



TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI PROGETTO AUTORIZZATIVO

TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI
PROGETTO AUTORIZZATIVO



Progettazione

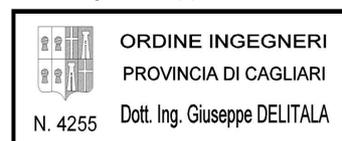
Società di ingegneria incaricata per la progettazione



COSIN S.r.l.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA UNIPERSONALE
09134 CAGLIARI - VIA SAN TOMMASO D'AQUINO 18
Tel e fax +39 070 2346768
info@cosinsrl.it
P.IVA 03043130925

Progettista e responsabile per l'integrazione
fra le varie prestazioni specialistiche

Ing. Giuseppe Delitala



Gruppo di lavoro COSIN S.r.l.

Geologia e geotecnica
Geol. Alberto Gorini



Opere Civili
Ing. Nicola Marras

Studio di impatto ambientale
Ing. Emanuela Corona

Fotosimulazioni
Arch. Daniele Nurra

Archeologia
Archeol. Anna Luisa Sanna

Consulenze specialistiche:

Rapporto preliminare di sicurezza
Società ICARO S.r.l.

Opere antincendio
Ing. Fortunato Gangemi

Opere Marittime
Ing. Giovanni Spissu

Opere Strutturali
Ing. Francesco Fiori

Studio di impatto Acustico
Ing. Antonio Dedoni

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

1 - ELABORATI TECNICI E SPECIALISTICI

NOME FILE

D_01_ES_04_RGL_R00

FORMATO

CODICE
ELAB.

D 0 1 E S 0 4 R G L R 0 0

REV. A

A4

A PRIMA EMISSIONE

Maggio 2017

Gorini

Delitala

Delitala

REV. DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO



INDICE

1	PREMESSA	2
1.1	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI	3
1.2	APPROCCIO METODOLOGICO DI STUDIO.....	4
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
1.4	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
1.5	INQUADRAMENTO CLIMATICO	9
2	MODELLO GEOLOGICO	21
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA	21
2.2	CARATTERI GEOMORFOLOGICI	25
2.3	ASSETTO TETTONICO E STRUTTURALE DELL'AREA VASTA.....	29
2.4	CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI LOCALI	31
3	SISMICITÀ	35
4	IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA	40
4.1	ASSETTO IDROGRAFICO	40
4.2	ASSETTO IDROGEOLOGICO	43
5	CARATTERI GEOPEDOLOGICI E USO DEL SUOLO	47
6	INTERVENTI PREVISTI IN RELAZIONE AL P.A.I. E AL P.S.F.F.	51
7	INTERVENTI PREVISTI IN RELAZIONE AL P.G.R.A.	53
8	CONCLUSIONI	57



1 PREMESSA

L'intervento in oggetto ha come obiettivo di realizzare un terminal per il GNL (Gas Naturale Liquefatto) nel Porto Canale di Cagliari. L'impianto è stato localizzato in un'area che intercetta il tracciato delle reti di trasporto del gas GPL (Gas Petrolio Liquefatto) esistenti dell'area vasta di Cagliari, ed in prossimità della dorsale Sarroch/Oristano/Porto Torres dell'ipotetico futuro metanodotto. L'obiettivo principale è quello di garantire agli utenti civili e industriali della Sardegna la possibilità di utilizzare il gas metano come fonte energetica alternativa a quelle già presenti nell'isola.

Il Terminal sarà caratterizzato da una struttura in banchina per la connessione e lo scarico del GNL dalle navi metaniere, un complesso di tubazioni criogeniche per il trasporto del fluido nella zona impianto, un sistema di stoccaggio, pompaggio, e rigassificazione del GNL.

Nel Terminal saranno installati 18 serbatoi criogenici, 9 gruppi di pompaggio, 40 vaporizzatori ad aria ambiente (AAV) e una stazione per il filtraggio, la misura e l'odorizzazione del gas naturale propedeutica all'immissione nelle reti di trasporto. Attraverso le baie di carico per le autocisterne si potrà trasportare il GNL su gomma in tutta l'isola, o rifornire le navi, attuando così le direttive europee sull'utilizzo del GNL come combustibile per le imbarcazioni.

Il progetto proposto rientra nelle linee guida del Piano Energetico Ambientale della Regione Sardegna, ed in quelle dell'Accordo di Programma Quadro per la Metanizzazione della Sardegna. La scelta progettuale adottata è inoltre in piena sinergia con le direttive europee e nazionali, sulla realizzazione di infrastrutture per i combustibili alternativi (Direttiva 2014/94/UE e D.Lgs.257/2016).

Con il Terminal di ISGAS, il porto canale potrebbe diventare, senza ulteriori infrastrutturazioni, un polo nel mediterraneo per il rifornimento delle navi che utilizzano il GNL come carburante per il trasporto marittimo. Le infrastrutture sono infatti progettate per creare un efficiente "*Bunkering Point*" (ship to ship, truck to ship, o pipe to ship).

A tal proposito si ricorda che il porto di Cagliari fa parte dei 14 porti italiani core delle reti transeuropee di trasporto (Reti TEN-T) del Regolamento UE1315/2013, che dovranno a breve garantire la "*disponibilità di combustibili puliti alternativi*".

Il proponente del progetto è la ISGAS Energit Multiutilities S.p.A., società Concessionaria, in regime di esclusiva, del servizio di distribuzione del gas nei comuni di Cagliari, Oristano e Nuoro. Attualmente ha oltre 21.000 utenti attivi. ISGAS si occupa della distribuzione e vendita dell'aria propanata (integralmente sostituibile con il metano) attraverso reti canalizzate nei vari territori comunali.

Il Terminal è stato progettato per essere un importante punto di "*Entry*" nel sistema di metanodotti della Sardegna, attualmente in fase di progettazione. Tuttavia il Terminal GNL potrà svolgere a pieno le sue funzioni anche collegandosi alla rete di trasporto del gas già esistente a servizio dell'area vasta di Cagliari.



1.1 Descrizione degli interventi previsti

L'impianto sarà composto da 7 macro zone: un'area bracci di carico localizzata nella banchina del Porto Canale a 700 metri di distanza dal terminal principale, in cui sono presenti in bracci di carico e scarico del GNL dalle navi, area stoccaggio GNL in cui sono localizzati serbatoi e pompe criogeniche, area vaporizzatori, area di carico autocisterne, area gestione BOG, area torcia e infine area di misura odorizzazione e rilancio del metano.

L'impianto sarà ubicato all'interno del Porto Industriale di Cagliari. Le coordinate del Baricentro dell'area dell'impianto sono E=1507402.7727 N= 4340468.3092 secondo il sistema di Riferimento Gauss Boaga (Roma Monte Mario). Come verrà illustrato negli elaborati geologici e geotecnici, l'area è stata storicamente ricavata allo stagno di Santa Gilla durante i lavori per la costruzione del Porto Industriale stesso negli anni 60, risulta infatti principalmente costituita da terreni di riporto.

La banchina sarà dotata di braccio di carico e scarico del GNL. Lo scarico avrà ovviamente la funzione di portare il GNL al terminale. Le funzioni di carico invece saranno base per la creazione di un punto di bunkeraggio navale per il GNL. La banchina sarà quindi dotata di una sala controllo per il comando delle operazioni di carico e scarico.

Il GNL verrà dalla banchina all'impianto tramite tubazioni criogeniche. Queste verranno alloggiare in un cavedio interrato costruito in calcestruzzo armato con coperture armato interamente ispezionabile. All'interno del cavedio verranno installate le tubazioni criogeniche per il BOG e per il bunkeraggio e linee di spurgo. Inoltre verranno predisposti dei corrugati per il passaggio delle linee elettriche e cavi di segnale per la trasmissione dei dati di processo. Il cavedio sarà intervallato da un loop di espansione per le tubazioni criogeniche ogni 100m e cavedio si estenderà per CA. 1.000 m.

Ciascun serbatoio sarà di forma cilindrica e posizionato orizzontalmente fuori terra. I serbatoi saranno disposti in 3 gruppi, composti ognuno da 6 serbatoi con l'asse maggiore parallelo, ed una distanza minima tra un serbatoio e l'altro di 6 m, i serbatoi saranno del tipo *full containment* (con doppio serbatoio) secondo la Norma UNI 1473 cap.6.3, dimensionato per una capacità nominale di 1.226 mc per ciascun serbatoio, e di 22.068 mc complessivi per il terminal. I serbatoi saranno dotati di valvole di intercettazione e collegati agli altri serbatoi attraverso un collettore da cui saranno alimentate le pompe per il rilancio del GNL verso: vaporizzatori, baie di carico e bracci di carico in banchina.

