Fosfati PO ₄ — μ M/mc)	< LIM. RIL.
Nitriti(-μ M/mc)	0,210
Silicati (-μM/mc)	1,300
Nitrati (-μM/mc)	0.360

Tabella 6-2 Parametri monitorati nella stazione 0013 di Cagliari



6.4.2 Qualità dei sedimenti

I risultati delle indagini sui sedimenti riportati nel documento "Monitoraggio dei corpi idrici ai sensi del D.Lgs. 152/99 e ss.mm. Relazione periodo ottobre 2006 dicembre 2007 redatto dall'Agenzia Regionale per la Protezione Dell'ambiente della Sardegna (ARPAS)", hanno evidenziato che a fronte di una situazione di scarsa o nulla presenza di nutrienti, contaminanti organici e indici di contaminazione microbiologica, nei sedimenti degli stagni di Santa Gilla e Capoterra esistono alcune aree con contenuti anomali di **mercurio, piombo e zinco**. Il confronto di questi dati con quelli delle indagini pregresse, (studio CNR 1989, Progetto Life Gilla 2002-2005) non mostra variazioni significative sia nella distribuzione areale che nei livelli di concentrazione dei metalli totali. Una delle aree con maggiori concentrazioni di metalli risulta essere quella immediatamente prospiciente alla colmata, eseguita alla fine degli anni '80, per la messa in sicurezza di residui solidi contaminati del sito Rumianca, in corrispondenza dei transetti D, E ed F; in questi stessi transetti sono stati rilevati livelli medio- alti di tossicità, esclusivamente con *Vibriofischeri* in fase solida.

Come prevista dalla normativa Regionale/Provinciale vigente in materia è stata eseguita la caratterizzazione dei sedimenti da sottoporre a dragaggio mediante n°2 campagne di indagini delle quali la prima ha riguardato la fascia di 100 m antistante la banchina di riva mentre la seconda ha riguardato la fascia antistante il molo ovest ed il canale di accesso (cfr. Figura 6-8).

Dal Documento "Valutazione della qualità dei sedimenti da scavare presso i fondali dell'avamposto est del Porto canale di Cagliari finalizzata al dragaggio" redatto da ISPRA nel mese di aprile 2011 si possono ricavare alcuni dati sulle caratteristiche dei sedimenti dell'area oggetto d'intervento. Sono stati prelevati 8 campioni.

Da ciascuna carota sono stati ricavati campioni corrispondenti ai livelli 0-50 cm e/o 100/150cm. Per la classificazione dei materiali analizzati sono stati adottati i criteri indicati nel manuale ICRAM-APAT (2007). Sono state valutate le caratteristiche granulometriche, la presenza di metalli, sostanza organica, azoto, fosforo totali, IPA, PCB, pesticidi organo clorurati, Idrocarduri totali e composti organo stannici. Sono stati eseguiti, inoltre, saggi biologici con *Vibriofischeri* e con *Paracentrotuslividus*, *Corophium orientale* ed indagini microbiologiche. Dai risultati della frazione granulometrica si evince che la frazione dei sedimenti prevalente è quella sabbiosa.

Un'ulteriore valutazione dei sedimenti nell'area oggetto di studio, in particolare nella zona a ridosso del tratto del molo nord da salpare per la creazione del varco di transito è riportata nel documento "Valutazione della qualità dei sedimenti dell'avamposto est del Porto Canale di Cagliari finalizzata ad attività di dragaggio" eseguita a luglio 2011 dall'Università Politecnica delle Marche-Ancona. I risultati di tali indagini hanno evidenziato la presenza, in alcuni campioni, di superamenti dei Livelli Chimici di Base (LCB) riferiti al "manuale per la movimentazione dei sedimenti

marini” (ICRAM- APAT, 2007) per l’Arsenico, lo Zinco, il naftalene il TBT. La tossicità è risultata elevata con il test *VibrioFisceri* e *Paracantrotuslividus*.

In generale i risultati delle analisi di laboratorio eseguite hanno evidenziato che la gran parte dei sedimenti dell’area da dragare è da considerarsi di buona qualità ambientale con prevalente presenza di sabbie.

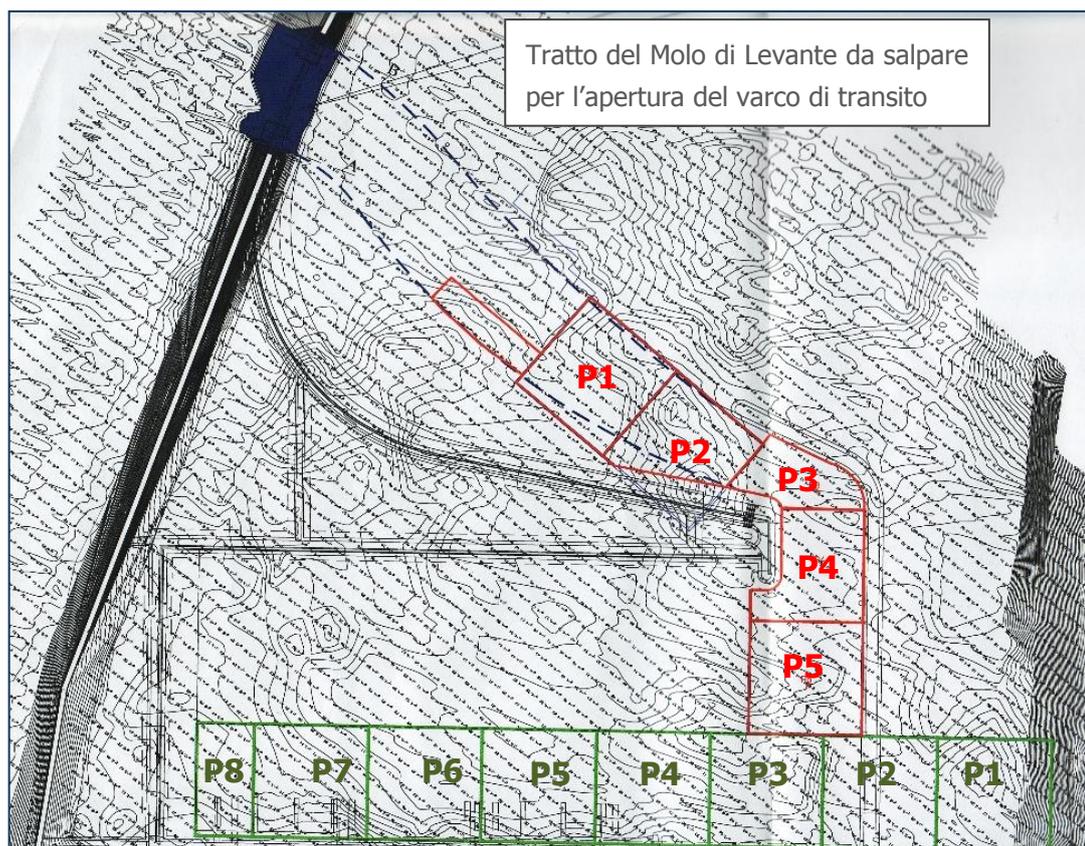


Figura 6-8 In verde le aree di campionamento eseguita da ISPRA in corrispondenza della banchina riva; in rosso le aree di campionamento esguito dal DISVA di Ancona per il canale di accesso.

Per quanto riguarda la fascia antistante la banchina di riva solo per il campione dello strato superficiale (primi 50 cm) della carota prelevata nella maglia n°5, immediatamente a ovest dell’imboccatura del canale di navigazione interno, è stata rilevata un concentrazione di com-posti organo stannici (TPhT e TBT) superiori al valore dell’LCL riportato nel “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini” (ICRAM-APAT, 2007) dovuta molto probabilmente allo sversamento di materiali contenenti composti antivegetativi, mentre per quanto riguarda la fascia antistante il molo ovest ed il canale di accesso ad eccezione della maglia P4 posizionata in corrispondenza dell’ingresso nella darsena, in tutte le maglie, in analogia con la campagna precedente, è stata rilevata un concentrazione di composti organo stannici



(TPHT e TBT) superiori al valore dell'LCL riportato nel "Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini" (ICRAM-APAT, 2007) anche in questo caso dovuta molto probabilmente allo sversamento di materiali contenenti composti antivegetativi.

6.4.3 Biocenosi di moda calma

Le Biocenosi di moda calma, che sono tipiche di zone marine delimitate. Un sistema confinato, è dal punto di vista ecologico, un'entità a se stante, con strutture e dinamiche proprie. Questo tipo di distribuzione, secondo PÉRÈS e PICARD (1964), si inquadra nella biocenosi delle sabbie-mellose superficiali di moda calma (SVMC) che gli stessi Autori descrivono sotto diverse facies. DE GAILLANDE (1968) osservò che questa biocenosi è presente dove un debole idrodinamismo determina il deposito di particelle fine, quindi in baie molto riparate, in corrispondenza di barriere naturali o artificiali e in certi stagni a popolamenti tipicamente marini.

Gli ecosistemi riscontrati nelle acque costiere aperte si distinguono da quelli presenti nelle SVMC non solo per il diverso comportamento spazio-temporale, delle variabili fisiche e chimiche (incluse quelle derivanti dall'azione antropica), ma anche per un'autonoma composizione dei popolamenti pelagici e bentonici. Si riconosce, infatti, per gli specchi d'acqua confinati l'esistenza di una comunità distinta da quella esterna, tanto di substrato duro (sia naturale sia artificiale) che di substrato morbido (sedimenti di varia natura e tessitura). Le caratteristiche di queste biocenosi sono da attribuire alla discontinuità di natura idrodinamica esistente tra i bacini e acque aperte. Tale discontinuità non è intesa come variazione d'intensità e della forma in cui l'energia cinetica esiste all'interno, ma anche e soprattutto per le variabili chimiche, fisiche e biologiche che in qualche misura sono "modulate" dall'energia meccanica stessa, soprattutto in termini di diluizioni e trasporto. Il disturbo d'origine antropica, che si manifesta in varie forme d'inquinamento, agisce su un ecosistema che, per sua natura, è in qualche modo preadattato a tollerare non soltanto le variazioni del medium correlabili ad eventi naturali, ma anche a quelle legate alle attività umane.

6.4.4 Praterie di Posidonia Oceanica

Dal quaderno habitat n. 19 del 2008 "Praterie Fanerogame Marine" redatto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare si evince che lungo le coste della Sardegna sono presenti numerose praterie di *Posidonia Oceanica*. Le praterie di *Posidonia* in Sardegna si sviluppano in maniera ottimale e la pianta colonizza in modo quasi continuo da -5 m fino a -30m ed in alcuni casi fino a 40 m di profondità. Sono stati censiti oltre 40 siti per una superficie complessiva di circa 27.000 ha. Lo stato ecologico delle praterie attorno a questa regione sembra



riflettere il grado di antropizzazione: dove questa è elevata si osservano praterie con evidenti segni di degrado.

In relazione all'ambito di studio, tra il 1999 e il 2002 sono state realizzate le mappature delle praterie di *Posidonia Oceanica*(L) lungo le coste della Sardegna su richiesta del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Per quanto riguarda la Sardegna sono state individuate 14 aree con presenza di tale fanerogama. L'area antistante il porto canale ed il porto di Cagliari è caratterizzata dalla presenza di matte morte di *Posidonia* nella parte esterna alternate da praterie di *Posidonia* su matte (cfr.Figura 6-9).

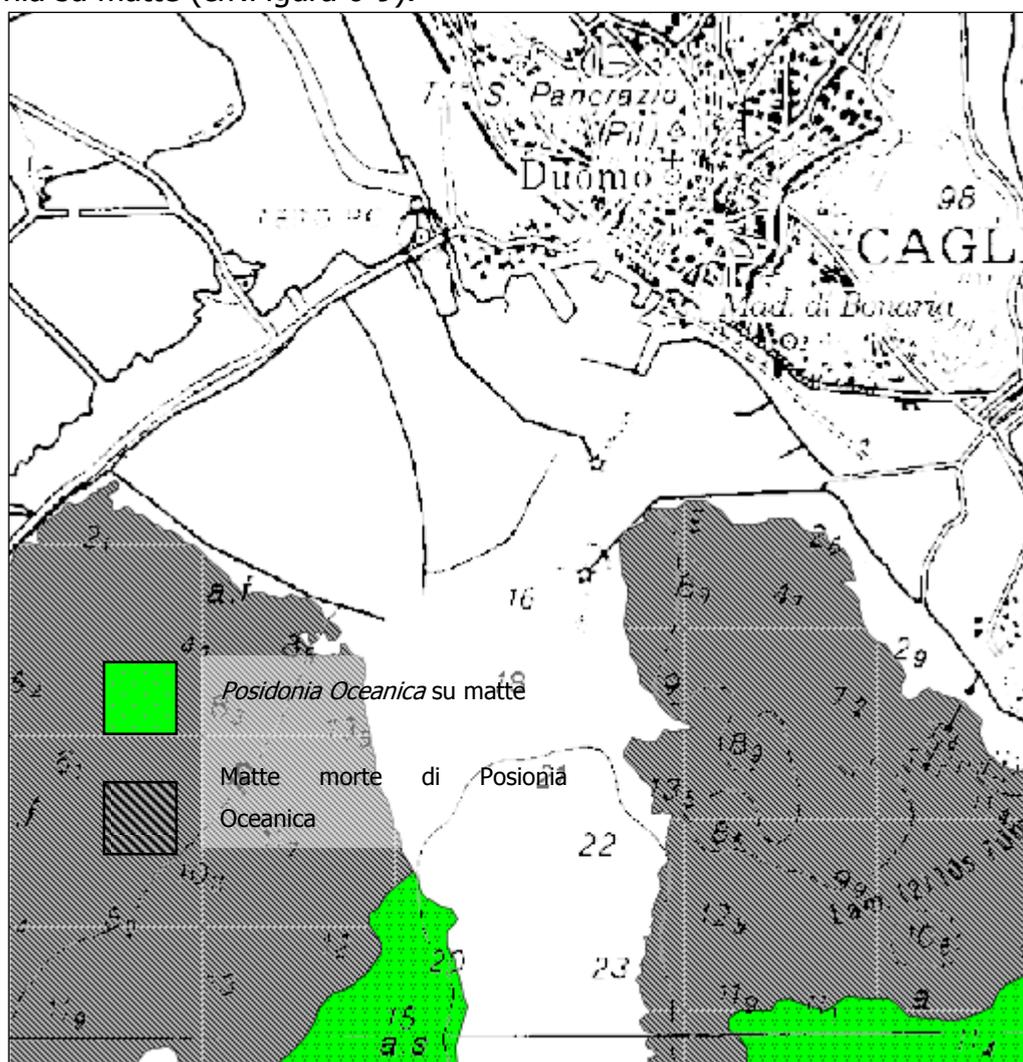


Figura 6-9 Mappatura di *Posidonia Oceanica* nell'area del porto Canale. Dati del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Programma di Monitoraggio per il controllo degli ambienti marino- costieri - Si.Di.Mar

Nell'area dello Stagno di Cagliari (fonti: formulari della ZPS ITB044003 e del SIC ITB040023), nell'area antistante Porto Canale (fonte: *La prateria di *Posidonia oceanica* nell'area di ampliamento per il passaggio di grandi navi oceaniche*



antistante il Porto Canale di Cagliari, Università di Sassari, 2004), e nel SIC ITB042243 Monte Sant'Elia, Cala Mosca e Cala Fighera l'habitat a Praterie di posidonie presenta una copertura del 20% nel SIC ITB040023 e del 10% nel SIC ITB042243. In entrambi i casi, inoltre, la rappresentatività è valutata di grado A – eccellente.

Nell'ambito dello Stagno di Cagliari, l'habitat a Posidonia è localizzato di fronte al cordone litorale di La Playa, su cui sono visibili consistenti accumuli di P.oceanicaspiaggiata e di egagropile (sfere costituite da fibre di foglie e rizomi della P.oceanica compatte ed arrotolate dal moto ondoso).

Nella parte centro-occidentale del Golfo di Cagliari tra le batimetriche di 15-30 m, in un'area posta tra il Porto Canale e Punta Zavorra (Comune di Sarroch), è presente un'area in cui la prateria di P.oceanica è interrotta da una depressione allungata, parallela alla costa, a fondo piatto, colmata da sedimenti fini prevalentemente fango limosi (cfr. Figura 6-10).

Questa depressione sarebbe una paleolaguna impostatasi in corrispondenza del paleoalveo del fiume Cixerri-FluminiMannu, durante una sosta dell'ingressione marina olocenica che si concluse circa 5.000 anni fa. Attualmente si estende per circa 20 km ad una profondità compresa tra 20 e 25 m.

Nel corso del 2004 è stata studiata un'area antistante il porto canale al fine di valutare l'impatto conseguente l'intervento di approfondimento della batimetrica per consentire il passaggio di grandi navi oceaniche verso Porto Canale. Nello specifico si è valutato lo stato della prateria di P. oceanica. Nell'area sono state individuate 5 tipologie riferibili a singole biocenosi bentoniche o a gruppi di esse:

- Biocenosi delle sabbie e ghiaie fini infralitorali;
- Prateria di P. oceanica su matte;
- Praterie a P. oceanica in regressione;
- Praterie a Caulerpa prolifera su sabbia e ciottoli;
- Biocenosi delle sabbie dei canali intermatte.

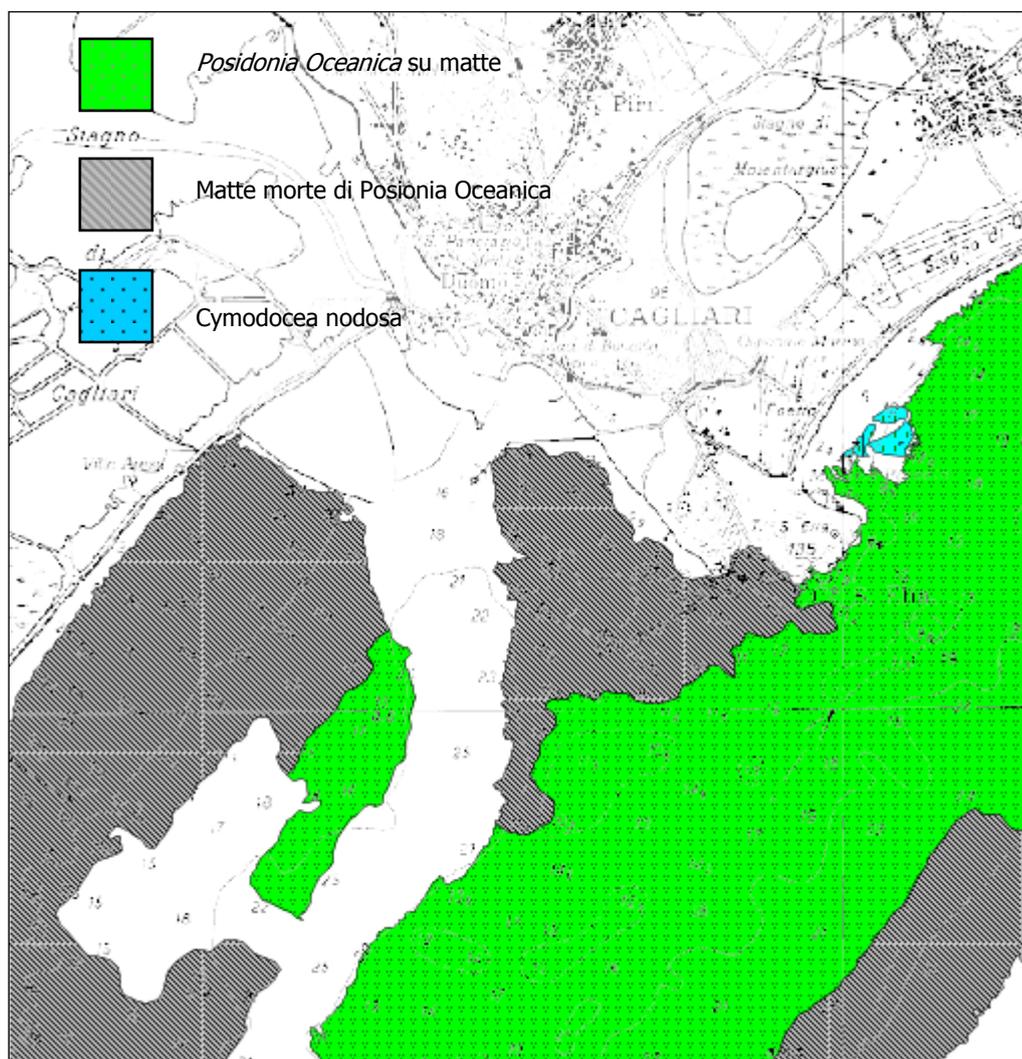


Figura 6-10 Mappatura di Posidonia Oceanica (L) area di Cagliari - Dati del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Programma di Monitoraggio per il controllo degli ambienti marino- costieri - Si.Di.Mar Distribuzione Posidonia scala 1: 3.519km.

La tipologia prevalente è rappresentata, per circa il 60%, da *Posidonia oceanica* regressiva, prevalentemente su matte, caratterizzata da un mediocre stato di conservazione. La prateria in regressione viene infatti valutata nella classe di Giraud IV, quindi in una prateria in procinto di trasformarsi in prateria degradata. La prateria di *P.oceanica* si trova quindi in uno stato di grave stress ed è destinata ad una definitiva scomparsa, soprattutto in relazione alle pressioni che insistono sull'area, quali il traffico navale e lo strascico, vietato ma ancora praticato date le chiare evidenze acquisite dal profilo side scan sonar.



6.5 Analisi dell'interazione opera-componente

Il presente Studio di Impatto Ambientale si occupa di esaminare le opere previste nel progetto di realizzazione, nell'avamporto di levante del Porto Canale di Cagliari, di un distretto della cantieristica per la nautica da diporto, con particolare riferimento al refitting di mega yacht. In particolare, il progetto prevede i seguenti interventi (cfr. tav. CADC QPGT 02):

- realizzazione di una BANCHINA di RIVA;
- realizzazione di un canale di navigazione;
- realizzazione del molo ovest;
- apertura del varco molo di levante;
- dragaggi e gestione dei sedimenti.

Area	Attività
BANCHINA RIVA	Riempimenti e realizzazione della banchina Dragaggio a -5m
CANALE INTERNO	Demolizioni Dragaggio dei fondali a quota -3,50 m s.m. largo 50m e lungo 270m
MOLO SUD/B. EST	Realizzazione nuovo molo e banchina Molo di sopra fluttuo a pianta trapezoidale
MOLO OVEST	Molo di sotto fluttuo con imboccatura di 80m.
VARCO MOLO	Dragaggio dei fondali con draga tipo aspirante, auto caricante e reflente dotata di disgregatore semovente che, dopo aver caricato i materiali di dragaggio in oggetto ormeggerà a fianco della sponda ovest del porto canale ed effettuerà il reflimento di detto materiale nella vasca di contenimento.

Tabella 6-3 interventi di progetto

Lungo il fronte lato mare del distretto della cantieristica è prevista la realizzazione di una **banchina** che, in corrispondenza del canale interno di navigazione, si interrompe per 40 m realizzando appunto l'ingresso nel canale. La soluzione tecnica adottata per la realizzazione del muro di banchina è del tipo a palancole metalliche con ancoraggio. In una prima fase lungo lo sviluppo della banchina verrà realizzato un rilevato di lavoro con materiale di cava e, utilizzando i materiali di risulta degli scavi e dei dragaggi previsti in progetto, verrà eseguito il riempimento a tergo fino alla quota necessaria per l'applicazione del precarico di progetto. Per tutta la durata dell'applicazione del precarico (durata presunta 3 mesi) il rilevato verrà



continuamente ricaricato per compensare i cedimenti che subiranno sia il materiale utilizzato per la sua realizzazione che il terreno di fondazione così da garantire per tutto il periodo di permanenza l'applicazione del carico di progetto.

In posizione baricentrica è stata prevista la realizzazione di un **canale navigabile** lungo circa 270 m e largo 50 m. dimensionato per consentire il passaggio ad imbarcazioni di lunghezza fino a 25 m.

6.5.1 Valutazione dell'impatto delle opere sull'ambiente

Lo studio di impatto ambientale in primo luogo si pone l'obiettivo di identificare i possibili impatti significativi sulle diverse componenti dell'ambiente, sulla base delle caratteristiche essenziali del progetto dell'opera e dell'ambiente, e quindi di stabilire gli argomenti di studio su cui avviare la successiva fase di analisi e previsione degli impatti.

Per realizzare lo Studio d'Impatto Ambientale relativo all'ambiente marino ci si è avvalsi dell'approccio metodologico basato sulla costruzione della matrice causa – condizione effetto. Tale approccio ha permesso di identificare gli aspetti più critici dell'opere e di effettuare una stima degli impatti per l'ambiente marino. Dalla definizione dei potenziali impatti sull'ambiente si è passati poi alla identificazione delle azioni di mitigazione da adottare. Pertanto, attraverso l'analisi degli elaborati progettuali agli atti sono stati individuati gli scenari evolutivi, gli impatti potenziali che la realizzazione dell'opera potrebbe causare. Sono stati individuati gli "Impatti Potenziali", cioè le possibili variazioni delle attuali condizioni ambientali che possono prodursi come conseguenza diretta delle attività proposte e dei relativi fattori causali, oppure come conseguenza del verificarsi di azioni combinate o di effetti sinergici. È stata verificata l'incidenza reale di questi impatti potenziali in presenza delle effettive condizioni localizzative e progettuali e sulla base delle risultanze delle indagini settoriali, inerenti i diversi parametri ambientali. Infine, sono state individuate e definite le possibili azioni di mitigazione per minimizzare gli impatti sulle componenti ambientali considerate.

Al fine di non rendere vane le azioni individuate nel presente SIA è stato individuato un piano di monitoraggio ambientale sulle componenti che potrebbero essere soggette a d impatto.

Si riporta di seguito la matrice ambientale utilizzata per definire quali sono gli impatti sulle componenti ambientali durante le varie fasi di esecuzione dell'opera e di esercizio (cfr. Tabella 6-4).



AZIONI								
COMPONENTI AMBIENTALI	Cantiere			Messa in opera			Attività future	Ripristini
	dragaggio	Riempimenti (Piazzali, banchine)	moli	Utilizzo macchinari	Emissione inquinanti	Emissioni acustiche	Trasporti e ritfing	Monitoraggi e mitigazioni
Qualità delle acque	X			X	X		X	X
Circolazione idrica		X	X		X			X
Morfologia dei fondali	X							
Trasporto solido			X					
Biocenosi marine	X	X		X	X		X	X
Aree protette /SIC						X		

Tabella 6-4 Matrice dei possibili impatti sull'ambiente marino- costiero

La realizzazione delle opere di ampliamento del porto canale di Cagliari si inseriscono in un contesto già antropizzato. Il porto Canale risulta essere per alcune parti compreso nel SIC dello stagno di S. Gilla, tuttavia, come detto precedentemente, le aree interne al sito risultano essere di colmata, quindi artificiali caratterizzate da presenze flora – faunistiche di non particolare pregio. Si premette che le potenziali connessioni del porto canale con lo stagno e di conseguenza con le aree protette sono costituite principalmente dalla strada Sulcitana e dal canale scolmatore. La SS 195 Sulcitana risulta essere come una barriera flora faunistica per lo stagno che ne impedisce la connessione ecologica via terra del porto, invece il canale scolmatore presente a nord nel bacino di evoluzione risulta essere potenzialmente connesso con lo stagno pertanto sono previste, lungo il perimetro che costeggia la Sulcitana, la presenza di fasce di rispetto e salvaguardia che sono considerate delle fasce tampone per la schermatura dei siti della Rete Natura 2000.

Nella seguente tabella vengono individuati i volumi di sedimenti da dragare per le singole opere, le superfici interessate, le profondità dei dragaggi e la durata di tali opere.



Area portuale	Localizzazione	Profondità dragaggio da l.m. [m]	Superficie (m ²)	Volume materiale da dragare [m ³]	N. di sondaggi eseguiti
Area interna al porto canale	Nuova banchina Distretto cantieristica	5	85.000	142.750	8
	Varco Canale	5	51.000	34.450	5
Totale	Porto canale	5	136.000	177.200	13

Tabella 6-5 Volumi dragaggi

6.6 Gli effetti delle attività di cantiere

Nella fase di cantierizzazione dell'opera, le possibili interferenze con l'ambiente marino sono determinate soprattutto dall'aumento di torbidità delle acque causato dai dragaggi e dalla movimentazione in genere dei fondali e dalla diminuzione della circolazione idrica. L'aumento della torbidità, se prolungato nel tempo, potrebbe avere un effetto impattante sulle capacità di fotosintesi degli organismi autotrofi. Considerando che tale fenomeno è legato a variabili spazio-temporali relative ai soli lavori di cantierizzazione non dovrebbe interferire negativamente con l'ecosistema marino dello specchio d'acqua preso in considerazione. Le opere di dragaggio nel Porto canale interessano diverse aree. Tali opere se realizzate in modo consono possono diventare delle vere e proprie opere di bonifica dei fondali del porto già stressati per effetto dei numerosi impatti antropici esistenti, determinati dalla presenza dello scarico del canale industriale e dalle attività in corso nell'area. Le attività di dragaggio, prevedono l'impiego di adeguate tecniche di scavo e d'asportazione quali draghe di tipo aspirante, auto caricanti e refluenti dotate di disgregatore semovente, in grado di ridurre al massimo la risospensione dei sedimenti e, di conseguenza l'impatto sull'ecosistema marino. Un dragaggio, accettabile dal punto di vista ambientale, può essere garantito rispettando e monitorando le diverse variabili attraverso mirate procedure di controllo e piani di monitoraggio che dovranno avvenire in corso d'opera ed al termine dell'attività. In vista di ciò è prevista l'attuazione di un programma di monitoraggio che servirà a controllare le variabili ambientali più vulnerabili.

Le alterazioni che si possono verificare durante le attività di dragaggio riguardano principalmente l'ambiente fisico, in particolare possono riguardare:

- il livello di torbidità;
- la morfologia;



- la batimetria;
- le caratteristiche generali del fondale.

Si rileva, inoltre, che le biocenosi bentoniche all'interno del porto non hanno un elevato pregio naturalistico, sono molto resilienti, avendo una elevata capacità di recupero a seguito di disturbi, e sono, inoltre, specie pioniere.

In merito agli effetti dell'opera sulla circolazione idrica, sia in fase di cantierizzazione che in corso d'opera, si può dire, così come riportato nello "*Studio delle penetrazioni del moto ondoso*" condotto a marzo 2011, che per le zone più interne alla darsena prevista dal presente progetto definitivo, con particolare riferimento al canale interno, la circolazione idrica dovuta alla sola marea astronomica ha una scarsa intensità (si determinano velocità inferiori a 0.001 m/s). Infatti, le condizioni idrodinamiche ottenute in queste simulazioni lasciano supporre livelli di qualità delle acque al limite dell'accettabilità, soprattutto nei periodi estivi, caratterizzati da temperature medie elevate e correnti litoranee basse, quando risultano esasperati i cicli biologici dei micro-organismi algali.

Per ovviare a tale problema è stata condotta un'ulteriore simulazione considerando un appropriato sistema di miscelazione forzata in grado di favorire la circolazione nelle aree più interne del nuovo bacino portuale in esame. Pertanto si prevede di realizzare dei miscelatori (cfr. Figura 6-11 e Figura 6-12) opportunamente posizionati.

Alterazioni delle caratteristiche chimiche della colonna d'acqua possono manifestarsi con un aumento di sostanza organica e dei nutrienti, diminuzione dell'ossigeno disciolto ed eventuale aumento dei contaminanti nella colonna d'acqua e nei sedimenti. Possono presentarsi anche alterazioni delle caratteristiche biologiche determinando il soffocamento degli organismi bentonici. Infine, possono presentarsi anche alterazioni delle caratteristiche eco-tossicologiche degli organismi viventi.

Nel paragrafo successivo verranno individuate le azioni di mitigazione da intraprendere durante le citate attività al fine di tutelare l'ambiente marino.



Figura 6-11 Ubicazione e caratteristiche dei miscelatori da utilizzare all'interno del nuovo bacino portuale in progetto Fonte Studio moto ondoso.

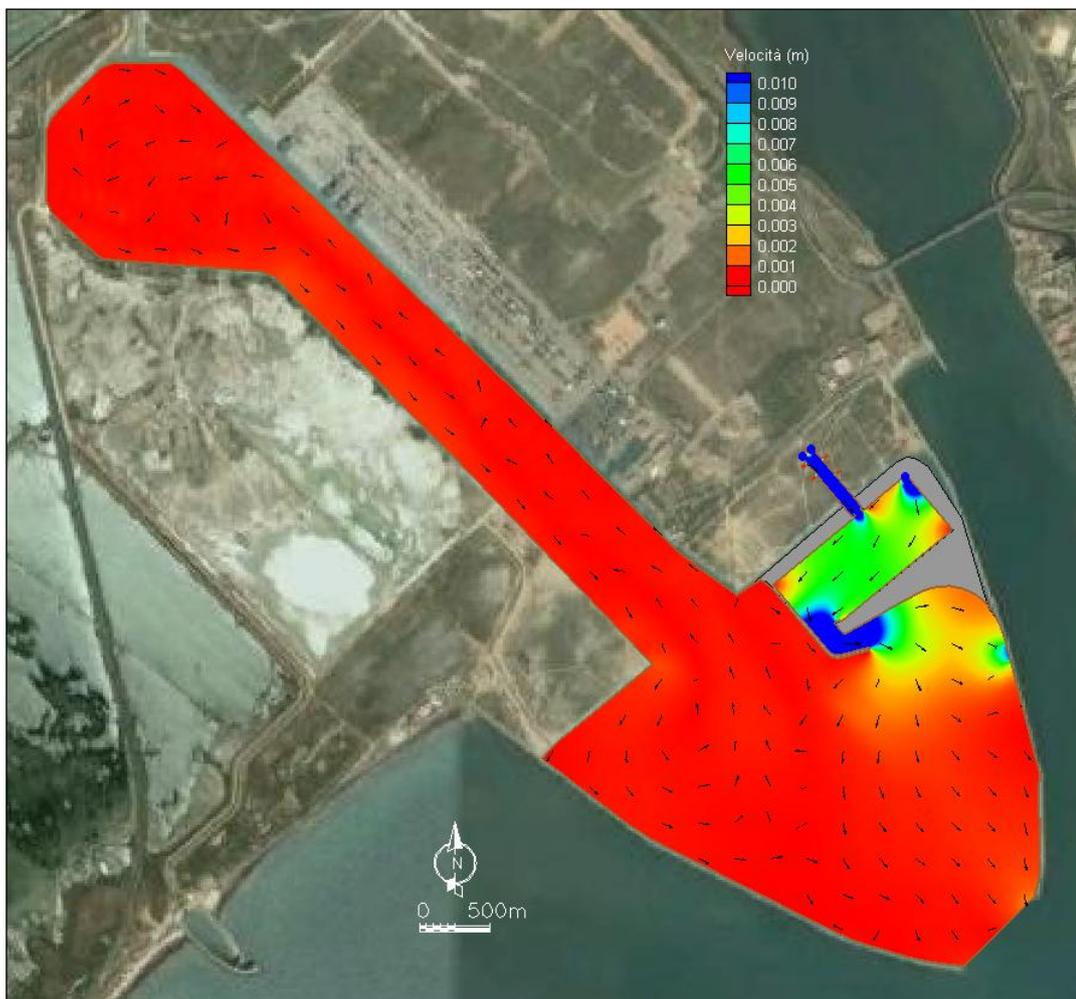


Figura 6-12 Particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'impianto di circolazione forzata - Fonte Studio moto ondos.

6.6.1 Fase di esercizio

I possibili impatti da valutare in fase di esercizio, legati alle attività di cantieristica, fanno riferimento al passaggio delle imbarcazioni ed alla possibile perdita di carburante da parte di queste; l'impatto, tuttavia, si ritiene sia di modesta rilevanza in ragione del fatto che, l'eventuale quantitativo di carburante in acqua, sia talmente esiguo da non alterare gli equilibri preesistenti dell'ecosistema.

La distanza delle praterie di Posidonia dall'area di progetto fa escludere il verificarsi di interferenze dirette ed indirette sugli habitat prioritari.

6.6.2 Accorgimenti e mitigazioni in fase di cantiere

Si premette che vista la vicinanza con l'area oggetto di studio con le aree SIC e ZPS si ritiene opportuno individuare delle azioni al fine di proteggere la qualità ambientale di tali fragili ecosistemi. Si dovrà realizzare un sistema di isolamento ancora più



marcato di queste aree lacustri con l'area portuale oggetto di studio, garantendo comunque il ricircolo dell'acqua all'interno delle stesse aree lacustri.

Durante la realizzazione delle opere legate alla realizzazione della banchina per la cantieristica all'interno del Porto Canale si determineranno fenomeni di risospensione dei sedimenti causati principalmente dalle attività di dragaggio e di riempimento delle aree. L'entità di tali fenomeni dipende dalle modalità esecutive e dalle misure di mitigazione che saranno adottate. In linea generale le misure mitigative che potranno essere adottate sono elencate nella successiva tabella.

Misure di mitigazione
confinamento delle aree di lavoro
utilizzo di mezzi e di tecnologie più idonee
effettuazione di attività di cantiere in condizioni meteo marine e climatiche ottimali in modo da non favorire fenomeni di risospensione

Tabella 6-6 Misure di Mitigazione dei fenomeni di risospensione dei sedimenti in corso d'opera

Le analisi qualitative eseguite sui sedimenti hanno evidenziato la presenza di un piccolo quantitativo con valori fuori norma in relazione ad alcuni metalli pesanti ed altri parametri. Tenendo conto di tutti questi elementi è previsto, per alcuni sedimenti, il conferimento all'interno di una vasca con terminata, impermeabilizzata anche sul fondo.

Il dragaggio in questione permetterà quindi, oltre che di raggiungere la profondità necessaria al transito delle navi metaniere, di bonificare l'area.

Per l'ambiente marino l'Ente Appaltante provvederà a mettere a punto e a far rispettare un protocollo per le "buone norme di cantiere" quali:

- controllo delle acque reflue di lavaggio e lavorazione;
- controllo del rilascio di soluzioni e dispersioni inquinanti;
- cura nell'esecuzione delle operazioni di carico – scarico, trasporto e stoccaggio dei materiali;
- cura nell'esecuzione delle operazioni di prefabbricazione per evitare lo scarico a mare di materiali di risulta;
- oculata disposizione delle aree di deposito dei materiali, delle attrezzature e dei mezzi di cantiere, accordando la preferenza ai punti più nascosti e a più bassa sensibilità ambientale;
- contenimento e razionalizzazione delle attività;
- impiego di schermature a vegetazione mimetica sia in situ che presso i punti di osservazione;



- organizzazione delle fasi costruttive tale da contenere nel tempo le limitazioni degli accessi ai singoli punti di interesse;
- ripristino della situazione preesistente al termine dell'occupazione delle aree di cantiere.

6.6.2.1 Biocenosi

Per quanto attiene i parametri ecologici, le stime delle perdite derivanti dalla sottrazione delle biocenosi, valutate tenendo conto sia della superficie direttamente interessata dalle opere portuali e dalle aree di dragaggio, sia della possibile estensione degli impatti indiretti, mostrano una diminuzione dei valori in termini di perdita di biomassa, di produzione primaria e di produzione netta di ossigeno disciolto.

Le popolazioni bentoniche presenti nella zona portuale sono costituite da specie che sono riuscite ad adattarsi alla risospensione dei sedimenti connessa ai traffici navali del bacino portuale. Le manovre di accosto e di ormeggio delle imbarcazioni, non causeranno ulteriori movimentazioni di sedimenti grazie alle attività di dragaggio previste.

Gli interventi in progetto non ricadono all'interno della perimetrazione della *Posidonia Oceanica* che, pertanto, non risulta interessata dagli effetti negativi dell'attività di dragaggio le quali saranno eseguite adottando tutti gli accorgimenti necessari e operando nel rispetto di quanto previsto nell'autorizzazione al dragaggio e in accordo con quanto suggerito dall'ICRAM nel Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini dell'agosto 2006.

Nel caso in cui dovessero verificarsi degli impatti indiretti individuati dai monitoraggi eseguiti nel tempo sulle praterie di posidonia presenti si possono prevedere come azioni di mitigazione la riforestazione o il reimpianto in aree idonee.

La riforestazione prevede l'utilizzo di nuove piante di *Posidonia Oceanica* da reimpiantare nell'area sottoposta a stress o nelle aree limitrofe. Possono essere utilizzati semi o talee: ad esempio cornici di cemento al cui centro vengono poste le talee trattenute da una griglia, paletti o ganci che fissano le talee direttamente sul fondale. Nel caso in cui si prevedesse l'uso di piante già formate, queste possono provenire da praterie già esistenti in loco cautelativamente espianate o da nuove piante di prodotte in laboratorio.



7 RUMORE

7.1 Premessa

A fronte degli obiettivi, delle ipotesi di lavoro e della identificazione delle azioni di progetto, come definiti nel Quadro di riferimento progettuale, lo studio acustico è stato orientato alla preventiva caratterizzazione dello stato acustico ante-operam, con la esecuzione di una campagna di indagini fonometriche ed alla ricostruzione dello stato acustico nello scenario di progetto mediante l'utilizzo di un modello di simulazione dei livelli sonori.

In dettaglio, i passi operativi svolti sono i seguenti:

- *Analisi acustica del territorio interessato dal progetto e individuazione dell'ambito di studio.*

L'ambito di studio è stato definito sulla base della preventiva selezione delle azioni di progetto caratterizzanti dal punto di vista acustico lo scenario considerato e sulla scorta delle indagini dirette di conoscenza dei luoghi, sia sotto il profilo morfologico che sotto il profilo antropico.

- *Individuazione dei livelli sonori di riferimento.*

Per il territorio comunale di Cagliari si fa riferimento alla Zonizzazione acustica comunale elaborata nel Giugno 2009 nell'ambito del Progetto DISIA *Elaborazione dei Piani di Classificazione Acustica dei Comuni di Assemini, Cagliari, Elmas, Maracalagonis, Monserrato, Quartu S. Elena, Quartucciu, Selargius, Sestu e Settimo S. Pietro, ricadenti nell'areametropolitana di Cagliari, ivi compresa l'individuazione delle aree che necessitano di risanamento acustico.*

- *Rilevo del clima acustico ante operam.*

La campagna fonometrica, condotta dal giorno 04/05/2010 al giorno 06/05/2010, si compone di 8 postazioni differenti, in cui sono state eseguite misurazioni con metodologia SPOT, effettuate in aree in cui si richiedevano delle indagini di controllo del rumore, ovvero di verifica del livello di rumorosità stimato in prima approssimazione sulla base di sopralluoghi e analisi preliminari.

- *Modello di simulazione acustica e taratura del codice di calcolo.*

Per ricostruire i valori di clima acustico nell'area in prossimità del porto è stato necessario effettuare delle simulazioni. Il modello scelto per questo tipo di analisi è il modello di simulazione MITHRA, basato sulla esperienza francese il



quale permette una visione grafica della simulazione caratterizzata da una scala cromatica associata ai livelli di rumore.

La taratura è avvenuta attraverso la ricostruzione dello scenario ante operam, inserendo come dati di input quelli caratteristici del periodo di misurazione e verificando l'attendibilità dei risultati ottenuti attraverso un riscontro con i dati misurati in sito.

- *Ricostruzione clima acustico allo scenario di Progetto.*

Lo studio previsionale è stato condotto considerando le ipotesi di attività portuale descritte nel quadro di riferimento progettuale, in particolar modo per ciò che riguarda le attività diportisti che ed il traffico veicolare indotto dal sedime portuale sul territorio.

7.2 Riferimenti normativi

Nell'ambito della normativa a scala nazionale si richiama:

D.P.C.M. 1/3/1991

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 1 Marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno" si propone di stabilire "limiti di accettabilità di livelli di rumore validi su tutto il territorio nazionale, quali misure immediate ed urgenti di salvaguardia della qualità ambientale e della esposizione urbana al rumore, in attesa dell'approvazione dei decreti attuativi della Legge Quadro in materia di tutela dell'ambiente dall'inquinamento acustico, che fissi i limiti adeguati al progresso tecnologico ed alle esigenze emerse in sede di applicazione del presente decreto".

I limiti ammissibili in ambiente esterno sono stabiliti sulla base del piano di zonizzazione acustica redatto dai Comuni che, sulla base di indicatori di natura urbanistica (densità di popolazione, presenza di attività produttive, presenza di infrastrutture di trasporto ecc.) suddividono il proprio territorio in zone diversamente "sensibili". A tali zone, descritte nella tabella 1 del D.P.C.M. 1/3/91 e riportate in tabella che segue sono associati valori di livello di rumore, limite diurno e notturno, espressi in termini di livello equivalente continuo misurato con curva di ponderazione A (LeqA) , corretto per tenere conto della eventuale presenza di componenti impulsive o componenti tonali.

Tale valore è definito livello di rumore ambientale corretto, mentre il livello di fondo in assenza della specifica sorgente è detto livello di rumore residuo.



CLASSE I

Aree particolarmente protette

Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo e allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.

CLASSE II

Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali

CLASSE III

Aree di tipo misto

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale e di attraversamento, con media densità di popolazione con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici

CLASSE IV

Aree di intensa attività umana

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.

CLASSE V

Aree prevalentemente industriali

Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

CLASSE VI

Aree esclusivamente industriali

Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi

Tabella 7-1 Definizione delle classi di zonizzazione acustica del territorio



DESTINAZIONE D'USO TERRITORIALE	DIURNO 6:00÷22:00	NOTTURNO 22:00÷6:00
Territorio nazionale	70	60
Zona urbanistica A	65	55
Zona urbanistica B	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

Tabella 7-2 Limiti di immissione di rumore per Comuni con Piano Regolatore

DESTINAZIONE D'USO TERRITORIALE	DIURNO 6:00÷22:00	NOTTURNO 22:00÷6:00
Zona esclusivamente industriale	70	70
Tutto il resto del territorio	70	60

Tabella 7-3 Limiti di immissione di rumore per Comuni senza Piano Regolatore

DESTINAZIONE D'USO TERRITORIALE	DIURNO 6:00÷22:00	NOTTURNO 22:00÷6:00
I Aree protette	50	40
II Aree residenziali	55	45
III Aree miste	60	50
IV Aree di intensa attività umana	65	55
V Aree prevalentemente industriali	70	60
VI Aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 7-4 Limiti di immissione di rumore per Comuni che adottano la zonizzazione acustica

Legge del 26/10/1995, n°447

Stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico, in relazione ai seguenti punti:

- Definizioni: nell'art. 2 sono descritte le sorgenti sonore i valori limite di emissione, di immissione, di attenzione e di qualità e la figura e la relativa attività del tecnico competente in acustica.
- Ruoli di competenza: negli art. 3, 4, 5, 6 sono rispettivamente descritte le specifiche competenze a livello statale, regionale, provinciale e comunale.
- In particolare, all'interno dell'Art 4 la Legge stabilisce che le regioni, "entro il termine di un anno dalla data di entrata in vigore della presente definiscano i criteri in base ai quali i comuni, tenendo conto delle preesistenti destinazioni



d'uso del territorio ed indicando altresì aree da destinarsi a spettacolo a carattere temporaneo, ovvero mobile, ovvero all'aperto procedono alla classificazione del proprio territorio nelle zone previste dalle vigenti disposizioni per l'applicazione dei valori di qualità di cui all'art. 2(...)"

- Contenuti del Piano di risanamento acustico.
- Indicazione delle opere infrastrutturali e/o tipologie edilizie per la cui realizzazione, modifica o potenziamento è necessaria una documentazione di impatto acustico.
- Nell'art. 11 si afferma inoltre che dovranno essere "emanati regolamenti di esecuzione, distinti per sorgente sonora relativamente alla disciplina dell'inquinamento acustico avente origine dal traffico veicolare, ferroviario, marittimo ed aereo".

In particolare la Legge Quadro fa riferimento agli ambienti abitativi, definiti come: *"ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati alle attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.L.15/8/91, N°277, salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive"*.

All'interno dell'art. 2 comma 1 lettere c) e d) la Legge quadro fornisce la definizione di sorgente di rumore suddividendole tra sorgenti fisse e mobili; in relazione ai livelli acustici consentiti per queste sorgenti, al punto h) del comma 1, art. 6 *"Competenze dei Comuni"* la Legge Quadro stabilisce quanto segue: *"Sono di competenza dei Comuni secondo le leggi statali e regionali e i rispettivi statuti (...) l'autorizzazione anche in deroga ai valori limite (...) per lo svolgimento di attività temporanee (...) nel rispetto delle prescrizioni indicate dal comune stesso"*.

Dunque le attività di cantiere sono autorizzate in deroga ai limiti massimi stabiliti dalla normativa vigente.

D.P.C.M. 14/11/97

Individua i valori limite di emissione, immissione, attenzione e qualità di cui all'art. 2 della legge 447/95. In questo decreto, però, *si evidenzia che per le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali ecc. i limiti suddetti non si applicano all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, a loro volta individuate dai decreti attuativi previsti dalla legge quadro (art. 11).*

Nell'art.4, inoltre, si fa nuovamente riferimento ai valori limite differenziali di immissione, confermando sostanzialmente quanto stabilito nella precedente giurisprudenza, e quindi fissando il limite differenziale diurno in 5 dB(A), l'unico d'interesse nel caso in esame in quanto applicabile alle sole sorgenti puntuali fisse (cantieri) le cui lavorazioni interessano strettamente il periodo diurno.



D.M.A. 16/3/1998

Definisce i requisiti della strumentazione utilizzata per le misure; in particolare:

- Le misure di livello equivalente dovranno essere effettuate direttamente con un fonometro conforme alla classe 1 delle norme EN 60651/1994 e EN 60804/1994;
- I filtri e i microfoni utilizzati per le misure devono essere conformi, rispettivamente, alle norme EN 61260/19995 (IEC 1260) e EN 61094-1/1994, EN 61094-1/1994, EN 61094-2/1993, EN 61094-3/1995, EN 61094-4/1995;
- La strumentazione e/o la catena di misura, prima e dopo ogni ciclo di misura, deve essere controllata con un calibratore di classe 1, secondo la norma IEC 942/1988. Le misure fonometriche eseguite sono valide se le calibrazioni effettuate prima e dopo ogni ciclo di misura, differiscono al massimo di 0.5 dB.

Nell'Allegato A al DMA sono riportate delle definizioni di alcune espressioni e grandezze utilizzate in acustica; gli Allegati B, C e D contengono rispettivamente: i criteri e le modalità di esecuzione delle misure del rumore, i criteri e le modalità di esecuzione delle misure del rumore stradale e ferroviario e le modalità di presentazione dei risultati. Per quanto riguarda il rumore da traffico stradale, essendo questo un fenomeno avente carattere di casualità o pseudocasualità, il monitoraggio deve essere eseguito per un tempo di misura non inferiore ad una settimana.

D.M.A. 29/11/2000

Il decreto emanato dal Ministero dell'Ambiente, previsto dall'articolo 10, comma 5 della Legge Quadro, stabilisce che gli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture stradali hanno l'obbligo di:

- individuare le aree in cui per effetto delle infrastrutture stesse si abbia superamento dei limiti di emissione;
- determinare il contributo specifico delle infrastrutture al superamento dei limiti suddetti;
- presentare al Comune, alla Regione o all'autorità competente da essa indicata il piano di contenimento e abbattimento del rumore prodotto dall'esercizio delle infrastrutture.

I contenuti essenziali del piano di risanamento consisteranno nella:

- Individuazione degli interventi e relative modalità di esecuzione,
- indicazione delle eventuali altre infrastrutture di trasporto concorrenti all'immissione nelle aree in cui si abbia il superamento dei limiti;



- indicazione dei tempi di esecuzione e dei costi previsti per ciascun intervento;
- motivazioni per eventuali interventi sui ricettori.

Le attività di risanamento devono conseguire il rispetto dei valori limite di rumore prodotto dalle infrastrutture di trasporto stabiliti dai regolamenti di esecuzione di cui all'art.11 della Legge Quadro.

Gli interventi strutturali finalizzati all'attività di risanamento devono essere effettuati secondo la seguente scala di priorità:

- direttamente sulla sorgente rumorosa,
- lungo la via di propagazione del rumore dalla sorgente al ricettore;
- direttamente sul ricettore.

La novità di questo decreto, infine, sta nel fatto che si evincono la caratterizzazione e l'indice dei costi degli interventi di bonifica acustica mediante tipo intervento, campo di impiego, efficacia, costi unitari.

L'Allegato 4 "*Criterio di valutazione delle percentuali dell'attività di risanamento da ascrivere a più sorgenti sonore che immettono rumore in un punto*", riporta nel dettaglio i criteri da seguire nella verifica dell'effettiva concorsualità acustica di altre sorgenti sonore. Vengono date le seguenti definizioni:

- *Livello di immissione prodotto dalla sorgente i-ma (L_i)*: rappresenta il valore di rumore immesso nell'ambiente esterno dalla singola sorgente i-ma;
- *Valori limite assoluti d'immissione (L_{zona})*;
- *Livello di soglia (L_S)*: livello cui deve pervenire, a seguito di risanamento, ogni singola sorgente, avente rumore egualmente ponderato;

$$L_S = L_{zona} - 10 \log_{10} N$$

dove N rappresenta il numero delle sorgenti interessate dal risanamento.

Il decreto stabilisce che, se il livello equivalente di rumore immesso da una sorgente è inferiore di 10 dB(A) rispetto al livello della sorgente avente massima immissione ed inferiore al livello di soglia calcolato con il numero delle sorgenti diminuito di 1, il contributo della sorgente può essere trascurato.

D.P.R. 19/3/2004, n°142

Le disposizioni del presente decreto si applicano:

1. alle infrastrutture esistenti e al loro ampliamento in sede, alle nuove infrastrutture in affiancamento a quelle esistenti, alle loro varianti;
2. alle infrastrutture di nuova realizzazione.

Il decreto individua le fasce di pertinenza delle diverse tipologie di strade, attenendosi alla classificazione del Codice della strada e stabilisce inoltre i rispettivi



limiti di immissione (limiti di pressione sonora ammissibili all'interno delle fasce di pertinenza) distinti per strade esistenti e strade di nuova realizzazione, facenti parte dell'Allegato 1 del DPR.

All'articolo 6 "Interventi per il rispetto dei limiti", viene specificato come, qualora i valori limite per le infrastrutture non siano tecnicamente conseguibili ovvero qualora in base a valutazioni tecniche, economiche o di carattere ambientale si evidenzino l'opportunità di procedere ad interventi diretti sui ricettori, deve essere assicurato il rispetto dei seguenti limiti:

- 35 dB(A) Leq notturno per ospedali, case di cura e case di riposo;
- 40 dB(A) Leq notturno per tutti gli altri ricettori di carattere abitativo;
- 45 dB(A) leq diurno per le scuole.

Strade esistenti e assimilabili (Ampliamenti in asse, sfiancamenti, varianti)						
Tipo di strada (secondo codice della strada)	Sottotipi a fini acustici (secondo norme CNR 1980 o direttiva PUT)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica [m]	Scuole (*), ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno [dB(A)]	Notturmo [dB(A)]	Diurno [dB(A)]	Notturmo [dB(A)]
A – autostrade		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
B – extraurbane		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
C – extraurbana secondaria	Ca (strade a carreggiate separate e tipo IV CNR 1980)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
	Cb (tutte le altre strade extraurbane secondarie)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D – urbana di scorrimento	Da (strade a carreggiate separate e interquartiere)	100	50	40	70	60
	Db (tutte le altre strade urbane di scorrimento)	100			65	55
E – urbana di quartiere		30	Definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C, allegata al DPCM 14/11/97 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'art. 6, comma 1, lettera a) della Legge n. 447 del 1995			
F – locale		30				

(*) Per le scuole vale il solo limite diurno

Tabella 7-5 Limiti normativi per strade esistenti



Strade di nuova realizzazione						
Tipo di strada (secondo codice della strada)	Sottotipi a fini acustici (secondo Dm 5/11/2001 "Norma funz. o geom. Per la costruzione di strade)	Ampiezza di fascia di pertinenza acustica [m]	Scuole (*), ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno [dB(A)]	Notturmo [dB(A)]	Diurno [dB(A)]	Notturmo [dB(A)]
A – autostrade		250	50	40	65	55
B – extraurbane		250	50	40	65	55
C – extraurbana secondaria	C1	250	50	40	65	55
	C2	150	50	40	65	55
D – urbana di scorrimento		100	50	40	65	55
E – urbana di quartiere		30	Definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C, allegata al DPCM 14/11/97 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'art. 6, comma 1, lettera a) della Legge n. 447 del 1995			
F – locale		30				
(*) Per le scuole vale il solo limite diurno						

Tabella 7-6 Limiti normativi per strade di nuova realizzazione

Nell'ambito della normativa a scala locale, si richiama

- D.G.R. 14/11/2008 N.° 62/9 avente per oggetto "Direttive regionali in materia di inquinamento acustico ambientale" e disposizioni in materia di acustica ambientale.
- Circolare esplicativa del paragrafo 15 "Classificazione della viabilità stradale e ferroviaria", Parte II dei "Criteri e linee guida sull'inquinamento acustico (art. 4 della legge quadro 26 ottobre 1995, n. 447)" di cui alla deliberazione della Giunta regionale 8 luglio 2005, n. 30/9 e S.M.I.
- Piano di Classificazione Acustica Comunale della città di Cagliari.



7.3 Clima acustico ante operam

7.3.1 Considerazioni generali

La finalità di uno studio acustico risiede nella individuazione delle modificazioni del clima acustico prodotte dalle sorgenti di impatto di progetto, e nella loro successiva valutazione rispetto ai valori limite fissati dalla normativa di settore.

Nell'ambito del presente lavoro è stata effettuata una campagna di monitoraggio dello stato acustico ante operam. Il dettaglio delle indagini è riportato nell'apposito allegato "Indagine fonometrica Ante Operam".

Le misurazioni sono state effettuate con il duplice obiettivo di rappresentare il clima acustico complessivo delle aree portuali e di caratterizzare le diverse operazioni di origine marittima che inducono rumore sul territorio.

Il territorio abitato nelle zone limitrofe al sedime portuale, risulta essere investito dal rumore legato alla presenza del porto in oggetto, principalmente attraverso il traffico veicolare indotto dalle attività portuale; dai sopralluoghi di monitoraggio in sito, infatti, è emerso uno scenario di inquinamento acustico delle zone indagate poco influenzato dalle attività diportistiche oggetto dello studio, a causa dell'elevata distanza che intercorre tra le aree di produzione del rumore nautico e le più vicine aree abitate.

Per ottenere, infine, un quadro acustico completo dello stato di fatto, sono state eseguite misurazioni sia relative alle attività di diporto sia relative al traffico veicolare che interessa la viabilità limitrofa al sedime portuale.

Rimandando per i dettagli del caso alla monografia specifica sopra richiamata, nella presente relazione si evidenziano gli elementi essenziali delle indagini.

7.3.2 Campagna del rumore ambientale

Le misure fonometriche di rumore "ambientale", ovvero rappresentative del rumore che complessivamente caratterizza le diverse aree indagate, sono state effettuate mediante metodologia SPOT, con misurazioni in continuo di 15 minuti, eseguite nella fascia oraria diurna.

In linea con le indicazioni normative di settore, i descrittori acustici considerati sono il livello di pressione sonora, ovvero il valore della pressione acustica di un fenomeno sonoro mediante la scala logaritmica dei decibel dato dalla relazione seguente:

$$L_p = 10 \log(p / p_0)^2 \text{ dB}$$



dove p è il valore efficace della pressione sonora misurata in Pascal (pa) e p_0 è la pressione di riferimento che si assume uguale a 20 micropascal in condizioni standard.

In accordo con quanto ormai internazionalmente accettato tutte le normative esaminate prescrivono che la misura della rumorosità ambientale venga effettuata attraverso la vantazione del livello equivalente (L_{eq}) ponderato "A" espresso in decibel.

Per avere una descrizione più dettagliata si possono considerare anche dei livelli percentili (es. L10, L90), dove per livello percentile si intende il valore di rumore superato per il percento del tempo di misura.

Sono stati ripresi anche il livello statistico minimo (L_{min}) ed il livello statistico massimo (L_{max}) negli intervalli di misure. In sintesi sono stati rilevati i seguenti indici acustici:

- L_{eq} (A) del periodo di riferimento
- L_{max}
- L10
- L50
- L90
- L_{min}

Il tempo di integrazione della misura è stato di 0,5 secondi. La distribuzione spaziale dei punti monitoraggio sul territorio avviene sulla base della tipologia dei rilievi e quindi della finalità a cui essi devono rispondere.

Per i rilievi del clima acustico complessivo, si deve innanzitutto tener conto del fatto che i punti scelti per effettuare le misure sono emblematici della rumorosità di un'area acusticamente omogenea. Perciò, per le postazioni di misura si è tenuto conto in linea di massima che:

- Siano rappresentative delle caratteristiche acustiche dell'area associata.
- Siano indicative delle condizioni di esposizione del maggior numero possibile di soggetti esposti al rumore (abitazioni e/o persone fisiche).
- Siano facilmente reperibili
- Siano limitrofe a ricettori sensibili (classe I) come scuole, ospedali, etc.

La caratteristica principale di un punto di misura è la sua rappresentatività, ossia i rilevamenti effettuati in corrispondenza di esso devono essere significativi nell'ambito della determinazione del clima acustico dell'area circostante. L'ubicazione dei punti di misura, insieme al dettaglio delle rilevazioni eseguite, è riportata nel relativo allegato.



7.3.3 Descrizione dei siti di misura

Nell'ambito del presente Studio d'impatto ambientale è stato condotto un monitoraggio acustico finalizzato a delineare lo stato attuale del clima acustico così da poter verificare gli eventuali cambiamenti dello stesso in conseguenza dello spostamento dell'attuale distretto cantieristico nella nuova area dedicata presso la colmata Est del Porto Canale.

Per l'espletamento del monitoraggio acustico sono stati individuati 8 punti presso cui eseguire le misure fonometriche; i luoghi in cui ricadono i punti di monitoraggio sono distribuiti in tre diverse aree, distinte in base alla loro funzione nel tessuto urbano, ovvero l'odierno distretto cantieristico inserito nell'ambito del Porto Vecchio e l'area di accesso a quello futuro e la zona residenziale di Giorgino nel settore del Porto Canale; tutti i punti di misura sono stati rappresentati in cartografia e riportati di seguito nello stralcio planimetrico.



Figura 7-1 Planimetria generale dell'area d'indagine e localizzazione dei punti di misura



Nell'area dell'attuale distretto cantieristico sono stati collocati i punti P1, P2, P3 ed infine il P4 mentre dal lato del Porto Canale i punti P5 e P6 monitorano il territorio dove verranno creati gli accessi alla nuova area dedicata al distretto stesso, infine il nucleo residenziale di Giorgino è stato controllato con i punti P7 e P8.

P1 – Nodo di S.Elmo

Il punto è situato nel piazzale costituito dalle rampe di accesso al Viale Salvatore Ferrara, in prossimità della fine di Via Sebastiano Caboto e l'inizio della Calata dei Mercedari; la viabilità in questione è quella che conduce alla Marina di S.Elmo, destinata al diporto nautico, e quindi caratterizzata per lo più da scarsi volumi di traffico per lo più costituito da autoveicoli.

L'assenza di edifici o altre rilevanti strutture fa sì che la propagazione del suono non incontri ostacoli che possano ridurre la diffusione nell'intera area.



Figura 7-2 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura - 39° 12' 12.90"N - 9° 7'34.60"E

P2 – Sez. Via dei Calafati

La postazione fonometrica P2 è stata collocata in Via Calafati, nel tratto che corre lungo il lato est del perimetro dell'area militare appartenente alla Capitaneria di porto di Cagliari.

Il tratto di strada in questione oltre che condurre alla suddetta Capitaneria porta a tre aree di rimessaggio e cantieristica nautica.

Il tratto di strada da monitorare è stato scelto in funzione della sua vocazione specifica di collegamento all'area cantieristica, così da poter valutare al meglio il contributo acustico dovuto al traffico veicolare, proveniente e diretto ai rimessaggi, che risulta essere la principale sorgente sonora nettamente distinguibile oltre a



qualche limitato sorvolo aereo dovuto alla presenza a circa 3 km NO dell'aeroporto di Elmas.



Figura 7-3 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura - 39° 12' 46.41"N - 9° 5'57.53"E

P3 – Sez. Via Perdixedda

Via Perdixedda è una strada senza uscita destinata esclusivamente al traffico di veicoli diretto ad alcune attività produttive presenti nel sito.

Le operazioni lavorative svolte nelle prossimità del punto ove è stata effettuata la misura non paiono essere le fonti di rumore predominanti che invece possono essere riferibili al traffico stradale, non tanto ai limitati veicoli che percorrono Via Perdixedda e che chiaramente costituiscono gli eventi di picco bensì al vicino Viale Pula percorso da un traffico molto intenso e che fa sentire la sua influenza fin qua.



Figura 7-4 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura - 39° 12' 48.04"N - 9° 6'6.08"E



P4 – Sez. Viale Pula

Con il punto P4 si completa il monitoraggio dell'area delimitata dal Porto Vecchio.

Il fonometro è stato collocato in Viale Pula a circa venti metri dall'intersezione con Viale La Plaia in direzione di Cagliari, in corrispondenza del cartello d'ingresso alla città, in un ambito territoriale contraddistinto da una destinazione d'uso prevalentemente produttiva e commerciale.

Viale Pula è una grossa arteria di collegamento caratterizzata da un elevato traffico veicolare costituito da una gamma eterogenea di mezzi, con la presenza anche di molti mezzi pesanti, e costituisce la sorgente acustica predominante.



Figura 7-5 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura - 39° 12' 53.04"N - 9° 6'6.80"E

P5 – Nodo porto canale

Il sito P5 è stato collocato nell'area dove verrà a trovarsi l'ingresso al futuro distretto cantieristico; la strada, priva di nome, è senza uscita e conduce ad un'area abbandonata incolta e priva di strutture.

Il fonometro è stato posizionato a circa 100 metri dalla rotonda dove confluiscono le rampe di accesso da e per la SS 19, la Strada Statale Sulcitana, e la via di ingresso alla area di competenza dell'autorità portuale, accesso al Porto Canale.

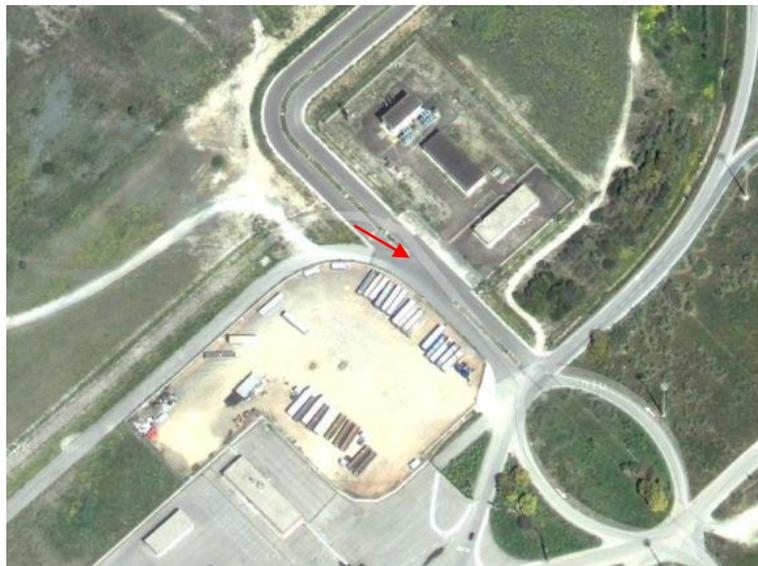


Figura 7-6 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura - 39° 13' 6.20"N - 9° 4'56.79"E

P6 – Sez. porto A

Il punto P6 è stato posizionato al margine della strada che dal Nodo del Porto Canale conduce a Viale Pula presso il nucleo abitativo di Giorgino.

L'area limitrofa al punto di misura è priva di edifici e permette una facile propagazione dei rumori provenienti dalla strada SS 195

Oltre allo scarso traffico di veicoli la zona è acusticamente soggetta ai passaggi aerei diretti al vicino aeroporto.

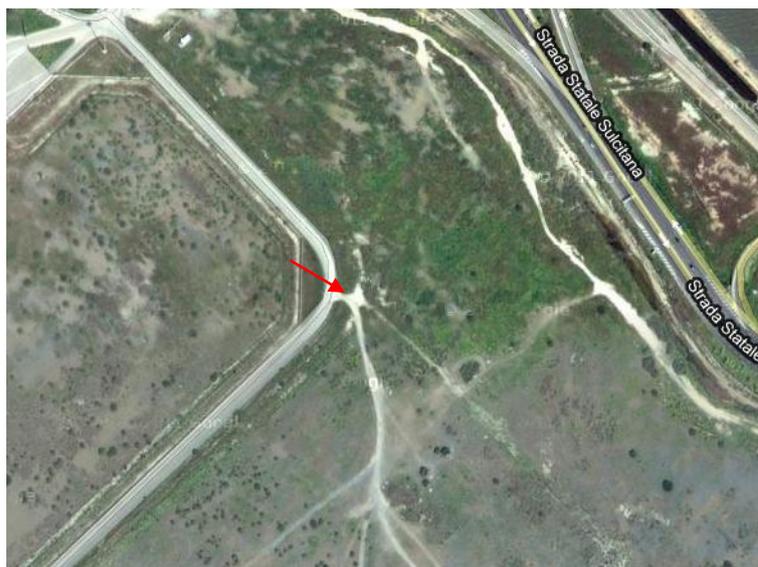


Figura 7-7 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura - 39° 12' 55.48"N - 9° 5' 8.80"E



P7 - Sezione porto C / P8 – Giorgino

Il territorio in cui si inserisce Giorgino, una frazione della città di Cagliari, corrisponde alla porzione meridionale dell'Isolotto di San Simone, nel settore antistante il mare al margine del molo est del Porto Canale.

Il centro abitato è costituito da un piccolo agglomerato di case posto lungo Viale Pula che in questo tratto ha un carattere di strada locale ed è percorsa da pochi veicoli; oltre le abitazioni nell'area sono presenti attività cantieristiche ed una di ristorazione. In quest'area sono state condotte misure su due punti distinti, che data le esigue dimensioni del abitato, sono a breve distanza l'uno dall'altro.

Il primo punto adibito a monitorare la frazione di Giorgino è il sito P7, posto all'incirca all'ingresso della frazione provenendo dalla Statale Sulcitana, mentre il secondo punto, il P8, si trova all'uscita del borgo nelle vicinanze ad un cantiere.



Figura 7-8 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura P7 - 39° 12' 16.56"N - 9° 5' 32.12"E

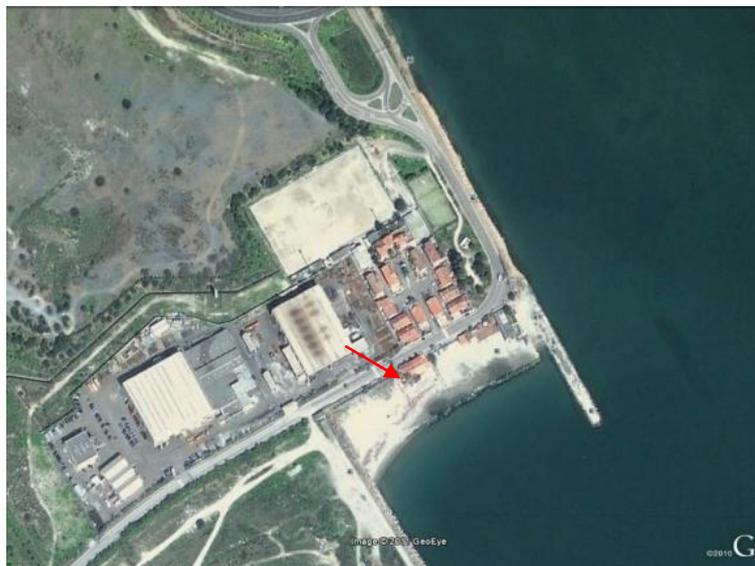


Figura 7-9 Stralcio planimetrico con indicato il punto di misura P8 - 39° 12' 43.38"N - 9° 5' 27.70"E

7.3.4 Risultati

Prima di analizzare il dato acquisito mediante il monitoraggio si pone la necessità di fare una panoramica per inquadrare il territorio dal punto di vista acustico in base a quanto previsto dal vigente Piano di classificazione acustica del Comune di Cagliari, di cui di seguito si riporta lo stralcio della porzione territoriale in cui ricadono i siti di controllo.

Come si può notare dall'immagine, la quasi totalità del territorio di indagine ricade nella classe IV, definita come area di intense attività umane, ad eccezione del punto P1 che è incluso nella classe III ovvero un' area di tipo misto; i relativi limiti assoluti disposti dalla Classificazione acustica territoriale, quelli di emissione e di immissione, sono indicati nelle tabelle sottostanti; seppure le stesse riportino anche i valori limiti notturni, nell'ambito di questo studio tali riferimenti non sono da prendere in considerazione poiché, durante tale intervallo, non sono state eseguite le misure di rumore in virtù dell'inoperosità dei cantieri durante tale arco di tempo con relativa assenza di traffici ad essi connessi.

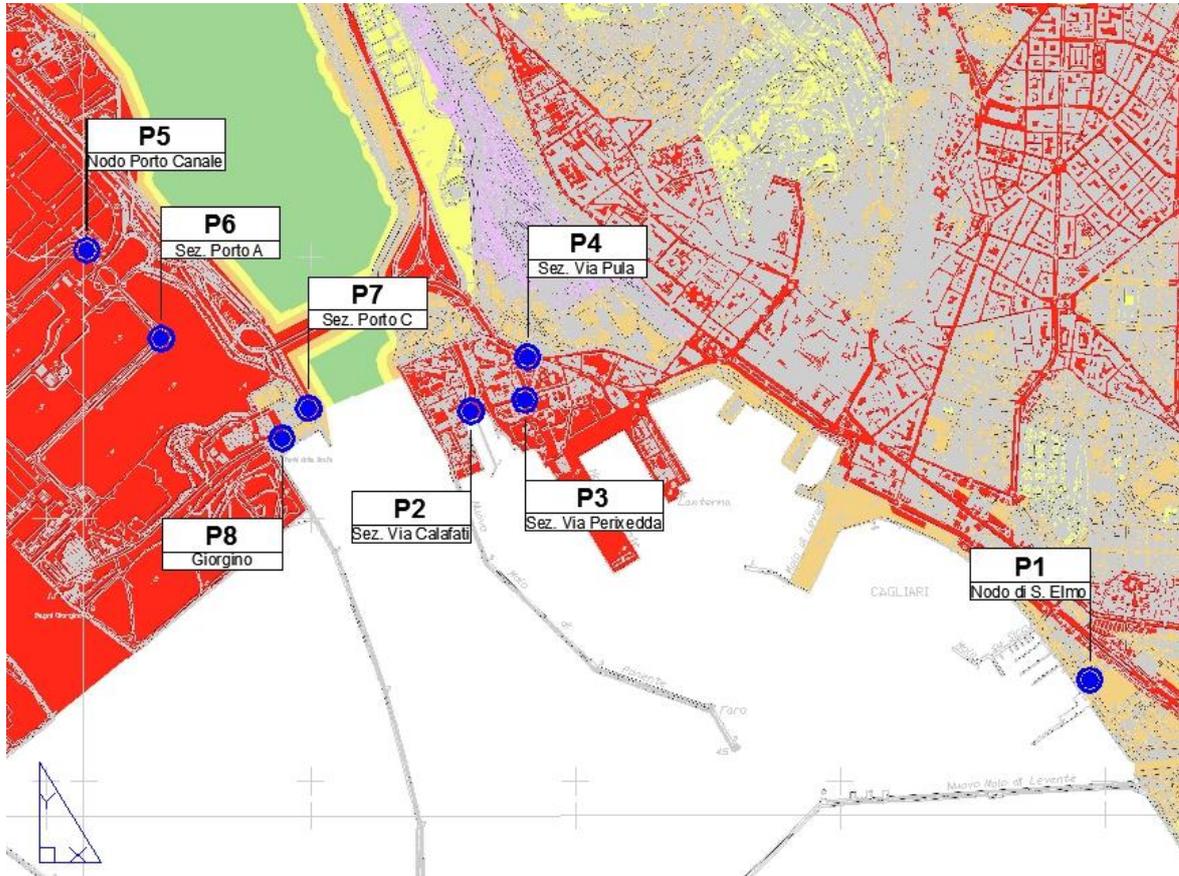


Figura 7-10 Zonizzazione acustica e punti di misura

Valori limite di emissione

Classi di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	45	35
II aree prevalentemente residenziali	50	40
III aree di tipo misto	55	45
IV aree di intensa attività umana	60	50
V aree prevalentemente industriali	65	55
VI aree esclusivamente industriali	65	65



Valori limite assoluti di immissione

Classi di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	50	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

In tutte le situazioni monitorate il traffico automobilistico è sempre stato la sorgente di rumore, nettamente distinguibile, predominante e subordinatamente a questa va inoltre segnalato il contributo dovuto ai sorvoli aerei diretti verso l'aeroporto di Elmas.

I flussi veicolari rilevati contestualmente alle misure fonometriche si sono rivelati per lo più distinti da uno scarso numero di mezzi ad eccezione del sito P4 situato in Viale Pula; la strada in questione costituisce la via di collegamento tra la città di Cagliari e l'Aeroporto di Elmas ed il nodo del Porto canale, inoltre rappresenta il tratto urbano della SS 195 che conduce alla regione del Sulcis o raccordandosi alla SS130 verso l'Iglesiente costituendo di fatto un importantissima arteria viaria.

Da una prima analisi dei valori emersi dalle misure effettuate i risultati indicano un sostanziale rispetto dei limiti dettati dalla zonizzazione acustica ad eccezione del già citato punto P4 che come detto è fortemente esposto ad un traffico intenso costituito da una tipologia mista di veicoli tra cui molti mezzi pesanti così che il superamento medio è quantificabile in 16 dB(A).

Si può notare un'anomalia anche per il P1 eseguito presso la Marina di S. Elmo nel rilievo del 04/05/2011 svolto alle 17:00 consistente in un eccesso di 0.8 dB(A) rispetto a quanto previsto per la III classe, il valore di Leq rientra però nei limiti alla successiva replica così che anche il valore medio sia a norma.

Nelle altre circostanze invece, pur rimanendo il traffico automobilistico la sorgente distintamente percepibile non ci sono anomalie da segnalare.

Nella seguente tabella di sintesi vengono riportati: il codice identificativo del punto di misura, la data e l'ora dell'esecuzione del rilievo fonometrico, il valore di Leq registrato, il Leq medio tra le due misure condotte sullo stesso sito ed infine i limiti della classificazione acustica.



	Data e Ora	Leq (dB)		Limiti assoluti di immissione	
		Rilevato	Media	Leq (dB) Diurno	Leq (dB) Notturno
P1	04/05/2011 17:00	60,8	59,9	60	50
	06/05/2011 08:00	58,7			
P2	04/05/2011 17:30	61,9	61,5	65	55
	06/05/2011 08:27	61			
P3	04/05/2011 17:52	53,2	59,3	65	55
	06/05/2011 09:05	61,7			
P4	04/05/2011 18:10	79,5	81,1	65	55
	06/05/2011 08:48	82,2			
P5	05/05/2011 08:04	56,6	61,1	65	55
	05/05/2011 17:06	63,3			
P6	05/05/2011 08:22	58,7	58,3	65	55
	05/05/2011 17:25	57,8			
P7	05/05/2011 09:08	61,2	60,0	65	55
	05/05/2011 16:48	58,4			
P8	06/05/2011 10:45	61,1	61,1	65	55

Tabella 7-7 Risultati della campagna di rilievo fonometrico

7.4 Analisi delle interazioni opera-componente – Fasi Ante e Post Operam

7.4.1 Introduzione

In riferimento agli aspetti acustici, le attività oggetto di studio sono maggiormente rappresentate dal traffico veicolare indotto dall'esercizio delle stesse, in quanto queste generalmente sono effettuate all'interno di capannoni specializzati (quindi con ridotte emissioni all'esterno), oltre ad essere localizzate in aree prettamente industriali, aree rappresentative, quindi, di scarsa sensibilità ambientale.

Il traffico veicolare indotto insiste invece sulla rete viaria di Cagliari, come evidenziato nell'apposito studio trasportistico e attraversa aree a diversa caratterizzazione ambientale, ovvero in parte industriale e in parte residenziale – terziaria.

Nel presente lavoro verranno rappresentati i livelli di inquinamento acustico che tale traffico indotto apporta sul territorio, in riferimento ai valori acustici presenti prodotti dalla componente di traffico cittadino. Sarà cioè evidenziata la differenza del clima acustico con e senza i flussi di traffico correlati all'esercizio delle attività in oggetto, in riferimento ai tre scenari di studio, ovvero la situazione attuale e la situazione all'orizzonte di progetto, con e senza intervento.

A tal fine viene utilizzato un software di simulazione, tarato con le misure fonometriche condotte appositamente e sopra descritte.



Infine, si osserva dal citato studio trasportistico che le movimentazioni nautiche sono mediamente di circa 7-8 natanti al giorno (di cui solo 5 a motore e di bassa potenza). Tali quantità si considerano in questa fase trascurabili sotto il profilo acustico.