Il terminale potrà rigassificare 832 milioni di metri cubi annui di gas naturale all'anno, che saranno immessi nella rete regionale. Gli impianti saranno mediamente in marcia il 95% circa delle ore annue e la suddetta capacità di rigassificazione di 832 milioni di mc/anno corrisponde ad una portata media di gas prodotto pari a 100.000 mc/h. Ottenuti da una massimo di 20 Vaporizzatori in funzione (considerato che lavorano alternati a coppia). I vaporizzatori che si utilizzeranno vaporizzatori ad aria ambiente AAV (Ambient Air Vaporizer) con capacità di circa 5.000 mc/h ciascuno. I vaporizzatori saranno costituiti da elementi di pianta rettangolare su un telaio in alluminio nel quale

dei tubi di acciaio disposti a serpentina portano il GNL a pressione, a contatto con la temperatura ambientale in modo da effettuare lo scambio di calore per raggiungere lo stato gassoso.

Al fine di raggiungere altre zone della Sardegna che non saranno allacciate alla rete verrà predisposta una zona denominata "Baia di Carico" in cui le autocisterne apposite per il GNL potranno effettuare il rifornimento. In uscita dai serbatoi si bypasserà la zona vaporizzazione portando il GNL direttamente alle 2 baie di carico tramite le due pompe dedicate a funzionamento alternato.

Il Gas naturale prima di essere immesso nella rete dovrà passare attraverso la strumentazione di analisi e controllo. In prima fase dovrà passare attraverso lo Skid di filtrazione. Dopo la filtrazione verrà prelevato un campione per l'analisi che verrà effettuata nella Cabina Cromatografi. Successivamente si incontra la fase di odorizzazione. Questa fase verrà bypassata nel caso in cui ad essere immesso in rete sia gas naturale ad alta pressione, perché l'odorizzazione del metano ad alta pressione verrà effettuata laddove il futuro gestore del metanodotto lo reputi opportuno. Dopo l'odorizzazione si passa alla fase di misura fiscale, per la contabilizzazione della quantità di metano immessa in rete. Infine per regolare le caratteristiche di portata e pressione il metano passerà nel gruppo di riduzione finale (GRF), per essere immesso o nella rete dei metanodotti o nella rete cittadina.

Il BOG è il gas che viene prodotto dal riscaldamento del GNL nelle fasi di travaso e di trasporto. Nei serbatoi di stoccaggio, il BOG aumenta la pressione interna, e devono essere gestiti nel modo corretto. Questi possono essere messi in rete bypassando la rigassificazione, oppure possono essere gestiti dai motori alimentati dal boil-off stesso per la produzione di energia elettrica necessaria per il funzionamento nel terminal.

Il terminale è progettato per la gestione del BOG prodotto prevedendo principalmente e l'immissione in rete e con l'obiettivo di non portare gas fino alla torcia che verrà utilizzata solamente in casi di emergenze, gestendolo attraverso la produzione di generazione elettrica di impianto.

1.2 Approccio metodologico di studio

La presente relazione tratta gli aspetti geologici e idrogeologici relativi al progetto di fattibilità tecnica ed economica per i lavori denominati "Realizzazione di un terminal GNL presso il Porto Canale di Cagliari".

Tale relazione è volta ad esaminare i lineamenti geologici locali, le caratteristiche geomorfologiche e i caratteri della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

Per raggiungere tale obiettivo si è reso necessario eseguire:

- analisi di sondaggi esistenti localizzabili in prossimità dell'area di intervento, necessari per verificare l'assetto stratigrafico del terreno in esame;
- ricerca bibliografica e il confronto con dati esistenti in possesso;
- rilievo geologico speditivo di un'area di qualche Km².

Il tutto ha permesso, grazie ad una conoscenza dei luoghi, di acquisire i dati necessari per una corretta parametrizzazione geologico – geotecnica dell’area in esame.

Il presente lavoro è svolto in accordo con le normative vigenti in materia (D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e del D.M. 14.01.2008 (Nuove norme tecniche per le costruzioni).

L’area del Porto Canale è ubicata in un settore geologicamente recente che negli ultimi decenni è stato soggetto ad opere di bonifica e quindi ad approvvigionamento di materiali di riporto. Trattandosi di un contesto transizionale fluvio-deltizio-marino, l’area risulta caratterizzata dalla presenza di sedimenti scarsamente consolidati. L’analisi degli interventi in progetto dovrà pertanto prestare particolare attenzione ai carichi esercitati dalle strutture sul substrato.

La configurazione litostratigrafica risulta abbastanza complessa dal punto di vista geotecnico, a causa della frequenza di lenti e livelli limosi algali con vasta distribuzione areale. Tale presenza rappresenta un fattore critico in termini di capacità con la quale il substrato può, sotto l’effetto dei carichi esercitati dalle opere, espellere l’acqua contenuta, con evidenti effetti sui tempi di consolidamento e sul comportamento meccanico dei terreni.

In questa fase verrà pianificata una campagna di indagini geognostiche (da eseguirsi nella fase progettuale successiva), atta a fornire tutti gli elementi necessari per ottenere una corretta parametrizzazione delle unità litostratigrafiche coinvolte dalle azioni di progetto e per definire i valori delle proprietà geomeccaniche dei terreni in termini di portanza e di cedimenti.

1.3 Normativa di riferimento

La presente relazione viene redatta ai sensi delle seguenti norme:

- Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l’obbligatorietà dell’applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero per il Lavori Pubblici;
- D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 – Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, sulla stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 – Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, sulla stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri



generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 «Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone»;
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) adottato dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo con Decreto Assessoriale n. 3 del 21.02.2005 con pubblicazione nel BURAS n. 8 dell'11.03.2005»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica» e successive modifiche e integrazioni;
- D.M. 14 gennaio 2008 – “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- D.M. Infrastrutture del 06.05.2008 «Integrazioni al D.M. 14.01.2008 di approvazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni emesse ai sensi delle leggi n. 1086 del 05.11.1971 e n. 64 del 02.02.1974, così come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al D.P.R. n. 380 del 06.06.2001 e dell'art. 5 del D.L. n. 136 del 28.05.2004, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della Legge n. 186 del 27.07.2004 e ss.mm.ii.»;
- Eurocodice 1 - Parte 1 «Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Basi di calcolo»;
- Eurocodice 7 «Progettazione geotecnica». 2004;
- Eurocodice 8 «Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture». Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici. 2004;
- Delibera Giunta Regionale 30 marzo 2004, n. 15/31 - Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- R.D. 25 luglio 1904, n. 523 Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.

1.4 Inquadramento geografico

L'area interessata da questo studio si trova nel Comune di Cagliari, in corrispondenza della zona portuale denominata "Porto Canale", nel settore immediatamente ad W del Capoluogo. L'area è ubicata in adiacenza al *terminal container* per lo smistamento del traffico destinato ai principali porti del Mediterraneo occidentale. Il porto si estende dal Villaggio Pescatori a S dell'area in esame, a Sa Illetta, che un tempo era un isolotto che si addentrava all'interno dello Stagno di Santa Gilla.

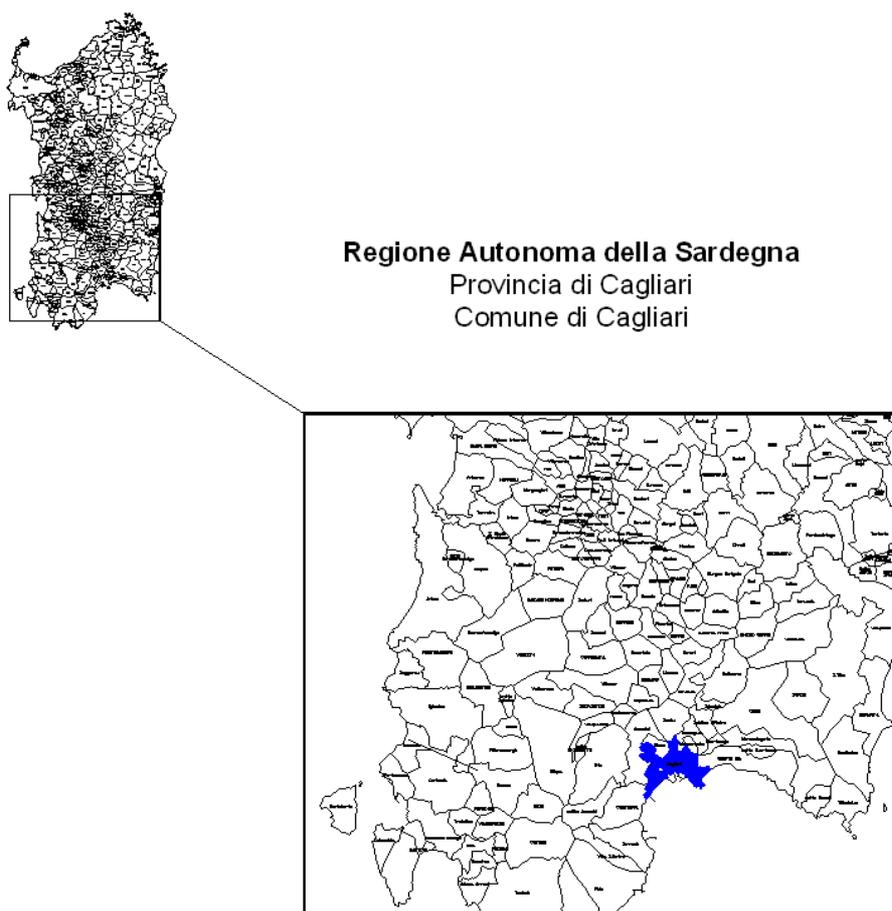


Figura 1 – Inquadramento geografico

L'area in esame ricade all'interno del Foglio 557 Sez. III – "Cagliari" dell'I.G.M. in scala 1:25.000 e alla tavola 557140 "Cagliari" nella Cartografia Tecnica Regionale, in scala 1:10.000.