7.4.2 Modello di calcolo

7.4.2.1 Descrizione del software

Per la previsione dell'impatto acustico dell'infrastruttura in oggetto è stato utilizzato il modello di simulazione MITHRA.

Mithra è un modello previsionale progettato per modellizzare la propagazione acustica in ambiente esterno. Sono presi in considerazione, quali input di calcolo, fattori come la disposizione e forma degli edifici, la topografia del sito, le barriere antirumore, il tipo di terreno o anche gli effetti meteorologici. Scegliendo il modulo appropriato, Mithra permette di essere utilizzato per studiare il fenomeno acustico generato dal rumore stradale, ferroviario e industriale.

Il modello di simulazione Mithra è stato elaborato da parte del CSTB (Centre for the Science and Technology of Buildings) di Grenoble, ed è stato utilizzato in numerose applicazioni a partire dalla fine degli anni '80 sia per gli studi di impatto ambientale sia per i progetti di barriere acustiche. Il software del modello è stato sviluppato in accordo alle ultime indicazioni degli standard ISO 9613-2. Questo software consente di determinare la propagazione acustica in campo esterno prendendo in considerazione numerosi parametri e fattori legati:

- alla localizzazione ed alla forma ed all'altezza degli edifici;
- alla topografia dell'area di indagine;
- alle caratteristiche fonoassorbenti e/o fonoriflettenti del terreno;
- alla tipologia costruttiva della sorgente;
- alla presenza di eventuali ostacoli schermanti;
- alle caratteristiche acustiche della sorgente;
- al numero dei raggi sonori;
- alla distanza di propagazione;
- al numero di riflessioni;
- all'angolo di emissione dei raggi acustici;

Mithra utilizza un algoritmo veloce per la ricerca dei percorsi acustici tra le sorgenti di rumore e i ricettori in un sito complesso che permette la riduzione di queste difficoltà. Questo algoritmo usa un certo numero di ipotesi semplificatrici permettendo l'uso di un modello a raggi seguendo un metodo inverso di tracciamento dai ricettori.

I percorsi sono rappresentati da raggi che sono diretti, diffratti, riflessi (dal terreno o da facciate verticali) o una combinazione degli ultimi due. Non essendoci limiti



nell'ordine di riflessioni e diffrazioni, l'algoritmo si adatta bene sia in configurazioni "chiuse" come il centro di una grande città con una forte densità costruttiva che in configurazioni "aperte" come le zone extraurbane o le regioni montagnose, come quelle del caso in esame, dove assume importanza nella propagazione del suono l'influenza dell'effetto suolo.

Gli algoritmi di ricerca per il percorso di propagazione acustica tra sorgente e ricettore sono basati su tre ipotesi essenziali:

- [1] Il tipo di configurazione urbana, la maggior parte delle superfici riflettenti sono verticali (eccetto il terreno);
- [2] Le sorgenti di rumore possono essere schematizzate in elementi lineari e/o puntuali;
- [3] La potenza acustica è definita per unità di lunghezza;

Inizialmente, sono lanciati N raggi dal ricettore in tutte le direzioni nel piano orizzontale definendo la traiettoria del raggio come da una successione di impatti. Ogni impatto è l'intersezione di un raggio con un segmento che definisce il sito. Successivamente avviene l'identificazione del percorso di propagazione nello spazio tridimensionale. Per ogni traiettoria nel piano orizzontale, è definita una sezione verticale che interessa il terreno e gli ostacoli considerando l'altitudine dei segmenti che sono stati impattati. Sono considerate solo le sezioni corrispondenti a percorsi fisicamente possibili e sono abbandonati i raggi che non tagliano il segmento di sorgente. Il calcolo è veloce perché solo i percorsi fisicamente possibili vengono calcolati, mentre gli altri vengono eliminati con test logici.

7.4.2.2 Calibrazione

Con l'ausilio del modulo "Identif" di Mithra, è stata effettuata un'accurata calibrazione del modello confrontando i valori ricavati dalle misure con quelli calcolati dal modello attraverso una serie di passaggi operativi:

1. Riproduzione, in un file di Mithra, delle caratteristiche geometriche delle sorgenti e del ricettore in posizione corrispondente al punto di misura e successiva importazione di tale file nel modulo "Identif" di Mithra.
2. Selezione della sorgente da identificare ed inserimento dei parametri di calcolo, successivamente utilizzati nelle simulazioni, quali: assorbimento acustico del terreno, numero di raggi, distanza di propagazione, numero di intersezioni, numero di riflessioni, angolo iniziale e finale, temperatura, umidità e metodo di calcolo.
3. Selezione del ricettore (postazione fonometrica) ed inserimento dei valori dello spettro in bande di ottava misurato in sito.
4. Esecuzione del calcolo in accordo con i parametri immessi nel modulo "Identif" e visualizzazione dei risultati. L'esecuzione del calcolo consente di ottenere lo spettro



di potenza che determina sul ricettore (punto di misura) un livello equivalente di rumore pari al valore ottenuto dalle misure effettuate.

5. Determinazione, mediante l'ausilio del software Mithra, degli offset da applicare allo spettro calibrato per tener conto degli scarti tra quanto rilevato in situ, contestualmente alle misure fonometriche, e quanto relativo ai periodi diurno (6:00-22:00) e notturno(22:00-6:00), estrapolati allo scenario di progetto.

Risultati della taratura

Sulla base delle caratteristiche del modello sopra descritte e delle caratteristiche del contesto territoriale in studio, nonché sulla base della procedura di calibrazione dei risultati del modello, sono state considerate le seguenti modalità di calcolo:

Assorbimento acustico del terreno:	2000;
Numero di raggi:	50;
Distanza di propagazione:	2000 m;
Numero di intersezioni:	50;
Numero di riflessioni:	5;
Temperatura:	15°C;
Umidità:	70;
Metodo di calcolo:	ISO.9613.

7.4.3 Input di calcolo

Per poter effettuare le simulazioni acustiche nei diversi scenari, per prima cosa, si è reso necessario effettuare uno studio sulla rete stradale che interessa l'area d'indagine; questo ha previsto l'acquisizione dei dati di traffico da altri studi settoriali nonché l'esecuzione di un'apposita campagna di rilievo associata ad un monitoraggio acustico finalizzato alla taratura ottimale del modello di simulazione.

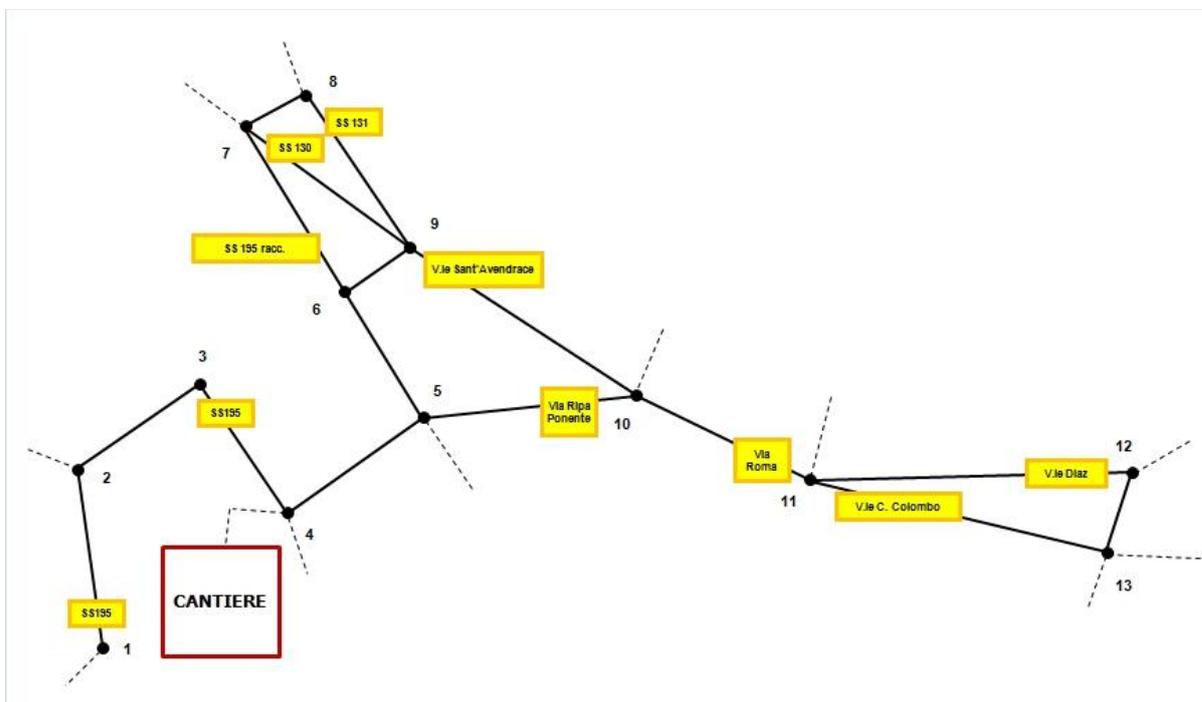
Le tratte stradali di maggior rilievo potenzialmente interessate dal transito dei mezzi connessi alle attività cantieristiche sono state impiegate per realizzare un grafo rappresentativo della rete viaria; ad ogni tratta sono stati associati i valori di traffico, ricavati dagli studi esaminati, rappresentativi della situazione attuale e degli scenari futuri, uno con l'assetto territoriale antecedente all'esecuzione del progetto ed uno successivo ad esso; tutti gli scenari sono stati analizzati prendendo in considerazione due versioni, la prima in cui i traffici sono inclusivi della quota di veicoli indotti dalle attività di cantiere ed una in cui questi sono stati scorporati così da poterne quantificare in modo ottimale il contributo acustico.

Lo studio dei traffici nei molteplici scenari ha fatto emergere che in seguito all'esecuzione del progetto alcune tratte subiranno delle variazioni di traffico più marcate rispetto ad altre, pertanto successivamente è stato verificato il contesto del



tessuto urbano in cui si vanno ad inserire; per quelle maggiormente connesse ad aree più urbanizzate verranno riportate le immagini delle simulazioni svolte.

La tratta che dal nodo 4 si dirige al cantiere è quella su cui confluiranno tutti i mezzi associati alla cantieristica e che per questo motivo avrà gli incrementi maggiori dei flussi, tuttavia non se ne riporta l'immagine della simulazione essendo inserita in una matrice territoriale priva di qualsiasi tipologia di ricevitore; di seguito viene riportato il grafo utilizzato nell'ambito del presente lavoro.



7.4.4 Analisi delle simulazioni

I dati ottenuti dalle simulazioni dei diversi scenari vengono restituiti nelle due tabelle seguenti sotto forma di potenze acustiche emesse per ogni arco della rete viaria considerata. In particolare, si osservano i valori acustici espressi in dB(A) associati ai flussi veicolari considerati, sia nella loro totalità (cioè comprensivi dei flussi veicolari indotti dal distretto della cantieristica, oltre che dal normale flusso viario cittadino), sia al netto del volume dei veicoli correlati alle sole attività di cantieristica.

Ciò, al fine di rappresentare "l'eventuale" alterazione del clima acustico a cui sarebbe sottoposto il territorio che più si trova a contatto con gli elementi di diversità connessi al progetto.



Scenario Attuale					
Nodi		Veicoli / ora		Potenza Acustica Emessa [Lw dB(A)/m]	
Da	A	Totali	Al netto dell'indotto	Totale veicoli	Al netto dell'indotto
1	2	1953	1953	84,0	84,0
2	3	1460	1460	82,8	82,8
3	4	1460	1460	82,8	82,8
4	5	1510	1510	81,5	81,5
5	6	2501	2462	87,9	87,8
6	7	2305	2265	87,5	87,4
7	8	1803	1793	80,4	80,4
8	9	1924	1924	80,7	80,7
6	9	1149	1149	78,4	78,4
9	10	2906	2906	82,5	82,5
5	10	3252	3235	82,9	82,9
10	11	2544	2531	81,9	81,9
11	12	1380	1380	79,2	79,2
12	13	2834	2834	82,3	82,3
11	13	1163	1151	78,5	78,4
4	Cantiere	-	-	-	-

Scenario Progettuale					
Nodi		Veicoli / ora		Potenza Acustica Emessa [Lw dB(A)/m]	
Da	A	Totali	Al netto dell'indotto	Totale veicoli	Al netto dell'indotto
1	2	2040	2036	84,2	84,2
2	3	1527	1523	83,0	83,0
3	4	1527	1523	83,0	83,0
4	5	1725	1574	82,1	81,7
5	6	2678	2568	88,2	88,0
6	7	2474	2364	87,8	87,6
7	8	1951	1869	80,7	80,5
8	9	2005	2005	80,8	80,8
6	9	1198	1198	78,6	78,6
9	10	3029	3029	82,6	82,6
5	10	3413	3372	83,1	83,1
10	11	2655	2639	82,1	82,0
11	12	1439	1439	79,4	79,4
12	13	2953	2953	82,5	82,5
11	13	1200	1200	78,6	78,6
4	Cantiere	122	-	68,7	-



Potenza Acustica Emessa [Lw dB(A)/m]				
Da	A	Scenario Attuale	Scenario Progettuale	Differenza
1	2	84,0	84,2	0,2
2	3	82,8	83,0	0,2
3	4	82,8	83,0	0,2
4	5	81,5	82,1	0,6
5	6	87,9	88,2	0,3
6	7	87,5	87,8	0,3
7	8	80,4	80,7	0,3
8	9	80,7	80,8	0,1
6	9	78,4	78,6	0,2
9	10	82,5	82,6	0,1
5	10	82,9	83,1	0,2
10	11	81,9	82,1	0,2
11	12	79,2	79,4	0,2
12	13	82,3	82,5	0,2
11	13	78,5	78,6	0,1
4	Cantiere	-	68,7	68,7

Come si può osservare dai valori riportati nelle tabelle, dal punto di vista acustico lo spostamento dell'area cantieristica dal sito attuale a quello futuro non porterà ad alcuna sostanziale modifica; già da una prima analisi qualitativa dei dati di traffico, considerando la modesta entità del suo incremento nello scenario riferito all'anno 2021, era lecito aspettarsi che anche la variazione del rumore ad esso associata fosse minima, soprattutto alla luce dello scarso peso che il traffico indotto dai cantieri ha su quello globale.

Lo sviluppo del modello di simulazione e l'elaborazione dei dati inseriti hanno permesso di quantificare la sostanziale immutabilità del dato acustico, l'unica e logica eccezione la ritroviamo nella futura viabilità ipotizzata per l'accesso diretto al distretto cantieristico che ad ogni modo verrà a trovarsi distante diverse centinaia di metri dal più vicino insediamento abitativo, nello specifico dal borgo di Giorgino.

Per le tratte di Via Roma, di Via Riva Ponente e della SS 195 racc., che sono maggiormente inserite nel tessuto urbano e soggette ad aumento più marcato del traffico veicolare previsto, si mostrano le immagini risultanti dalle simulazioni, sviluppate sulle sezioni relative del modello.



SEZ.1 - Via Roma

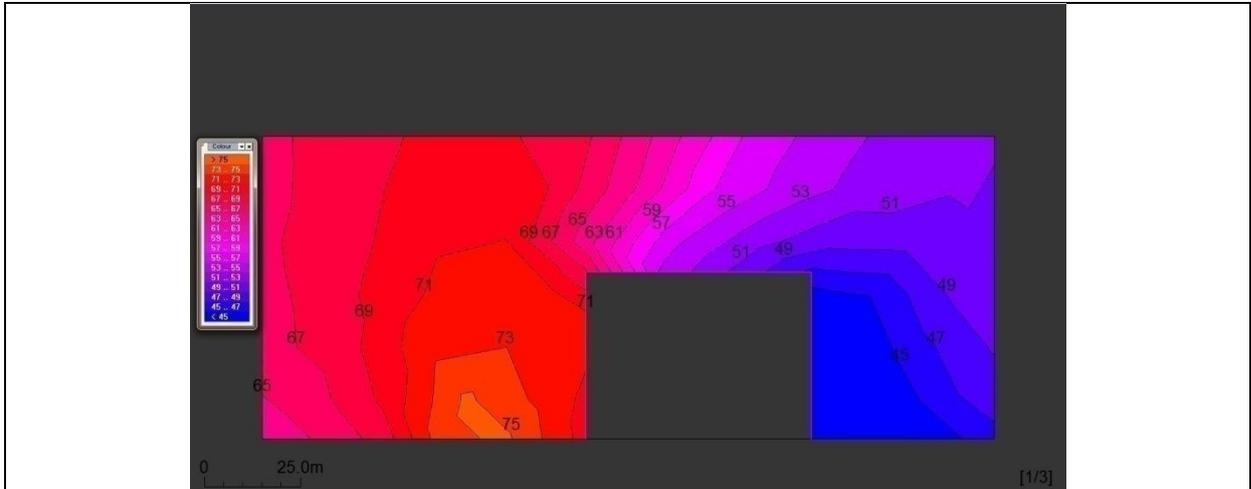


Figura 7-11 Scenario 2011 – Attuale

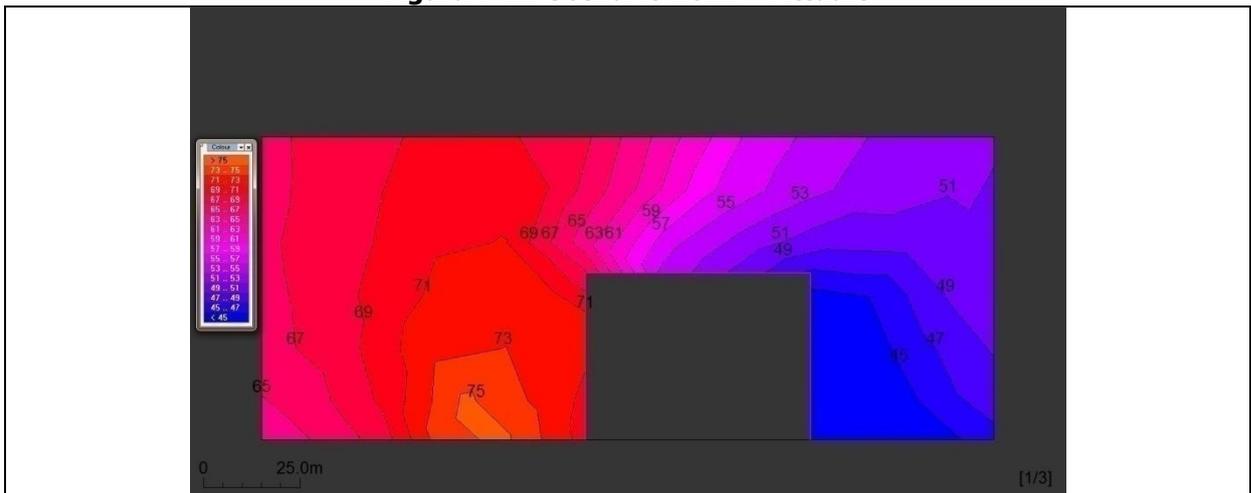


Figura 7-12 Scenario 2021 – Flusso veicolare cittadino

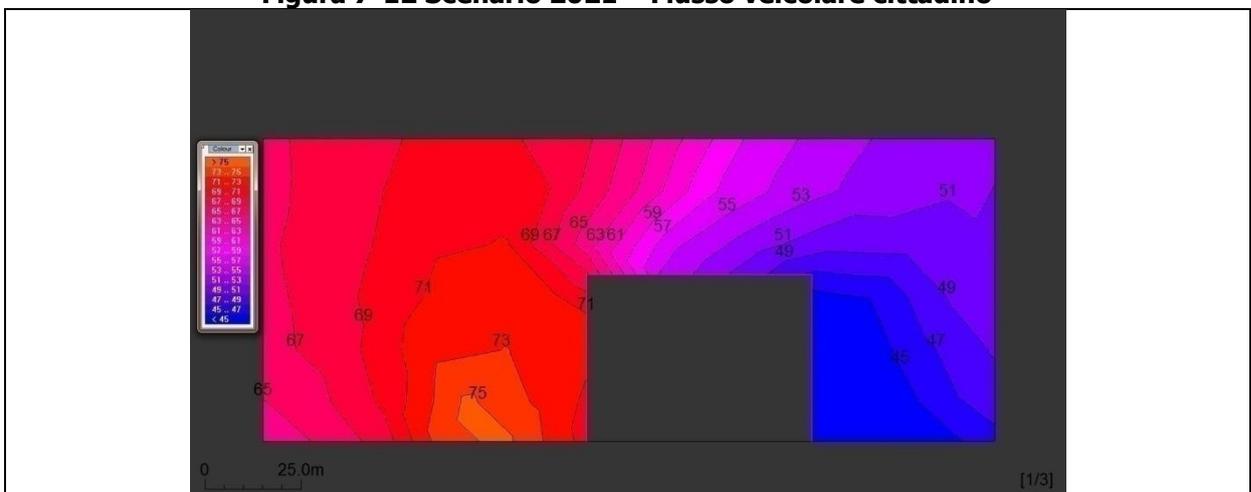


Figura 7-13 Scenario 2021 – Flusso veicolare cittadino + Indotto cantieristica



SEZ.2 - Via Riva Ponente

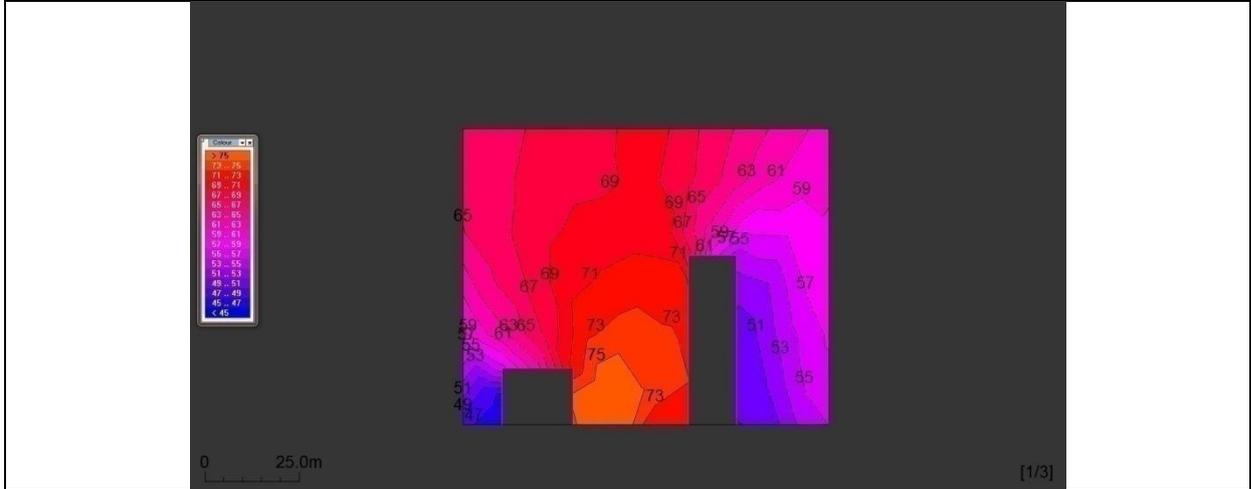


Figura 7-14 Scenario 2011 – Attuale

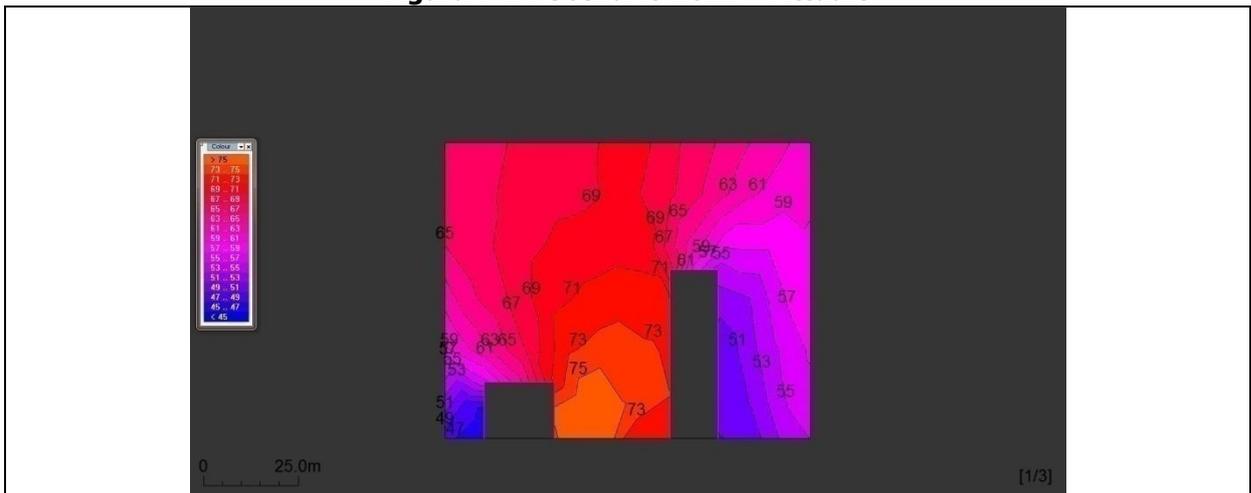


Figura 7-15 Scenario 2021 – Flusso veicolare cittadino

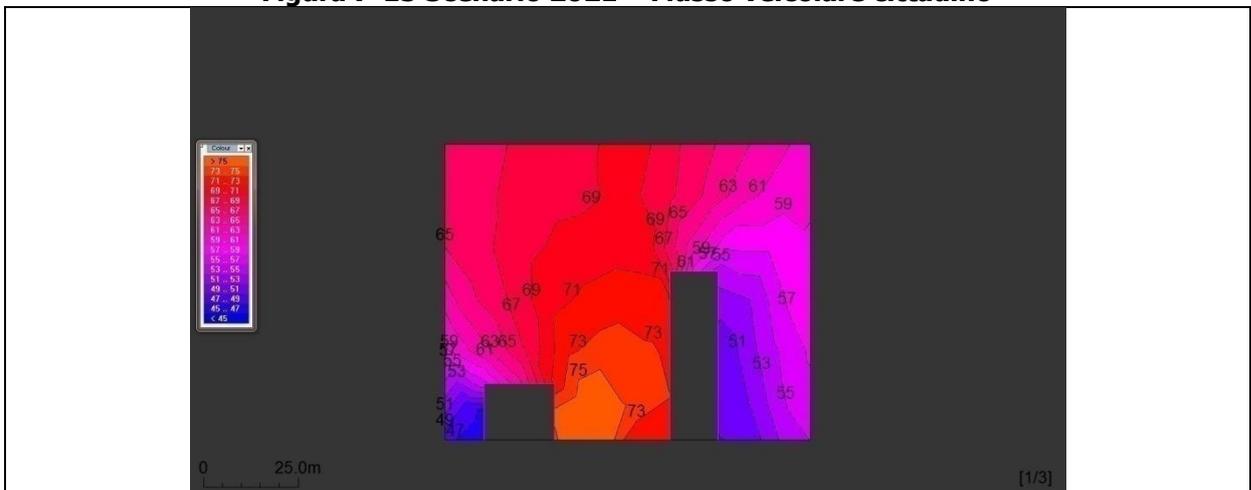


Figura 7-16 Scenario 2021 – Flusso veicolare cittadino + Indotto cantieristica



SEZ.3 - SS 195 racc.

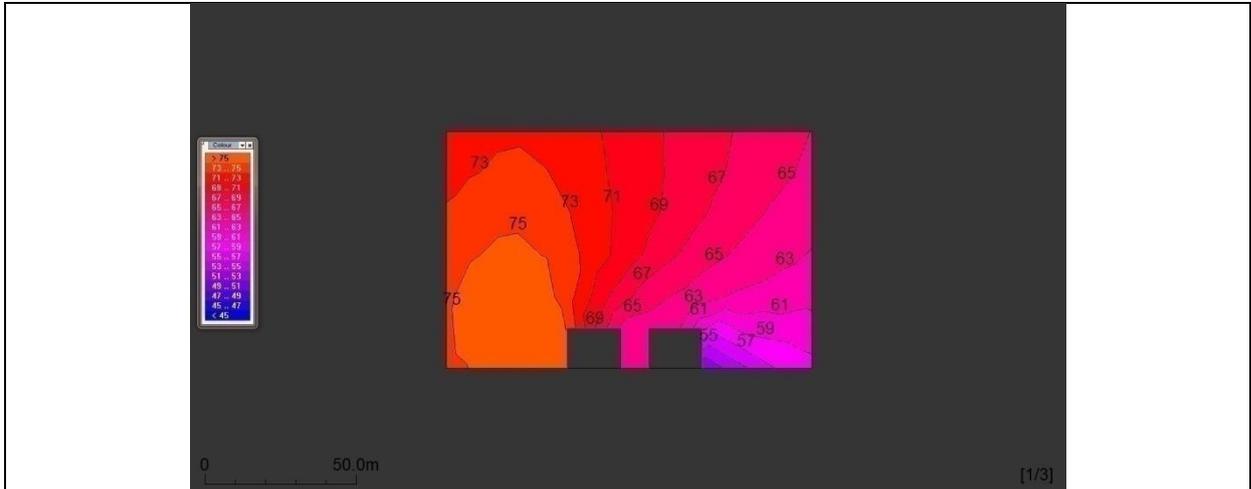


Figura 7-17 Scenario 2011 – Attuale

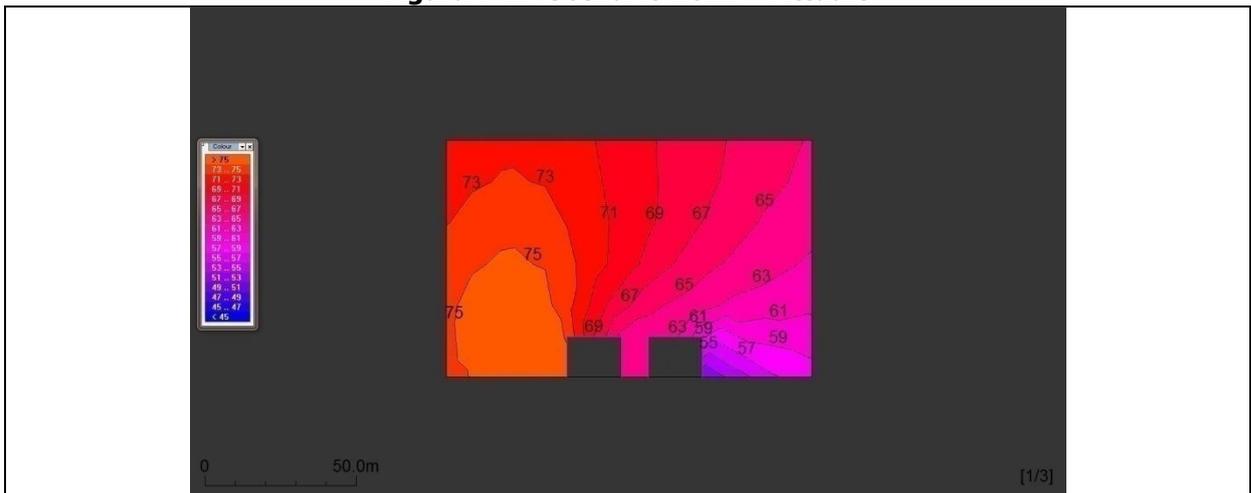


Figura 7-18 Scenario 2021 – Flusso veicolare cittadino

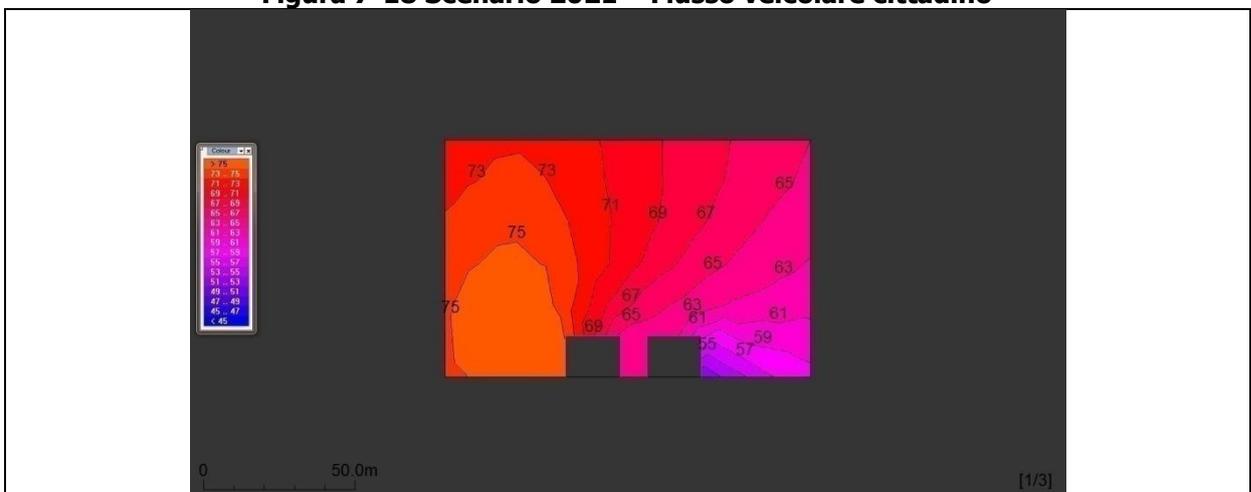


Figura 7-19 Scenario 2021 – Flusso veicolare cittadino + Indotto cantieristica



Le immagini sopra riportate mostrano come le curve isofoniche rivelino solo lievissime variazioni difficilmente percepibili, confermando con una lettura visivamente più immediata i risultati precedentemente descritti che testimoniano come l'esecuzione del progetto non aggraverà in alcun modo il clima acustico dell'area di studio.

7.5 Analisi delle interazioni opera-componente - Fase Corso d'Opera

L'alterazione del clima acustico dell'area durante la realizzazione delle opere è riconducibile alla modifica apportata al traffico veicolare attuale dalla viabilità indotta, per il trasporto di materiali da costruzione al cantiere e dei materiali di risulta verso le aree di stoccaggio. Ciò in quanto le aree di lavorazione propriamente dette per la realizzazione del *Distretto della Cantieristica*, sono situate tutte ad oltre 300-400 metri dai ricettori più vicini e interessano solo parte delle ore diurne (turno lavorativo di 8 ore).

Per valutare l'impatto acustico sul territorio provocato dall'aumento del traffico veicolare pesante correlato alle lavorazioni di cantiere, sono state eseguite delle simulazioni acustiche; tali stime modellistiche permettono di verificare l'eventuale incremento di rumore sui ricettori di zona e valutare eventualmente interventi di mitigazione provvisori, per il tempo di durata del cantiere o, nel caso si verificasse la necessità, valutare una viabilità alternativa.



Figura 7-20 Area di cantiere e viabilità direttamente interessata

Sulla base delle volumetrie di terre e calcestruzzi richiesti per la realizzazione delle opere di progetto, è stata effettuata una stima dei flussi veicolari indotti che



interessano la viabilità ordinaria. Di seguito si riportano i passaggi principali del calcolo.

Parametro	Quantità
Produttività giornaliera media di scavo / movimentazione terre con mezzi gommati	≈ 720 metri cubi al giorno
Produttività giornaliera media di dragaggio	≈ 1133 metri cubi al giorno
Tipo e numero mezzi d'opera	≈ 1 draga semovente auto caricante e refluyente + 4 macchine per la movimentazione terra
Percentuale di riutilizzo materiale dragato	≈ 100%
N° viaggi per movimentazione inerti	≈ 24 al giorno (andata) + 24 al giorno (ritorno)
Turno di lavoro	8 ore
Durata complessiva attività	24 mesi naturali e consecutivi

Appare evidente come il traffico indotto dal cantiere non sia di misura tale da apportare modifiche sensibili allo scenario di traffico veicolare presente sul territorio. I livelli di rumore dell'area di studio, infatti, non subiscono un percepibile innalzamento dei livelli acustici. Un traffico di soli 48 mezzi pesanti al giorno, come mostrato nella precedente tabella, e distribuito sulle ore di attività cantieristica, equivale a circa 6 viaggi di mezzi pesanti all'ora: tale quantità di movimentazioni si può ritenere del tutto trascurabile rispetto al clima acustico dell'area di studio, come si evince dai seguenti valori di output delle simulazioni, in quanto incide per un massimo di 0,1 decibel sul rumore indotto dal normale flusso veicolare transitante sugli assi viari interessati.

- Media flussi orari esistenti sugli assi viari interessati 2000 v/h
- Media percentuale mezzi pesanti presente 10 %
- Velocità media sostenuta dal flusso esistente 40 km/h
- Potenza acustica emessa **80,8 dB(A)**
- Media flussi orari di cantiere 6 v/h
- Media percentuale mezzi pesanti cantiere 100 %
- Velocità media sostenuta dal flusso di cantiere 40 km/h
- Potenza acustica emessa **62,8 dB(A)**
- Sommatoria dei livelli acustici emessi **80,9 dB(A)**



7.6 Conclusioni

Lo studio acustico per il nuovo *Distretto della Cantieristica* del Porto di Cagliari è stato condotto mediante una campagna di misure fonometriche per la caratterizzazione del clima acustico attuale e attraverso un modello di simulazione acustica per la rappresentazione del rumore nello scenario di progetto.

I risultati delle simulazioni acustiche effettuate, sono state messe a confronto con il limiti di riferimento normativo che, nello specifico del comune di Cagliari, sono dati dall'analisi della zonizzazione acustica del territorio.

Non sono stati riscontrati eventi di inquinamento acustico non conforme alle normative vigenti, sia durante le analisi della fase di esercizio sia durante le analisi della fase di cantiere.

Dalle simulazioni effettuate infatti, si riscontra come l'incremento del traffico veicolare indotto dalle opere di progetto non è tale da apportare modifiche allo scenario acustico esistente sul territorio.

Durante la fase di cantierizzazione, inoltre, non sono state riscontrate importanti attività di impatto acustico sugli edifici presenti intorno al sedime portuale, che saranno invece interessati da un leggero incremento del traffico veicolare di mezzi pesanti legati al trasporto dei materiali di cantiere. Tale incremento non è comunque tale da apportare alcuna modifica al clima acustico dell'area di studio.

Concludendo, si può quindi definire il progetto pienamente compatibile con le indicazioni normative vigenti in materia di inquinamento acustico, sia per quanto riguarda la fase di esercizio che per quanto concerne la fase di cantiere.



8 SALUTE PUBBLICA

8.1 Definizione di Salute Pubblica

La salute pubblica è un aspetto particolarmente importante all'interno di uno studio di impatto ambientale, in quanto riguarda parametri direttamente connessi alle condizioni di esposizione delle popolazioni presenti all'intorno dell'opera che si analizza.

Nel 1948 l'OMS ha definito la salute come *"uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non solamente l'assenza di malattia"*. Questa definizione amplia lo spettro di valutazioni che normalmente vengono effettuate per la caratterizzazione ed analisi della componente salute pubblica, in quanto nella valutazione del benessere delle popolazioni e/o singoli individui coinvolti vengono introdotti anche gli elementi psicologici e sociali.

Pertanto in un'ottica medico-sociale moderna, la salute è garantita dall'equilibrio tra fattori inerenti lo stato di qualità fisico-chimica dell'ambiente di vita e quelli riguardanti lo stato di fruizione degli ambienti di vita, condizioni favorevoli per lo svolgimento delle attività, degli spostamenti quotidiani e di qualsiasi azione del vivere quotidiano. Anche le condizioni di vita quali status sociale, formazione, occupazione, reddito, abitazione e ambiente incidono sulla salute.

Esiste sicuramente un legame tra salute, inquinamento e ambiente. Attualmente si dispone di una conoscenza approfondita del legame esistente fra la salute e le concentrazioni di sostanze patogene alle quali si è esposti. La relazione fra salute e livelli quotidiani di inquinamento risulta invece molto più complessa. Molte malattie sono causate da una combinazione di più fattori, di ordine economico, sociale e di stile di vita (alimentazione, fumo ecc.) e ciò rende difficile isolare gli elementi di carattere specificamente ambientale.

8.2 Metodologia dello studio

Obiettivo della caratterizzazione dello stato di qualità dell'ambiente, in relazione al benessere ed alla salute umana, come previsto dal DPCM contenente le norme tecniche per la redazione dei progetti e la formulazione del giudizio di compatibilità ambientale (DPCM 27 dicembre 1988 *"Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità"*) è quello di verificare la compatibilità degli effetti diretti ed indiretti del progetto con gli standard ed i criteri per la prevenzione dei rischi riguardanti la salute umana.

La descrizione degli effetti sulla salute pubblica dei principali inquinanti presenti nell'ambiente di vita e derivanti direttamente e/o indirettamente dall'esistenza e dalle attività della cantieristica da diporto (e di conseguenza delle infrastrutture viarie



connesse a tale attività) è partita dalla definizione dello stato di salute della popolazione presente all'interno del territorio interessato.