Figura 2 – Foto aerea (Google Earth, ripresa da 3 Km di altezza).



Figura 3 – Vista aerea dell'area oggetto di studio (Google Earth, ripresa da 3 Km di altezza).

La morfologia è pianeggiante, con quote s.l.m. comprese tra 3.25÷ 4.30 m.



1.5 *Inquadramento climatico*

La Sardegna, con una piovosità media annua di 780 mm, non è compresa fra le regioni aride e sub-aride della classificazione dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale, ma non è nemmeno una regione immune da lunghi periodi di aridità estiva, spesso assai prolungati nell'anno e ricorrenti con maggior frequenza in pianura piuttosto che ad altitudini superiori a quella della collina.

L'isola è caratterizzata da piogge invernali, concentrate nei mesi di novembre e dicembre, le quali si scaricano sulle zone di montagna (soprattutto occidentali), con volumi idrici ben maggiori che in pianura.

La distribuzione degli afflussi meteorici nell'anno segue l'andamento tipico del clima mediterraneo a carattere "sub-tropicale/semi-arido" e nella stagione piovosa risulta irregolare e variabile. Di frequente le prime piogge dopo la siccità estiva si verificano nei mesi di settembre-ottobre, con caratteristiche di acquazzoni estivi, mentre il normale periodo piovoso si estende da novembre-dicembre ad aprile, interrotto quasi sempre da periodi asciutti che generalmente iniziano in gennaio e che spesso si prolungano sino a febbraio ed oltre. Eventi piovosi insistenti e continui sono rari mentre sono frequenti le precipitazioni violente ed abbondanti.

La definizione dell'assetto climatico di una località ha come base l'analisi di un alto numero di fattori variabili, sia generali che locali, tale da rendere non di rado arduo tale compito.

Nel momento in cui ci si pone l'obiettivo di valutare gli aspetti più macroscopici del clima di un'area geograficamente ristretta, come l'area metropolitana di Cagliari (circa 60 kmq), l'esito non può che essere di estrema generalizzazione.

Infatti i riferimenti meteorologici considerati si basano sui dati rilevati dalla rete locale di stazioni di rilevamento che non sempre, soprattutto nel passato, ha operato con carattere di idoneità, organica distribuzione nel territorio e funzionamento a regime per un congruo numero d'anni.

La presenza del mare e di vaste zone umide, la posizione rispetto ai rilievi del Sulcis e del Sarrabus, nonché rispetto alla vasta piana del Campidano, la generalizzata assenza di vegetazione arborea al contorno, connessa con la attività antropica agricola intensiva e con la pratica degli incendi, la concentrazione di centri abitati e la produzione di calore e di smog che deriva dall'intenso traffico veicolare, dal riscaldamento delle abitazioni e dalle attività produttive, condizionano attualmente il clima locale, a sua volta condizionato dall'assetto meteo climatico attuale del Mediterraneo centro-occidentale.

In questo quadro generale l'analisi e la descrizione di piovosità, ventosità e temperature assumono un carattere necessariamente indicativo, riferibile ad un arco temporale molto ristretto, basato su un'analisi storica, più o meno ben rappresentata da dati omogenei e utilizzabili, in continua evoluzione.

Le descrizioni di seguito riportate hanno necessariamente questa valenza e fanno riferimento a sintesi riferite alla bibliografia disponibile.



Il settore della piana del Golfo di Cagliari ricade in una regione caratterizzata da un clima di tipo subtropicale semi-arido. L'associazione estate secca con inverno piovoso rappresenta una vera anomalia poiché, se si escludono le aree in cui il clima è dominato dall'oceano ed i deserti, nelle altre zone le piogge più abbondanti cadono d'estate.

Analizzando le caratteristiche climatiche si può osservare che in estate l'area è sotto l'influenza delle masse d'aria tropicali (alte pressioni) che costringono le perturbazioni del fronte polare a seguire traiettorie più settentrionali, mentre d'inverno il dominio mediterraneo rimane aperto alle perturbazioni apportatrici di pioggia, poiché le cellule anticicloniche tropicali si spostano verso latitudini più basse.

Pluviometria

Nel decennio 1950-1960 a Cagliari sono registrate piovosità annuali che variano da un minimo di 275 mm ad un massimo di 738 mm. Le precipitazioni nevose sono assai rare in pianura mentre per il fatto che le precipitazioni sono concentrate nel periodo più freddo sono abbondanti in montagna. Il regime termico è caratterizzato da forte contrasto tra inverno ed estate. Gli inverni sono miti con temperature medie in gennaio che oscillano tra 6°C a nord e 11-12°C, mentre le estati sono molto calde con temperature medie mensili superiori ai 22°C con massimi giornalieri che possono arrivare e superare i 40°C.

L'analisi delle caratteristiche climatiche è stata eseguita sulla base dei dati registrati nelle stazioni pluviometriche presenti entro il territorio in esame e nell'immediato contorno. In particolare i dati pluviometrici e termometrici utilizzati per la ricostruzione della serie storica del Golfo di Cagliari sono stati acquistati dal sito della Regione Sardegna, nello specifico dal Settore Idrografico, servizio appartenente all'Autorità di Bacino. Questi dati sono stati poi integrati con i dati pubblicati dall'Ente Autonomo del Flumendosa che contiene tutte le stazioni pluviometriche di competenza del S.I. ed un ristretto numero di stazioni gestite dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. I dati delle precipitazioni medie annuali, ponderato su un arco di tempo di 82 anni, mostrano che gli anni più piovosi registrati nel Golfo di Cagliari sono stati: il 1957 con 750 mm, il 1976 con 663 mm, il 1936 con 654 mm, il 1959 con 628 mm e infine il 1969 e il 1985 con 606 mm di pioggia ciascuno.

Pluviometria media mensile

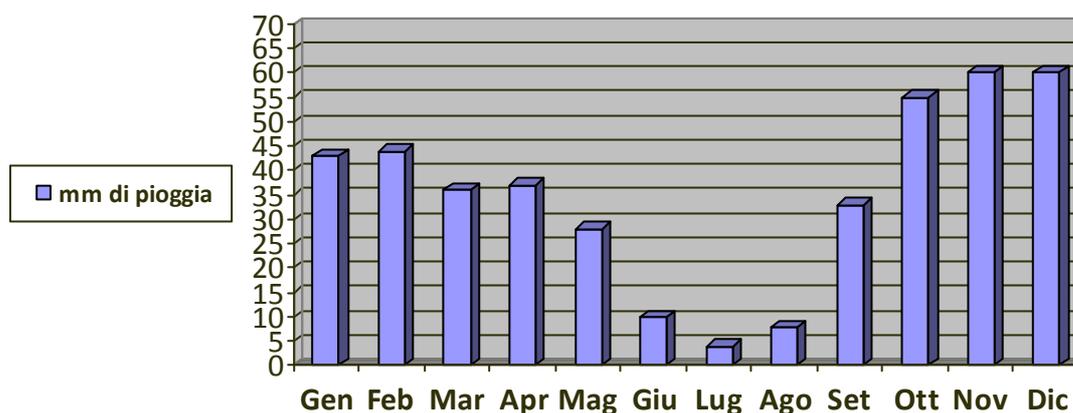


Figura 4 – Istogramma rappresentativo della distribuzione annuale delle piogge.

Il periodo più piovoso va da settembre sino a febbraio con deboli precipitazioni che aumentano in maniera graduale sino a raggiungere il massimo di precipitazione mensile nei mesi di novembre e dicembre; da marzo le precipitazioni decrescono fino a raggiungere il minimo nel mese di luglio. Relativamente alla distribuzione mensile delle piogge si osserva una massima distribuzione delle precipitazioni nei mesi autunnali (ottobre-dicembre) mentre il minimo della piovosità ricade nel mese di luglio.

Dai dati della rete meteorologica recepiti dal documento “Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna – Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2014 – settembre 2015” redatto dall’ARPAS, è stato possibile analizzare il cumulato di precipitazioni e il numero annuale di giorni piovosi della regione Sardegna.

Le precipitazioni nel trimestre autunnale del 2014 si sono concentrate in particolare sulla parte centro-meridionale, dove hanno raggiunto dei cumulati trimestrali compresi tra 200 mm e picchi di 400 mm, mentre in alcune aree della parte Nord-orientale sono stati inferiori a 100 mm.