In al senso, in primo luogo, è stato definito l'ambito territoriale entro cui considerare gli effetti del progetto sulla popolazione residente.

Obiettivo generale dell'analisi è quello, infatti, di definire il rapporto tra lo stato di salute della popolazione presente all'interno del territorio, quale esito del confronto tra lo stato attuale e quello derivante dalle modificazioni apportate dal progetto.

Tale obiettivo è stato perseguito attraverso un percorso di lavoro che ha considerato, preliminarmente, i fattori di pressione legati all'esercizio dei cantieri da diporto e del sistema viario connesso, focalizzando l'attenzione sulla valutazione degli effetti sanitari ad opera di detti fattori.

La fase seguente è stata quella inerente la caratterizzazione della componente antropica, cui si riferisce la salute pubblica, attraverso la descrizione degli aspetti demografici della realtà territoriale, nonché dello stato attuale di salute della popolazione ottenuto con il supporto di studi epidemiologici e di dati statistici.

Lo screening dei fattori di pressione sulla salute umana dovuti a tali infrastrutture, ha permesso di individuare quei fattori maggiormente rilevanti sui quali risulta necessario un approfondimento circa gli effetti che possono provocare sull'uomo.

Costituendo gli inquinamenti atmosferici ed acustici, fenomeni di preminente importanza nell'ambito dell'analisi degli effetti dei nuovi interventi sulla salute umana, sono stati valutati, in una fase successiva di lavoro, i risultati degli studi condotti, all'interno del presente Quadro di Riferimento Ambientale, su tali componenti.

Si ritiene infatti che, in ragione della tipologia degli interventi in esame, tali aspetti siano quelli che in modo più rilevante incidono sui parametri di valutazione della qualità della salute pubblica.

A partire da considerazioni in merito all'evoluzione delle fonti inquinanti, sono state, pertanto, analizzate le condizioni future, allo scenario di progetto del 2021, dedotte dalle simulazioni di rumore ed atmosfera.

In sintesi, la metodologia adottata per l'analisi dell'ambiente potenzialmente coinvolto dagli interventi di progetto, in relazione al benessere ed alla salute umana, è stata articolata secondo le seguenti tematiche di studio:



Fasi di lavoro	Tematiche di studio
Individuazione dei fattori di pressione per la salute pubblica	- <i>Screening delle principali fonti di disturbo per la salute umana legate all'esercizio delle infrastrutture stradali e dei cantieri da diporto</i>
Caratterizzazione dello stato attuale	- <i>Caratterizzazione ante operam della struttura demografica delle comunità potenzialmente coinvolte</i> - <i>Caratterizzazione dello stato di salute delle popolazioni coinvolte</i>
Caratterizzazione delle condizioni di esposizione agli inquinamenti	- <i>Descrizione degli effetti degli inquinanti acustici ed atmosferici sulla salute pubblica</i>
Stima degli effetti degli interventi di progetto sulla salute della popolazione coinvolta	- <i>Individuazione delle condizioni di esposizione delle comunità coinvolte allo scenario di progetto</i>

Tabella 8-1 Tematiche di studio

8.3 Individuazione dei fattori di pressione e dei loro effetti sulla salute pubblica

8.3.1 Screening delle principali fonti di disturbo per la salute umana

Al fine di individuare le principali patologie che possono compromettere la salute dell'uomo, la prima operazione che, come detto, è stata compiuta è risieduta nella individuazione delle potenziali fonti di disturbo derivanti dalle attività portuali.

Nello specifico di una struttura legata alla cantieristica da diporto, le principali azioni che possono avere effetti sulla salute umana possono essere ricondotte in primo luogo alla produzione di emissioni atmosferiche ed acustiche determinate dal traffico e dallo stazionamento delle imbarcazioni nello specchio prospiciente ai cantieri, nonché da quelle generate dal traffico veicolare connesso a tali attività.

In tal senso, le principali patologie legate all'esercizio di tali infrastrutture possono essere:

- Cardiovascolari
- Respiratorie
- Polmonari
- Tumoriali
- Alterazione del sistema immunitario e delle funzioni psicologiche e psicomotorie.



Il confronto tra lo stato di salute attuale della popolazione presente all'interno dell'ambito di studio considerato, in relazione alle suddette patologie, e gli effetti del progetto sull'inquinamento atmosferico ed acustico, ha permesso di valutare le modifiche apportate dalla delocalizzazione della cantieristica da diporto nell'area di Porto Canale sulla qualità dell'ambiente in cui vive tale popolazione.

8.3.2 Inquinamento atmosferico e salute pubblica

L'inquinamento atmosferico è definito dalla normativa italiana come "ogni modificazione della normale composizione chimica o dello stato fisico dell'aria dovuta alla presenza di una o più sostanze, in quantità e con caratteristiche tali da alterare la salubrità e da costituire pericolo per la salute pubblica" (D.P.R. 203/88).

Gli effetti sulla salute determinati dall'inquinamento atmosferico sono tradizionalmente distinti in effetti a breve ed a lungo termine. Nel primo insieme rientrano soprattutto quelli sulla morbosità respiratoria, cardiovascolare e sulla mortalità, generale e per cause specifiche, legati a picchi di inquinamento, caratteristici soprattutto delle aree urbane. Nel secondo, quelli a lungo termine, sono considerati effetti respiratori cronici quelle condizioni patologiche a carico dell'apparato respiratorio derivanti da un'esposizione prolungata negli anni e nei decenni all'inquinamento atmosferico.

Le principali fonti di inquinamento atmosferico sono nel seguito descritte evidenziando gli effetti di ognuno di essi sulla salute pubblica.

Monossido di Carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas invisibile e inodore che si forma nei processi di combustione che avvengono in carenza di ossigeno.

L'inquinamento da CO, inquinante primario, è tipicamente un fenomeno urbano, essendo difatti la più importante sorgente costituita dai mezzi di trasporto (circa il 90%) e, fra questi, dalle auto a benzina che rappresentano la maggiore fonte di emissione.

Le emissioni di CO dai motori dipendono in particolare dallo stato di usura del motore e dalle condizioni di marcia. Quando si è in presenza di poco ossigeno e la combustione rimane incompleta, viene prodotto CO. Conseguenza di questa affermazione è che quando la velocità dell'autoveicolo diminuisce, con valori del motore al minimo, si raggiungono i valori più elevati di produzione (soste ai semafori, ingorghi e code).

Questo gas è molto dannoso per l'uomo in quanto ha la capacità di legarsi all'emoglobina, impedendo a questa di trasportare ossigeno. L'effetto tossico del CO sul nostro organismo ha come causa la riduzione della capacità del sangue di trasportare l'ossigeno dai polmoni alle cellule del corpo.



La reazione del CO con l'emoglobina porta alla formazione del composto COHb (carbossi-emoglobina), in luogo della formazione di O₂Hb (ossi-emoglobina). Gli effetti sull'uomo sono proporzionali alla percentuale di emoglobina legata sotto forma di COHb e, a sua volta, il tasso di COHb nel sangue è direttamente legato alla concentrazione di CO nell'aria. Il CO provoca dei disturbi anche a concentrazioni molto basse in quanto l'emoglobina si lega all'ossido di carbonio più facilmente che all'ossigeno.

L'intossicazione da CO si manifesta con nausea e malessere trasformandosi in cefalea, disorientamento, disturbi neurologici fino ad arrivare a torpore, coma e morte al crescere delle concentrazioni di CO.

In relazione agli effetti sanitari, i sintomi più leggeri, mal di testa e senso di nausea, si possono manifestare già intorno a 200 ppm. Per concentrazioni superiori si manifestano svenimenti intorno ai 600 ppm, e si ha pericolo di vita intorno ai 800 ppm. In ogni caso l'effetto sulla salute potrebbe essere analogo, sia che si verifichi esposizione ad alte concentrazioni di CO, sia a basse concentrazioni ma per lunghi periodi di tempo, in quanto da luogo a fenomeni di accumulo.

In relazione agli effetti sanitari, concentrazioni di CO superiori a 500 mg/mc possono portare rapidamente a morte; è il caso delle inalazioni accidentali per malfunzionamenti di impianti termici domestici.

Una più completa correlazione tra concentrazioni di CO ed effetti per determinate esposizioni è sintetizzata nella Tabella 8-2:

CO (ppm)	EFFETTI e LIMITI
90÷100 e oltre	Livello ematico di COHb pari al 20÷30% per esposizioni di 8 ore
80÷90	Mal di testa, nausea, affaticamento, sonnolenza, alterazione della funzione respiratoria per esposizione di 8 ore
70÷80	
60÷70	Mal di testa, brividi, mutamenti della funzione cardiaca-polmonare per livelli ematici di COHb compresi tra il 5% e il 10%.
50÷60	
40÷50	Effetti comportamentali e cardiovascolari per esposizioni di 8 ore
30÷40	Livello ematico di COHb pari al 4%: effetti sul sistema nervoso centrale, le, menomazioni sull'acutezza visiva, lucidità, funzioni psicomotorie
20÷30	
10÷20	Effetti in pazienti cardiopatici, calo di prestazioni atletiche
0÷10	Valore guida OMS (9 ppm) per esposizioni di 8 ore

Tabella 8-2 Concentrazioni di CO₂ e corrispondenti effetti sulla salute umana

Ossidi di Azoto (NO_x)

In atmosfera sono presenti diverse specie di ossidi di azoto, tuttavia per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO₂).



L'NO è un gas incolore, insapore ed inodore prodotto soprattutto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura assieme al biossido di azoto (che costituisce meno del 5% degli NOx totali emessi). Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e più rapidamente dall'ozono, producendo biossido di azoto. La tossicità del monossido di azoto è limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole.

Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; è un ossidante molto reattivo e quindi altamente corrosivo. Esiste nelle due forme N_2O_4 (forma dimera) e NO_2 che si forma per dissociazione delle molecole dimere. Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto al biossido di azoto. Rappresenta un inquinante secondario dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto.

Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, gli alchilnitrati, i perossiacetilnitrati ed altri.

La principale fonte di ossidi di azoto è l'azione batterica. L'emissione di origine antropica ha però la caratteristica di essere presente ad alte concentrazioni in aree urbane ad elevato traffico, soprattutto a causa dei motori diesel. Il tempo di permanenza medio degli ossidi di azoto nell'atmosfera è molto breve: circa tre giorni per l' NO_2 e circa quattro per l'NO.

Il monossido di azoto (NO) è da ritenersi a tossicità estremamente bassa mentre il Biossido di Azoto (NO_2) presenta problemi di maggior rilevanza essendo 4÷5 volte più tossico del primo.

L' NO_2 è un irritante polmonare, disturba la ventilazione, inibisce la funzione polmonare, incrementa la resistenza delle vie aeree, indebolisce la difesa contro i batteri, danneggia il sistema macrofagico, diminuisce l'attività fagocitaria, provoca edema polmonare, inattiva il sistema enzimatico cellulare, denatura le proteine e provoca le perossidazioni dei lipidi.

Gli ossidi di azoto possono inoltre essere adsorbiti sulla frazione inalabile del particolato. Queste particelle hanno la possibilità di raggiungere attraverso la trachea e i bronchi gli alveoli polmonari (dove avvengono gli scambi di ossigeno e biossido di carbonio tra apparato respiratorio e sangue) provocando gravi forme di irritazione e, soprattutto nelle persone deboli, notevoli difficoltà di respirazione anche per lunghi periodi di tempo.

L' NO_2 , attraverso il processo respiratorio alveolare, si combina con l'emoglobina esercitando un'azione di ossidazione sul ferro dell'anello prostetico. Questa reazione comporta una modificazione delle proprietà chimiche e fisiologiche dell'emoglobina dando luogo a formazione di metaemoglobina. Questa ultima molecola non è più in



grado di trasportare ossigeno (ruolo che è proprio dell'emoglobina): già a valori intorno al 3÷4 % di metaemoglobina si manifestano disturbi a carico della respirazione.

L'NO₂ a contatto con i liquidi gastrici comporta necessariamente la formazione di acido nitroso che è il precursore della formazione delle nitrosammine, ben note per l'azione cancerogena a loro associata.

Una più completa correlazione tra concentrazioni di NO₂ ed effetti per determinate esposizioni è sintetizzata in Tabella 8-3:

NO ₂ (ppb)	EFFETTI e LIMITI
900÷1000 e oltre	Aumento del gradiente di pressione alveolo-arteriosa di O ₂ a 4000 ppb
800÷900	Aumento della resistenza respiratoria per esposizioni superiori a 20' a 700÷2000 ppb
700÷800	
600÷700	Bruciore agli occhi, mal di testa, dispnea, modificazioni della funzione polmonare, aumento della resistenza bronchiale per esposizioni pari o superiori a 120' a 500 ppb
500÷600	
400÷500	
300÷400	Aumenta la resistenza respiratoria nei soggetti asmatici per concentrazioni di 100÷200 ppb. Concentrazioni medie orarie raccomandate dal WHO: 101÷170 ppb
200÷300	
100÷200	
0÷100	Limite di legge concentrazione orario 106 ppb (DM 02/04/02)

Tabella 8-3 Concentrazioni di NO₂ e corrispondenti effetti sulla salute umana

Benzene

Il benzene è un idrocarburo aromatico strutturato ad anello esagonale ed è costituito da 6 atomi di carbonio e 6 atomi di idrogeno (formula C₆H₆).

A temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore che evapora all'aria molto velocemente. E' caratterizzato da un odore pungente e dolciastro che la maggior parte delle persone può già percepire alla concentrazione di 1,5-4,7 ppm (nell'acqua, dove si dissolve piuttosto lentamente, il sapore inizia a sentirsi a 0,5-4,5 ppm).

L'attenzione all'inquinamento urbano da benzene è recente ed è conseguente alla maggiore aromatizzazione delle benzine che ha fatto seguito all'abolizione del piombo tetraetile come antidetonante. I livelli di fondo di benzene nell'aria sono inferiori al µg/mc, ma in contesti antropizzati ed urbanizzati, ove circa l'80% ha come fonte di emissione il traffico veicolare, le concentrazioni "medie" outdoor variano da meno di 10 a qualche decina di µg/mc.

Il Benzene è una sostanza bioaccumulabile nei tessuti contenenti lipidi e nel midollo osseo. Presenta tossicità per le cellule del sistema emolinfopoietico e per il sistema nervoso. L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato il



benzene come sostanza cancerogena per l'uomo (classe I) in grado di produrre varie forme di leucemia.

La Cancerogenicità è confermata in studi sperimentali su animali ed è documentata in studi epidemiologici sull'uomo. La mortalità in Italia nel periodo 1981 – 1992 (addetti distributori di carburante) sembra mostrare un eccesso per tumori del sistema emopoietico (leucemie), tumori esofagei, tumori del sistema nervoso e linfomi. I bambini sono più suscettibili rispetto al "lavoratore sano" in quanto hanno maggiori volumi respiratori per unità di peso e presentano una immaturità e una maggiore attività del sistema emopoietico. Sul rapporto tra leucemia infantile ed inquinamento da traffico alcuni studi sembrano evidenziare un incremento del rischio. Le concentrazioni di benzene nelle aree urbane assumono rilevanza per il rischio cancerogeno associato a questa sostanza; effetti tossici acuti e cronici si registrano infatti solo a livelli da centinaia a migliaia di volte superiori.

In Tabella 8-4 sono riportati gli effetti sull'uomo connessi ad esposizione acuta al benzene sia per via orale che inalatoria.

Esposizione	Dose o concentrazione	Effetti, segni o sintomi
<i>Orale</i>	9-30 g	Barcollamento, vomito, sonnolenza, delirio, morte, pulsazioni rapide, perdita di coscienza.
<i>Inalazione</i>	5 mg/m ³	Soglia olfattiva
	80 mg/m ³ (8 ore)	Nessun effetto. Rilevabile nel sangue
	160-480 mg/m ³ (6 ore)	Mal di testa, fiacchezza, stanchezza
	1600 mg/m ³ (1 ora)	Mal di testa
	4800 mg/m ³ (1 ora)	Sintomi di malattia
	9600 mg/m ³ (30 min)	Può essere tollerata
	24000 mg/m ³ (1 ora)	Segni di tossicità in 30-60 minuti
	61000-64000 mg/m ³ (5-10 min)	Può essere fatale

Tabella 8-4 Effetti sull'uomo all'esposizione al benzene

Benzo(a)Pirene (BaP) e gli idrocarburi policiclici aromatici

Il benzo(a)pirene fa parte della famiglia degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Rappresentano un insieme di composti organici con due o più anelli aromatici condensati; sono caratterizzati da un basso grado di solubilità in acqua, elevata persistenza e capacità di aderire al materiale organico, buona solubilità nei lipidi e in molti solventi organici, bassa volatilità (ad eccezione dei composti più leggeri). Essi derivano dai processi di combustione incompleta e sono presenti in aria sotto forma gassosa o adsorbita al particolato fine che funziona da veicolo di trasporto.



La principale fonte di produzione, circa il 90% del totale, è costituita dalle attività antropiche legate alla produzione di energia: traffico veicolare, impianti termoelettrici, riscaldamento domestico ed industriale.

Comunque nelle aree metropolitane la principale fonte di IPA è rappresentata dal traffico veicolare. Inoltre gli IPA sono sottoposti all'azione nitrante del biossido di azoto, formando composti, quali i nitroareni ed i nitroarillattoni, che possono includersi fra i componenti dello smog fotochimico, sebbene la loro formazione avvenga anche di notte per effetto dei radicali NO₃.

Il benzo(a)pirene e gli IPA hanno rilevanza tossicologica, a causa della loro accertata mutagenicità e cancerogenicità, anche se rispetto al benzene il benzo(a)pirene è stato classificato dalla IARC nel gruppo 2A, in quanto, pur essendoci una sufficiente evidenza derivante dagli studi sperimentali su animali, c'è invece una limitata o inadeguata evidenza delle ricerche epidemiologiche sull'uomo. Azione mutagena ancora più energica è stata mostrata dai nitroderivati degli IPA, in particolare i nitroareni ed i nitroarillattoni che sono trasportati dal particolato fine aerodisperso.

L'effetto cancerogeno di alcuni IPA è stato inequivocabilmente dimostrato in laboratorio e colpisce in special modo l'apparato respiratorio e quello digerente.

Questi composti, estranei all'organismo umano (xenobiotici), vengono metabolizzati a composti solubili nei liquidi biologici e quindi escreti all'esterno. Prima della conversione in composti solubili e privi di azione tossica per l'organismo vivente, le molecole degli IPA subiscono una conversione metabolica intermedia a epossidi e idrossidi, condizioni queste di elevata reattività con molecole nucleari delle cellule che si traducono in lesioni citogenetiche.

L'assorbimento, distribuzione ed escrezione, i fenomeni di degradazione e la reattività dei metaboliti intermedi sono stati ampiamente studiati su animali da laboratorio e su sistemi in vitro.

Per molti PAH (fluorantene, benzofluorantene, benzopirene, benzoperilene, indenopirene, dibenzoantracene) è stata inequivocabilmente dimostrata la potenziale attività cancerogena ed il possibile ritrovamento nell'ambiente e negli alimenti.

Limitando la considerazione al benzopirene, è stata verificata una attività fortemente cancerogena ed una diffusione molto ampia che copre aria, acqua, fumo di tabacco, alimenti e fumi di vulcanizzazione.

Studi epidemiologici riguardanti l'esposizione professionale di lavoratori (minatori, addetti industria gas e carbone e dell'industria dell'alluminio) hanno riscontrato un aumento dei cancri al polmone per esposizioni prolungate a concentrazioni medie di PAH di 30 µg/m³.



Attualmente in Italia il DM Ambiente del 25/11/94 stabilisce per la concentrazione in aria del benzo(a)pirene, quale indicatore di rischio cancerogeno per la classe degli IPA, lo standard di riferimento di 1 ng/mc come valore obiettivo (media annuale).

Il Particolato - Polveri Inalabili (PM10) e Polveri Respirabili (PM2,5)

Le polveri o particolato (Particulate Matter) consistono in particelle solide e liquide di diametro variabile fra 100 μm e 0.1 μm . Le particelle più grandi di 10 μm sono in genere polveri volatili derivanti da processi industriali ed erosivi. Questo insieme di piccole particelle solide e di goccioline liquide volatili presenti nell'aria costituisce un serio problema di inquinamento atmosferico. In condizione di calma di vento, esiste una relazione tra dimensione e velocità di sedimentazione, per cui il periodo di tempo in cui le particelle rimangono in sospensione può variare da pochi secondi a molti mesi.

I particolati presenti in atmosfera provengono in buona parte anche da processi naturali, quali le eruzioni vulcaniche e l'azione del vento sulla polvere e sul terreno.

L'inquinamento da particolati proveniente da attività antropiche origina dalla industria delle costruzioni (particelle di polvere), dalle fonderie (ceneri volatili) e dai processi di combustione incompleta (fumi). Il traffico urbano contribuisce all'inquinamento dell'aria da particolati, oltre che con le emissioni, anche attraverso la lenta polverizzazione della gomma dei pneumatici. Il diametro delle particelle in sospensione è indicativamente così correlato alla fonte di provenienza:

- diametro maggiore di 10 μm : processi meccanici (ad esempio erosione del vento, macinazione e diffusione), polverizzazione di materiali da parte di veicoli e pedoni;
- diametro compreso tra 1 μm e 10 μm : provenienza da particolari tipi di terreno, da polveri e prodotti di combustione di determinate industrie e da sali marini in determinate località;
- diametro compreso tra 0.1 μm e 1 μm : combustione ed aerosol fotochimici;
- diametro inferiore a 0.1 μm : processi di combustione.

Nell'aria urbana, più dell'80% del PM₁₀ è formato da agglomerati di composti organici, prodotti per condensazione o sublimazione dei composti gassosi più pesanti emessi dai processi di combustione. Circa il 50% di questa frazione organica si produce nello smog fotochimico nella complessa reazione fra composti organici ed ossidi di azoto.

Nelle aree urbane il PM10 riveste un ruolo importante sia dal lato sanitario che da quello climatologico locale. A causa della loro elevata superficie attiva e dei metalli (piombo, nichel, cadmio ect.) in esse dispersi, le particelle agiscono da forti catalizzatori delle reazioni di conversione degli ossidi di zolfo e di azoto ad acido



solforico ed acido nitrico. Pertanto la loro azione irritante viene potenziata dalla veicolazione di acidi forti, la cui concentrazione nella singola particella può essere molto elevata. Esse costituiscono anche il mezzo attraverso cui avviene la deposizione secca degli acidi su edifici ed opere d'arte.

Il sistema maggiormente attaccato dal particolato è l'apparato respiratorio e il fattore di maggior rilievo per lo studio degli effetti è probabilmente la dimensione delle particelle, in quanto da essa dipende l'estensione della penetrazione nelle vie respiratorie. Prima di raggiungere i polmoni, i particolati devono oltrepassare delle barriere naturali, predisposte dall'apparato respiratorio stesso.

Alcuni particolati sono efficacemente bloccati; si può ritenere che le particelle con diametro superiore a $5\mu\text{m}$ si fermano e stazionano nel naso e nella gola. Le particelle di dimensioni tra $0.5\mu\text{m}$ e $5\mu\text{m}$ possono depositarsi nei bronchioli e per azione della ciglia vengono rimosse nello spazio di due ore circa e convogliate verso la gola.

Il pericolo è rappresentato dalle particelle che raggiungono gli alveoli polmonari, dai quali vengono eliminate in modo meno rapido e completo, dando luogo ad un possibile assorbimento nel sangue. Il materiale infine che permane nei polmoni può avere un'intrinseca tossicità, a causa delle caratteristiche fisiche o chimiche.

Sulla base dei risultati di diversi studi epidemiologici, si ipotizza che ad ogni $10\ \mu\text{g}/\text{mc}$ di concentrazione in aria di PM_{10} è associato un incremento stimato nel tasso relativo di mortalità per ogni causa, risultato pari a 0,51%. L'incremento stimato nel tasso relativo di mortalità per cause cardiovascolari e respiratorie è risultato pari a 0,68% (The New England Journal of Medicine).

Attualmente in Italia il DM Ambiente del 25/11/94 stabilisce per la concentrazione in aria del PM_{10} , lo standard di riferimento di $40\ \mu\text{g}/\text{mc}$ come valore obiettivo (media annuale). Per le polveri $\text{PM}_{2,5}$, definite respirabili in quanto capaci di penetrare fino agli alveoli polmonari, in assenza di normativa statale lo standard di riferimento è quello fissato dall'EPA, pari a $15\ \mu\text{g}/\text{mc}$.

La Tabella 8-5 riassume le conseguenze sulla salute determinate dall'inquinamento atmosferico, a breve e a lungo termine, stimati per un aumento di $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} ; questi dati sono basati sulla letteratura epidemiologica attualmente disponibile.



Effetti sulla salute	Incremento % della frequenza degli effetti sulla salute per un aumento di 10 mg/m³ di PM₁₀
<i>Effetti a breve termine (acuti)</i>	
Uso di bronco dilatatori	3
Tosse	3
Sintomi delle basse vie respiratorie	3
Diminuzione della funzione polmonare negli adulti rispetto alla media (picco espiratorio)	-13
Aumento dei ricoveri ospedalieri per malattie respiratorie	0,8
Aumento della mortalità giornaliera totale (escluse morti accidentali)	0,7
<i>Effetti a lungo termine (cronici)</i>	
Aumento complessivo della mortalità (escluse morti accidentali)	10
Bronchiti	29
Diminuzione della funzione polmonare nei bambini rispetto alla media (picco espiratorio)	- 1,2
Diminuzione della funzione polmonare negli adulti rispetto alla media (picco espiratorio)	-1

Tabella 8-5 Effetti a breve e lungo termine sulla salute umana dell'inquinamento atmosferico

8.3.3 Inquinamento acustico e Salute Pubblica

La natura fisica del rumore fa in modo che sia destinato a propagarsi ed ad interessare gli ambienti situati anche ben oltre il sito ove la sorgente è collocata. L'intrusione indiscriminata nell'ambiente circostante, sia esso esterno esteso o abitativo confinato, è la caratteristica peculiare della emissione rumorosa.

L'immissione di rumore in un ricettore interferisce con il normale svilupparsi della vita del ricettore, determinando una condizione di disagio che si riflette sulla salute dei soggetti esposti con ripercussioni sulle varie sfere emotivamente sollecitabili.

L'origine della rumorosità veicolare è una combinazione di diverse componenti: *motore*, sede di compressioni, scoppi e decompressioni, *resistenza dell'aria*, si rileva in genere solo a velocità superiore a 200 Km/h, *rotolamento dei pneumatici*, *vibrazioni sulla carrozzeria*, a seguito dell'intrappolamento e successivo rilascio di aria dalle cavità, *motorizzazioni accessorie* (impianto di condizionamento, ventola del radiatore, ecc.), nonché *l'azionamento dei freni*, che si manifesta attraverso lo



sfregamento fra ferodo e disco ed infine il *trascinamento del pneumatico* sull'asfalto se la pressione fra ferodo e disco è molto elevata.

Il rumore prodotto dal motore degli autoveicoli risulta, alle basse velocità, superiore a quello prodotto dal rotolamento dei pneumatici sull'asfalto. Mano a mano che la velocità cresce la rumorosità di rotolamento si fa più intensa fino a prevalere su quella prodotta dal motore. Diversamente, per quanto riguarda i mezzi pesanti, la componente motore predomina sempre sulla componente pneumatici.

L'organismo umano non è predisposto per potersi difendere dal rumore in quanto l'udito è sempre all'erta anche durante il sonno innescando immediatamente la reazione involontaria del sistema neuro-vegetativo di vigilanza.

L'inquinamento da rumore comporta nell'individuo reazioni di allarme che tendono ad ingigantirsi e ad influenzare tutto il sistema di vita, provocando lo sconvolgimento di attività organiche e ghiandolari.

Le conseguenze sull'uomo sono diverse e di differente entità in funzione della reattività specifica di ognuno: pregiudizio per sistema nervoso, apparato cardiovascolare oltre a quello digerente e respiratorio.

Stress reiterato a causa della continua immissione intrusiva di segnali acustici porta a reazioni che possono trasformarsi in patologiche. Infatti, studi condotti dalla ricerca medica hanno classificato il rumore uno degli stress più insinuanti che innescano reazioni che coinvolgono tutto l'organismo.

Il rumore, interferisce con l'equilibrio psico-fisico dei soggetti esposti ed è una minaccia alla salute ed al confortevole svolgimento della vita quotidiana.

Le conseguenze per gli abitanti delle zone adiacenti a grandi arterie di traffico possono essere in termini sia qualitativi che quantitativi.

Gli effetti del rumore sull'organismo umano sono molteplici e complessi: possono avere carattere temporaneo o permanente, e possono riguardare specificatamente l'apparato uditivo, oppure interagire negativamente con altri fattori generando situazioni patologiche a carico del sistema nervoso o endocrino.

In fisiologia acustica gli effetti del rumore vengono classificati in tre categorie, denominate danno, disturbo e fastidio ("annoyance").

Gli *effetti di danno* si riferiscono ad alterazioni irreversibili (o parzialmente irreversibili) dovute al rumore che siano oggettivamente dal punto di vista clinico (ad esempio, l'innalzamento della soglia dell'udibile oppure la riduzione della capacità di comprensione del parlato).

L'azione patogena del rumore aumenta con il crescere dell'intensità sonora; non è tuttavia possibile stabilire un rapporto lineare relativo all'andamento dei due



fenomeni, sia per la mancanza di una correlazione diretta tra incremento della potenza acustica recepita ed intensità della sensazione acustica provata, sia per il diversificarsi del danno in relazione alla entità dei livelli sonori impattanti. Si preferisce, pertanto, definire una serie di bande di intensità, i cui limiti siano stati delimitati sperimentalmente ed in corrispondenza delle quali tende a verificarsi un "danno tipo".

Per avere un'idea del tipo di fastidio arrecato all'uomo da un certo livello di pressione sonora si fa menzione della scala della lesività di Cosa e Nicoli:

Gamma di rumore	Livello di pressione sonora in dBA	Caratteristiche della fascia di livelli di pressione sonora
α	0 – 35	Rumore che non arreca fastidio né danno
β	36 – 65	Rumore fastidioso e molesto che può disturbare il sonno ed il riposo
γ	66 – 85	Rumore che disturba ed affatica, capace di provocare danno psichico e neurovegetativo ed in alcuni casi danno uditivo
δ	86 – 115	Rumore che produce danno psichico e neurovegetativo che determina effetti specifici a livello auricolare e che può indurre malattia psicosomatica
ϵ	116 – 130	Rumore pericoloso: prevalgono effetti specifici su quelli psichici e neurovegetativi
ζ	131 – 150 e oltre	Rumore molto pericoloso: difficile da sopportare senza adeguata protezione; insorgenza immediata o comunque molto rapida del danno

Tabella 8-6 Caratteristiche della fascia di livelli di pressione sonora

Gli *effetti di disturbo* riguardano, invece, le alterazioni temporanee delle condizioni psico-fisiche del soggetto che determinano conseguenze fisio-patologiche ben definite su:

- **Apparato cardiovascolare (cuore e vasi sanguigni):** con rumori intermittenti si osserva un'accelerazione della frequenza cardiaca, con conseguente minor gittata e minor nutrimento del cuore per riduzione del flusso nelle arterie coronarie. Tutti i ricercatori sono concordi nel ritenere che un rumore di intensità superiore a 70 dB (Lehman) determini una brusca contrazione dei vasi sanguigni con centralizzazione della circolazione e conseguente minor irrorazione sanguigna, maggior aggregazione dei globuli rossi e tendenza alla trombosi: questa reazione è tanto più accentuata quanto più intenso è il



rumore. Cessato il rumore, lo spasmo vascolare scompare tanto più lentamente quanto più lunga è stata l'esposizione. Sia per i motivi precedentemente esposti, sia per la capacità di agire come stress e provocare la liberazione di una grande quantità di adrenalina, si può ritenere certa la capacità del rumore di provocare aterosclerosi (la malattia la cui lesione specifica è l'arteriosclerosi).

- Sistema nervoso centrale (cervello): già nei primi anni del Novecento furono messi in rilievo gli effetti del rumore improvviso sulla circolazione cerebrale. In seguito sono state stabilite precise correlazioni tra andamento dell'encefalogramma e intensità, qualità e durata della esposizione al rumore.
- Apparato digerente: studi meno recenti (Smith e Laird, 1930) parlano di azione inibitrice sulle secrezioni ghiandolari del tratto gastro-intestinale. Ciò sembrerebbe in accordo con il meccanismo di attivazione simpatica indotto dal rumore; indagini più recenti segnalano invece la secrezione gastrica di acido cloridrico. C'è comunque notevole accordo sul possibile effetto lesivo del rumore sull'apparato gastro-intestinale, che precocemente si traduce in inappetenza e disturbi digestivi e, alla lunga, in gastriti e talora ulcera. A ciò si devono aggiungere fenomeni spastici della cistifellea.
- Ghiandole endocrine: inizialmente aumenta l'attività di certe ghiandole endocrine per rispondere allo stress, ma successivamente tale eccessiva attività porta ad esaurimento funzionale, con minore capacità di resistenza ed adattamento agli eventi della vita. Tra le molte altre dannose conseguenze di queste alterazioni endocrine va ricordata la riduzione di alcune categorie di globuli bianchi, con conseguente diminuzione delle difese nei confronti di batteri e virus.
- Senso dell'equilibrio: per livelli di rumore oltre i 110 dB si può avere una sensazione accentuata di vertigine e nausea, che produce insicurezza nel movimento e una minore capacità di autocontrollo.
- Vista: le conseguenze dirette sulla vista sono riconducibili a una diminuzione dell'acutezza visiva per difficoltà di accomodazione e dilatazione della pupilla, a una riduzione della percezione del rilievo e del riconoscimento dei colori, a un'alterazione della visione notturna. Per elevate intensità di rumore si può verificare un restringimento del campo visivo.
- Apparato respiratorio: il rumore aumenta la frequenza respiratoria, mentre diminuisce il volume corrente (volume di aria che viene scambiato ad ogni singolo atto respiratorio). Il consumo di ossigeno presenta una diminuzione costante, anche se non grande; alla lunga c'è la possibilità che anche questo fatto incida negativamente.
- Apparato muscolare: aumento del tono muscolare proporzionalmente all'intensità del rumore.



- Sistema sessuale.
- Psiche: il rumore produce sull'uomo effetti sul carattere, sul comportamento e sulla personalità.
- L'esposizione prolungata a rumori intensi provoca alterazioni dell'affettività che si traducono in fatti depressivi o aggressivi. Data la relativa difficoltà ad accertare e quantizzare con esattezza gli effetti psichici del rumore, i ricercatori ricorrono frequentemente alla fisiologia e alla psicologia sensoriale. Si è così giunti a dimostrare le seguenti alterazioni della funzionalità psicomotoria: ritardo nei tempi di reazione in relazione con l'aumento di intensità del rumore, aumento degli errori, diminuzione dell'attenzione e della precisione. Il rumore interferisce negativamente sul meccanismo dell'apprendimento determinando un susseguirsi di reazioni di allarme: i processi di memorizzazione, confronto e sintesi sono così disturbati con conseguente rallentamento nell'apprendimento. Tra gli effetti psicologici provocati dal rumore ha notevole importanza la cosiddetta fastidiosità, dovuta in gran parte alla durata dello stimolo sonoro, oltre che alla sua intensità, alla sua frequenza e al timbro. Per quanto riguarda l'ansietà Davis e coll. (1957) hanno dimostrato che i soggetti esposti a rumori molto intensi sono i più ansiosi.
- Sonno: A parità di intensità il rumore notturno è molto più dannoso di quello diurno per tre motivi:
 - i soggetti esposti presentano in genere segni di affaticamento e una più elevata reattività psichica, poiché persistono gli effetti degli stress accumulati durante le ore precedenti
 - tale rumore è spesso inaspettato e dunque psichicamente meno accettabile e caratterizzato da una componente ansiogena molto superiore
 - è meno tollerato per la maggior differenza che in genere si verifica tra rumore di fondo e picchi durante la notte.

Gli *effetti di annoyance*, termine inglese di non facile traduzione, indicano un sentimento di scontentezza riferito al rumore che l'individuo sa o crede possa agire su di lui in modo negativo; questo fastidio è la risposta soggettiva agli effetti combinati dello stimolo disturbante e di altri fattori di natura psicologica, sociologica ed economica.

In generale gli effetti, diversi da soggetto a soggetto, possono essere distinti in due categorie: uditivi ed extrauditivi. Gli uditivi, causa di spostamento temporaneo di soglia (STS), si verificano quando l'esposizione al rumore avviene per tempi molto lunghi (es: operai che lavorano per giorni con il martello), mentre gli effetti extrauditivi influenzano invece la sfera psicosomatica dell'uomo, creando uno



spostamento permanente di soglia (SPS) che genera ansia, stress, palpitazioni, scarsa capacità di concentrazione, confusione mentale.

I principali effetti uditivi ed extrauditivi dell'esposizione al rumore sono i seguenti (fonte: Agenzia Europea per l'Ambiente):

- fastidio;
- interferenza con la comunicazione vocale;
- disturbi del sonno (risvegli e incapacità di riaddormentarsi);
- effetti sulla produttività e sulla performance;
- effetti sul comportamento sociale e residenziale (letture, apertura finestre);
- effetti psicopatologici (complesso da stress, ipertensione, malattie ischemiche cardiache, aggressività);
- effetti sulla salute mentale (ricoveri ospedalieri);
- relazione dose - effetto per effetti combinati (ad es. fastidio + disturbi del sonno + ipertensione);
- effetti su gruppi più vulnerabili (bambini, persone con disturbi uditivi);
- disfunzioni uditive indotte da rumore (tinnito, innalzamento soglia uditiva, sordità, fischi) (prevalentemente per esposizioni professionali).

Il rumore può provocare vari effetti dipendenti dal tipo (pressione, frequenza), dalla durata e dal periodo di esposizione ma anche dalla particolare suscettibilità della popolazione esposta. La risposta di ciascun individuo è poi, specie ai livelli di inquinamento urbano, grandemente influenzata da fattori legati sia a determinate caratteristiche del soggetto che sente il rumore e sia a fattori circostanziali cioè dipendenti dalle occasioni di esposizione, e spiega perché le persone possono avere diverse reazioni allo stesso rumore.

La sensibilità al rumore ha comunque una spiccata variabilità individuale: mentre alcuni individui sono in grado di tollerare alti livelli di rumore per lunghi periodi, altri nello stesso ambiente vanno rapidamente incontro ad una diminuzione della sensibilità uditiva (ipoacusia).

In particolare i bambini appaiono una categoria a maggior rischio, soprattutto nella fase dell'acquisizione del linguaggio, insieme ai ciechi, agli affetti da patologie acustiche e ai pazienti ricoverati negli ospedali.



8.4 Caratterizzazione della componente salute pubblica nell'ambito territoriale di riferimento

8.4.1 La struttura della popolazione

Il comune di Cagliari (e quindi l'area interessata dal progetto analizzato) è gestito dall'Azienda Unità Sanitaria Locale n. 8. Tale azienda è stata costituita nel 1996, a seguito dell'entrata in vigore della L.R. n. 5/95, dalla fusione delle ex USL n. 20, n. 21, n. 22 e parte della USL n. 18.

L'Azienda, in attuazione della delibera regionale n. 51/10 del 4.11.2005 che ha ridefinito i territori di competenza delle Aziende Sanitarie Regionali in coerenza con i nuovi confini delle Circoscrizioni provinciali, ha acquisito con decorrenza dal 1° gennaio 2006 i Distretti di Isili e Senorbì, provenienti il primo dell'ASL 3 di Nuoro ed il secondo dell'ASL 6 di Sanluri, ha acquisito i Comuni di Vallermosa, Nuraminis e Villasor facenti sempre parte dell'ASL 6 di Sanluri oltre che Siliqua e Teulada provenienti dalla ASL 7 di Carbonia.

L'atto Aziendale approvato nel corso del 2008 ha individuato 5 Distretti Socio Sanitari a cui afferiscono i territori dei Comuni di appartenenza.

1. Distretto 1: Cagliari Area Vasta
2. Distretto 2: Area Ovest
3. Distretto 3: Quartu-Parteolla
4. Distretto 4: Sarrabus-Gerrei
5. Distretto 5: Sarcidano - Barbagia di Seulo e Trexenta

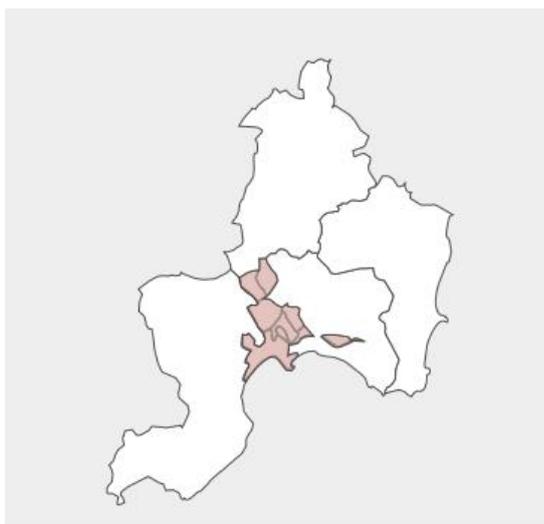


Figura 8-1 Divisione dei 5 distretti socio sanitari del comune di Cagliari; l'area evidenziata appartiene al primo distretto Cagliari Area Vasta.

L'area oggetto di interesse ricade all'interno del primo distretto socio sanitario Cagliari Area Vasta.



La popolazione dei Distretti Sanitari, evidenzia come il Distretto più popoloso sia quello che comprende l'Area metropolitana in senso stretto seguita dal Distretto che comprende i comuni dell'Area metropolitana allargata, che è suddivisa nei due Distretti di Quartu-Parteolla e dell'Area Ovest (cfr. Tabella 8-7).

Distretto	Popolazione	% Totale
Distr.1 "Cagliari Area Vasta"	254.057	45%
Distr.2 "Area Ovest"	122.212	22%
Distr.3 "Quartu-Parteolla"	114.306	20%
Distr.4 "Sarrabus-Gerrei"	23.984	4%
Distr.5 "Sarcidano-Barbagia di Seulo e Trexenta"	46.521	8%
Totale Complessivo	561.080	100%

Tabella 8-7 Popolazione dei Distretti Sanitari – al 1° Gennaio 2010 (Fonte dati Istat)

La lettura della popolazione suddivisa per fasce d'età evidenzia la conformazione demografica a botte che prevede una concentrazione (59% sul totale) della popolazione nella fascia compresa tra i 25 e i 64 anni.

Distretti	<1	1-4	5-14	15-24	25-44	45-64	65-74	>74
Distr.1 "Cagliari Area Vasta"	2%	2%	8%	9%	31%	29%	11%	9%
Distr.2 "Area Ovest"	2%	3%	9%	10%	33%	28%	9%	6%
Distr.3 "Quartu-Parteolla"	2%	3%	9%	11%	33%	29%	9%	6%
Distr.4 "Sarrabus-Gerrei"	2%	2%	8%	10%	29%	28%	11%	10%
Distr.5 "Sarcidano-Barbagia di Seulo e Trexenta"	1%	2%	7%	10%	25%	24%	10%	20%
Azienda Asl 8	2%	2%	8%	10%	31%	28%	10%	9%

Tabella 8-8 Suddivisione % della popolazione dei Distretti per fasce d'età al 1° Gennaio 2010 (Fonte dati Istat)

La popolazione dal profilo più anziano è quella residente nel Distretto 5 del Sarcidano Barbagia di Seulo e Trexenta che presenta il 30% della popolazione con età >65.

Riportiamo di seguito (cfr. Figura 8-2) la piramide dell'età (per classi quinquennale) per sesso e il rapporto Maschi femmine per le singole classi di età nel Comune di Cagliari all'anno 2010.

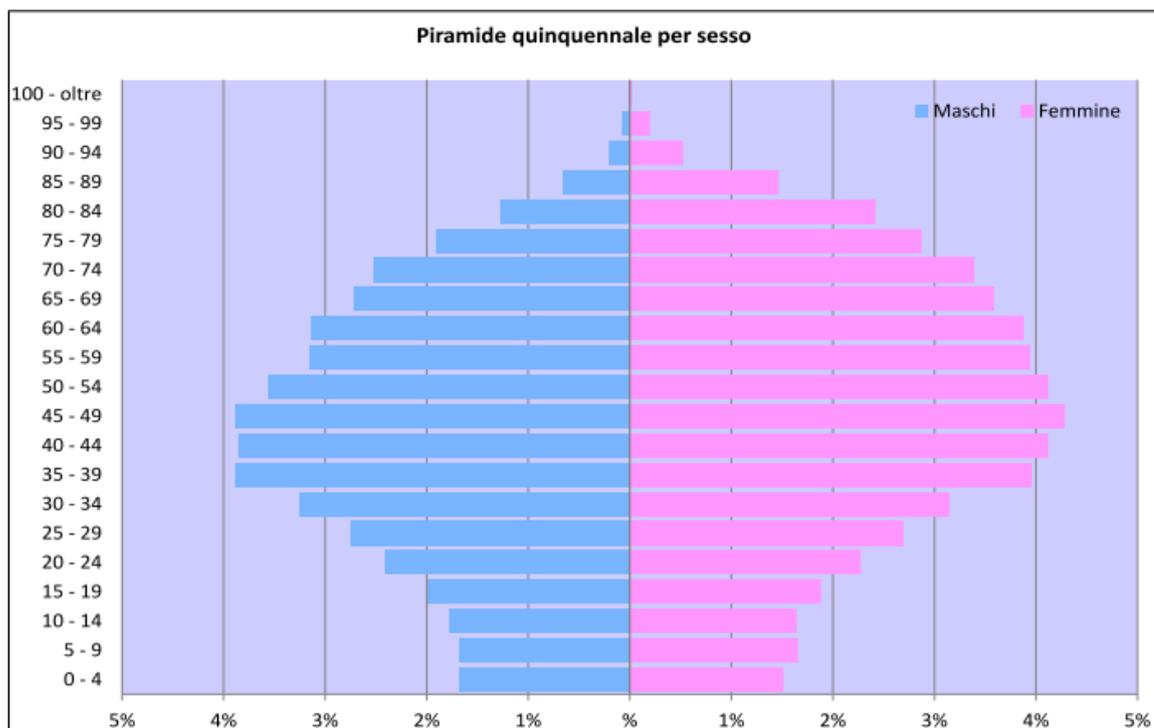


Figura 8-2 Piramide dell'età per sesso all'anno 2010.

Il rapporto tra maschi e femmine per singola classe di età è riportato nella figura seguente.

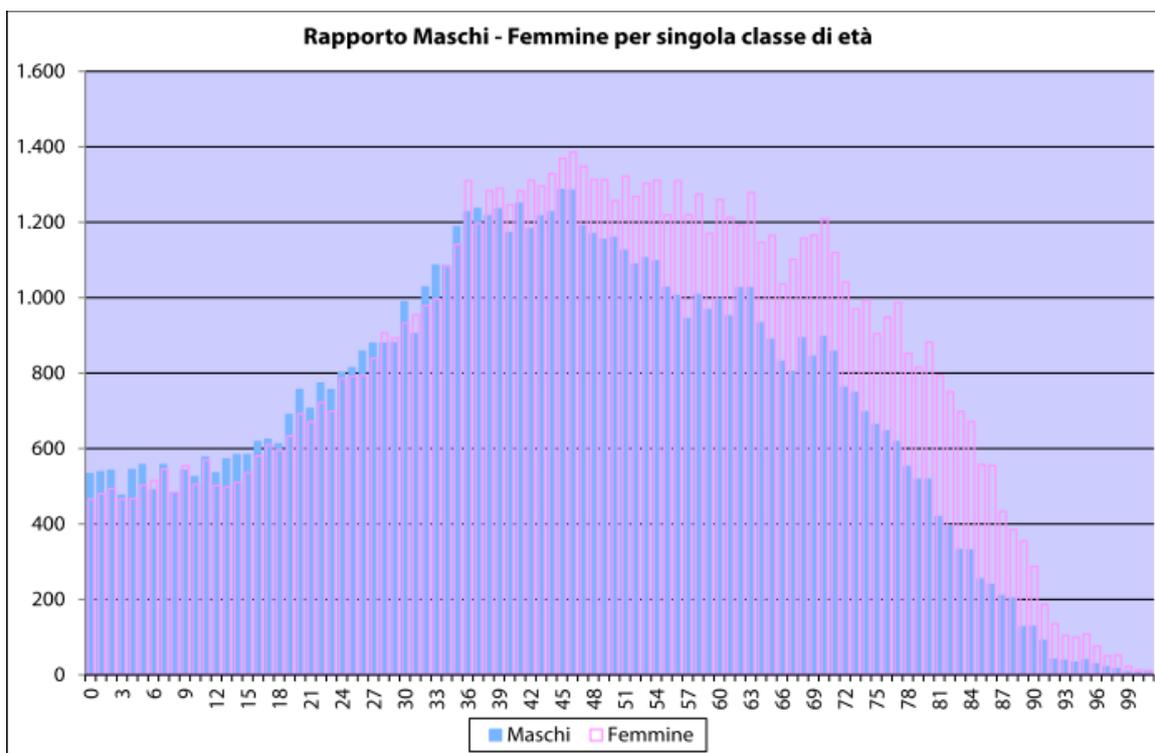


Figura 8-3 Rapporto maschi-femmine per singola classe di età all'anno 2010



8.4.2 Le condizioni di salute della popolazione

La caratterizzazione delle condizioni di salute della popolazione residente all'interno del territorio preso in considerazione per l'analisi degli effetti del nuovo intervento sulla presente componente ambientale, si è basata sui dati desunti dal *1° Profilo d'Ambito della città di Cagliari* redatto a cura del Gruppo Tecnico del P.L.U.S.

L'analisi della mortalità (analizzeremo tale argomento utilizzando come indice il tasso di mortalità) rappresenta uno dei principali strumenti per valutare lo stato di salute della popolazione ed un elemento fondamentale per la programmazione sanitaria.

Il tasso di mortalità è dato dal rapporto tra il numero di decessi dell'anno e l'ammontare medio della popolazione. Nella Tabella 8-9 rispetto ai dati sugli ambiti, nel dato provinciale sono compresi 389 decessi in più che non possono essere attribuiti ad alcun comune. La standardizzazione è stata effettuata con il metodo della "popolazione tipo" riferita alle stesse classi di età utilizzate per il calcolo dei quozienti specifici (0-14; 15-29; 30-44; 45-59; 60-74; 75 e più). La "popolazione tipo" utilizzata per il calcolo è uguale alla somma della popolazione media annuale italiana per gli anni dal 1997 al 2001.

L'analisi del tasso di mortalità viene fatta per causa di morte, per sesso e per ripartizione territoriale con un confronto tra il comune, la provincia e la regione. Analizzando le cause di morte per sesso, il comune di Cagliari, così come la provincia e la regione, presenta tassi elevati di mortalità per malattie del sistema circolatorio e per tumori sia nella popolazione maschile che in quella femminile. Da un confronto territoriale la mortalità maschile per tumore è più elevata nella città di Cagliari rispetto al valore provinciale e regionale. Così come risulta superiore nei confronti territoriali il tasso di mortalità maschile per malattie infettive.

Causa di morte	Sardegna	Provincia di Cagliari	Comune di Cagliari
Maschi			
Tumori	36,99	37,63	39,36
Malattie del sistema circolatorio	46,51	43,48	41,21
Malattie dell'apparato respiratorio	11,52	11,06	9,89
Traumatismi e avvelenati	7,84	7,31	6,38
Infettive	9,52	9,92	10,20
Malattie dell'apparato digerente ed altre	11,27	10,02	9,28
Tassi standardizzati	123,65	119,41	116,31
Femmine			
Tumori	24,57	19,24	21,82
Malattie del sistema circolatorio	50,71	32,76	31,02
Malattie dell'apparato respiratorio	6,96	5,09	4,78
Traumatismi e avvelenati	4,92	3,53	3,52
Infettive	11,66	8,61	8,14
Malattie dell'apparato digerente ed altre	11,40	6,94	6,36
Tassi standardizzati	110,23	76,17	75,63

Fonte: Elaborazione della Provincia di Cagliari su dati Istat

Tabella 8-9 Tassi di mortalità standardizzati per 10.000 abitanti e per causa nel periodo 1997 – 2001

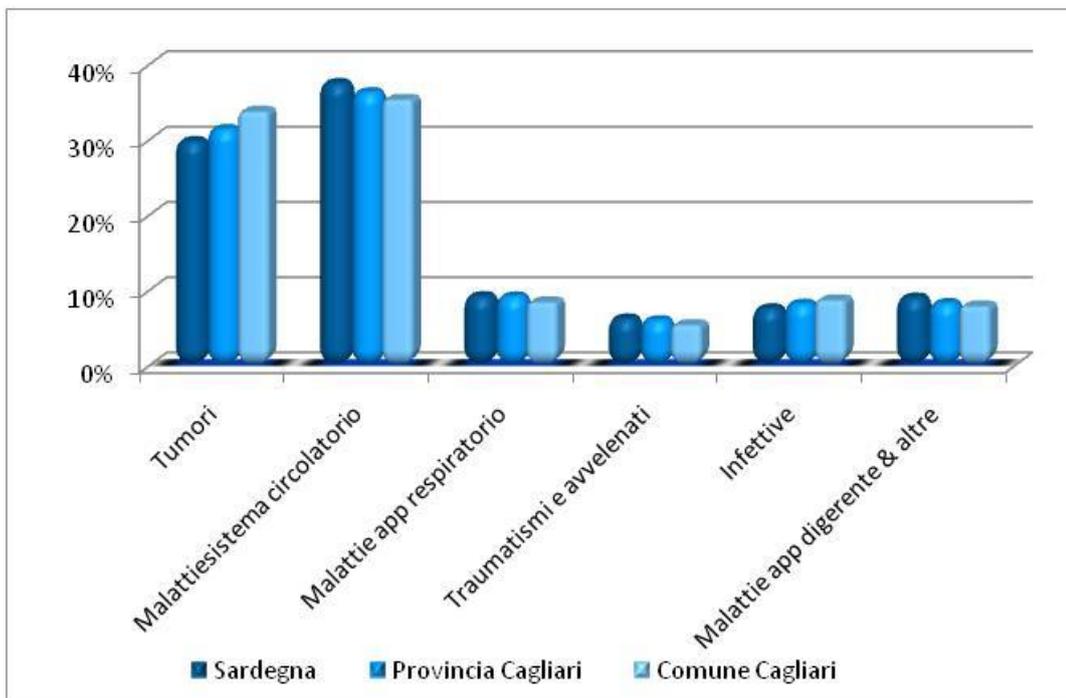


Figura 8-4 Confronto delle le principali cause di morte degli uomini (in %) tra Sardegna, Provincia e Comune di Cagliari

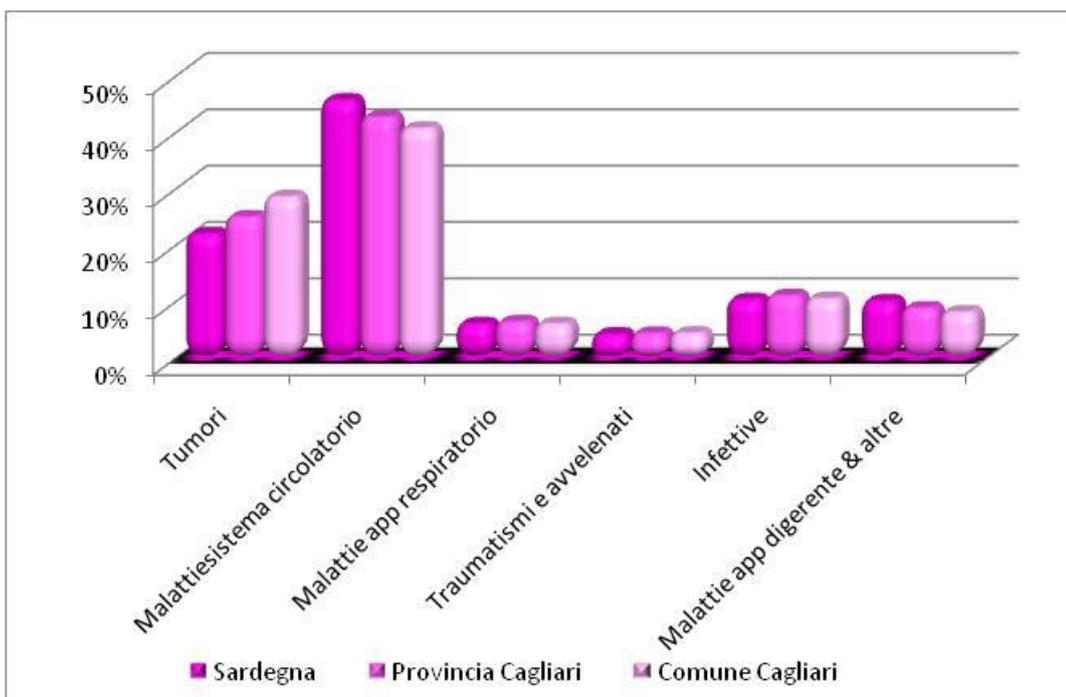


Figura 8-5 Confronto delle le principali cause di morte delle femmine (in %) tra Sardegna, Provincia e Comune di Cagliari



Dalla Tabella 8-9 e dalle Figura 8-4 e Figura 8-5 per tutti i contesti considerati, la principale causa di morte nel range di tempo 1997-2001 (sia per i maschi che per le femmine) è dovuta alle malattie del sistema circolatorio.

Rispetto alla provincia di Cagliari e alla Regione Sardegna i decessi per cause tumorali nell'intervallo 1997-2001 nel Comune di Cagliari sono in percentuale superiori.

8.5 Le condizioni di esposizione all'inquinamento atmosferico

8.5.1 Le attuali condizioni di qualità dell'aria

Lo stato di salute della popolazione presente all'interno dell'ambito territoriale entro cui si ipotizzano effetti, diretti ed indiretti, degli interventi di progetto è riferibile al livello di qualità atmosferica presente in tale contesto.

Per effettuare un'analisi completa della qualità dell'aria sono stati reperiti i dati monitorati nelle centraline fisse gestite dal Comune di Cagliari, posizionate all'interno dell'area cittadina.

Come stazione di monitoraggio per definire lo stato atmosferico attuale dell'area oggetto di studio, è stata presa in considerazione la centralina del mercato Ittico (denominazione della stazione MIT) situata a poche centinaia di metri da alcuni cantieri da diporto, in grado fornire indicazioni relative all'inquinamento caratteristico, sia delle aree di cantiere, sia delle infrastrutture viarie interne all'ambito urbano.

Partendo dalla analisi degli attuali livelli di qualità dell'aria registrata dalla centralina in questione, in merito ai livelli di PM10 e NO2 per l'anno 2010. I risultati analizzati all'interno della componente atmosfera, indicano come per entrambi gli inquinanti ci troviamo in una situazione di piena compatibilità rispetto ai limiti previsti dal Decreto Legislativo 155/2010. Per il biossido di azoto si è riscontrato un valore medio annuo pari a 28,8 µg/mc a fronte di un limite di 40 µg/mc previsti ed un valore massimo orario che ha violato in una sola occasione sulle 18 consentite il limite dei 200 µg/mc. Per il particolato atmosferico con diametro massimo delle particelle pari a 10 µm, abbiamo registrato un valore medio annuo di 21,2 µg/mc contro un limite annuo di 40 µg/mc ed un valore medio giornaliero che ha superato in solo 7 occasioni sulle 35 consentite il valore massimo sulle 24 ore di 50 µg/mc. Tali risultati conducono ad un giudizio positivo circa la attuale qualità della aria nella zona interessata del progetto di ricollocamento della cantieristica del Porto di Cagliari previsto dall'attuale PRP vigente.

8.5.2 La qualità dell'aria nello scenario di progetto

Come documentato nel capitolo relativo alla componente Atmosfera, al fine di definire lo stato di qualità dell'aria conseguente alla delocalizzazione della



cantieristica da diporto, è stato condotto uno studio modellistico nel quale sono state prese in considerazione le sorgenti marittime (movimentazione e stazionamento delle imbarcazioni movimentate dalle attività di cantiere nello scenario attuale e al 2021) e quelle veicolari (traffico veicolare complessivo attuale e in previsione del 2021). Le concentrazioni di PM10 e NO2 restituite dai modelli sono riportate nella tabella seguente:

Ricadute Emissioni	Attuale				2021			
	NO2 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)		PM10 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)		NO2 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)		PM10 ($\mu\text{g}/\text{mc}$)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Max Media 1h	<1	<30			<1	<23		
Max Media 24h			<1	<12			<1	<9
Media Annua	<1	<11	<0,5	<4,6	<1	<9	<0,5	<3,2

Tabella 8-10 Ricadute emissioni totali

Da quanto riportato possiamo osservare come per entrambi gli inquinanti e per tutte le medie considerate ci sia una riduzione dei livelli stimati rispetto allo stato attuale. Tale risultato dipende essenzialmente da tre fattori:

- Rinnovamento parco veicolare circolante a seguito evoluzione normativa emissiva europea per gli autoveicoli. Tale rinnovamento va a bilanciare l'aumento medio previsto del numero di veicoli che andranno ad interessare il grafo di rete considerato;
- Delocalizzazione delle attività della cantieristica portuale le cui emissioni pur non variando in maniera significativa in termini quantitativi tra i due scenari analizzati, avranno un minor impatto sulla qualità dell'aria. Lo spostamento delle attività di cantieristica in una porzione di territorio più ampia e meno antropizzata difatti faciliterà la diluizione degli inquinanti emessi;
- Alleggerimento del sistema della mobilità urbana grazie alla riduzione dei flussi veicolari per gli archi di rete viaria interni all'area comunale di Cagliari con conseguenti miglioramenti sulla fluidità stradale e sul carico emissivo locale derivante dagli scarichi degli autoveicoli.

In conclusione i risultati dello studio sugli impatti potenziali per la componente aria derivanti dal progetto in oggetto si ritengono non significativi per quanto detto.

8.5.3 Evoluzione delle condizioni dell'inquinamento acustico allo scenario di progetto

Lo studio del fenomeno dell'inquinamento da rumore nell'ambito dell'analisi della componente salute pubblica ha lo scopo di verificare la "pressione" acustica indotta



dall'esercizio delle attività da cantiere e del traffico veicolare sugli abitanti presenti nell'intorno delle infrastrutture oggetto di studio.

In tal senso, come ampiamente descritto nell'ambito dell'analisi della componente rumore, all'interno del Quadro di Riferimento Ambientale, gli obiettivi perseguiti dallo studio acustico sono stati i seguenti:

- *Analisi acustica del territorio interessato dal progetto e individuazione dell'ambito di studio.*
- *Rilevo del clima acustico ante operam.*
- *Ricostruzione clima acustico allo scenario di Progetto.*

Lo studio acustico per il nuovo *Distretto della Cantieristica* del Porto di Cagliari è stato condotto mediante una campagna di misure fonometriche per la caratterizzazione del clima acustico attuale e attraverso un modello di simulazione acustica per la rappresentazione del rumore nello scenario di progetto.

I risultati delle simulazioni acustiche effettuate, sono state messe a confronto con i limiti di riferimento normativo che, nello specifico del comune di Cagliari, sono dati dall'analisi della zonizzazione acustica del territorio.

Non sono stati riscontrati eventi di inquinamento acustico non conforme alle normative vigenti, sia durante le analisi della fase di esercizio sia durante le analisi della fase di cantiere.

Dalle simulazioni effettuate infatti, si riscontra come l'incremento del traffico veicolare indotto dalle opere di progetto non è tale da apportare modifiche allo scenario acustico esistente sul territorio.

Concludendo, si può quindi definire il progetto pienamente compatibile con le indicazioni normative vigenti in materia di inquinamento acustico.



9 PAESAGGIO

9.1 Premessa

Obiettivo generale della analisi paesaggistica è quello di definire il rapporto opera-paesaggio, quale esito del confronto tra lo stato attuale e quello derivante dalle modificazioni apportate dal progetto, intendendolo nella sua complessità di opera di ingegneria ed interventi di mitigazione ed inserimento ambientale.

L'analisi del paesaggio comporta in primo luogo una lettura analitica del territorio interessato dall'opera in esame, al fine di individuare le sue varie matrici, naturali ed antropiche, che lo hanno generato e che lo caratterizzano.

Ai fini del presente studio, la valutazione della componente paesaggio e delle sue relazioni con il progetto in esame, è il risultato della sintesi della più ampia analisi svolta nell'ambito della Relazione Paesaggistica, allegata allo SIA, e redatta ai sensi del DPCM 12-12-2005 *"Individuazione della documentazione necessaria alla verifica della compatibilità ambientale paesaggistica degli interventi proposti, ai sensi dell'art. 146, comma 3, del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio di cui al Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42"*.

Lo studio ha indagato il contesto territoriale attuale in cui si inseriscono le opere in progetto, sia in relazione ai caratteri morfologici e strutturali del paesaggio, che agli elementi storico-culturali e testimoniali essenziali per la rappresentazione degli aspetti identitari e peculiari che vengono riconosciuti propri del territorio in esame.

Tali analisi hanno condotto al riconoscimento delle principali relazioni presenti fra le diverse parti che caratterizzano il territorio in esame, interpretandole al fine di valutarne le possibili modificazioni indotte dal progetto e/o coglierne le potenzialità positive.

Pertanto, le analisi condotte sono state finalizzate ad individuare e valutare le caratteristiche paesaggistiche dei luoghi oggetto d'intervento e verificare la compatibilità del progetto con tali caratteristiche descritte.

Come prescritto nella normativa di riferimento è possibile, nella redazione del documento, avvalersi delle analisi paesaggistiche e ambientali già disponibili presso le Amministrazioni Pubbliche con "particolare riferimento ai quadri conoscitivi ed ai contenuti dei Piani a valenza paesaggistica".

Nello specifico, per la stesura della relazione paesaggistica, sono state utilizzate le informazioni e le analisi contenute sia nel Piano Paesaggistico della Regione Sardegna, sia le analisi e ricerche svolte nell'ambito della VAS del Piano Regolatore Portuale di riferimento per l'opera in oggetto.



9.2 Inquadramento generale

L'area interessata dal progetto del distretto della cantieristica è quella del Porto Canale inserita nel contesto dello Stagno di Santa Gilla, e nel litorale compreso tra la località Giorgino sino all'agglomerato industriale della Saras.

Il Porto Canale è l'infrastruttura portuale industriale di Cagliari, costruita negli anni '80 per colmamento dell'area dell'antico quartiere dei pescatori Giorgino, in gran parte demolito, e di Sa Illetta, l'isolotto da tempo unito alla terraferma, che si addentra nello Stagno di Cagliari.

Per tale ambito l'Autorità Portuale di Cagliari ha previsto – nei propri strumenti programmatori – la realizzazione, nell'avamporto di levante del Porto Canale, di un "Distretto della Cantieristica" destinato ad insediamenti industriali, artigianali e commerciali nel settore di attività della cantieristica per la nautica da diporto, con particolare riferimento al refitting di megayacht.



Figura 9-1 Localizzazione area di intervento – colmata est del Porto Canale



L'ambito è caratterizzato dalla prossimità all'aeroporto di Elmas (circa 7 km) ed alla stazione ferroviaria di Cagliari. La viabilità principale presente risulta essere la SS 131 - Carlo Felice e la SS 195 - Sulcitana.

L'ambito rientra nell'Unità Idrografica Omogenea (UIO) del Flumini Mannu di Cagliari-Cixerri, e l'idrografia principale è rappresentata dal Flumini Mannu e dal Riu Cixerri.

Il Progetto del Distretto della cantieristica, nel suo complesso, riguarda opere a terra e a mare da realizzarsi nella colmata est del porto canale di Cagliari, su una superficie complessiva di circa 22.7ha dei quali circa 3.2 ha conquistati a mare mediante l'avanzamento di circa 71,50 m dell'attuale linea di riva.

Secondo le previsioni dell'attuale PRP del porto di Cagliari, insieme alle infrastrutture per attività artigianali e professionali legate al mondo della nautica da diporto previste lungo il fronte verso Cagliari, nell'area compresa tra il Distretto e la radice del molo guardiano di levante del porto canale, sarà realizzata una cittadella della nautica, che vedrà, sul versante del Porto Canale, un sistema di verde attrezzato integrato col nuovo Parco di S. Efisio previsto a fianco del Distretto, all'altezza dell'imboccatura del canale vero e proprio del Porto industriale.

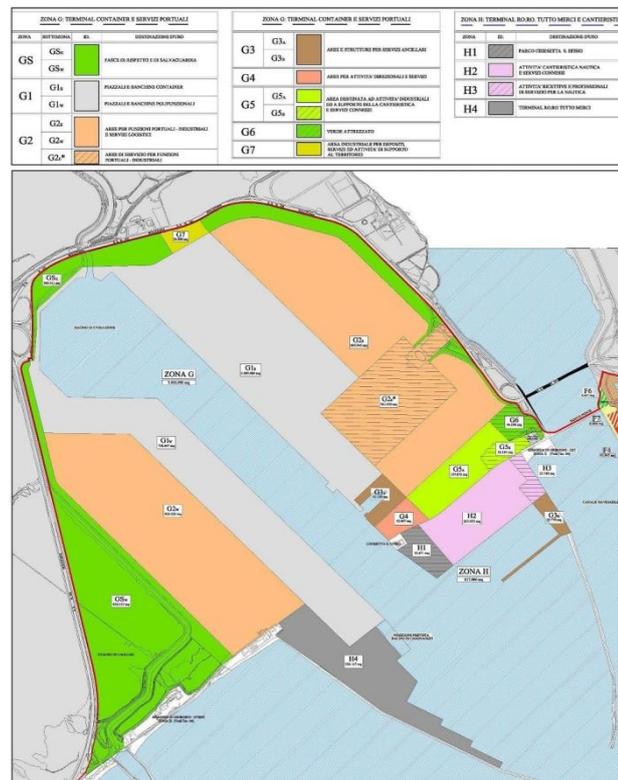


Figura 9-2 PRP: Zonizzazione Porto Canale



9.3 Gli ambiti di paesaggio

L'Ambito interessato dal progetto è l'Ambito n.1 – Golfo di Cagliari caratterizzato da un complesso sistema paesistico territoriale unitario in cui si riconoscono almeno tre grandi componenti tra loro strettamente interconnesse:

- il sistema costiero dello Stagno di Cagliari-laguna di Santa Gilla;
- la dorsale geologico-strutturale dei colli della città di Cagliari;
- il compendio umido dello stagno di Molentargius, delle saline e del cordone sabbioso del Poetto.

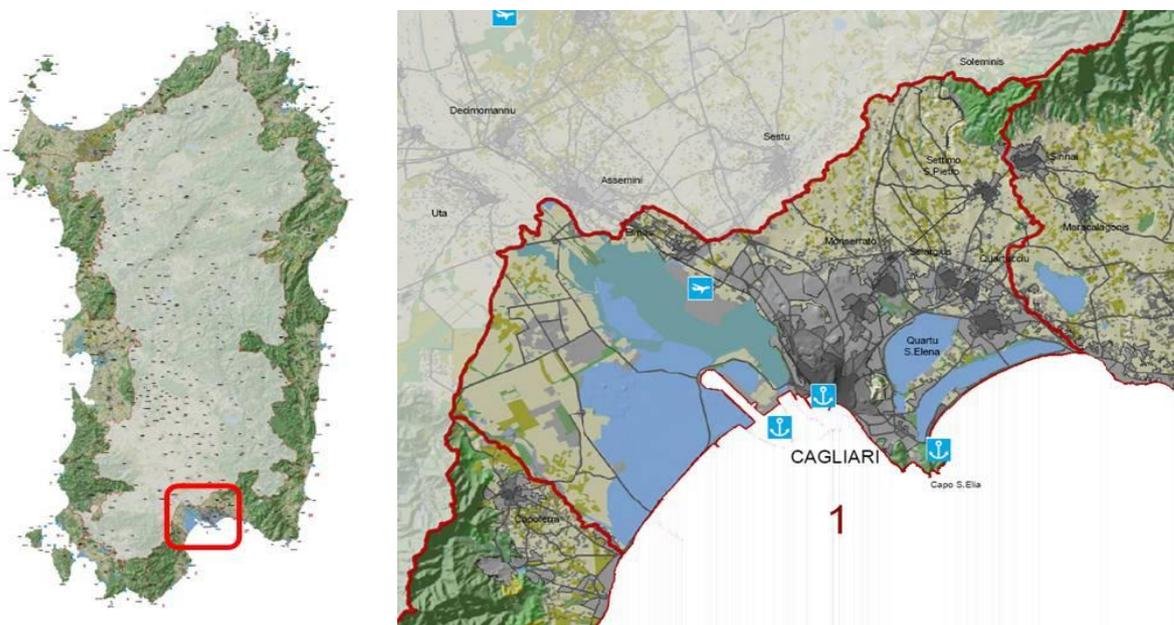


Figura 9-3 Piano Paesaggistico Regionale: Inquadramento Ambito di Paesaggio n.1

Le grandi dominanti costitutive di Santa Gilla, di Molentargius - Poetto e dei colli di Cagliari, rappresentano la matrice funzionale e strutturale dell'ambito sulla quale ogni stratificazione paesaggistica si è sviluppata nello spazio e nel tempo. Nella vegetazione delle zone umide è possibile riconoscere una seriazione di fasce vegetazionali successive in cui si osserva il graduale passaggio dalle piante alofite a quelle idrofite avvicinandosi all'entroterra. Gli habitat delle zone umide rappresentano un ambiente idoneo per la riproduzione, lo svernamento e la sosta di uccelli marini e acquatici, si ritrovano inoltre grandi concentrazioni invernali di avifauna. Questa presenza di componenti paesaggistico-ambientali naturali e quasi naturali sono localizzate nelle immediate vicinanze degli insediamenti.

Caratterizzano l'insieme insediativo storico ed attuale, le modalità percettive delle parti urbane ed ambientali da un numero notevole di alture e da diversi percorsi, dotando il luogo di un formidabile thesaurus di punti di vista e di visioni mobili. Tale



peculiarità comporta una particolare consapevolezza sulla struttura e sulla complessità paesaggistica del Golfo di Cagliari e dunque, una maggiore sensibilità e l'elaborazione di forme di tutela verso sostanziali alterazioni delle visuali d'insieme e delle prospettive consolidate.

Nel territorio cagliaritano, l'estensione della città ha alterato e obliterato gran parte delle forme originarie del paesaggio e dei processi naturali, anche se è ancora possibile riconoscere i tratti salienti delle forme del rilievo che hanno guidato l'espansione urbana dalle origini fino ad oggi.

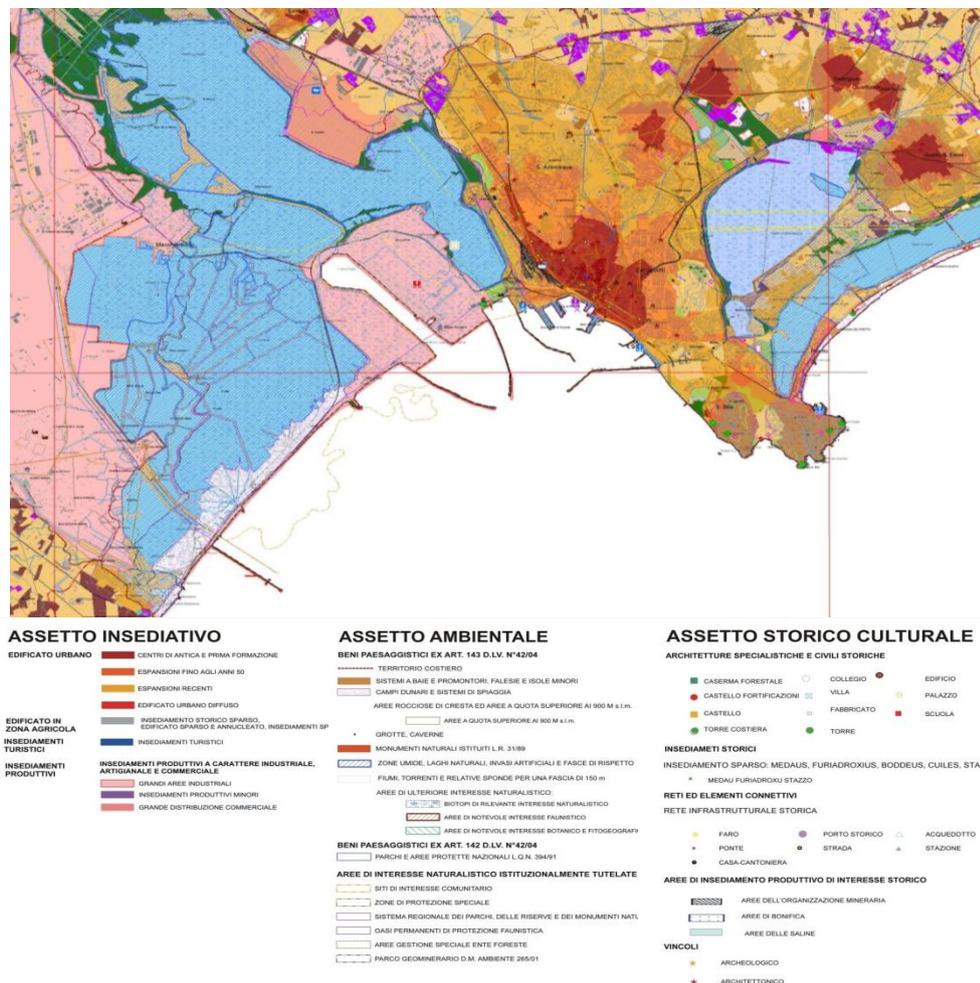


Figura 9-4 Piano Paesaggistico Regionale : Ambito 1 Golfo di Cagliari

Le infrastrutture presenti nell'ambito e la localizzazione degli impianti produttivi costituiscono una maglia infrastrutturale che interseca i sistema idrografici di alimentazione delle zone umide costiere sovrapponendosi, con modalità non coerenti, ai processi ambientali.



La funzione agricola è svolta nel retroterra dove si riconoscono i sistemi agricoli del basso Campidano.

La struttura caratterizzante il paesaggio cagliaritano si basa sulle relazioni tra i principali elementi ambientali, fondate sulla interazione tra i sistemi marino-costieri, le grandi zone umide, il sistema dei colli e la stratificazione dell'insediamento storico, dai presidi antichi alla conurbazione contemporanea.

Il progetto dell'Ambito assume come centri generatori del paesaggio gli elementi portanti del sistema ambientale, dalle aree umide ai colli, al sistema idrografico in relazione ai quali si organizza la città contemporanea.

In relazione al progetto in esame, il Piano Paesaggistico individua per l'Ambito 1 le seguenti azioni:

1. Riquilibrare le zone umide di Molentargius e di Santa Gilla, ed i loro utilizzi ambientali e produttivi (Saline), attraverso l'attuazione delle forme di gestione a Parco.

In particolare, attivare:

- la connessione ecologica tra le componenti ambientali costitutive dell'Ambito, anche attraverso una programmazione della rete ecologica a scala metropolitana, orientata alla creazione di un sistema unitario integrato tra le emergenze ambientali di Molentargius, il Poetto, Capo Sant'Elia, il sistema dei colli e Santa Gilla
 - la conservazione e la salvaguardia degli ecosistemi delle zone umide, anche attraverso l'individuazione di spazi adeguati per la funzionalità ecologica, in quanto costituiscono il presupposto per garantire l'elevata biodiversità ed il mantenimento delle specificità biotiche, in rapporto al ruolo svolto da queste zone nel sistema d'area vasta
 - la riqualificazione delle aree urbane ai confini delle zone umide, individuando dove possibile spazi pubblici ad uso collettivo interpretati come zone di transizione, fasce di margine, in rapporto alle aree peristagnali ed ai residui corridoi fluviali di alimentazione delle depressioni stagnali e lagunari
2. Attivare la riqualificazione urbana e ambientale del sistema costiero, attraverso la predisposizione e attuazione di una gestione integrata e unitaria, finalizzata alla rigenerazione delle risorse e al riequilibrio con i processi urbani dell'intero Ambito.

In particolare, attivare:

- La riqualificazione e il recupero del valore paesaggistico e della funzionalità ambientale del litorale de La Playa - Giorgino e del relativo compendio umido



dello Stagno di Cagliari (Santa Gilla), prevedendo anche l'integrazione del progetto paesaggistico di mitigazione degli impatti ambientali della Strada Statale 195

- La riqualificazione della piana alluvionale-costiera e del territorio infrastrutturato del polo industriale di Macchiareddu-Grogastu, rivolta al riequilibrio delle funzioni idrogeologiche e al recupero delle aree degradate anche attraverso la ricostituzione dell'assetto vegetazionale e fisico-ambientale, in relazione all'utilizzazione mista agricola-industriale ed alla connessione ecologica tra gli habitat dello Stagno di Cagliari e del Rio Santa Lucia

Il Porto di Cagliari, secondo lo schema previsto dal piano, rappresenta un elemento del sistema delle infrastrutture (art. 94 delle NTA del PPR) che comprende, tra le altre cose, i nodi dei trasporti (porti, aeroporti e stazioni ferroviarie) e la rete della viabilità (strade e ferrovie). Secondo l'art. 95 delle Norme tecniche di attuazione del presente Piano, "gli ampliamenti delle infrastrutture esistenti e la localizzazione di nuove infrastrutture saranno possibili solo se:

- previsti nei rispettivi piani di settore, i quali devono tenere in considerazione le previsioni del presente Piano;
- ubicati preferibilmente nelle aree di minore pregio paesaggistico;
- accompagnati da studi che ne mitigano gli impatti visivi e ambientali".