Nella maggior parte del territorio le precipitazioni sono state inferiori alla media climatica del 1971-2000 e solo in alcune aree hanno superato la media del 10-20%.

Per quanto riguarda tempi più recenti, le precipitazioni del primo trimestre 2015 sono state relativamente abbondanti soprattutto nelle aree centro-orientali e nella parte meridionale dell’isola, in particolare dalla Baronia all’Ogliastra e nel Sulcis, dove si sono raggiunti cumulati superiori a 500 mm fino a picchi di 800 mm; nella parte Nord-occidentale i valori sono stati più contenuti, inferiori a 250 mm, benché in linea o superiori alla media trentennale.

La Figura sottostante riporta il cumulato di precipitazione, il rapporto con la media climatica e l'indice di precipitazione standardizzata SPI del trimestre ottobre-dicembre 2014.

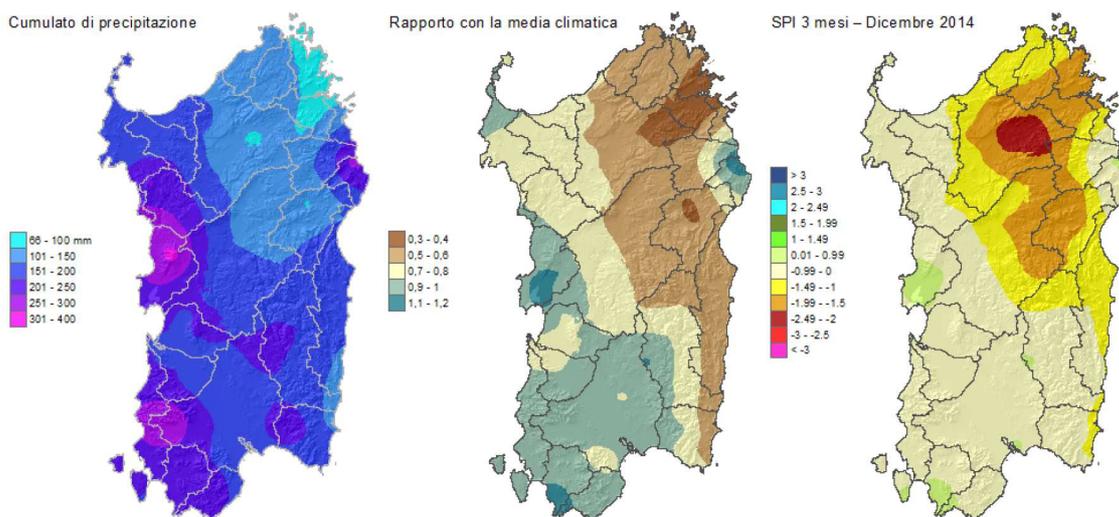


Figura 5 – Precipitazioni e anomalie del trimestre ottobre-dicembre 2014.

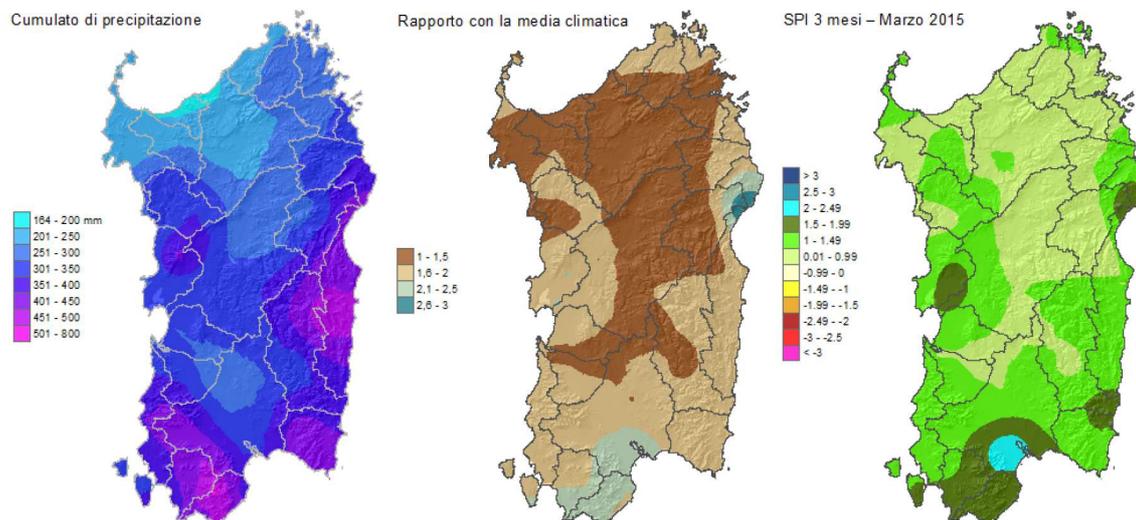


Figura 6 – Precipitazioni e anomalie del trimestre gennaio-marzo 2015.

Nel complesso il semestre ottobre-marzo è risultato più piovoso in Barbagia, Ogliastra, Baronia e Sarrabus, lungo il versante orientale e nella Planargia-Montiferru e nel Sulcis-Iglesiente nel versante occidentale, dove sono stati totalizzati valori compresi tra 600 ed oltre 1000 mm.

I valori più contenuti, tra i 300 e i 400 mm circa si sono registrati nella parte settentrionale dell'isola. Solo nella parte centro-settentrionale i cumulati sono stati inferiori ai corrispondenti valori climatici, mentre altrove sono stati superiori con incrementi che raggiungono il 50-60%.

L'indice SPI semestrale presenta valori generalmente compresi tra -1 e +1, corrispondenti alla classe *Vicino alla media*, e solo in alcune aree si raggiungono valori compresi tra 1 e 1.5 corrispondenti alla classe *Moderatamente umido*, in particolare nella parte Sud-occidentale e in maniera più circoscritta nell'Oristanese e nella Baronia.

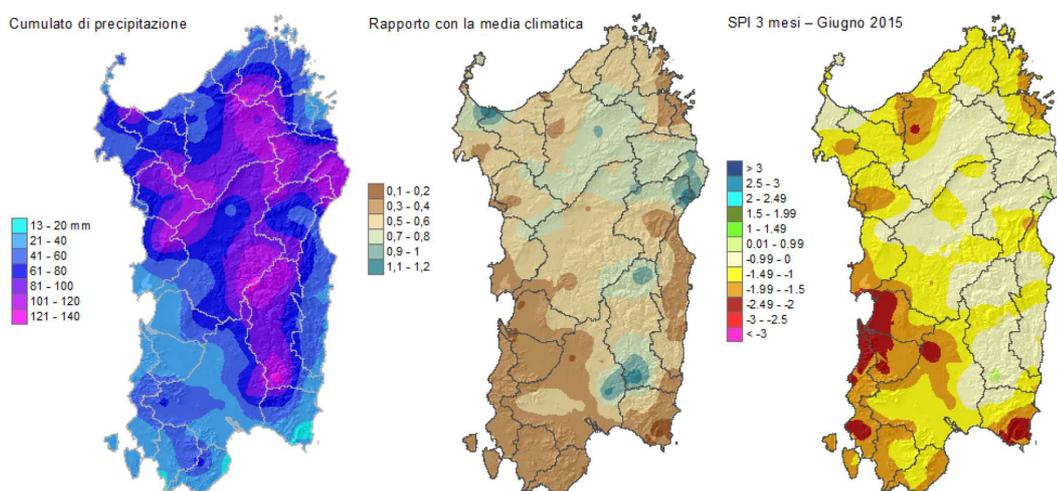


Figura 7 – Precipitazioni e anomalie del trimestre aprile-giugno 2015.

Le precipitazioni del trimestre aprile-giugno sono state relativamente scarse e solo in alcune aree circoscritte si sono raggiunti e superati i 100 mm, in particolare nella parte orientale dell'Isola; nella parte meridionale e nel Campidano in particolare si sono registrati i cumulati inferiori, con valori che per la maggior parte dei casi si collocano al di sotto dei 40 mm. Quasi ovunque i valori registrati si posizionano al di sotto della media climatica trentennale, e solo in alcune aree circoscritte superano seppure di poco la media climatica.

L'indice SPI su buona parte del territorio isolano scende al di sotto di -1 (*Moderatamente siccitoso*) fino a raggiungere valori inferiori a -2 (*Estremamente siccitoso*) in particolare nell'Oristanese.

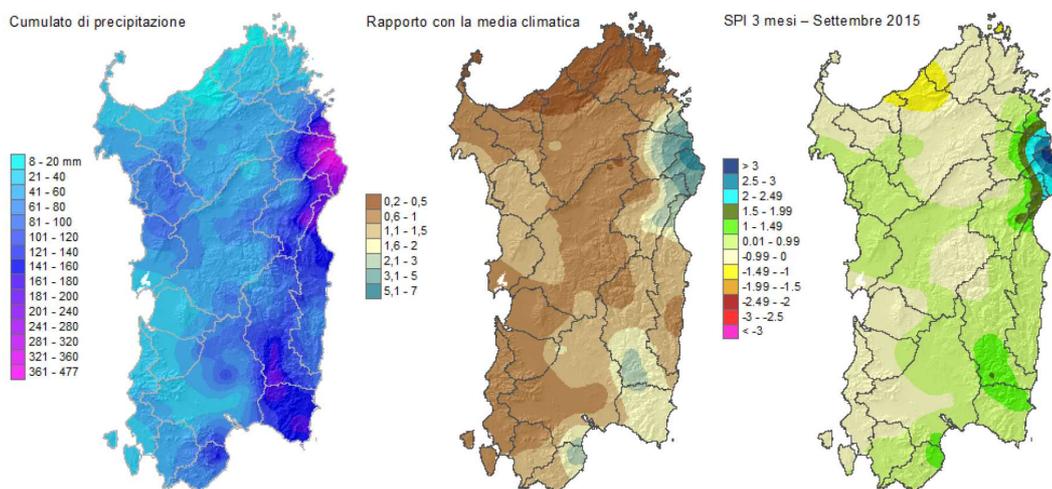


Figura 8 – Precipitazioni e anomalie del trimestre luglio-settembre 2015.

Le precipitazioni del trimestre luglio-settembre 2015 sono state modeste per la maggior parte del territorio isolano ed hanno interessato soprattutto la Sardegna Nord-orientale, in particolare la Baronia, dove i cumulati hanno superato localmente i 300 mm. Nella parte più settentrionale dell'isola si tratta di valori inferiori alla media climatica, in alcuni casi prossimi al 20% circa. In Baronia per contro si arriva fino a oltre 5 volte la media climatica del periodo. L'indice SPI mostra quasi ovunque la classe *Vicino alla media*; in aree circoscritte mostra valori inferiori a -1 (*Moderatamente siccitoso*), mentre in Baronia si porta oltre +2 (*Estremamente umido*).

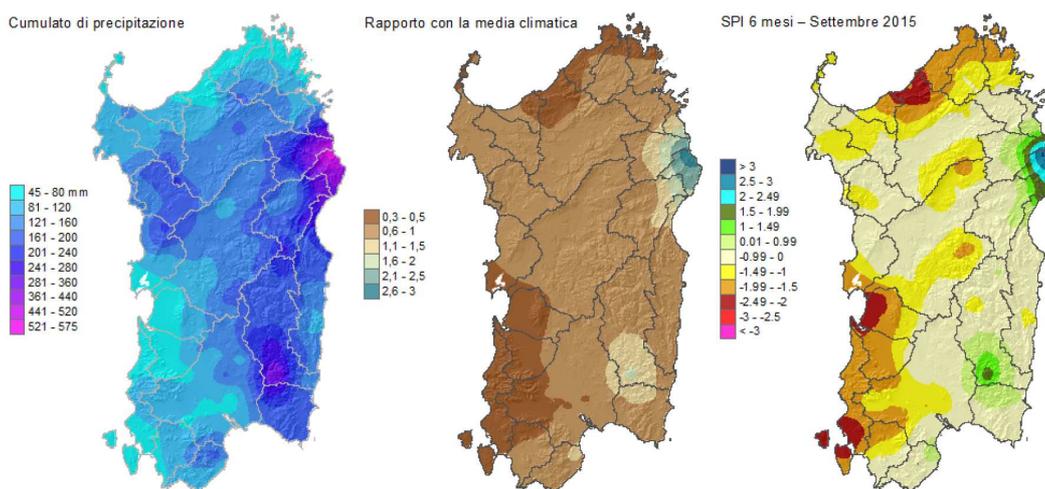


Figura 9 – Precipitazioni e anomalie del semestre aprile-settembre 2015.

Nel complesso il semestre aprile-settembre 2015 è risultato poco piovoso, soprattutto nella parte occidentale dell'Isola dove i valori stanno generalmente al di sotto dei 200

mm (nell'Oristanese e nel Campidano sono stati inferiori a 100 mm); sul versante orientale invece i valori raggiungono i 400 mm e in alcuni casi superano i 500 mm. Sulla maggior parte del territorio i cumulati non raggiungono la corrispondente media climatica.

L'indice SPI riferito al semestre evidenzia condizioni siccitose soprattutto nella parte settentrionale e Sudoccidentale dell'Isola dove si registrano valori inferiori a -1.5 (*Molto siccitoso*) e -2 (*Estremamente siccitoso*); condizioni più moderate si registrano in altre aree del centro Sardegna, mentre nella parte Nord-orientale si ha una situazione opposta di surplus idrico rappresentata dalle classi (*Moderatamente, Molto ed Estremamente umido*).

Termometria

Le temperature medie annuali indicano come anni più caldi il 1947, il 1988 e il 2011 con 19°C e invece come anno più fresco il 1940 con una temperatura media annua di 16°C. Dal grafico in sottostante si osserva che la temperatura massima si registra tra i mesi di luglio e agosto con 25,6°C ciascuno, mentre il mese più freddo è gennaio con 10,8°C.

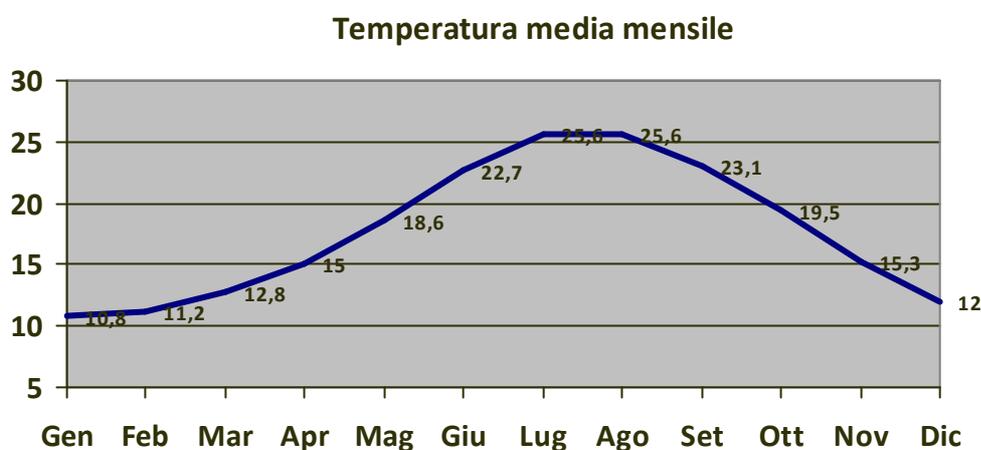


Figura 10 – Diagramma della distribuzione dei valori termometrici annuali.

Per quanto riguarda tempi più recenti, dai dati della rete meteorologica recepiti dal documento "Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna – Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2014 – settembre 2015" redatto dall'ARPAS è stato possibile analizzare le medie delle Temperature massime e minime nella regione Sardegna.

La media annuale delle temperature minime da Ottobre 2014 a Settembre 2015 si è attestata sui 14°C sulla costa sud-occidentale, tra i 12 e i 14°C nel resto delle aree costiere e sulle pianure, tra gli 8 e i 10°C nelle zone pedemontane e infine tra i 4 e gli 8°C su gran parte delle montagne.

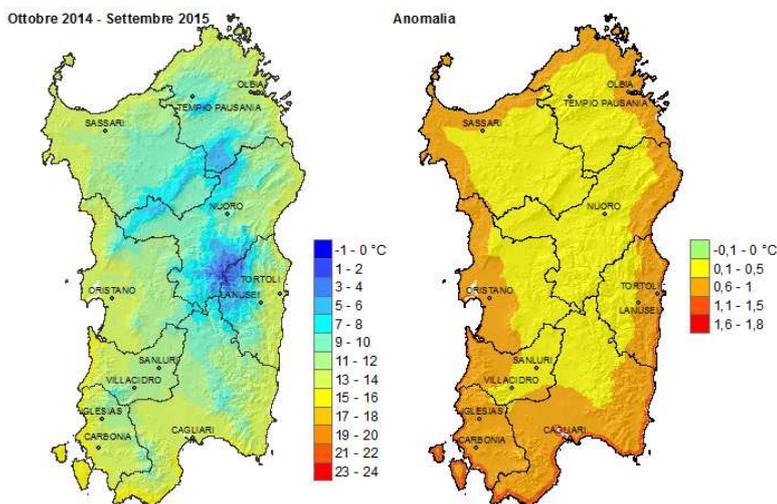


Figura 11– Media annuale delle temperature minime e anomalia rispetto alla media 1995-2008.

La media annuale delle temperature massime da Ottobre 2014 a Settembre 2015 è stata intorno ai 22-24°C su più della metà del territorio regionale (ossia su coste, pianure e in tutte le zone interne con quote medio basse); nelle aree collinari e pedemontane le temperature medie si sono attestate su valori tra i 18 e 22°C mentre nelle montagne sono stati registrati valori compresi tra i 14 e i 18°C.