9.4 Analisi dello stato attuale

9.4.1 Caratteristiche geomorfologiche ed uso del suolo

Costituiscono elementi ambientali del sistema paesaggistico dell'ambito:

- la vasta zona umida dello Stagno di Cagliari e della Laguna di Santa Gilla, localizzata presso l'estremità più meridionale della piana del Campidano che rappresenta, da un punto di vista geologico-ambientale, un sistema complesso di transizione e di interfaccia, sia fisico che funzionale, tra il dominio continentale delle colmate detritiche e alluvionali plioceniche e quaternarie della fossa tettonica campidanese e il settore marino del Golfo degli Angeli;
- la dorsale strutturale delle colline mioceniche di Cagliari, che con la formazione calcareomarnosa, caratterizzano la matrice geologico-morfologica su cui si sviluppa la città. Le colline individuano gli alti strutturali, impostati secondo le direttrici tettoniche campidanesi da nord-ovest a sud-est, tra le quali s'interpongono depressioni vallive più o meno ampie;
- il complesso territoriale-costiero del Poetto e delle zone umide di Molentargius, impostato all'interno dell'estremità sud-orientale dello sprofondamento



tettonico del Campidano che culmina, nel contesto in esame, con la falcata sabbiosa del litorale del Poetto;

- i siti di importanza comunitaria: stagno di Molentargius e territori limitrofi, Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla, Torre del Poetto, Monte Sant'Elia, Cala Mosca, Cala Fighera.

La dorsale delle colline di Cagliari, che si sviluppa in direzione nord-ovest sud-est, costituisce l'elemento di separazione fisica tra le zone umide di Santa Gilla e Molentargius e termina in mare in corrispondenza del promontorio di Capo Sant'Elia, condizionando in misura determinante le dinamiche meteomarine e gli equilibri fisico-ambientali delle acque del Golfo di Cagliari.

Ad est si individua la depressione stagnale di Molentargius, a cui afferisce un bacino di alimentazione che si spinge fino ai rilievi collinari di Settimo San Pietro e Sinnai, circoscritto all'estremità meridionale dallo sprofondamento del Campidano e che culmina con la falcata sabbiosa del litorale del Poetto.

Ad ovest, la vasta zona umida dello Stagno di Cagliari rappresenta un sistema di transizione e di interfaccia ambientale tra il dominio continentale, rappresentato dai terreni della pianura campidanese e il settore marino del Golfo degli Angeli. Il sistema dello Stagno di Cagliari, rappresenta la più vasta zona umida della Sardegna, costituendo il bacino recettore di un esteso sistema idrografico che dal Campidano di Cagliari si estende fino al Sarcidano, a buona parte dell'Iglesiente e al Sulcis, occupando complessivamente una superficie di circa 2.332 kmq.

Dal punto di vista geologico, l'area occupata dallo stagno è una depressione che fa parte integrante della fossa del Campidano.

Questa fossa si è originata nell'Era Quaternaria per erosione fluviale delle arenarie che formavano la Panchina Tirrenica, seguita da cicliche regressioni e ingressioni marine in periodi successivi (Versiliano). La depressione meridionale è stata definitivamente colmata dal mare e, in epoche molto recenti, ne è stata separata da un cordone litoraneo sabbioso detto La Playa. Dell'originaria Panchina Tirrenica restano tracce a Sa Illetta e in alcuni siti della terraferma all'interno di Cagliari.

I fondali sono mediamente bassi, la massima profondità rilevata in alcuni punti è di 2,5 metri, tuttavia negli ultimi decenni l'alterazione degli sbocchi naturali di collegamento al mare e della circolazione delle correnti ha provocato il deposito di materiali e l'innalzamento del fondale.

Date le caratteristiche dell'area, caratterizzata come descritto da un ambiente lagunare-stagnale situato a ridosso della fascia costiera e da saline con relative vasche di evaporazione, risulta evidente che il Porto Canale costituisce un elemento di discontinuità morfologica e morfodinamica che, ormai, è divenuto parte integrante



del sistema. Dal punto di vista litologico si può affermare che l'area è costituita, in superficie, quasi interamente da terreni di riporto accumulati per deposito di materiali dragati entro le vasche di colmata e caratterizzati quindi da scadenti proprietà geotecniche. Solo nel settore settentrionale (Sa Iletta) e lungo l'originaria linea di costa impostata sul cordone lagunare (Giorgino est ed ovest), sono presenti depositi sabbiosi di origine marina.

Le aree del Porto Canale coprono una superficie complessiva di oltre 500 ettari, di cui la maggior parte attualmente intonsa, sebbene il suolo sia di origine artificiale. Il Porto Canale vero e proprio si estende per oltre 1.600 metri di lunghezza e offre cinque accosti per traffico transshipment e Ro-Ro, ai quali si affiancano gli accosti Petrochimici-Petroliferi che ospitano attracchi per diciassette navi.

Il fondale marino, nell'area interna del Porto Canale, presenta una batimetria media di -16,00 m; secondo quanto riferiscono i tecnici dell'Autorità Portuale, dal momento della completa attivazione delle attività marittime, non ci sono stati fenomeni di erosione o insabbiamento del fondale.

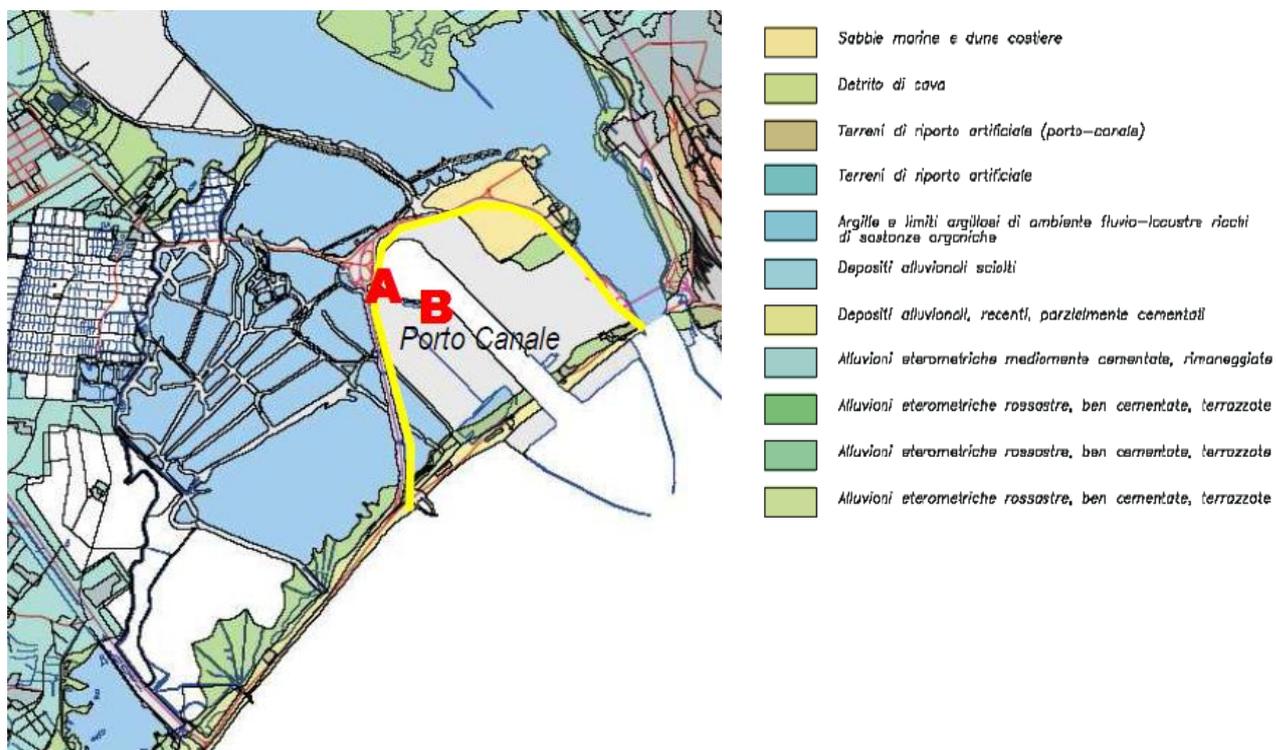


Figura 9-5 Estratto Carta Geologica- Area Porto Canale



9.4.2 Sistemi naturalistici

L'area di intervento è localizzata sulla fascia costiera del Golfo degli Angeli. Gli habitat prioritari presenti, inseriti nella Direttiva 92/43/CEE, ricadono nei gruppi degli habitat costieri e vegetazioni alofitiche, delle dune marittime interne, degli habitat d'acqua dolce e delle macchie e boscaglie di sclerofille (Matorral).

La fascia costiera presenta molteplici valenze di natura paesaggistico-ambientale, sottoposte a diverse forme di tutela.

L'area in analisi ricade nell'ambito di protezione faunistico-venatoria dell'Oasi di Santa Gilla. Ai sensi della Legge Regionale 29 luglio 1998, n. 23 - Norme per la protezione della fauna selvatica e per l'esercizio della caccia in Sardegna, l'oasi faunistica, istituita dalla Regione, è finalizzata al mantenimento ed alla sistemazione degli habitat, ricompresi anche nelle zone di migrazione dell'avifauna (Oasi di Protezione Faunistica).

Gli elementi ambientali sottoposti a tutela per l'area interessata sono:

- Stagno di Cagliari;
- Saline di Macchiareddu;
- Laguna di Santa Gilla.

Il complesso naturale rappresenta una peculiarità ambientale dell'intero Bacino Mediterraneo, in quanto, pur inserito in un contesto totalmente antropizzato, registra un'elevata concentrazione di avifauna nidificante. L'alto grado di biodiversità, nonché il numero di nicchie ecologiche e di possibilità nutrizionali conseguenti alle modifiche antropogeniche dell'ecosistema che si sono stratificate nel corso dei secoli, unitamente alla cessazione dell'attività venatoria e alla singolare posizione geografica del Golfo di Cagliari nel quadro delle correnti migratorie del Mediterraneo occidentale, hanno contribuito in modo decisivo a rendere l'area ideale per la sosta e la nidificazione dell'avifauna.

I siti appartenenti alla Rete Natura 2000 si trovano tra loro a breve distanza, cosa che determina degli elementi positivi quali:

- le specie di avifauna presenti nelle due aree stagnali sono molto simili;
- la ridotta distanza consente un continuo scambio di individui per molte specie e non solo per quelle ad alta vagilità;
- lo scambio favorisce l'evoluzione delle comunità ornitiche locali in metapopolazioni con conseguente aumento della biodiversità intra e inter-specifica e riduzione del rischio di isolamento e, quindi, maggiori probabilità di sopravvivenza per le specie.

Lo Stagno di Cagliari o Stagno di Santa Gilla (ZPS ITB044003 - SIC ITB040023), ricade nel territorio dei Comuni di Assemini, Cagliari, Elmas e Capoterra e rappresenta uno dei più estesi e articolati sistemi umidi costieri della Sardegna.



Le parti che compongono lo Stagno di Cagliari sono lo stagno di Capoterra, le saline di Macchiareddu e la laguna di Santa Gilla, tutte inserite nell'elenco delle zone umide come "Zona Umida di Importanza Internazionale" ai sensi della convenzione Ramsar e riserva naturale ai sensi della L.R. 31/89.

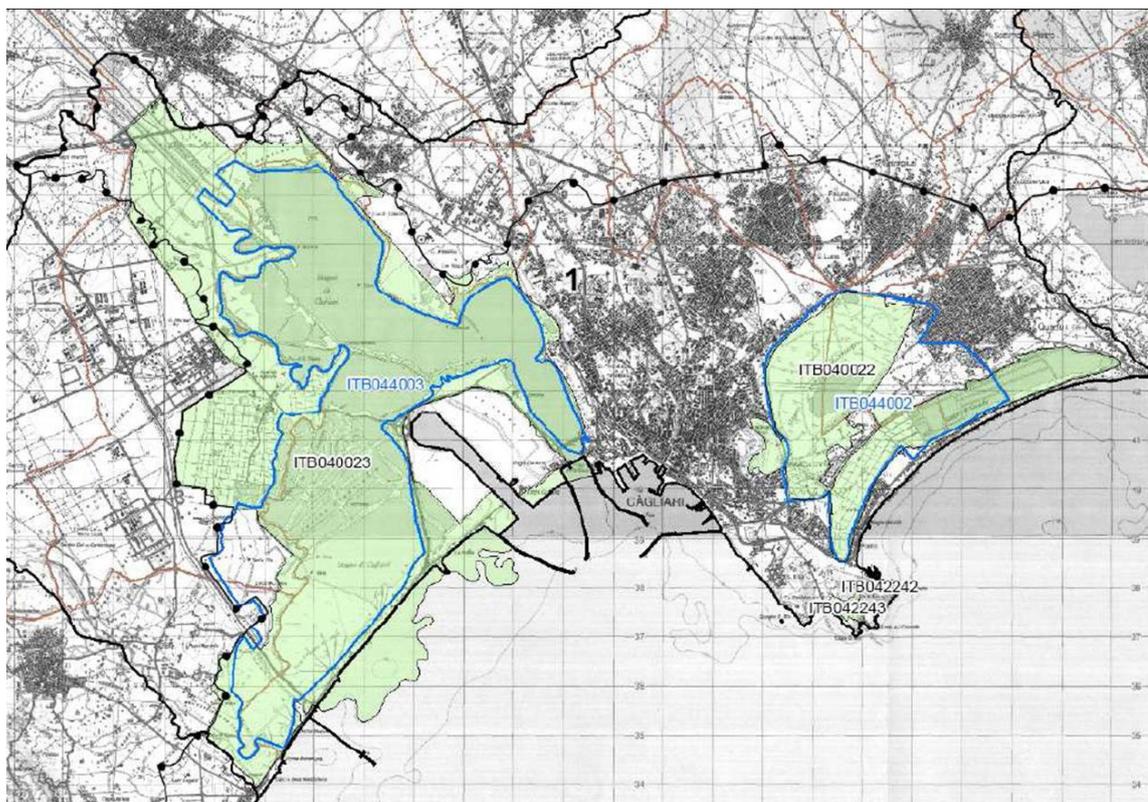


Figura 9-6 Distribuzione siti appartenenti alla Rete Natura 2000

Costituiscono aree di tutela l'Oasi permanente di Protezione faunistica e di cattura nello Stagno di Santa Gilla, istituita dalla Regione Autonoma della Sardegna, il 20/07/78 secondo quanto previsto dalla LR32/78 "Sulla protezione della fauna e sull'esercizio della caccia in Sardegna" e la Riserva proposta Santa Gilla, ai sensi della LR31/89 "Norme per l'istituzione e la gestione dei parchi, delle riserve e dei monumenti naturali, nonché delle aree di particolare rilevanza naturalistica ed ambientale". Nell'ambito del Progetto Bioitaly, l'area è stata individuata come Sito di Interesse Comunitario Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE) e come Zona di Protezione Speciale Stagno di Cagliari ai sensi della Direttiva Uccelli (79/409/CEE). L'area è inoltre Important Bird Area Stagni di Cagliari (codice n. 188).

Lo Stagno di Cagliari, con una superficie di oltre 3500 ettari, ha avuto origine come sistema lagunare costiero, collettore di un vasto bacino idrografico di oltre 2.400



kmq. Il rapporto tra le acque continentali e quelle marine caratterizza fortemente la struttura ed il funzionamento dell'ecosistema lagunare, tanto da conferire all'ambito un elevato valore ecologico comunitario sia per la presenza di habitat e di specie di interesse comunitario, rare, vulnerabili o minacciate di estinzione, sia per le attività economiche esistenti relative alla produzione del sale e alla pesca lagunare.

Dal punto di vista morfologico e orografico, l'ambito lagunare si presenta come un vasto bacino retro-costiero di forma approssimativamente deltoide, insinuato con asse longitudinale NW-SE tra il massiccio dei monti di Capoterra e i rilievi su cui sorge la città di Cagliari ad oriente.

Il limite a mare della laguna si trova a sud ed è costituito da un cordone litoraneo bordato da una spiaggia. Non risulta invece nettamente demarcato il margine verso la terraferma della laguna (N-NW), in quanto le aree palustri si raccordano alla Pianura del Campidano in maniera molto graduale.

La superficie complessiva degli specchi d'acqua non è determinabile con precisione, sia a causa della difficoltà intrinseca, in molti casi, nel distinguere tra aree palustri e terraferma, sia a causa delle frequenti variazioni stagionali del livello delle acque, che porta molte superfici ad essere alternativamente asciutte o occupate dalle acque.

La batimetria dei fondali lagunari è variabile a partire dal settore settentrionale, interessato da consistenti apporti sedimentari fluviali, dove la profondità media è di circa 0,5÷0,7 m, mentre nei punti più distanti dalla riva e generalmente intorno a 1,0÷1,2 m e raggiunge i 3 metri sotto il livello del mare in corrispondenza dei canali artificiali realizzati approfondendo il fondo lagunare per consentire la navigazione.

Lo Stagno di Capoterra faceva originariamente parte dell'ampia zona umida denominata "Stagno di Cagliari" e comprendeva parte del Porto Canale e le attuali saline di Contivecchi e lo stagno di Santa Gilla. La superficie complessiva è di circa 70 ha di cui solamente il 50% è attualmente fruibile a causa del progressivo interrimento. La profondità media è di circa 0,5 m con punte massime di 1,0 m. La comunicazione con il mare è discontinua ed è assicurata da due bocche, protette da ruderi di una scogliera artificiale. Il Rio Santa Lucia è l'unico immissario.

Le Saline di Macchiareddu, adiacenti alla zona industriale, sono in parte di proprietà privata ed in parte demaniale. Sono utilizzate per la produzione del sale. La superficie è di circa 2300 ha e la profondità media è modesta (0,4 m) con punte massime di 1,0 m. Gli afflussi sono assicurati da un'idrovora che preleva l'acqua dal mare. La salinità, sempre uguale o superiore a quella marina, varia in funzione della zona e del periodo dell'anno.

La laguna di Santa Gilla ricade nei comuni di Cagliari, Assemini ed Elmas.



La morfologia attuale dello stagno è il risultato di una serie di modifiche avviate nei due secoli passati ed ancora in atto. La laguna comunica con il mare attraverso un'ampia bocca, larga 150 m e profonda circa 3 m.

Occupava il settore orientale del complesso umido costiero dello Stagno di Cagliari estendendosi, con una lunghezza di circa 10 km e una larghezza media superiore a 1 km, dalle foci del Rio Flumini Mannu e Rio Cixerri alla bocca a mare del sistema in località La Scafa. I limiti della laguna risultano attualmente definiti per la maggior parte da argini artificiali e da riporti detritici che stabiliscono un limite relativamente netto con le attigue componenti ambientali, mentre solo presso il settore settentrionale del sistema, compreso tra le foci dei principali immissari della laguna e Cala Mogoru, il rapporto tra terra emersa e sommersa risulta strettamente dipendente, oltre che dal livello idrico all'interno della zona umida, dallo sviluppo della vegetazione perilagunare e dalla progradazione della linea di riva causata dagli apporti terrigeni fluviali.

Originariamente lo Stagno di Cagliari era una grande laguna caratterizzata dall'afflusso di acque continentali attraverso immissari quali Riu Mannu, Riu Cixerri e Riu di Santa Lucia, e di acque marine che durante le fasi di marea entravano attraverso le bocche della Scafa e della Maddalena. A questi collegamenti si sono aggiunti sin dal sedicesimo secolo altre sette bocche ubicate lungo il cordone dunale di La Playa e dotate di impianti fissi di pesca: Pischeredda, Pontixeddu, su Fundali, Cortilonga, Ponte Vecchio, Ponte Nuovo e Maramura.

Nel corso dell'ultimo secolo l'area è stata oggetto di grandi modificazioni e trasformazioni ambientali che hanno inciso sulla sua morfologia e sul suo funzionamento. Le principali modifiche, operate perlopiù dall'uomo, che hanno interessato sia direttamente la laguna e il fronte mare che il bacino imbrifero dei principali affluenti di acque continentali, sono state:

- i lavori di bonifica idraulica del Rii Mannu e Cixerri (1904);
- la realizzazione delle saline Conti-Vecchi (anni '20);
- l'insediamento del polo industriale di Macchiarreddu (anni '60);
- la costruzione del Porto Canale (anni '70).

Nella sua attuale configurazione l'area appare come un sistema umido assai articolato, caratterizzato da una notevole diversità ambientale e da un forte gradiente di salinità (dalle acque iperaline delle caselle salanti a quelle dolci delle foci degli immissari), che contribuiscono a determinare la grande ricchezza di specie animali e vegetali (fonte: Ufficio Intercomunale per la gestione del SIC Laguna di Santa Gilla). L'area, notevolmente fragile dal punto di vista ambientale, è stata vittima nel passato di numerosi fenomeni di inquinamento a cui sono seguiti studi per il risanamento e



dopo una serie di interventi di bonifica nel 1994 lo stagno viene nuovamente considerato idoneo per la pesca.

Le criticità presenti sono essenzialmente dovute agli scarsi apporti di acque dolci e consistono in una eccessiva salinizzazione delle acque, inoltre gli apporti di nutrienti sono al limite del livello di criticità .

L'area conserva un elevato valore ecologico, nonostante il grado di alterazione antropica degli assetti naturali.

Sono, infatti, presenti habitat iscritti nella Direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatiche.

La flora dello Stagno di Santa Gilla, benché non siano presenti piante elencate dalla Direttiva 92/43/CEE, presenta elementi di notevole interesse fitogeografico, nonostante la forte pressione antropica cui è stato soggetto.

L'elenco floristico comprende oltre 470 entità specifiche o sottospecifiche (più del 20% delle circa 2.000 entità della flora sarda) fra cui figurano alcune specie endemiche sarde o sardo-corse ed altre di rilevante interesse fitogeografico. Fra queste ultime spiccano alcune specie distribuite in areali ampi ma che nel territorio italiano risultano localizzate a pochi ambiti regionali. È il caso, per esempio, del Malvone trilobo (*Lavatera triloba*), del Ranuncolo a foglie grandi (*Ranunculus macrophyllus*) e del Finocchio acquatico a foglie di prezzemolo (*Oenanthe crocata*), presenti solo in Sardegna, o della Salicornia strobilacea (*Halocnemum strobilaceum*), del Basilisco (*Magydaris pastinacea*) e dell'Asparago spinoso (*Asparagus stipularis*), presenti soltanto in Sardegna e Sicilia.

L'elevato grado di antropizzazione dell'area è testimoniato, da una parte, dalla bassa percentuale di specie strettamente legate all'ambiente lagunare (circa il 3,4% del totale), dall'altra dall'elevata percentuale di specie a vasta distribuzione o avventizie, specie che si trovano su di un'areale diverso da quello proprio di origine (oltre il 35% del totale).

Altre specie caratterizzano la flora presente quali Papavero delle spiagge (*Glaucium flavum*), Salicornia fruticosa (*Arthrocnemum fruticosum* L.), Camomilla marina (*Anthemis maritima*), Fungo di Malta (*Cynomorium coccineum*) e in modo meno esteso Cannuccia di palude (*Phragmites australis*).

Dall'analisi delle emergenze floristiche emerge che nell'ambito dello Stagno di Cagliari ad un più elevato grado di naturalità corrispondono una maggiore varietà di tipologie vegetazionali ed una maggiore presenza di specie o di fitocenosi particolarmente rare ed interessanti.



L'esame dello spettro biologico relativo alla flora dello stagno di S. Gilla denota il carattere mediterraneo dell'ambiente, come dimostrano le percentuali delle terofite (piante annuali) pari al 43,61% e delle fanerofite (specie arboree ed arbustive) pari al 7,34%. Lo spettro corologico mostra, inoltre, un'elevata percentuale (52,2%) di specie a gravitazione mediterranea; appaiono piuttosto elevate, inoltre, anche le percentuali delle specie ad ampia distribuzione (23,9%), delle eurasiatiche (10,7%) e delle avventizie (3,6%) probabilmente in ragione dell'elevato grado di antropizzazione dell'area stagnale che ne ha determinato l'introduzione e favorito l'affermazione. Nel sistema lagunare di S. Gilla e nelle aree parastagnali sono presenti almeno tre specie endemiche della Sardegna, appartenenti al genere *Limonium* (*Limonium glomeratum*, *L. dubium*, *L. retirameum*), a distribuzione alquanto limitata nell'Isola e diffuse esclusivamente negli ambienti costieri salsi.

Inoltre sono presenti specie considerabili subendemiche, come *Crepis bellidifolia*, presente nel territorio italiano soltanto in Sardegna, Corsica e Arcipelago Toscano, ma ad areale steno-mediterraneo occidentale e *Teucrium marum*, distribuita, oltre che in Sardegna, in Corsica e nell'Arcipelago Toscano, anche nella costa della Provenza e in Dalmazia.

Nell'area sono presenti anche paleo-endemismi e sub-endemismi come *Polygonum scoparium*, *Stachys glutinosa* e *Limonium densiflorum* (endemovariante della Sicilia Nord-occidentale di *L. glomeratum*).

9.4.3 Sistemi insediativi storici e di recente formazione

Alla struttura ambientale dell'ambito, definita dalla dorsale dei colli cagliaritari, dalle zone umide degli stagni costieri e dai campidani meridionali, corrisponde una complessa stratificazione storica degli insediamenti sviluppatasi ininterrottamente dall'antico al contemporaneo.

9.4.3.1 Sistema insediativo storico

Costituiscono sistemi storici del paesaggio cagliaritano:

- I sistemi insediativi antichi (la *Karales punica* sulla sponda orientale di Santa Gilla, la città romana nell'area retrostante l'odierna darsena e la città dell'alto medioevo distribuita in diversi poli facenti capo a Santa Igia sul luogo della città punica);
- L'area del colle di Tuvixeddu con la necropoli fenicia;
- Il sistema urbanistico medievale del centro di Cagliari e dei borghi extra moenia;
- Il sistema portuale storico, commerciale, militare di Cagliari;
- Il sistema delle strutture militari del centro medioevale di Cagliari e modernizzazioni successive;
- I sistemi insediativi medievali di Quartu Sant'Elena, Quartucciu, Selargius, Monserrato, Pirri intorno ai sistemi umidi del Molentargius;



- Il sistema insediativo storico dei centri medievali di Sinnai, Settimo san Pietro e Maracalagonis; insediamento urbano e rurale di Sestu, San Gemiliano;
- L'insieme dei presidi religiosi e civili (chiese campestri e ville) del paesaggio agrario del Campidano di Cagliari, comprendente la trama fondiaria e la viabilità territoriale e prediale sia quella ascrivibile alla centuriazione romana che la sua reinterpretazione medievale;
- Il sistema delle archeologie industriali (sistemi del sale e del vino, con le Saline Molentargius e Contivecchi e con i molteplici episodi di grandi cantine sorte tra '800 e '900 nella cintura dei borghi agricoli cagliaritari);
- L'insieme delle tradizioni della cultura materiale legata alla pesca nella laguna di Santa Gilla e all'antico borgo di pescatori di Giorgino
- Il sistema museale comunale e la concentrazione museale di differenti livelli (regionale, universitario, privato).

9.4.3.2 Sistema insediativo attuale

Il sistema insediativo dell'ambito si struttura in relazione alle dominanti ambientali della dorsale dei colli di Cagliari e delle zone umide costiere. L'insediamento è caratterizzato dall'alta densità del tessuto edificato e dall'elevata complessità funzionale e relazionale del campo urbano, dalla presenza di infrastrutture portuali, commerciali e industriali e di servizi rari e superiori di rango regionale. L'articolazione degli elementi riflette la complessità dell'ambito.

Si distinguono alcuni elementi principali:

- il tessuto insediativo continuo dell'area urbana, costruito intorno al sistema ambientale di Molentargius e delle saline – Cagliari-Pirri, Monserrato, Selargius, Quartucciu, Quartu Sant'Elena – che interclude il sistema dei centri medievali e i parchi urbani dei colli di Monte Urpinu, Monte Claro, San Michele;
- l'insediamento residenziale e i servizi lungo il cordone litorale del Poetto;
- l'ambito dell'espansione residenziale di Pizz'e Serra;
- il sistema insediativo di connessione tra Cagliari ed il centro urbano di Elmas (testata del sistema urbano lineare Elmas, Assemini, Decimomannu) lungo le rive della Laguna di Santa Gilla;
- i sistemi infrastrutturali delle reti tecnologiche e dei trasporti con il sistema portuale storico, commerciale, turistico, militare, industriale di Cagliari;
- i corridoi infrastrutturali delle S.S.130 e 131 con gli insediamenti produttivi e commerciali di Cagliari, Elmas e Sestu.
- l'apparato produttivo e commerciale lungo il corridoio infrastrutturale della S.S.554, costituito da aree destinate a strutture di servizio sovra-locale (ospedali, strutture commerciali, strutture sportive), insediamenti produttivi e commerciali, confinante con gli ambiti residenziali di formazione recente in prossimità della S.S. 554;

- l'ambito dei servizi nell'area di colmata del Terramaini e gli insediamenti produttivi e commerciali lungo il Viale Marconi tra Cagliari e Quartu;
- i grandi agglomerati industriali di Macchiareddu (CASIC) in relazione con i paesaggi dello Stagno di Cagliari-Santa Gilla e le Saline Contivecchi;
- gli insediamenti recenti di servizi avanzati a Sa Illetta, con le infrastrutture mercantili del Porto Canale.

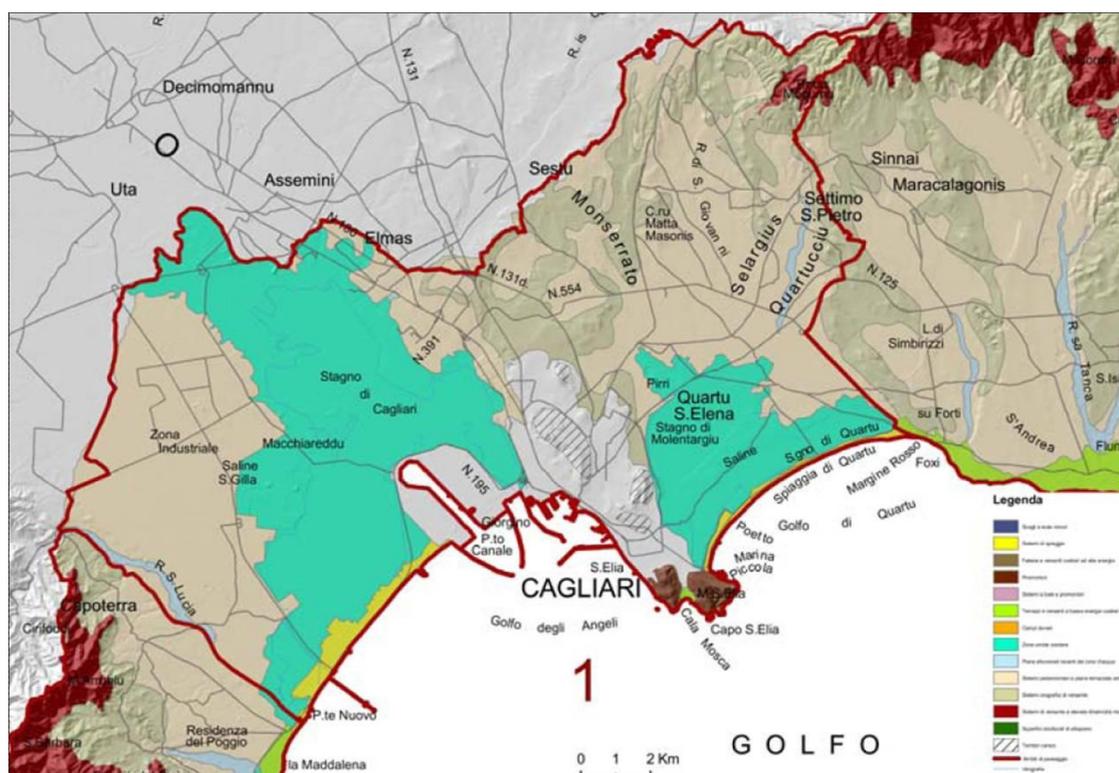


Figura 9-7 I Sistemi insediativi

9.4.4 Sistema relazionale

9.4.4.1 Principali reti di infrastrutturazione

Il porto di Cagliari, serve un popoloso agglomerato urbano quale è l'Area Metropolitana di Cagliari con i suoi circa 370.000 abitanti. Grazie alla sua posizione strategica al centro del Mar Mediterraneo, esso rappresenta un polo con alta potenzialità ricettiva per i mercati industriali e per quelli ormai ben noti turistici, a livello nazionale ed internazionale. Il porto di Cagliari è costituito da una area industriale situata immediatamente a sud-ovest della città e da un'area commerciale che si trova a stretto contatto con il tessuto urbano. Le due aree, che risultano separate da un canale che collega il mare con lo stagno di Santa Gilla, sono connesse tra di loro dalla S.S. 195 Sulcitana.

Il porto commerciale è costituito dal bacino di Ponente e dal bacino di Levante, a loro volta racchiusi dal molo foraneo di Ponente e dal molo foraneo di Levante. Nel bacino



di Ponente si trova il porto storico che ospita il traffico passeggeri sul molo Sabauda, il traffico merci Ro-Ro sul molo Rinascita ed il traffico crocieristico sul molo Ichnusa; per quest'ultimo vengono utilizzate anche le banchine sui moli Sabauda e Rinascita quando le navi da crociera sono di grossa stazza. Alcune aree sono attualmente adibite alla nautica da diporto, alla cantieristica e al naviglio da pesca. Lungo la banchina di Ponente, tra il molo Sabauda ed il molo Rinascita, permane uno scalo merci dove le operazioni avvengono per lo più su semirimorchi e di rinfusa. Tra la banchina Ichnusa ed il vecchio molo di Levante permane ancora una servitù militare mentre più a est sorge il porto turistico di Su Siccu, tra il pennello di Bonaria e il nuovo molo foraneo di Levante. Il porto industriale, Porto Canale, è situato a sud-ovest del golfo di Cagliari. Questo costituisce oggi una sorta di piattaforma logistica in forte crescita per la movimentazione di container in transhipment.



Figura 9-8 Porto di Cagliari: Infrastrutture di collegamento viarie principali

Per quanto riguarda l'integrazione porto-città, ormai e comunemente riconosciuto che, per ragioni di sicurezza, le sole aree che possono essere rese parzialmente "permeabili" ai "non utenti" di un porto sono quelle turistiche e, con qualche cautela, quelle destinate alla pesca.

Nel caso di Cagliari, il rapporto città-porto raggiunge un livello d'integrazione ottimale nel sotto-ambito turistico, favorito dall'importanza delle strutture urbane, spesso ricche di storia e cultura, e dall'opportunità offerta dal recupero dei porti commerciali che hanno caratterizzato la storia delle città.



Spazi specifici di sovrapposizione porto–città possono essere individuati nei seguenti sotto-ambiti funzionali:

- Passeggeri e crocieristica: Molo Sabauda, Molo Rinascita e Molo Ichnusa;
- Diporto nautico/turistico: Banchina di via Roma, Darsena, Calata Trinitari;
- Peschereccio: Calata Azuni, Su Siccu e Molo Sant'Agostino;
- Sevizi ed uffici portuali: Molo Sanita, Molo Capitaneria;
- Spazi e sevizi collettivi: aree fronte calata via Roma e Darsena;
- Usi urbani di interesse comune tra porto e città: calata fronte Via Roma.

Il porto di Cagliari è sede di un diportismo nautico in fase di sviluppo che rappresenta un polo d'attrazione non solo per l'utenza locale ma anche per quella turistica stagionale, favorita soprattutto dalla presenza dell'aeroporto di Elmas ad appena 7 km di distanza.



Figura 9-9 Accessibilità extra-urbana al Porto di Cagliari

Spesso l'accesso al porto di Cagliari è problematico a causa dell'inserimento dell'infrastruttura portuale nel tessuto urbano centrale: l'ingresso principale al porto vecchio, passeggeri e merci Ro-Ro (sul molo Sabauda e Rinascita), avviene lungo la via Riva di Ponente che risulta intensamente trafficata essendo la via d'accesso dentale alla città per i flussi provenienti dalla S.S.195, S.S.130 e S.S.131. La presenza di situazioni di congestione è molto frequente durante gli orari di punta, andando così a diminuire l'efficienza del trasporto merci ed il processo di sviluppo del porto di Cagliari per i collegamenti di linea Ro-Ro e Ro-Pax.



Di seguito si riportano le caratteristiche salienti della viabilità extraurbana d'accesso al porto.

La S.S.195 infrastruttura di grande comunicazione, che collega Cagliari a San Giovanni Suergiu, s'inserisce sul lato occidentale del porto di Cagliari convogliando le utenze provenienti da Capoterra, Pula e Sarroch, ma anche i flussi di lavoratori residenti nel capoluogo diretti verso le aree industriali di Macchiareddu e Sarroch. Durante il periodo estivo, si presentano frequenti fenomeni di congestione dovuti ai flussi turistici destinati alle località costiere. Al momento la sede stradale, nel primo tratto in uscita da Cagliari, è composta di due carreggiate a due corsie per senso di marcia mentre il resto del tracciato è costituito da una carreggiata a due corsie complessive bidirezionali. È stata completata la fase di progettazione del nuovo tracciato che prevede il passaggio a monte di Capoterra attraverso la zona delle saline di Contivecchi e la zona industriale di Macchiareddu, per poi immettersi sulla S.S. 130 in territorio comunale di Assemini.

La S.S.130 connette il territorio del Sulcis Iglesiente e parte del Medio Campidano con Cagliari. L'asse collega con la conurbazione di Cagliari gli importanti centri dell'area metropolitana, Decimomannu, Assemini, Elmas e l'aeroporto più importante dell'isola (Elmas, Cagliari). Intensi fenomeni di congestione avvengono nelle intersezioni semaforizzate localizzate nei punti di accesso dei comuni sopraccitati. Il traffico in ingresso/uscita da Cagliari proviene principalmente attraverso la nuova via San Paolo.

La Strada Statale 131 (Carlo Felice) rappresenta l'asse viario di maggiore importanza della rete stradale Sarda, poiché collega i principali centri abitati, porto e aeroporti dell'isola. Il traffico proveniente dalla S.S. 131 e diretta a Cagliari si ripartisce bidirezionalmente poco dopo l'innesto con la provinciale di Sestu. La direzione principale prosegue verso il rione di Sant'Avendrace e il fronte mare di via Roma. La diramazione, SS 131 dir, si unisce all'asse mediano di scorrimento e alla S.S. 554 che costituisce la via obbligata per il raggiungimento degli altri comuni dell'area conurbata di Cagliari. La S.S.131 s'inserisce sempre sul lato occidentale del porto in maniera quasi diretta per chi vuole raggiungere i servizi portuali senza passare per la rete viaria cittadina.

La S.S. 125 (orientale sarda) collega Cagliari con la Provincia dell'Ogliastra. Essa è attualmente oggetto di profonda riqualificazione sia in termini di tracciato che di carreggiata. Ciò pertanto genererà futuri flussi veicolari di cui tenere conto specie nei periodi estivi quando i flussi turistici raggiungono dalla penisola, in macchina, le mete turistiche della costa orientale.



Questa viabilità extraurbana converge radialmente all'interno dell'area urbana di Cagliari ed entra nella città attraverso le seguenti vie:

- viale La Playa, raccoglie il traffico proveniente dalla S.S.195, Nuova via S.Paolo, S.S.130;
- viale S.Avendrace, raccoglie i flussi provenienti dalla S.S. 131 e S.S.130;
- l'asse mediano, raccoglie il traffico della S.S. 130 e S.S. 131 distribuendolo negli itinerari interquartiere di:
 - via Ciusa – Bacaredda – Sonnino;
 - Via San Benedetto - Paoli – Sonnino;
 - Via dell'Abbazia – Tuveri – Dante;
- l'asse mediano di scorrimento si può raggiungere l'area portuale attraverso:
 - viale Colombo;
 - Via Bacaredda e via Sonnino;
- il viale Poetto, e le vie Ferrara - Diaz – Colombo accolgono i flussi provenienti dalla SS 125 e la SP17.

L'accessibilità del nord Sardegna è limitata dalla dotazione infrastrutturale esistente. Ovviamente, essendo l'accessibilità strettamente legata alla dotazione infrastrutturale esistente, i comuni localizzati lungo la rete viaria principale (S.S. 195, S.S. 130, S.S. 131) sono anche quelli più accessibili dal porto di Cagliari.