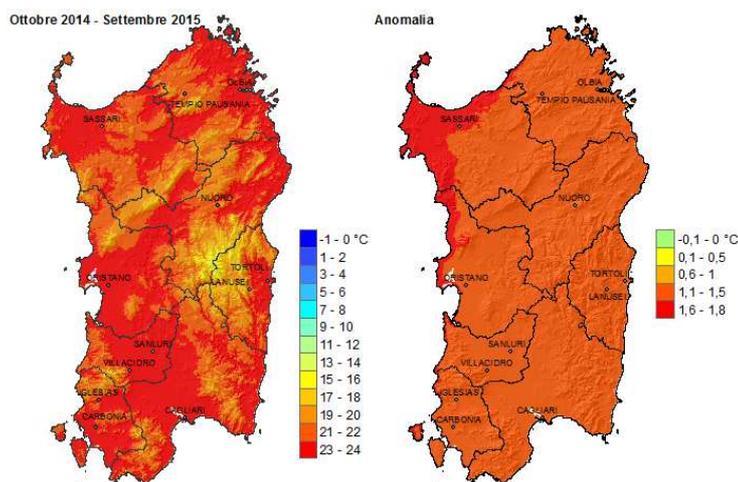


Figura 12 – Media annuale delle temperature massime e anomalia rispetto alla media 1995-2014.

Le medie delle temperature massime del mese più caldo (luglio 2015), anch'esse influenzate dagli effetti della quota e della distanza dal mare ma in maniera opposta rispetto alle temperature minime, vanno dagli 11°C rilevati sulle cime del Gennargentu

ai 18°C nelle zone montane meno elevate, sino ai 20-22 °C delle coste, e con superamenti oltre 23 °C nel Campidano e nella Piana di Ottana.

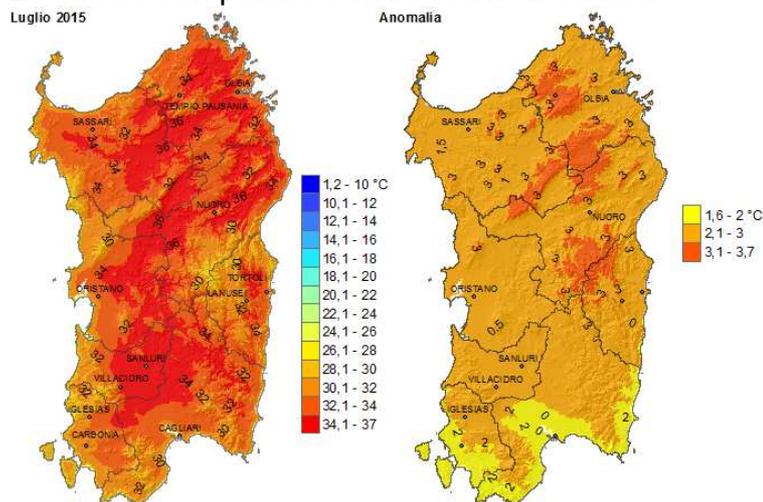


Figura 13 – Media delle temperature massime del mese più caldo (luglio 2015).

Le medie delle temperature minime del mese più freddo (febbraio 2015) sono comprese tra i -6°C della sommità del Gennargentu e gli 8°C delle zone costiere meridionali.

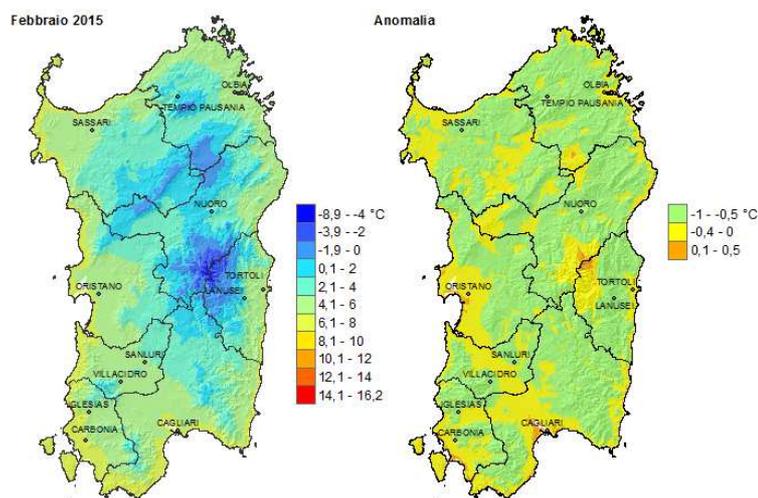


Figura 14 – Media delle temperature minime del mese più freddo (febbraio 2015).

Di particolare interesse è anche il confronto delle temperature massime con l'andamento ultrasecolare, il quale mostra che il 2014-2015 in Sardegna è stata l'annata più calda di sempre, con un'anomalia di 1,5°C superiore alla media climatologica 1971-2000; la media 2014-2015 annuale risulta superiore anche a quella del 2002-2003 e a quella del 2013-2014.

L'analisi della variabilità più lenta mostra che dal 2010 in Sardegna si è innescato un trend crescente delle temperature piuttosto ripido.

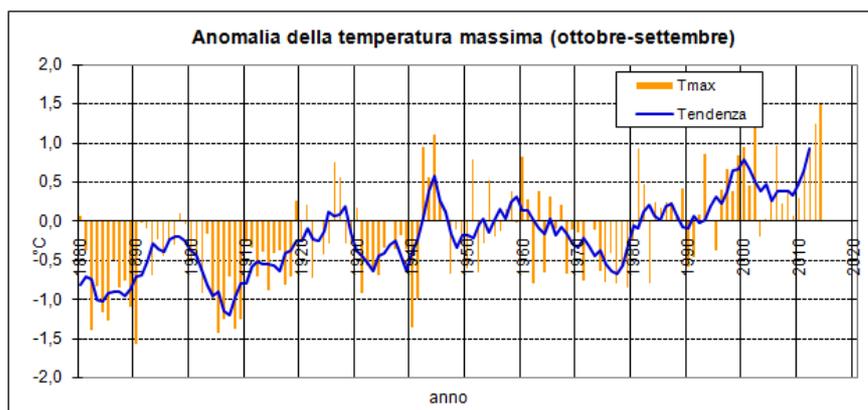


Figura 15 – Anomalie delle temperature massime della Sardegna dal 1880 al 2015.

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 ed estati calde; la bassa umidità e la relativa mancanza d'afa, come la notevole ventosità, permettono di sopportare più facilmente le elevate temperature estive, capaci di raggiungere normalmente i 37-38 °C.

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.

Ventosità e pressioni

L'area è caratterizzata da elevata ventosità, con 16 giorni su cento di calma.

I venti dominanti sono quelli provenienti dal IV quadrante (maestrale) che spesso raggiunge velocità al suolo superiori a 25 m/s e 35% di frequenza, seguono la tramontana, l'ostro e lo scirocco. Dall'analisi ed elaborazione dei dati termopluviometrici che concorrono alla definizione del clima risulta che l'area della piana quartese è caratterizzata da un clima di tipo subtropicale. Questo clima si trova generalmente lungo le zone costiere, del settore meridionale dell'Isola, con altitudine inferiore ai 200 m s.l.m.m.

I dati di vento adatti allo studio sono quelli registrati presso la vicina stazione meteo dell'aeroporto di Elmas, distante dal Porto circa 5 km, che, essendo ubicata in una pianura al livello del mare e in assenza di ostacoli, riproduce bene le condizioni anemologiche che interessano il Porto.

Come è noto il vento rappresenta la velocità dell'aria ed è una grandezza vettoriale bidimensionale in quanto se ne considera solo la componente misurata su una



superficie parallela a quella terrestre (convenzionalmente l'anemometro si trova a 10 m di altezza dalla superficie), non considerando la componente verticale in quanto di intensità trascurabile. Di conseguenza, un dato di questo genere si compone di due parti: una direzione, espressa in gradi sessagesimali calcolati in senso orario a partire da nord, e una velocità, espressa in m/s. Quanto al verso si considera il verso di provenienza, per esempio 90° è vento da est, mentre 270° è vento da ovest.

Occorre notare che il vento in superficie è determinato, oltre che dalla situazione dinamica e termodinamica di una notevole porzione del nostro emisfero, anche dalla geografia del luogo dove viene fatta la misura, tanto più in una regione dall'orografia complessa quale la Sardegna. Un secondo problema è rappresentato dalle brezze che, essendo causate dalla differenza di temperatura fra terra e mare, sono di natura specificatamente locale. Infine la collocazione della stazione gioca un ruolo importante in quanto l'eventuale presenza di alberi, case o collinette nelle vicinanze può introdurre degli errori sistematici anche notevoli, in particolare nel vento di moderata intensità. Di quanto sopra bisogna tenere conto ai fini del controllo sulla qualità del dato.

Infatti, se da una parte non è semplice determinare dei limiti climatologici, in particolare per la direzione, dall'altra non sono facilmente correlabili la direzione o la velocità misurate un certo giorno in una certa stazione con quelle del giorno precedente o del giorno successivo nella medesima stazione o con quelle dello stesso giorno nelle stazioni circostanti.

Esaminando i dati si vede che i venti dominanti nella nostra Isola sono il Ponente e il Maestrale (ovest e nord-ovest), in particolare per quel riguarda il vento di forte intensità. Inoltre alcune stazioni sono particolarmente esposte a venti di intensità elevata provenienti da direzioni diverse ed in particolare: l'Asinara (Levante e Libeccio), Capo Bellavista (Grecale) e Capo Frasca (Scirocco).

Per i venti di intensità intermedia, oltre al solito Ponente/Maestrale, si nota che anche i venti di provenienza meridionale ed orientale (Ostro, Scirocco, Levante) giocano un ruolo importante un po' in tutte le stazioni.

I venti di debole intensità invece possono essere fortemente influenzati da fattori locali, quali le brezze, la geografia del luogo e la dislocazione della stazione. E' questo il motivo per cui si osserva una distribuzione pressoché omogenea dei fenomeni.

Si nota inoltre che nelle situazioni in cui domina il Maestrale è poco presente il Ponente e viceversa, ciò a causa dell'esposizione della stazione.

Osservando la distribuzione del vento nelle tre fasce nei vari mesi dell'anno si è visto che, per quasi tutte le stazioni, il vento di intensità elevata è più frequente nei mesi invernali (dicembre-marzo) che in quelli estivi, con un marcato cambio di stagione fra aprile e maggio ed un altro più diluito fra settembre e novembre.

Il vento di intensità media è prevalente nei mesi estivi (giugno-settembre), con dei cambi di stagione poco marcati.

Di seguito si riporta la rosa dei venti relativa al sito oggetto di studio ricavata dai dati di direzione del vento del servizio meteorologico CAGLIARIMETEO. Tale rosa dei venti è

rappresentativa dei valori di direzione del vento che si sono registrati nel quadriennio 2009-2012.

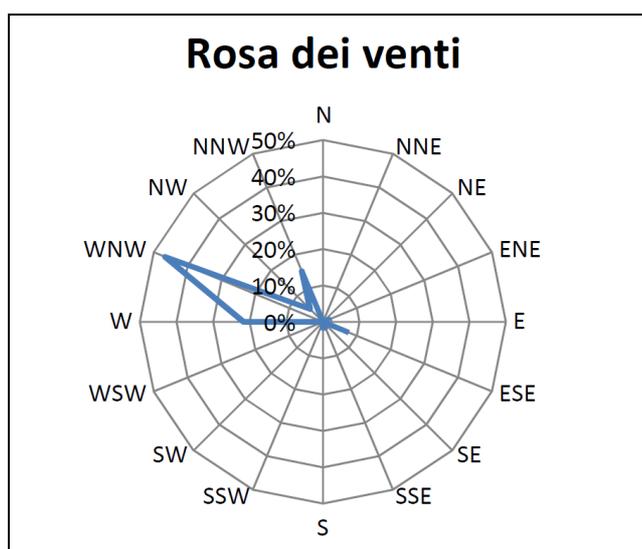


Figura 16 – Provenienza dei venti in prossimità dell'area del porto di Cagliari.

I dati desunti dall'analisi della rosa dei venti confermano i dati precedentemente descritti e cioè che le direzioni prevalenti di provenienza del vento sono lungo la direttrice Ovest (W), Ovest - Nord Ovest (W-NW) Nord NordOvest (N-NW) e Sud- Est (S-E).

Oltre al vento, un altro fenomeno che interessa tipicamente l'ambito costiero e che influenza la costa cagliaritana, 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 cui si trovano le due superfici comporta un diverso riscaldamento delle masse d'aria sovrastanti che genera spostamenti delle stesse.

Le pressioni atmosferiche medie stagionali misurate nella stazione di Cagliari Elmas sono di 1013.4 mb in inverno, 1013.5 mb in primavera, 1014.0 mb in estate e 1014.1 in autunno. La media annuale risulta 1013.8 mb. Il numero medio dei giorni sereni è di 113 giorni, il numero medio dei giorni nuvolosi è di 164 giorni mentre quello dei giorni coperti è di 88 giorni.

L'umidità relativa media annua è di 75%, mentre risulta del 79% in inverno, del 76% in primavera, del 70% in estate e del 75% in autunno.

2 MODELLO GEOLOGICO

2.1 *Inquadramento geologico dell'area vasta*

I caratteri litologici e stratigrafici dell'area in esame rispecchiano la complessità degli eventi tettonici oligo-miocenici e plio-pleistocenici e delle conseguenti fasi sedimentarie in facies continentale e marina legate alle pulsazioni trasgressive e regressive marine.

Nel contesto cagliaritano in senso esteso le formazioni sedimentarie, originate con l'ingressione marina miocenica, giacciono in discordanza stratigrafica al di sopra del basamento metamorfico paleozoico.

La successione stratigrafica della serie miocenica francamente marina e che costituisce l'ossatura del settore urbano di Cagliari, comprende dal basso verso l'alto:

- Formazione delle "Argille di Fangario": costituite da marne e argille con abbondante contenuto paleontologico, caratterizzato da foraminiferi e molluschi, che ha permesso di attribuirle al Langhiano superiore; la potenza di tale formazione è pari a circa 300 m. Si presentano fittamente stratificate e con qualche intercalazione più cementata per la presenza di carbonato di calcio. Al di sotto giace una potente serie marnoso – arenacea risalente all'Aquitano. Si tratta di argille dotate di plasticità variabile da media ad alta, talora consistenti e con attività da ridotta a normale. I dati disponibili derivano soprattutto da prove penetrometriche dinamiche standard o equivalenti (Barroccu et al., 1981);
- Formazione delle "Arenarie di Pirri": caratterizzate da arenarie più o meno cementate, intercalate a sabbie meno coerenti potenti circa 200 m. Per la variazione del cemento calcareo non hanno caratteristiche uniformi nei vari affioramenti, mostrano però talvolta una netta stratificazione in banchi regolari, non sempre visibile nelle sabbie incoerenti. La granulometria degli elementi, prevalentemente quarzosi con percentuali minori di feldspati e miche, è più grossolana alla base e diminuisce gradualmente verso l'alto. A volte si rinvencono intercalazioni conglomeratiche con ciottoli di rocce paleozoiche, che formano delle vere e proprie lenti. Il passaggio dalle sottostanti facies marnoso – argillose alle Arenarie di Pirri è caratterizzato da un contatto stratigrafico dovuto al passaggio da un ambiente pelagico ad uno litorale. Le Arenarie di Pirri sono state attribuite al Serravalliano. Sono litotipi piuttosto eterogenei per quanto riguarda grado di addensamento, grado di cementazione e granulometria (anche se solo raramente si riscontrano livelli di materiale clastico grossolano). Le analisi granulometriche esistenti (Barroccu et al., 1981), hanno indicato dimensioni dei grani entro 0.06 e 1 mm. Solo localmente sabbie medie e fini sono associate a sabbie più grossolane. Il comportamento sotto sollecitazione meccanica standard rivela notevoli variazioni in funzione di differenti spessori, della presenza di



alternanze più o meno regolari di strati variamente cementati, del contenuto in acqua;