Per quanto riguarda le connessioni del porto con i sistemi di trasporto pubblico, al momento non esistono connessioni dirette con la rete dei servizi ferroviari e con le linee di trasporto pubblico su gomma, urbano ed extraurbano.

Per quanto riguarda l'accesso all'area di intervento da parte di autoveicoli e visitatori, è possibile garantire l'accesso tramite un ingresso dedicato lungo la stessa viabilità destinata ai mezzi pesanti e, in aggiunta, prevedere percorsi alternativi che dalla S.S.195 scendono verso Giorgino per poi deviare verso le aree dedicate al Porto Canale e alle aree dedicate alla cantieristica navale.

L'opzione suggerita consente l'accesso alle aree e alle attività intorno al terminal container senza entrare nell'area sterile del Porto Canale e, nel contempo, consentendo la massima accessibilità, anche da parte dei veicoli eccezionali destinati agli stessi cantieri navali. Le connessioni possibili in questo senso sono ipotizzate nello schema seguente.

.



Figura 9-10 Ipoetsi di accesso all'area di S.Giorgino ed al terminal container nel Porto Canale

Per quanto riguarda l'accessibilità e le connessioni del nuovo terminal container nell'area del Porto Canale, come definito nel PRP, saranno fondamentali il collegamento stradale interno al Porto Canale, previsto anch'esso dal PRP, e l'efficacia dei collegamenti con la viabilità esterna. In questo senso, si suggerisce un accesso sul versante opposto a quello esistente e localizzato sullo svincolo mostrato nell'immagine sottostante, fra la S.S. 195 e la S.P. 92, anche questo accesso dovrà essere presidiato per garantire la sicurezza del Porto industriale e dei mezzi in ingresso e in uscita

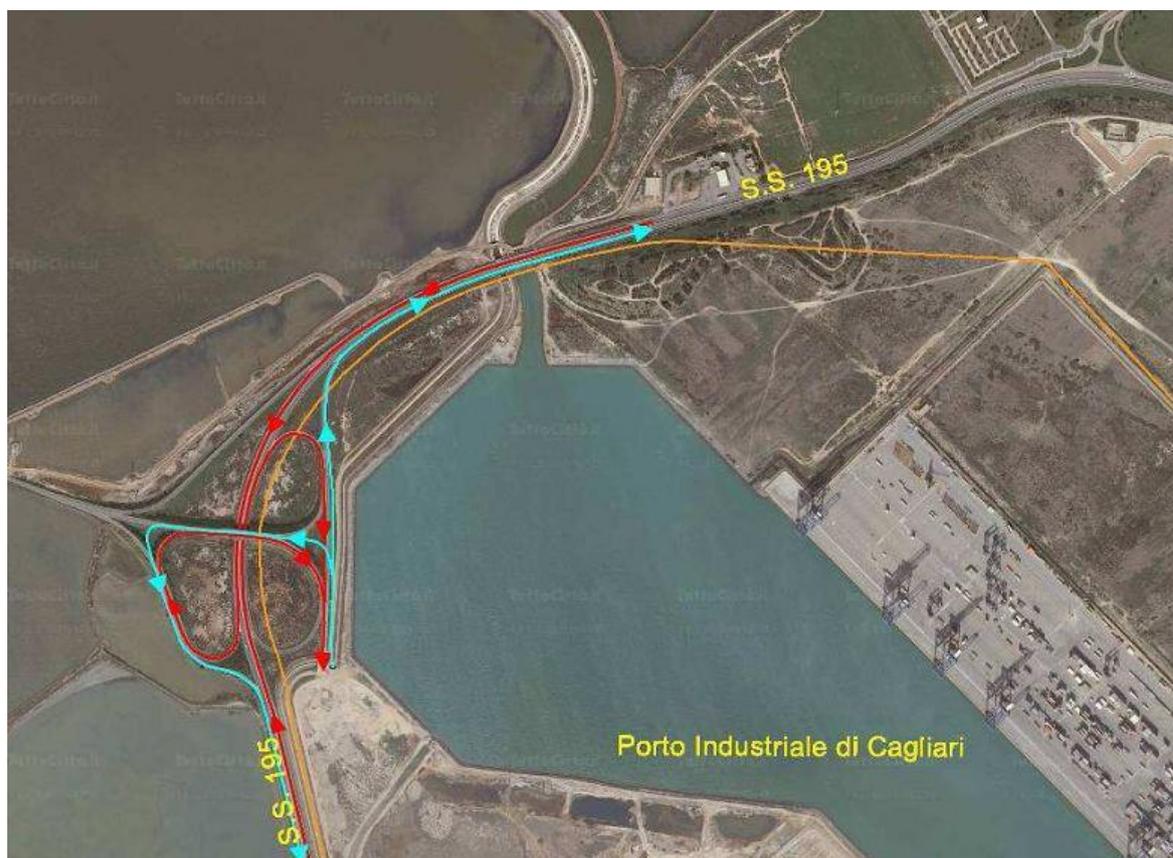


Figura 9-11 Ipotesi di accesso al nuovo terminal Ro.Ro. dal versante opposto quello esistente e localizzato sullo svincolo fra la S.S. 195 e la S.P. 92

9.4.5 Paesaggi agrari

Il Paesaggio agrario dell'ambito d'analisi è rappresentato dal paesaggio campidano, pianura della Sardegna, di recente formazione geologica, che si estende dal Golfo di Oristano a quello di Cagliari. La Pianura Campidana si presenta come un corridoio lungo un centinaio di chilometri e di ampiezza variabile tra i 15 e i 20 chilometri, limitato a ovest dai monti dell'Iglesiente, a est dalle colline della Marmilla e della Trexenta. È solcata da torrenti dal corso irregolare che hanno contribuito, con i loro coni di deiezione, a colmare la fossa tettonica dell'epoca terziaria, grazie anche a eruzioni vulcaniche, depositi marini ed eolici; questi ultimi hanno formato paludi e stagni, ora bonificati. Nel medioevo per campidani si intendevano le zone pianeggianti situate attorno a modesti centri rurali; il nome fu poi esteso a tutta la pianura. Ancora oggi, tuttavia, si distinguono il Campidano di Cagliari, in cui si coltivano cereali e vigneti e si trovano numerose saline, e il Campidano di Arborea, in cui si producono cereali, frutta, limoni e vini come la nota vernaccia.

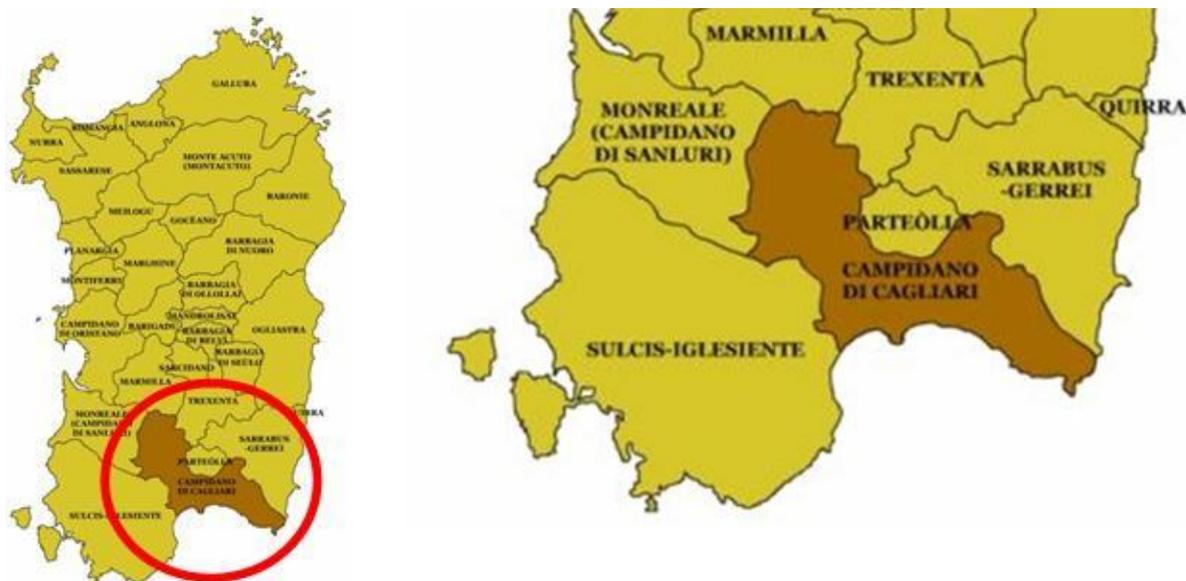


Figura 9-12 Il Campidano di Cagliari

Il Campidano di Cagliari è una regione storica della Sardegna sud-orientale. Geograficamente rappresenta la divisione convenzionale più meridionale della pianura del Campidano che ha come suo centro principale Cagliari nonché Quartu Sant'Elena e i comuni immediatamente a nord-ovest del capoluogo sardo. Si affaccia sul mare e comprende la costa orientale del Golfo di Cagliari, fino al paese di Villasimius. L'area è conosciuta per le diverse lagune costiere intorno alle quali si sono sviluppati i principali centri urbani considerando anche il capoluogo Cagliari. In questi specchi d'acqua vivono stanzialmente i Fenicotteri rosa.

Da un punto di vista geologico-ambientale, la pianura del Campidano rappresenta un sistema complesso di transizione e di interfaccia, sia fisico che funzionale, tra il dominio continentale delle colmate detritiche e alluvionali plioceniche e quaternarie della fossa tettonica campidanese e il settore marino del Golfo degli Angeli.

L'origine geologica è quella di un Graben, ovvero una fossa tettonica determinata da un sistema di faglie distensive che hanno determinato lo sprofondamento di una parte di crosta terrestre. Tale movimento tettonico viene fatto risalire all'intervallo di tempo geologico medio Pliocene – inizio Pleistocene, circa da 4 a 2 milioni di anni fa, e fu associato a importanti eventi effusivi. In seguito, la fossa fu interessata da fenomeni di sedimentazione alluvionale che portarono uno spessore di circa 600 metri di sedimenti continentali e deltizi.

La pianura attraversa la provincia di Cagliari, la provincia di Carbonia-Iglesias, la provincia del Medio Campidano e la provincia di Oristano. Fertilissima, già dai tempi dei Fenici e dei Romani era coltivata in modo intensivo a grano e vitigni. I colonizzatori vi importarono con le loro navi la zanzara di tipo anofele che diffonderà nella piana la malaria, malattia che resterà una piaga per ben due millenni e limiterà fortemente la vita degli abitanti, oltre a impedire un'immigrazione da altri territori i



cui abitanti erano privi di anticorpi. Le bonifiche avviate nel Novecento hanno riportato il Campidano a una piena salubrità e abitabilità, ed oggi i suoi stagni sono centri di conservazione di biodiversità, dove sostano i fenicotteri rosa. Nella porzione settentrionale, attorno alla città di Oristano, vi sono anche importanti risaie. Inoltre in questa zona sfocia il fiume Tirso, il più lungo di tutta la Sardegna. All'estremo meridionale è collocata la città e il centro urbano di Cagliari. Verso l'estremità più meridionale si trovano lo Stagno di Cagliari e la Laguna di Santa Gilla, Nell'ambito oggetto di studio, le aree agricole periurbane rilevano spesso situazioni di degrado, accanto alle sporadiche coltivazioni arboree si evidenziano usi impropri legati all'abbandono di rifiuti e all'accantonamento di varie tipologie di materiali. La stessa criticità si evince anche per gli spazi verdi delle periferie urbane, colonizzate da specie erbacee spontanee, che divengono zone di degrado. La funzione agricola è svolta nel retroterra dove si riconoscono i sistemi agricoli del basso Campidano.

9.4.6 L'evoluzione storica del contesto paesaggistico

Non si può dire che Cagliari sia stata fondata da questo o da quel popolo e che la sua origine sia legata ad una precisa civiltà. Anche favorito dalla forma delle coste, il golfo di Cagliari fu il punto di approdo per i Fenici, che cominciarono a insediarsi con fondaci nel sec.VIII nei due siti del promontorio di S.Elia e della Laguna di S.Gilla. Ma allora Cagliari non assunse la struttura di una città.

La mutazione si verifica con i Cartaginesi che realizzano quel tessuto urbano che era mancato nei precedenti insediamenti discontinui e occasionali. I reperti che attestano la città punica sono numerosi e provano varie funzioni, soprattutto quelle religiose con le terracotte votive di S.Gilla e la necropoli di Tuvixeddu nel quartiere S.Avendrace. La preferenza insediativa per le zone pianeggianti o sulle prime pendici dei colli fa ritenere che Castello non abbia avuto, durante il periodo cartaginese, la funzione di una vera e propria acropoli.

Il passaggio della Sardegna (238 a.C.) dai Cartaginesi ai Romani segna un mutamento profondo nell'assetto della città.

I Romani utilizzano gran parte di quello che avevano edificato i Cartaginesi, costruendo anche un complesso di abitazioni di prestigio come la Villa di Tigellio, nella strada omonima, e l'anfiteatro, e trasformando il quartiere Marina in un castrum fortificato.

E' con Roma che Cagliari diventa una vera e propria città, con regolari rifornimenti idrici, passeggiate, piazze e vie lastricate, magazzini per il sale e per il grano, nuove necropoli. Si riprende l'andamento urbanistico sperimentato dai cartaginesi, che evita le pendici più erte dei colli. La città assume così un andamento allungato sulla costa, senza grande penetrazione nell'entroterra.



Centro di circa ventimila abitanti, il capoluogo di oggi si conferma porta della Sardegna quando si diffonde il cristianesimo, che vi sarebbe giunto attraverso le rotte che portavano all’Africa del nord. L’avanzata della nuova religione continua anche durante la dominazione dei vandali e dei Bizantini e le ripetute incursioni degli arabi che nel 1015-16 la depredano ferocemente.

L’estraneità di Bisanzio si rileva dal passaggio delle istituzioni dagli arconti o ipatos bizantini ai giudici locali, che staccano formalmente e giuridicamente dal potere bizantino della penisola. Ma il giudicato di Cagliari non sceglie la città come sede di governo, lo esercita invece in sedi periferiche (in particolare a S.Igia, nello stagno omonimo) per ragioni di sicurezza. La decadenza del centro urbano in questo periodo è grave ed estesa.

A comprendere le possibilità fortificatorie dei colli di Cagliari è Pisa, che nel 1258 ha la meglio su Genova per il predominio sulla città. La vittoria pisana trasformò radicalmente Cagliari che ebbe un assetto amministrativo e giudiziario modellato sul comune toscano. La grande novità urbanistica fu rappresentata dalla realizzazione di una cerchia di mura che isolò Castello dal resto della città, facendone la sede degli uffici pubblici e la dimora dei cittadini pisani, e che rappresentò lo strumento di difesa delle attività mercantili, attivate con grande vigore. Successivamente a difesa del porto furono circondati da mura anche il quartiere Marina e le due appendici di Stampace e Villanova. Il dominio pisano fu presto minacciato dalla politica temporale di Bonifacio VIII, che nel 1297 infeudò la Sardegna e la Corsica in favore di Giacomo II D’Aragona. Pisa corse ai ripari e le rinforzate mura di Castello furono dotate delle Torri di S.Pancrazio e dell’Elefante, costruite rispettivamente nel 1305 e nel 1307 dall’architetto sardo Giovanni Capula.

Gli Aragonesi infatti si apprestarono nel 1323 alla conquista concentrando una flotta nel golfo di Palmas per muovere di qui l’assedio a Cagliari. Nel 1324, il trattato stipulato fra Pisa e Aragona mette fine all’influenza pisana in Sardegna, e segna l’inizio del dominio iberico. Tre anni dopo, l’approvazione dello statuto del *Coeterum* sancisce la scomparsa degli ordinamenti pisani.

Quando Ferdinando il Cattolico succede a Giovanni II d’Aragona nel 1479 sotto un unico trono della Castiglia e d’Aragona, la Sardegna attraversa uno dei suoi periodi più oscuri.

Per tutta la durata della dominazione spagnola, continua è la lotta con il potere regio per la conquista delle cariche e degli uffici pubblici da parte dei vari ceti esclusi.

Nel 1702, quando scoppia la guerra di successione spagnola, anche a Cagliari si formano opposte fazioni a favore dei due pretendenti. E dal mare arriva la minaccia della flotta inglese. Nell’agosto del 1708 una squadra anglo-olandese bombarda la città, che viene occupata da un reggimento inglese senza incontrare alcuna resistenza.



Con il trattato di Utrecht la Sardegna viene concessa all’Austria che governa fino al 1717, data in cui il cardinale Alberini, ministro di Spagna, manda a Cagliari una flotta di occupazione. La riconquista spagnola dura sino al 2 agosto 1718: con trattato di Londra la Sardegna è ceduta a Vittorio Amedeo II di Savoia.

Al termine della dominazione spagnola la situazione della città appare cristallizzata: le fortificazioni, per quanto rinnovate, non avevano opposto resistenza al nemico; la fame di alloggi aggiunge nuovi piani alle case pisane, dato che in Castello la concentrazione del potere politico, amministrativo e religioso ha colmato tutti gli spazi.

Con i Piemontesi il fenomeno più caratteristico è l’interessamento degli architetti militari ad opere civili. Amedeo Felice De Vincenti getta un ponte tra l’architettura militare e quella civile. L’ampliamento del collegio gesuitico di S.Croce nel 1735, alcuni interventi nel Palazzo Viceregio, il progetto della Basilica di Bonaria, il piano per l’infrastrutturazione delle saline, la sistemazione della darsena e del molo di levante, sono tutti segni di una novità importante. E’ una funzione chiusa come quella militare che concede aperture ai nuovi bisogni della società civile.

Questa disponibilità del tutto inusitata si fa esplicita con un altro ingegnere in divisa: Saverio Belgrano di Famolasco, progettista dell’unitario complesso comprendente l’università, il seminario e il teatro sul bastione Balice.

Un altro segno importante è lasciato da Giuseppe Viana, allievo del De Vincenti che sostituisce al barocco del suo maestro le linee più severe del classicismo, come nella chiesa di Sant’Anna. Né i Piemontesi trascurano le fortificazioni. La cinta bastinata di Cagliari, che ha il suo punto di forza nella linea ininterrotta dei forti di castello, raggiunge ora la sua massima espansione.

Nell’arco di tempo che va dal 1720 al 1847 e poi al 1861, con la proclamazione dell’Unità d’Italia, Cagliari conosce alcune vicende politiche che per rilevanza non hanno confronto con quelle del periodo spagnolo.

Gli avvenimenti della rivoluzione francese hanno qualche eco sugli intellettuali, ma sul popolo ha grande influenza la Chiesa, che diffonde uno spirito antifrancese e un’immagine degli avvenimenti dell’89 come unicamente irreligiosi. Così quando si presenta nel golfo di Cagliari una flotta rivoluzionaria al comando dell’ammiraglio Truguet (28 febbraio 1793) le armate francesi, sbarcate a Quartu, vengono affrontate nella piana di S.Bartolomeo dai miliziani sardi comandati da Girolamo Pitzolo, e con grande spargimento di sangue sgominate e costrette a reimbarcarsi.

Gli Stamenti si fanno forti di questa vittoria popolare e chiedono al re di approvare una richiesta fondata su cinque punti. Preminente era l’annosa questione della parità dei sardi nel coprire gli uffici e le cariche pubbliche, che però non trova soluzione.

Ispirata dagli Stamenti, scoppia a Cagliari una sollevazione antipiemontese. A furor di popolo, il 7 maggio 1794, i piemontesi furono spinti verso il porto. Costretti ad imbarcarsi, vennero cacciati dall’isola.



In conseguenza delle guerre di Napoleone, tre rappresentanti degli Stamenti avevano incontrato a Livorno Carlo Emanuele IV re di Sardegna. Il sovrano ha firmato la resa ai francesi l'8 dicembre 1798, e i tre portavoce lo invitano a lasciare Torino per trasferirsi a Cagliari, dove il re Sabauda arriva con la famiglia il 3 marzo 1799.

Ma già nel 1800, ritornato nella terraferma nella speranza di potersi reinsediare in Piemonte, il re esiliato concede i pieni poteri nell'isola a Carlo Felice e abdica a favore del fratello Vittorio Emanuele duca d'Aosta. Negli anni successivi, e specie nel 1812, infuria in città la carestia, che induce a creare un ospizio per i poveri.

Il 20 maggio 1814, a seguito del trattato di Fontainebleau, il monarca sabauda rientra a Torino, affidando la reggenza alla moglie Maria Teresa, che un anno dopo la passa a Carlo Felice, duca del Genevese (diventerà re del Piemonte il 12 marzo 1821, dopo l'abdicazione del Fratello Vittorio Emanuele I).

Nel 1847 il Consiglio generale del Comune di Cagliari chiede a Carlo Alberto che "i popoli sardi siano compresi nella lega italica doganale" e "pareggiati ai sudditi del Continente". Si svolgono grandi manifestazioni in favore della "unione perfetta" e il sovrano firma a Genova l'atto di fusione che sancisce la fine del regime doganale separato, l'estensione alla Sardegna del codici civili e penali degli Stati di terraferma, la soppressione della carica di vicerè e della Regia Segreteria di Stato e Guerra.

Un decreto reale cancellerà poi, il 40 dicembre 1860, Cagliari dal novero delle "piazze fortificate". Si apre allora una polemica sul conservare o meno la cinta bastionata. L'esito condanna le mura di Marina, Stampace e Villanova, ma conserva invece quelle di Castello, aprendo lo sviluppo urbanistico di una città che si dota (sarà la prima a farlo in Italia) di due piani regolatori redatti dall'architetto Gaetano Cima.

La fine dell'ottocento e il primo ventennio di questo secolo sono dominati dalla figura del sindaco Ottone Bacareda: con lui la città cambia volto dotandosi di numerose opere pubbliche.

Gli anni del fascismo non furono a Cagliari diversi da quelli delle altre città, con l'occupazione delle sedi dei partiti antifascisti e la caccia agli oppositori più risoluti, come Emilio Lussu, costretto all'esilio.

Non tutto però durante il fascismo fu negativo, grazie ai meriti di un podestà illuminato come l'avvocato Enrico Endrich. Così la città fu risparmiata dal piccone risanatore che nel resto d'Italia sventrava i centri storici.

Nella seconda guerra mondiale, l'importanza strategica del suo porto e dell'avioscalo di Elmas negli scontri aerei e navali del Mediterraneo, inflisse a Cagliari la tragica esperienza dei bombardamenti dal cielo, con gran numero di morti e vastissime distruzioni dell'abitato.

Ricostruita ed accresciuta, dal 1949 Cagliari è Capoluogo della Regione Autonoma della Sardegna.



9.5 Analisi delle condizioni percettive

9.5.1 Gli ambiti di intervisibilità

Venendo dall'aeroporto di Elmas e diretti a Cagliari a sinistra il Colle ed il Castello di S.Michele anticipano il sistema dei colli su cui si è sviluppata nel tempo la città di Cagliari (cfr. Foto 9-1).



Foto 9-1 Vista dal raccordo tra S.S.130 e S.S.195: Colle e Castello di S. Michele

L'area del porto Canale si colloca in un'area esterna all'area urbana Cagliari. Proseguendo sul raccordo con la S.S.195 è visibile a destra, oltre la laguna di Santa Gilla, l'area del Porto Canale. Questa manifesta in modo chiaro il suo attuale utilizzo come area industriale: è visibile il terminal di transhipment di contenitori (cfr.Foto 9-2).



Foto 9-2 Vista dal raccordo con la S.S. 195: Laguna di Santa Gilla e area del Porto Canale in cui sono visibili grandi strutture metalliche funzionali alle attività di carico e scarico delle merci dalle navi. In primo piano la linea ferroviaria che costeggia la laguna di Santa Gilla e la linea elettrica



Immediatamente dietro a tali strutture è visibile una vasta zona per la produzione di energia eolica situata nell'area industriale di Macchiareddu e lo sky-line determinato dai rilievi dei Monti di Capoterra (cfr Foto 9-3).



Foto 9-3 Vista dal raccordo con la S.S.195: Laguna di Santa Gilla e area industriale di Macchiareddu con impianti per la produzione di energia eolica

Uno degli accessi alla città di Cagliari, di interesse per l'intervento in valutazione, è da via Riva di Ponente e via S. Agostino (cfr Foto 9-4) che introducono, tramite Piazza Matteotti (cfr Foto 9-5), nel centro città e nella darsena del porto. alle spalle della darsena è presente il quartiere Marina, quartiere storico della città trasformato in castrum fortificato in epoca romana.



Foto 9-4 Accesso al centro storico da via Riva di Ponente e via S. Agostino

Foto 9-5 Piazza Matteotti

Il quartiere è un insieme di salite e discese, piazzole e scalinate (cfr. Foto 9-6); nelle viuzze che vanno verso il porto sono rimaste alcuni dei molti edifici distrutti durante la seconda guerra mondiale: le chiese barocche di S. Antonio abate e S. Rosalia, e le chiese di prevalente segno gotico catalano di S. Sepolcro e S. Eulalia.

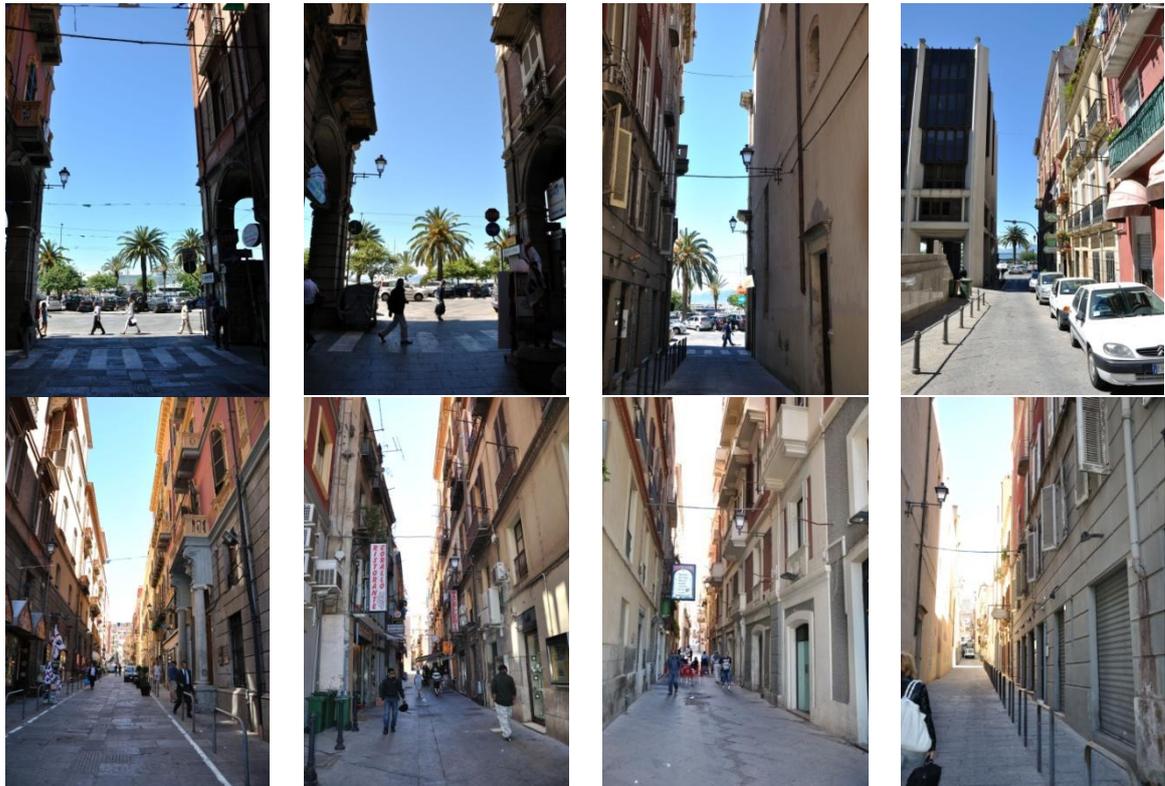


Foto 9-6 In alto: accessi al porto dal quartiere Marina su via Roma; in basso: accessi al centro storico da via Roma verso il quartiere Marina

Dalla parte più bassa del quartiere Marina l'area di intervento non risulta visibile: il tessuto edilizio storico crea dei vicoli molto stretti orientati in modo tale da non intercettarla visivamente.

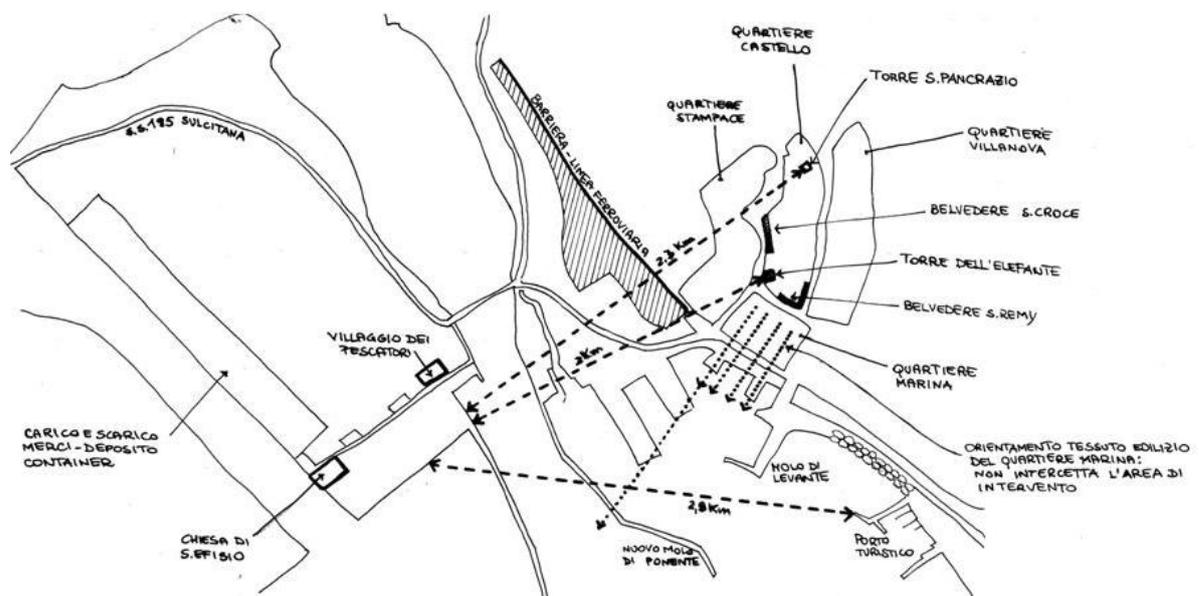


Figura 9-13 Quartiere Marina: relazione debole tra i vicoli interni al quartiere e l'area di intervento



Due arterie stradali, via Roma (cfr Foto 9-7) e poi via Colombo, corrono parallele al porto e alla pineta Su Siccu congiungendo il centro storico con il colle di S.Bartolomeo, il Monte S.Elia, il sistema stradale che scavalca il sistema dei colli e porta allo Stagno di Molentargius, alle saline e al cordone sabbioso del Poetto.



Foto 9-7 Via Roma

Dalle aree interne al porto e in particolare del porto turistico Su Siccu, l'area di Porto Canale risulta poco visibile in quanto si trova ad una elevata distanza di circa 2,9 km (cfr Foto 9-8).



Foto 9-8 Vista del porto dal porticciolo turistico Su Siccu

Dal Porto turistico Su Siccu è possibile leggere partendo da destra: la Basilica di Bonaria che dialoga con l'area portuale attraverso una serie di scalinate, la pineta Su Siccu, area verde che allontana il tessuto edilizio di recente costruzione dalla darsena, il sistema di colli completamente urbanizzato con in basso un tessuto di recente costruzione di scarsa qualità architettonica che data la sua altezza disturba in parte la percezione del centro storico di Cagliari; in alto si scorge parte del quartiere Castello (cfr Foto 9-9).



Foto 9-9 Vista della città dal porticciolo turistico Su Siccu



Figura 9-14 Elementi percepiti dal Porto turistico Su Siccu

Dal quartiere Stampace abbiamo 2 ambiti di percezione differenti: nella parte bassa, la ferrovia e le principali arterie stradali creano una evidente barriera fisica con la laguna di Santa Gilla e con l'area del Porto Canale (cfr Foto 9-10).

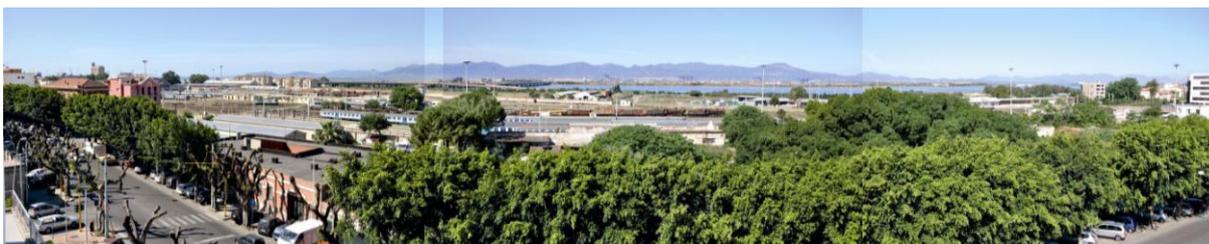


Foto 9-10 Linea ferroviaria da via Nazario Sauro

Man mano che si sale di quota e avvicinandosi al quartiere Castello l'area di intervento risulta sempre più visibile.

I punti ed i percorsi panoramici dai quali l'area di intervento è più visibile sono quelli presenti nel quartiere Castello. Il quartiere Castello rappresenta l'antica rocca della città chiusa da una cinta bastionata da cui si alzano due torri medievali in pietra (Torre di S.Pancrazio e Torre dell'elefante). Questi due elementi, ad elevata valenza simbolica, rappresentano i punti dai quali la visibilità dell'area di intervento e dei diversi ambiti di paesaggio è massima (cfr Foto 9-11 e Foto 9-12).



Foto 9-11 Vista dell'area di intervento dalla Torre di S. Pancrazio

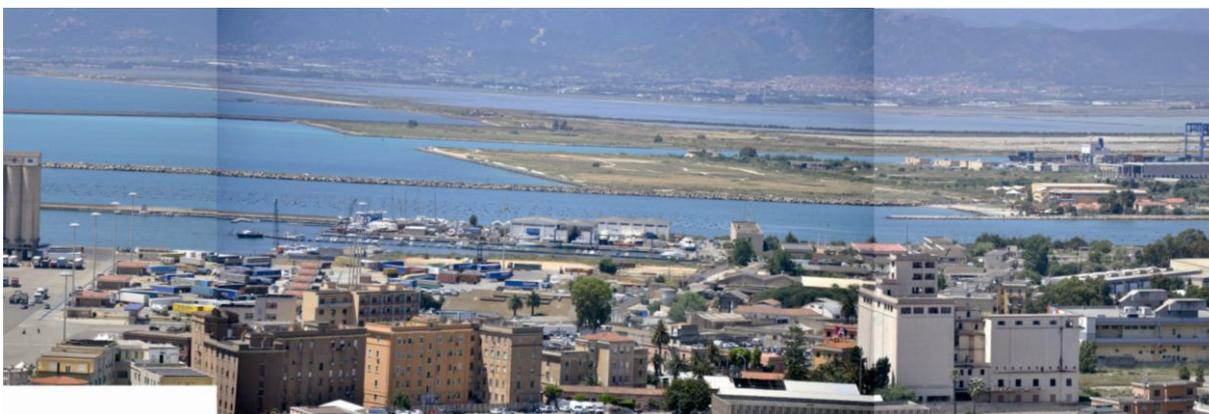


Foto 9-12 Vista dell'area di intervento dalla Torre dell'Elefante

Dalla Torre S.Pancrazio sono visibili tutti gli elementi paesaggistici di rilievo per l'area di intervento:

- il quartiere Stampace che ospita edifici di recente formazione e la ferrovia. A destra, in località sa Scafa, è visibile la Torre della Quarta Regia, sorta su un preesistente insediamento e ascrivibile, probabilmente all'epoca aragonese;
- il canale d'acqua che collega la laguna di S.Gilla con il mare;
- l'area di intervento, ad una distanza di circa di 2,3 km, costituita da terreni di riporto e due moli che chiudono l'area del Porto Canale;

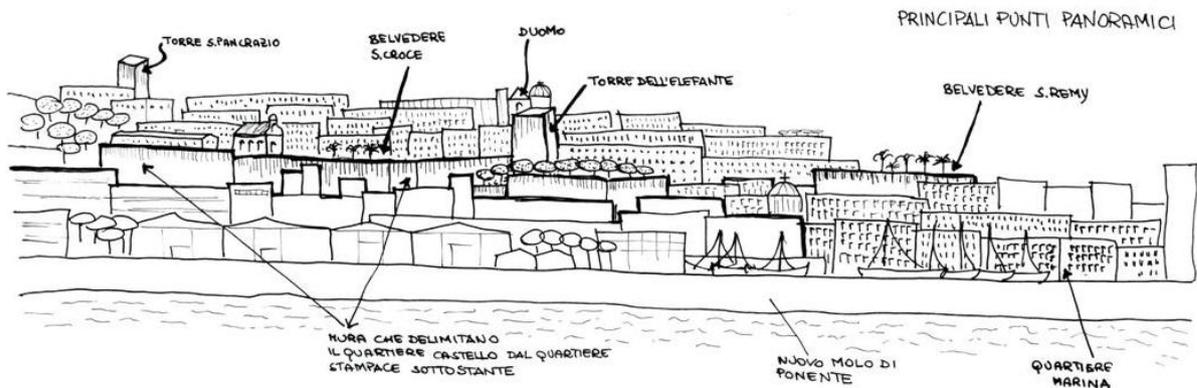


Figura 9-15 Principali punti panoramici: Torre S.Pancrazio, Torre dell'Elefante e cinta bastionata con i belvedere di S.Croce e di S.Remy

Alle spalle dell'area di intervento, sempre nell'area del Porto Canale, è possibile percepire:

- la corte Giorgino, complesso che contiene la chiesa di S.Ef시오, bene sottoposto a vincolo monumentale;
- il quartiere dei pescatori;
- i capannoni industriali e il terminal di transhipment di contenitori;

A sinistra, dietro il Porto Canale, la spiaggia di La Plaja e le saline; a destra, a grande distanza l'area industriale di Macchiareddu e la città di Capoterra.

Chiudono lo sky-line i monti di Capoterra.

Dalla Torre di S.Pancrazio parte uno degli itinerari più interessanti per la visita della città fortificata. Scendendo lentamente verso piazza Indipendenza (cfr Foto 9-13), attraverso una serie di stradine di segno spagnolo (cfr Foto 9-14), si arriva sino al palazzo Viceregio e alla Cattedrale. Dalla Cattedrale attraverso un sistema di scale e piccole piazzette si scende sino al primo belvedere sul Bastione S.Croce.



Foto 9-13 Piazza Indipendenza (Quartiere Castello)



Foto 9-14 Le strade di segno spagnolo che conducono alla cattedrale (Quartiere Castello)

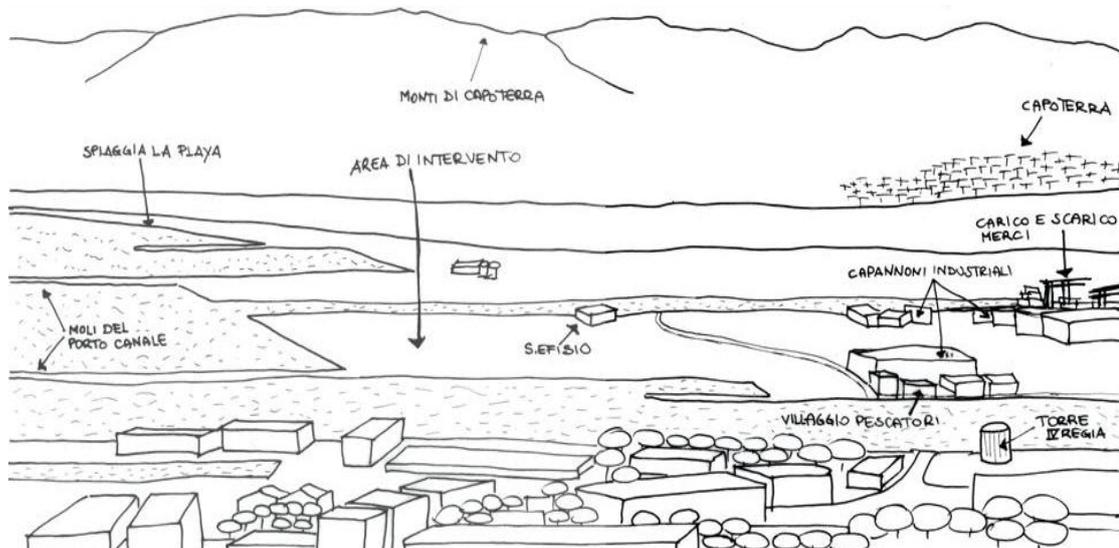


Figura 9-16 Elementi percepiti dalla Torre di S.Pancrazio

Dal Belvedere è possibile vedere il quartiere Stampace e in lontananza il porto Canale e l'area di intervento (cfr Foto 9-15).



Foto 9-15 Belvedere sul Bastione S. Croce

Poco distante al Bastione Santa Croce è possibile salire sulla Torre dell'Elefante da cui è possibile vedere il quartiere Stampace e il quartiere Marina divisi dall'importante arteria stradale, largo Carlo Felice, il porto vecchio e il porto canale e l'area di intervento (cfr Foto 9-16).



Foto 9-16 Vista di Cagliari (Quartieri Stampace e Marina) e del porto dalla Torre dell'Elefante



Percorrendo via dell'università si arriva sino al bastione S.Remy (cfr Foto 9-17) da cui è possibile vedere dall'alto i quartieri Villanova e Marina, l'area del porto vecchio e in lontananza, a grande distanza, l'area di intervento.



Foto 9-17 Terrazza Umberto I – Bastione St. Remy (Quartiere Castello)

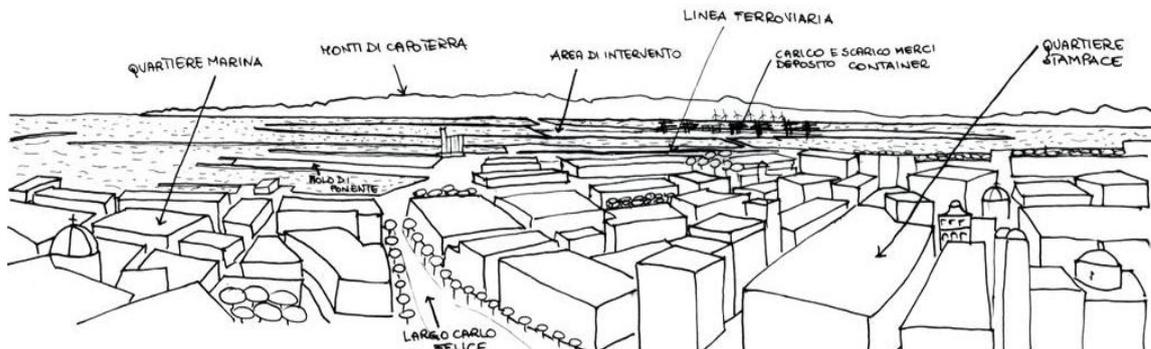


Figura 9-17 Elementi percepiti dalla Torre dell'Elefante

Venendo da Cagliari centro, al Porto Canale si accede tramite la S.S.195 Sulcitana. L'area di intervento interessa le aree a terra situate a sud-est e l'area a mare prospiciente; si prevede infatti un avanzamento di circa 71,50 m dell'attuale linea di riva.

Venendo dal mare, entrando all'interno del Porto Canale, partendo da sinistra è presente la Corte Giorgino con la chiesa di S.Efisio (cfr Foto 9-18).



Foto 9-18 Porto Canale: Area di intervento



Il complesso risente della presenza alle spalle dell'area del terminal di transhipment di contenitori.

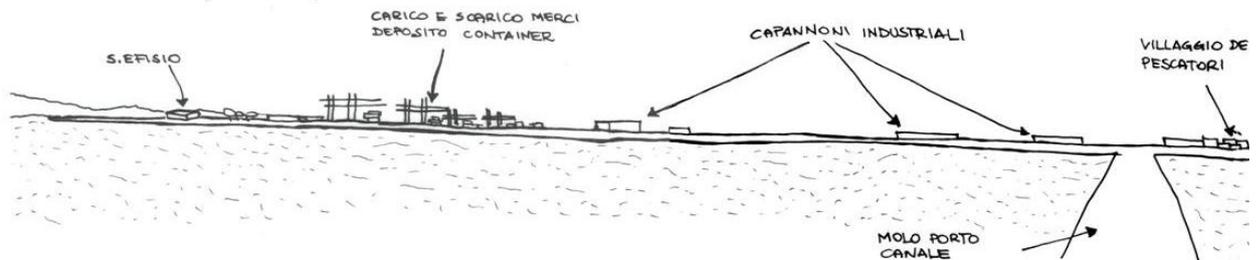


Figura 9-18 Area di intervento dal mare

Il porto canale, come previsto dagli strumenti di pianificazione di riferimento (PRP, PUC, Piano CASIC), è infatti destinato a Terminal container e servizi portuali.

Al centro del Porto Canale, dietro l'area di intervento, trovano sede alcuni capannoni industriali (costruiti con elementi prefabbricati), legati sempre alle attività cantieristiche.

A destra alcuni ristoranti (cfr Foto 9-19) con alle spalle il quartiere dei pescatori, ristrutturato di recente, composto da case da 1 o 2 piani intonacate, di colore arancio e con tetto a spiovente.



Foto 9-19 Porto Canale: Villaggio dei Pescatori ed edifici e ristoranti

9.5.2 Criticità e ambiti di degrado

Le infrastrutture presenti nell'ambito e la localizzazione degli impianti produttivi costituiscono una maglia infrastrutturale che interseca i sistema idrografici di alimentazione delle zone umide costiere sovrapponendosi, con modalità non coerenti, ai processi ambientali. La tendenza alla saldatura dei centri urbani contribuisce a chiudere i residui corridoi ecologici di comunicazione tra le zone umide e i propri bacini di alimentazione, definendo condizioni di "assedio urbano" per gli ecosistemi e gli habitat interclusi. Questi fenomeni stabiliscono condizioni di criticità legate alla perdita dei margini tra la città e le sue matrici ambientali: i riflessi nel paesaggio urbano sono quelli del progressivo degrado delle aree via marginalizzate dall'occupazione urbana dello spazio.



Ai margini della città, le periferie urbane soffrono problemi di omologazione del paesaggio e di perdita di chiari riferimenti spaziali, morfologici e tipologici. La saldatura tra i centri dell'area urbana istituisce condizioni di perifericità di zone intercluse e rende inestricabile, anche dal punto di vista percettivo, la lettura dei segni della stratificazione storica dell'insediamento cagliaritano, finendo per offuscare il sistema delle differenze costituito dai centri medievali della città e dei borghi agricoli.

Contemporaneamente s'impongono nuovi paesaggi metropolitani: dei grandi centri commerciali, dei cinema multisala, delle strade mercato da percorrere in auto, fatte di concessionarie d'automobili, capannoni commerciali e artigianali, depositi e rivendite di materiali edili, svincoli e parcheggi, guard-rail, cartelloni pubblicitari e grandi insegne luminose. Si evidenzia la criticità costitutiva di questi luoghi (o non-luoghi) deprivati dello spazio pubblico, di questi paesaggi non progettati, derivati dalla sommatoria di azioni individuali scoordinate e dalla banalizzazione delle regole edilizie basate esclusivamente sulla conformità ai criteri quantitativi degli indici urbanistici.

I processi di agglomerazione urbana producono nell'ambito effetti di congestione funzionale e spaziale, dovuti all'intensificarsi delle relazioni interne al campo urbano e alle relazioni di gravitazione che i territori limitrofi istituiscono con la città. Il Paesaggio urbano evidenzia anche criticità legate al suo sovrautilizzo da parte di popolazioni pendolari che usano quotidianamente la città metropolitana. La congestione dei trasporti e la concentrazione di automobili all'interno dell'ambito urbano ristretto, limitano lo spazio pubblico disponibile per la libera fruizione. Mentre il sistema delle gestioni dei servizi urbani risente negativamente del sovraffollamento, così come gli spazi pubblici verdi. Criticità quest'ultima che si manifesta in modo emblematico nell'utilizzo pubblico e nella profonda crisi ambientale della spiaggia del Poetto.

Le aree agricole periurbane rilevano spesso situazioni di degrado, accanto alle sporadiche coltivazioni arboree si evidenziano usi impropri legati all'abbandono di rifiuti e all'accantonamento di varie tipologie di materiali. La stessa criticità si evince anche per gli spazi verdi delle periferie urbane, colonizzate da specie erbacee spontanee, che divengono zone di degrado.

9.6 Il rapporto Opera-Paesaggio

La realizzazione e l'esercizio delle opere proposte determinano modificazioni sullo stato e sui caratteri del contesto in cui si interviene, in particolare:



- Modificazioni della morfologia: è previsto l'avanzamento della linea di riva di circa 71,50 m tramite terreno di riporto. Tale modificazione non altera lo stato e i caratteri del contesto paesaggistico in quanto l'intervento comporta una modifica nell'area del Porto Canale, area quasi completamente artificiale realizzata nel 1977;
- Modificazioni della compagine vegetale: è prevista l'impermeabilizzazione dell'intera area oggi caratterizzata da una copertura vegetale rappresentata da vegetazione di tipo prevalentemente erbacea. Tale vegetazione, essendo in uno stato di progressivo degrado, oggi conferisce all'area un aspetto arido e privo di qualità naturalistica. Tale modificazione non altera lo stato e i caratteri del contesto paesaggistico;
- Modificazioni dello sky-line naturale o antropico: l'intervento si inserisce in un'area artificiale pianeggiante sul livello del mare; la presenza dei capannoni alti 15m modifica le caratteristiche dell'area ma non altera:
 - lo sky-line naturale dei monti di Capoterra, guardando l'area di intervento dai principali punti panoramici della città di Cagliari situati nel quartiere Castello come la Torre di S. Pancrazio, lo sky-line non viene modificato (cfr. tavola CADC QAMB 11 e CADC QAMB 12);
 - lo sky-line antropico della città di Cagliari con le principali emergenze delle torri e della cinta bastionata, guardando l'area di intervento dalla spiaggia la Playa situata ad ovest del Porto Canale (cfr. tavola CADC QAMB 11 e CADC QAMB 12);
- Modificazioni della funzionalità ecologica, degli habitat e degli ecosistemi: il Porto Canale, e quindi l'opera, si inseriscono in un'area che rappresenta uno dei più estesi e articolati sistemi umidi costieri della Sardegna (Convenzione Ramsar); l'opera inoltre ricade in parte nel Sito di Importanza Comunitaria (SIC) ITB040023 "Stagno di Cagliari, saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla" e si trova in prossimità della Zona a Protezione Speciale (ZPS) ITB044003 "Stagno di Cagliari". Date le sensibilità del territorio nella fase di cantiere e di esercizio dell'opera sono previste misure di mitigazione che garantiscano il pieno rispetto e tutela dei caratteri naturali delle aree;
- Modificazioni dell'assetto percettivo, scenico o panoramico: l'intervento presenta dei capannoni alti 15m che modificano le caratteristiche dell'area di intervento senza creare delle barriere visive dai principali punti panoramici e di intervisibilità, in particolare:



- vista dalla Torre di S.Pancrazio ad una distanza di 2,3 Km, l'opera non ostacola la lettura dei principali ambiti di paesaggio e degli elementi di particolare valore naturalistico, paesaggistico e storico-culturale, nello specifico sono chiaramente percepiti:
 - il paesaggio seminaturale delle saline e a grande distanza la spiaggia La Plaja;
 - lo stagno di S.Gilla;
 - il paesaggio antropico della città Capoterra;
 - il paesaggio naturale dei monti di Capoterra;

La Tavola CADC QAMB 12 *Fotosimulazione degli inserimenti paesaggistico-ambientali*, contenente il rendering con la vista del porto canale dalla Torre di S.Pancrazio evidenzia l'assenza di barriere visive con gli elementi naturali sopra descritti;

- anche dalla Torre dell'Elefante (situata ad una distanza di 2,3 Km), dal Belvere S.Croce e dal Belvedere S.Remy i principali ambiti di paesaggio e degli elementi di particolare valore naturalistico, paesaggistico e storico-culturale sono chiaramente percepiti;
 - dal porto turistico Su Siccu situato ad una distanza di 2,9 Km, l'opera risulta poco visibile per l'elevata distanza e in quanto, nella zona a mare, il nuovo molo di ponente diminuisce la vista sulla parte a terra del porto Canale interessata dall'intervento;
 - dal porto vecchio, in particolare dalla darsena, la presenza di navi e di strutture legate alle attività portuale non permette una relazione visuale diretta con il porto canale, stesso dicasi per il quartiere storico Marina situato alle spalle della darsena del porto;
- Interferenze con beni tutelati: in prossimità dell'area di intervento è presente la piccola chiesa campestre di S.Giorgino (Chiesa di S.Efisio) inserita in un complesso che rispecchia l'usuale tipologia sarda, dove attorno al giardino si dispongono le "cumbessias" le "lollas". La chiesa e gli adiacenti locali aderiscono alla casa padronale, ora in forte degrado, per formare un unico complesso che richiama il modulo della "corte" settecentesca. L'intervento non altera i caratteri del Bene tutelato anzi contribuisce, attraverso fasce a verde, da realizzare in prossimità del limite tra l'area di intervento e l'area dove sorge la Corte Giorgino e il Parco di S.Efisio, nella conservazione e miglioramento dei servizi per l'accesso e la fruizione del complesso tutelato;
- Mantenimento delle relazioni storico-culturali e simboliche: la Chiesa di S.Efisio costituisce la prima tappa della processione che da Cagliari giunge a Nora, in



occasione della festa di S.Efisio che si svolge dal 1657 in memoria della liberazione dalla pestilenza. Anche in questo caso l'opera, grazie al miglioramento delle infrastrutture viarie di accesso al Porto Canale prevede di migliorare anche e modalità di accesso e di fruizione della Corte Giorgino e del Parco S.Efisio: in occasione delle festività e degli eventi religiosi legati a S.Efisio l'attività cantieristica potrà subire delle limitazioni funzionali al corretto svolgimento delle celebrazioni.

Le trasformazioni proposte per l'area del Porto Canale hanno il carattere strumentale di spostare il traffico merci dal Porto Vecchio. Tale operazione produce effetti positivi per il riassetto dell'intera organizzazione portuale.

9.6.1 Elementi di mitigazione e compensazione necessari

Le opere di mitigazione e compensazione si fondano sul principio che ogni intervento deve essere finalizzato ad un miglioramento della qualità paesaggistica complessiva dei luoghi, o, quanto meno, deve garantire che non vi sia una diminuzione delle sue qualità, pur nelle trasformazioni.

Sulla base della lettura degli effetti dell'intervento sulle attuali caratteristiche dei luoghi sono individuate le seguenti misure di mitigazione:

- Distinzione dell'accesso all'area del distretto rispetto alle arterie di fruizione della Corte Giorgino e del Parco di S.Efisio;
- le attività di cantiere o attività che possono potenzialmente creare disturbi agli uccelli nei periodi di nidificazione delle numerose specie presenti delle Zone a Protezione Speciale saranno limitate al minimo;
- introduzione lungo il perimetro dell'area del distretto della cantieristica di una fasce verde con ruolo schermo visivo nei confronti sia delle emergenze storico-architettoniche, come la Chiesa di S.Efisio e la Corte di Giorgino, sia nei confronti dell'asse di fruizione del villaggio dei pescatori.

Per il dettaglio della descrizione delle opere a verde si rimanda al relativo capitolo del quadro di riferimento progettuale.



10 INDICAZIONI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

10.1 La proposta di indicatori della VAS per il PRP

Nell'ambito del processo di Valutazione Ambientale Strategica, il Rapporto Ambientale (RA) contiene una proposta di indicatori per il programma di monitoraggio del Piano Regolatore Portuale di Cagliari volto a :

- fornire informazioni necessarie per valutare gli effetti ambientali delle azioni di piano consentendo di verificare se esse sono effettivamente in grado di conseguire i traguardi di qualità ambientale che il piano si è posto;
- permettere l'individuazione tempestiva di misure correttive qualora si rendessero necessarie.

Il RA fa una distinzione tra monitoraggio dello stato dell'ambiente e monitoraggio degli effetti di piano.

Gli indicatori per il primo tipo di monitoraggio vengono definiti indicatori descrittivi mentre quelli necessari per il secondo tipo vengono definiti come prestazionali o di controllo.

Il monitoraggio degli indicatori descrittivi in genere è di competenza di attività di tipo istituzionale e viene comunemente svolto da enti sovraordinati quali Arpa e Regioni. La responsabilità del monitoraggio degli indicatori prestazionali può essere affidata all'Amministrazione responsabile del Piano.

La scelta degli indicatori è stata effettuata in modo da intercettare le varie componenti della sostenibilità ambientale e socio - economica del territorio sul quale il PRP sviluppa la propria azione, secondo il Modello PSR (Pressione–Stato-Risposta).



LA PROPOSTA DI INDICATORI PER IL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DEL PRP DI CAGLIARI							
FAMIGLIA	INDICATORE	U.M.	VERIFICA	AUTORITÀ PREPOSTA AD EFFETTUARE LE MISURAZIONI	MATRICI COINVOLTE	OBIETTIVI	CODICE INDICATORE
PRESSIONE	Emissioni in atmosfera dagli inceneritori portuali e da altre attività soggette ad autorizzazioni per emissioni in atmosfera	Varie con riferimento alle autorizzazioni in atmosfera	Continua	Gestori degli impianti Provincia di Cagliari	ARIA, ECONOMIA E SOCIETA'	Monitorare le sorgenti di inquinamento dell'atmosfera	MP_1
	Quantità e localizzazione del materiale dragato	mc/anno Descrizione / Mappatura	Annuale	Autorità Portuale	SUOLO E SOTTOSUOLO	Gestire in maniera corretta la movimentazione di materiale potenzialmente inquinato	MP_2
	Qualità del materiale dragato	Varie (metalli pesanti, idrocarburi pesanti, ecc.)	Annuale	Autorità Portuale	SUOLO E SOTTOSUOLO	Gestire in maniera corretta la movimentazione di materiale potenzialmente inquinato	MP_3
	Volume delle aree di coimata	mc/anno Descrizione / Mappatura	Annuale	Autorità Portuale	SUOLO E SOTTOSUOLO	Localizzare le aree di stoccaggio	MP_4
	Produzione totale rifiuti prodotti nelle aree portuali a terra e sua disarticolazione merceologica	Kg/anno	Annuale	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare la corretta gestione del ciclo dei rifiuti	MP_5
	Produzione totale rifiuti prodotti dalle navi e i residui del carico e sua disarticolazione merceologica	Kg/anno	Annuale	Ecotravel Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare la corretta gestione del ciclo dei rifiuti	MP_6
	Rifiuti abbandonati a terra	Kg/anno	Annuale	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare la corretta gestione del ciclo dei rifiuti	MP_7
	Bonifiche del suolo	n./anno	Annuale	Autorità Portuale	SUOLO E SOTTOSUOLO	Restituire idonea qualità del suolo in funzione della destinazione d'uso	MP_8
	Eventi incidentali a mare	n./anno	Annuale	Capitaneria di Porto Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA', ARIA, ACQUA, SUOLO E SOTTOSUOLO, FLORA, FAUNA E BIODIVERSITA'	Verificare la corretta gestione del rischio	MP_9
	Scarichi di acque reflue in acque superficiali	n. / Descrizione / Mappatura	Annuale	Provincia di Cagliari Autorità Portuale Concessionari	ACQUA, SUOLO E SOTTOSUOLO	Monitorare le sorgenti di inquinamento dell'acqua	MP_10



LA PROPOSTA DI INDICATORI PER IL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DEL PRP DI CAGLIARI							
FAMIGLIA	INDICATORE	U.M.	VERIFICA	AUTORITÀ PREPOSTA AD EFFETTUARE LE MISURAZIONI	MATRICI COINVOLTE	OBIETTIVI	CODICE INDICATORE
STATO	Censimento delle praterie di posidonia nelle aree prospicienti le bocche portuali	Descrizione / Mappatura	10 anni	Si.Di.Mar.	FLORA, FAUNA, BIODIVERSITA'	Verificare l'incidenza del traffico navale sulle praterie	MS_1
	Accessibilità all'area portuale (pedonale, con mezzi pubblici, veicolare)	Descrizione / Mappatura	Annuale	Autorità Portuale Comune di Cagliari	ECONOMIA E SOCIETA', MOBILITA'	Verificare la bontà del sistema della mobilità locale, che potenzialmente può avere ricadute in termini acustici ed atmosferici	MS_2
	Zone di sosta	n. posti auto n. posti riservati per interscambio	Annuale	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA', MOBILITA'	Verificare la bontà del sistema della mobilità locale, che potenzialmente può avere ricadute in termini acustici ed atmosferici	MS_3
	Traffico passeggeri	n./g n./mese n./anno	Continua	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA', MOBILITA'	Verificare il dimensionamento delle strutture portuali e delle ricadute sull'ambiente urbano	MS_4
	Traffico navale pesante	n./anno	Continua	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA', MOBILITA'	Verificare il dimensionamento delle strutture portuali ed il potenziale impatto in termini atmosferici	MS_5
	Movimentazioni merci, di cui pericolose	t/anno	Continua	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA', MOBILITA'	Verificare il dimensionamento delle strutture portuali e la gestione del rischio connesso al trasporto di sostanze pericolose	MS_6
	Numero e tipologia di associazioni e operatori portuali presenti in ambito portuale	n./anno Descrizione	Annuale	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare l'attrattività delle aree portuali	MS_7
	Numero iscritti di operatori portuali	n./anno	Annuale	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare l'attrattività delle aree portuali	MS_8
	Attuazione PRP	mq mc	Annuale	Autorità Portuale	PIANIFICAZIONE E VINCOLI, ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare le problematiche di attuazione del Piano	MS_9
	Qualità delle acque portuali	Varie (metalli pesanti, idrocarburi pesanti, ecc.)	Annuale	Provincia di Cagliari ARPAS	ACQUA, SUOLO E SOTTOSUOLO	Monitorare le sorgenti di inquinamento dell'acqua	MS_10



LA PROPOSTA DI INDICATORI PER IL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DEL PRP DI CAGLIARI							
FAMIGLIA	INDICATORE	U.M.	VERIFICA	AUTORITÀ PREPOSTA AD EFFETTUARE LE MISURAZIONI	MATRICI COINVOLTE	OBIETTIVI	CODICE INDICATORE
RISPOSTA	Ditte appaltatrici che attuano "politiche verdi"	n./anno Descrizione	Annuale	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA', ARIA, ACQUA, SUOLO E SOTTOSUOLO	Verificare il contributo al risparmio di risorse naturali ed antropiche	MR_1
	Interventi con misure di risparmio idrico ed energetico	n./anno Descrizione / Mappatura	Annuale	Autorità Portuale	ACQUA, ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare il contributo al risparmio idrico ed energetico	MR_2
	Quota di utilizzo / acquisizione di energia da fonti rinnovabili	%	Annuale	Autorità Portuale	ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare la produzione di energia da fonti rinnovabili	MR_3
	Allacciamenti alla rete fognaria pubblica	n.	Annuale	Autorità Portuale Concessionari	ACQUA, ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare il processo di riconversione del sistema di smaltimento dei reflui urbani	MR_4
	Realizzazione di vasche di prima pioggia / dissolatori / recupero acque meteoriche	n. e localizzazione	Annuale	Autorità Portuale	ACQUA	Monitorare la corretta gestione delle acque di origine meteorica	MR_5
	Realizzazione di nuove superfici a verde	mq	Annuale	Autorità Portuale	ARIA, ECONOMIA E SOCIETA'	Controllare le superficie impermeabili	MR_6
	Interventi sottoposti a Procedure di VIA	n. Descrizione	Annuale	Autorità Portuale	PIANIFICAZIONE E VINCOLI, ECONOMIA E SOCIETA'	Verificare l'applicazione di strumenti preventivi per la tutela ambientale	MR_7
	Attività di monitoraggio delle opere sottoposte a VIA	Descrizione quali - quantitativa	Annuale	Autorità Portuale	PIANIFICAZIONE E VINCOLI, ECONOMIA E SOCIETA'	Controllo delle modalità di esecuzione delle opere programmate dal PRP	MR_8
	Attività di monitoraggio degli stabilimenti RIR	Descrizione quali - quantitativa	Annuale	Gestori degli stabilimenti	ECONOMIA E SOCIETA', ARIA, ACQUA, SUOLO E SOTTOSUOLO, FLORA, FAUNA E BIODIVERSITA'	Controllo del rispetto normativo degli impatti	MR_9
	Percentuale di raccolta differenziata	%	Annuale	Autorità Portuale Concessionari	ECONOMIA E SOCIETA'	Verifica della gestione sostenibile dei rifiuti	MR_10



10.2 I parametri di monitoraggio individuati per il progetto

Il monitoraggio ambientale di un'opera consiste nella verifica puntuale degli impatti ambientali per le diverse fasi di costruzione e funzionamento a regime dell'opera stessa, con particolare attenzione alle aree di maggior sensibilità individuate per le varie componenti oggetto di studio, l'insorgere d'impatto viene determinato attraverso la variazioni degli indicatori parametrici ambientali monitorati.

Il monitoraggio ambientale prevede tre fasi distinte: la fase ante operam (AO), la fase in corso d'operam (CO) e la fase post operam (PO). Tali attività consentono inoltre una previsione degli impatti attesi dell'opera ed una progettazione adeguata degli interventi di mitigazione specifici del caso, attuabili a costi sostenibili.

Le misurazioni, le ricerche dati e le analisi previsionali *ante operam* (AO) hanno l'obiettivo di raccogliere informazioni sullo stato ambientale attuale, con particolare riguardo agli aspetti ambientali più significativi (ambiente idrico, rumore, atmosfera e vibrazioni), prima dell'inizio delle lavorazioni.

Le misure *in corso d'operam* (CO) hanno l'obiettivo di verificare le previsioni/simulazioni degli impatti dovuti alla fase di costruzione, evidenziando e contribuendo all'eliminazione di eventuali criticità non emerse negli studi previsionali.

Le misure *post operam* (PO) verificano i risultati degli studi previsionali per la fase di esercizio e forniscono

Le indicazioni di seguito riportate dovranno essere tradotte in un calendario di attività dettagliate di monitoraggio da condividere con gli Enti preposti alle autorizzazioni.

Allo stato attuale il progetto è stato trasmesso alla Provincia di Cagliari per l'autorizzazione di cui all'art.109 del D.Lgs 152/06 e s.m.i., a seguito della quale verranno ageduate le attività di monitoraggio, conformemente a quanto previsto dal piano delle attività di controllo prescritto dalla Provincia.

Dal punto di vista della frequenza e della localizzazione delle misure, il sistema di monitoraggio dovrà adattarsi alle diverse tipologie e localizzazioni delle attività impattanti.

L'attività di monitoraggio va supportata, infatti, da apparecchiature di misura facilmente rilocabili. Per le stesse esigenze si prediligono, ove possibile, metodologie di rilievo che comportino la presenza in campo costante del tecnico specializzato.

Tutti i rilievi dovranno essere eseguiti mediante strumentazione in regola con gli standard previsti dalle norme in vigore, regolarmente tarata da organismi riconosciuti, nella fase di attuazione del monitoraggio.



Per ciascuna delle fasi oggetto di indagine dovranno essere redatte schede di rilievo che riporteranno le seguenti indicazioni:

- Il periodo di monitoraggio (arco temporale entro cui svolgere l'attività di rilevazione);
- La frequenza (mensile, trimestrale, ecc.) dei rilievi da effettuare nel periodo;
- La tipologia (l'estensione temporale del rilievo oppure la modalità specifica di conduzione del rilievo stesso).

10.2.1.1 Le principali componenti oggetto di monitoraggio

In relazione alla componente **acque**, i campionamenti per l'analisi della qualità delle acque portuali potranno essere svolti al fine di ottenere elementi di valutazione che concorrano a definire il giudizio di qualità alle indagini di base sulle acque andranno associate indagini sui sedimenti e sul biota.

Il monitoraggio del biota e dei sedimenti viene effettuato per rilevate specifiche fonti di contaminazione e per indicazioni sui livelli di "compromissione" del tratto considerato.

L'eventuale incremento giudicato significativo, tra una analisi e le successive, della concentrazione degli inquinanti nei sedimenti e nel biota, deve comportare l'approfondimento delle iniziative di controllo sugli apporti.

Tali controlli devono riferirsi, in prima approssimazione, alla valutazione dei carichi inquinanti:

- veicolati al mare da corsi d'acqua, da scarichi diretti di acque reflue e da emissioni atmosferiche;
- contenuti in materiali solidi utilizzati in opere a mare (dragaggi, ripascimenti, barriere artificiali, ecc.).

I parametri da analizzare nelle acque sono quelli di base riportati nell'elenco sottostante:

Acqua-Elenco dei parametri da analizzare	
Temperatura (°C)	Azoto nitrico (µg/L)
Ossigeno disciolto (mg/L)	Ortofosfato (µ/L)
pH	Azoto ammoniacale (µg/L)
Clorofilla "a" (µg/L)	Fosforo totale (µ/L)
Trasparenza (m)	Azoto nitroso (µ/L)
Azoto totale (µg/L come N)	Enterococchi (UFC/100 cc)
Salinità (psu)	Analisi Quali - quantitativa del fitoplancton (num. cellule/L).

Tabella 10-1 Analisi della qualità delle acque - Parametri monitoraggio



Per temperatura, salinità e ossigeno disciolto dovrà essere fornito il profilo verticale su tutta la colonna d'acqua.

Le determinazioni sui sedimenti dovranno riguardare indagini di base, i cui parametri sono i seguenti:

Determinazione da eseguire nei sedimenti

Analisi granulometria per la determinazione delle principali classi granulometriche (ghiaie; sabbie; limi; argille)

Carbonio Organico

Idrocarburi Policiclici Aromatici - IPA

Composti organoclorurati (PCB e pesticidi)

Metalli pesanti bioaccumulabili Composti organostannici

Saggi biologici

Può essere necessaria un'analisi più approfondita volta a evidenziare gli effetti tossici a breve o a lungo termine; in tal caso potranno essere effettuate indagini addizionali, quali saggi biologici condotti su specie selezionate appartenenti a diversi gruppi tassonomici, privilegiando le specie autoctone o quelle per le quali esistano dei protocolli standardizzati.

Per le acque potrà essere prevista una frequenza di campionamento stagionale per tutti i parametri sopra indicati; per i sedimenti una frequenza di campionamento annuale, effettuato sempre nello stesso periodo dell'anno e corrispondere al periodo di minor influenza degli eventi meteo-marini.

Per il controllo della qualità delle acque sotterranee le modalità di perforazione devono essere tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati e consentire corretti campionamenti ai fini dei rilievi delle sostanze contaminanti e della caratterizzazione delle acque.

Per il campionamento di acque che contengono gas disciolti non si dovranno adoperare pompe sommerse dotate di giranti poiché inducono notevoli turbolenze nell'acqua che favoriscono ai gas di sfuggire e all'ossigeno di sciogliersi anche oltre la saturazione; si dovranno pertanto utilizzare pompe o campionatori pneumatici.

Per il monitoraggio in Corso d'Opera si determineranno i seguenti parametri chimico-fisico-batteriologicali:

Parametri chimico fisici Tipo A (misure di campagna)	
Temperatura aria/acqua	Conducibilità elettrica
PH	Ossigeno disciolto



Parametri chimico fisici Tipo B (misure di laboratorio)	
Residuo fisso	Cloruri
Alluminio	Azoto ammoniacale
Arsenico	Azoto nitroso
Cadmio	Azoto nitrico
Cromo	Fosforo totale
Cromo (IV)	Solfati
Ferro	Idrocarburi totali
Mercurio	Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
Nichel	Idrocarburi aromatici (BTEX)
Piombo	Alifatici clorurati cancerogeni
Rame	Tensioattivi anionici
Manganese	Tensioattivi non ionici
Zinco	
Parametri batteriologici Tipo C (misure di laboratorio)	
Coliformi totali	Streptococchi fecali
Coliformi fecali	

Il monitoraggio post operam dovrà verificare gli effetti a lunga scadenza dell'opera sull'ambiente idrico sotterraneo.

I risultati del MPO andranno quindi confrontati non solo con il quadro preesistente all'opera, ma anche con le tendenze evolutive del locale ambiente idrico.

Il MPO avrà una durata tale da garantire che si siano stabiliti i nuovi equilibri ambientali, relativamente alle acque sotterranee, controllando che questi siano compatibili con il quadro preesistente.

In relazione agli esiti delle analisi effettuate sulle componenti **atmosfera e rumore**, è possibile prevedere dei monitoraggi in corso d'opera e post operam volti alla verifica dei livelli di inquinamento sia in fase di cantiere che dopo la realizzazione delle opere in progetto.

La scelta delle aree da monitorare è basata, per la fase di cantiere, sulle lavorazioni previste nel progetto e le sorgenti che esse comportano, con particolare riferimento ai ricettori più vicini all'area di cantiere, rappresentati dagli edifici residenziali nel borgo di Giorgino, ad est dell'area di progetto. In fase post operam, il monitoraggio dovrà valutare le variazioni del clima acustico e delle emissioni in atmosfera derivante dal traffico indotto dalle nuove attività previste nel distretto della cantieristica, con riferimento ai nodi di collegamento tra il porto vecchio ed il porto canale; come detto, infatti, il progetto contribuisce a delocalizzare attività della cantieristica dal porto vecchio, con conseguente beneficio, in termini di emissioni,



per il tessuto del waterfront urbano in diretto contatto con l'area portuale del porto storico.

I punti di misura dovranno essere in numero sufficiente e distribuiti sul territorio in modo tale da garantire il controllo dei parametri acustici individuati su tutta l'area di impatto, sia del Porto Canale che dell'area di accesso al Porto Vecchio, nonché delle lavorazioni di cantiere.

In merito ai rifiuti e materiali di scarto di lavorazione i monitoraggi dovranno essere svolti con cadenze e modalità definite nel manuale di sistema di gestione ambientale che verrà redatto nelle successive fasi di progettazione.

Le analisi svolte sulla componente **vegetazione** hanno mostrato come l'area di intervento sia caratterizzata da formazioni con esigui livelli di copertura, la cui frammentazione e degrado le conferiscono una bassa valenza dal punto di vista naturalistico. Le formazioni presenti sono, infatti, di tipo arbustive ed erbacee alo-nitrofile con specie pioniere; questo tipo di vegetazione rispecchia le caratteristiche del territorio in quanto tende a colonizzare soprattutto le aree degradate con substrati a concentrazione salina medio – alta.

L'aspetto vegetazionale più interessante è rappresentato dalla presenza dell'endemica *Limonium sp.*, localizzata nel settore orientale della colmata. A questo habitat sono da riferire le praterie alofile caratterizzate da specie erbacee perenni, presenti nelle aree costiere, ai margini di depressioni salmastre litoranee, caratterizzate da forte aridità estiva. Nell'area in esame, l'habitat si presenta piuttosto frammentato. Le attività di monitoraggio dovranno valutare l'assenza di impatti a seguito delle attività di cantiere attraverso un controllo delle formazioni vegetali da compiersi sul campo al fine di verificarne l'integrità nella fase di post operam ed intervenire qualora si rilevassero situazioni di criticità.

In relazione alla tipologia di opera che prevede la realizzazione di nuovi moli e banchine, alle attività da svolgere in fase di cantiere, con particolare riferimento ai dragaggi per l'approfondimento dei fondali, da effettuare sia all'interno che all'esterno del bacino del Porto Canale, particolare attenzione verrà posta al monitoraggio della componente **ecosistema marino**.

Il monitoraggio dell'ecosistema marino si dovrà sviluppare sia nella fase del corso d'opera sia nei periodi successivi al funzionamento del distretto della cantieristica.

In particolare durante la fase di costruzione dell'opera dovranno essere rilevati gli effetti prodotti dalle attività di dragaggio, mentre nel post operam dovranno essere monitorati gli effetti delle attività di esercizio e della presenza fisica delle nuove infrastrutture.



L'analisi chimico-fisica delle acque dovrà essere effettuata sia in fase di costruzione durante le attività di dragaggio per la verifica di eventuali modifiche dei livelli di torbidità e di qualità eventualmente prodotte dal sollevamento dei sedimenti e dall'immissione nella colonna d'acqua di elementi inquinanti contenuti negli stessi, sia in fase di esercizio al fine di rilevare eventuali forme di inquinamento prodotte.

In fase di esercizio sarà opportuno attuare un monitoraggio, costante nel tempo, che oltre a definire la qualità delle acque in relazione ai parametri fisico-chimici caratterizzi anche il fondale dal punto di vista chimico.

Il piano di monitoraggio ante operam e in corso d'opera della qualità delle acque, sedimenti, popolazioni bentoniche nell'ambito portuale, prenderà in esame i seguenti parametri generali:

- A. analisi fisico – chimica delle acque;
- B. analisi della qualità dei sedimenti;
- C. analisi della quantità dei sedimenti;
- D. analisi comunità bentonica;

Relativamente agli aspetti localizzativi, tali monitoraggi potranno interessare tre ambiti; uno interno alla nuova darsena del distretto della cantieristica, uno all'interno del bacino del Porto Canale delimitato dai due moli di protezione di ponente e di levante, ed uno esterno, all'imboccatura del suddetto bacino. All'interno di tali ambiti dovranno essere individuati i punti di localizzazione delle stazioni di campionamento, in accordo con gli enti preposti alle autorizzazioni di cui all'art.109 della D.Lgs 152/06 e s.m.i..

L'analisi fisico – chimica delle acque è finalizzata a rilevare eventuali modifiche dei livelli di torbidità e di qualità che in corso d'opera potranno essere prodotte dal sollevamento dei sedimenti e dall'immissione nella colonna d'acqua di elementi inquinanti contenuti negli stessi, o la presenza di possibili forme di inquinamento dovute all'esercizio del porto, nonché nel stimare la entità delle modificazioni indotte rispetto allo stato attuale.

A fronte di tale finalità, le analisi dovranno effettuarsi nel corso delle fasi ante operam, corso d'opera e post operam.

Di seguito si riportano i parametri che dovranno essere presi in considerazione per l'analisi della qualità delle acque



PARAMETRI	TIPO ANALISI
Trasparenza	Misure sul campo
Temperatura	Misure sul campo
PH	Misure sul campo
Salinità	Misure sul campo
Ossigeno disciolto	Misure sul campo
Clorofilla "a"	Misure sul campo
Fitoplancton	Analisi biologiche
Mesozooplancton	Analisi biologiche
Azoto totale	Analisi chimiche
Azoto ammoniacale (N-NH ₂)	Analisi chimiche
Azoto nitrico (N-NO ₃)	Analisi chimiche
Azoto Nitroso (N-NO ₂)	Analisi chimiche
Fosforo totale (P- tot)	Analisi chimiche
Fosforo da Ortofosfati (P-PO ₄)	Analisi chimiche

Tabella 10-2 Analisi della qualità delle acque - Parametri monitoraggio

Per l'analisi quali-quantitativa dei sedimenti, atta a verificare il possibile insorgere di modificazioni indotte dalla realizzazione delle opere, si ritiene che dovranno essere condotte in fase ante operam e post operam, prevedendo un campionamento prima dell'avvio dei lavori, mentre a seguito dei lavori dovranno essere previsti campionamenti relativamente agli aspetti quantitativi e qualitativi.

Il monitoraggio svolto sia in fase ante operam che post operam dovrà prendere in considerazione i seguenti parametri:

PARAMETRI	TIPO DI ANALISI
Spore clostridi solfitoriduttori	Analisi biologiche
Test Vibrio fischeri fase solida	Analisi biologiche
Test Vibrio fischeri fase liquide	Analisi biologiche
Carbonio organico	Analisi chimiche
Granulometria	Analisi chimiche
Composti organoclorurati	Analisi chimiche
Idrocarburi policiclici aromatici	Analisi chimiche
Composti organostannici	Analisi chimiche

Tabella 10-3 Analisi dei sedimenti - Parametri monitoraggio qualità



Nello specifico, per quanto concerne gli aspetti quantitativi, la analisi è finalizzata al rilevamento del tasso di incremento della sedimentazione, effettuato mediante dragaggi che, conosciuta la batimetria iniziale, consentiranno di risalire ai quantitativi di sedimento accumulati in un determinato tempo.

Un ulteriore elemento da sottoporre a monitoraggio, è costituito dalle comunità bentoniche, che, in quanto organismi di fondo marino, poco mobili, rappresentano importanti indicatori dello stato di salute generale dell'ecosistema.

Le variazioni di tutto l'insieme dei parametri che governano gli equilibri ecosistemici si ripercuotono infatti sulla composizione in specie ed abbondanza delle comunità bentoniche ed in particolare sulla presenza/assenza di alcuni taxa maggiormente sensibili agli elementi inquinanti.

I parametri strutturali della comunità saranno i seguenti:

- numero di specie
- numero di individui
- indice di diversità specifica
- indice di ricchezza specifica
- indice di equiripartizione o "evenness"
- indice di dominanza.