- Formazione della “Pietra Cantone”: calcarenite mediamente cementata con percentuali variabili delle due componenti argillosa e arenacea. La parte argillosa rende la roccia tenera, igroscopica e degradabile all’aria, con componente calcarea formata spesso da un impasto di foraminiferi; la frazione arenacea è formata da frammenti organici calcarei, e talvolta silicei. Si pensa risalga al Tortoniano. Il passaggio dalle Arenarie di Pirri alla Pietra Cantone avviene gradualmente. Tale litotipo, rappresenta il substrato di fondazione di buona parte dei quartieri di Villanova, Stampace e Marina. Il suo comportamento geomeccanico varia in funzione del grado di alterazione della roccia e dello spessore del materiale alterato. Trattandosi di una roccia carbonatica con una componente argillosa in percentuale variabile tra il 10 e il 30 % (rispetto alla percentuale media di CaCO_3 pari all'80%), l'elevato carattere igroscopico modifica significativamente le sue proprietà fisiche e meccaniche, tanto da renderla talora simile ad una terra incoerente. I valori di resistenza a sollecitazioni da carico e/o di taglio aumentano man mano che si intercettano le parti più interne dell'ammasso roccioso, sino a raggiungere proprietà di resistenza meccanica tipiche di una roccia lapidea compatta. La discreta facilità all'alterazione della roccia, quando essa si trova esposta agli agenti atmosferici o a contatto con acqua per lunghi periodi, è la responsabile principale di vistose forme di degrado di pareti naturali e/o artificiali e favorisce la predisposizione a fenomeni di dissesto franoso. L'assenza di fenomeni di dissoluzione e la tendenza a riassorbire in maniera plastica le deformazioni di taglio, associate a una porosità primaria molto bassa (circa il 10%), rendono pressoché impermeabile tale litologia, che spesso rappresenta il substrato di tamponamento inferiore di acquiferi impostati sulla sequenza detritico-organogena dei termini mediano-sommitali dei calcari di Cagliari;
- “Tramezzario” Auct.: tale litotipo caratterizza diffusamente tutti i colli di Cagliari e le sue proprietà di roccia lapidea, particolarmente lavorabile e segabile, hanno favorito un'intensa attività estrattiva in cava e in galleria per la produzione di conci. Nelle facies più compatte, calcaree e non igroscopiche, non si instaurano fenomeni di vistosa alterazione anche in condizioni di esposizione agli agenti atmosferici. Nei casi di fatturazione elevata, con presenza di fenomeni di dissoluzione più o meno marcati, facies detritiche molto fini che danno alla roccia un aspetto farinoso, flussi idrici a forte imbibizione, le proprietà fisico-meccaniche decrescono notevolmente determinando condizioni di instabilità in pareti ripide. La variabilità nelle proprietà meccaniche e fisiche del "Tramezzario" non permette quindi di definire in maniera univoca un comportamento standard poiché i parametri che entrano in gioco sono numerosi. Ciò significa che ogniqualvolta si prevede di sollecitare tale litologia con carichi concentrati o per



trazione, risulta necessaria un'attenta verifica delle condizioni generali dell'ammasso roccioso ed un'indagine altrettanto approfondita sulle verticali di maggior sollecitazione;

- Formazione della "Pietra Forte", calcare organogeno compatto ad alghe calcaree, spesso bioclastico, con resti di molluschi, briozoi e coralli. Presenta frequentemente dei passaggi laterali a facies calcarenitiche, a volte a stratificazione obliqua, formando il "Tramezzario". Lo spessore di queste formazioni organogene è variabile a causa dell'erosione plio-quadernaria, con un massimo pari a 60 m. Si rinviene con maggiore frequenza sulla sommità dei principali colli cittadini. Si tratta di una roccia lapidea, compatta, tenace, utilizzata per la costruzione di opere monumentali e perciò estratta come pietra da taglio in cave di epoca storica. Contiene percentuali in CaCO_3 del 94-98%. Le sue caratteristiche fisico-meccaniche principali sono, in condizioni ottimali, densità molto elevata (2.6 t/mc in media); peso specifico reale elevato (2.4 t/mc in media); porosità dell'ordine del 2-3%; resistenza alla compressione molto elevata. Ciò si traduce in un andamento del legame sforzi-deformazioni essenzialmente elastico che, in condizioni naturali, varia in modo significativo solo in presenza di marcata fratturazione e di vuoti per microcarsismo. Gli effetti della dissoluzione vi originano una rete di micro- e macrofessure in connessione con discontinuità tettoniche importanti e giunti di strato; tale sistema carsico è correlato con quello presente nel "Tramezzario" e permette la circolazione idrica sotterranea che alimenta gli acquiferi presenti nel sottosuolo delle colline cagliaritane;

Le formazioni plio-quadernarie, presenti nell'area vasta, sono costituite da depositi continentali, quali alluvioni e depositi di versante e depositi di ambiente litorale, il cosiddetto Tirreniano, costituito da conglomerati e resti conchigliari e da arenarie quarzose generalmente cementate.

- Depositi alluvionali terrazzati: sono costituiti da depositi alluvionali grossolani contenenti lenti e livelli di sabbie e di ghiaie fini. Costituiscono i depositi di copertura quadernari che, più di altri, interessano l'attività antropica, poiché su di essi poggia buona parte dell'abitato. Lo spessore localmente supera i 10 m. Mostrano un buon comportamento geomeccanico per il carattere eterogranulare, l'elevato grado di costipazione e la leggera cementazione osservabile in alcuni livelli;
- Depositi di spiaggia: sono costituiti da sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie bioclastiche e subordinati depositi sabbioso-limosi. Sono caratterizzati da spessori generalmente compresi tra i 7 e i 15 m, riferibili al cordone litorale tardo olocenico, poggiate su una successione di ambiente litorale e stagionale e



ricoperto da uno spessore generalmente metrico o sub-metrico di depositi naturali e/o antropici, tutti riferibili all'attuale.

- Depositi palustri: comprendono argille e limi argillosi, fanghi torbosi generalmente grigio scuro-nerastri, intercalati da livelli sabbiosi discontinui. Formano il substrato impermeabile degli stagni di Santa Gilla e di Molentargius, nonché delle aree costiere emerse al margine degli stagni e del settore marino prospiciente il porto. Solitamente lo spessore medio è 10-20 m. ma localmente è stata riscontrata una potenza superiore ai 40 m (zona del porto). Tra le caratteristiche geotecniche generali, la plasticità, da media ad alta, evidenzia indici variabili fra 20 e 40%.

Il contenuto d'acqua, normalmente superiore al limite plastico e, soprattutto nei livelli più superficiali, anche a quello liquido, diminuisce con la profondità, con valori minimi in corrispondenza degli strati limosi compatti riscontrati alla base dei depositi. La porosità è molto variabile; in genere è molto elevata nei livelli superficiali dove prevalgono i materiali melmosi con abbondanti resti vegetali, mentre diminuisce gradualmente con la profondità;

- Depositi antropici: generalmente si tratta di depositi artificiali messi in discarica in un arco di tempo molto ampio. Le caratteristiche geotecniche risultano perciò estremamente variabili in funzione della loro composizione, del grado di addensamento, del periodo e delle modalità di accumulo. Caratterizzano il settore di intervento con spessori variabili ma mediamente dell'ordine dei 3,00 m e sono maggiormente diffusi, sia in ambito urbano che periurbano, nelle zone limitrofe agli stagni e al mare, dove la necessità di recuperare spazi per l'espansione della città ha incentivato l'opera di bonifica di aree originariamente paludose o malsane. Lo stesso sviluppo storico di Cagliari e dintorni ha da sempre favorito la formazione di potenti accumuli di terre di riporto, che talora ricoprono antichi insediamenti rurali e sono attualmente utilizzati come substrato per la realizzazione di opere edilizie o di nuovi quartieri.

L'eterogeneità sia verticale che orizzontale dei materiali costituenti non permette di definire un comportamento geomeccanico univoco, per cui risulta sempre necessaria una caratterizzazione che determini, lungo idonee verticali d'indagine, le variazioni di addensamento e tutte le altre caratteristiche che possono rendere problematica la stabilità nel tempo di opere fondate su di essi. Per gli aspetti geotecnici si rimanda all'elaborato D_01_ES_05_RGT_R00 – “Relazione di caratterizzazione geotecnica preliminare”.

2.2 Caratteri geomorfologici

La porzione meridionale della piana del Campidano, nella quale è localizzato il settore oggetto di indagine, mostra una certa complessità di ambienti costieri e di transizione all'entroterra, con vasti stagni-lagune che si distendono ai piedi del sistema collinare cagliaritano.

La zona in esame è situata lungo un'area estremamente pianeggiante costituita prevalentemente da depositi antropici.

Gli elementi geomorfologici predominanti sono rappresentati dalle fasce costiere lagunari, in corrispondenza delle opere da realizzare, e dalle aree costiere marine nell'intorno dell'area studiata.

Alla formazione del paesaggio naturale dell'area cagliaritana hanno certamente contribuito, oltre che gli ordinari processi morfogenetici, anche movimenti neotettonici (Cherchi *et alii*, 1978c). L'esatta ubicazione delle strutture neotettoniche è di difficile determinazione per la forte antropizzazione e per le estese coperture quaternarie attuali. Tuttavia si può facilmente osservare che i rilievi collinari sono orientati generalmente NNW-SSE, come le strutture tettoniche che delimitano il *graben* plio-quaternario del Campidano; solo a sud del centro storico i rilievi, più irregolari, non mostrano allungamento preferenziale. Tra i rilievi collinari si segnalano i colli di Tuvixeddu (99 m), Tuvu Mannu (99 m), Buoncammino (98 m), S. Michele (120 m), M. Claro (69 m), Bonaria (25 m) e M. Urpino (58 m). Lo spianamento alla sommità osservabile in alcuni di essi, è da ricondurre all'intensa attività estrattiva per pietra da costruzione.

L'area del Porto oggetto del presente intervento ricade ai limiti di un vasta zona umida comunemente indicata con il toponimo di "Stagno di Santa Gilla", vasto bacino retro costiero di forma approssimativamente deltoide, che si estende dal margine occidentale della città di Cagliari sino al bivio di Capoterra ed alla foce del Rio Santa Lucia.

Il limite a mare della laguna si trova a sud ed è rappresentato da un cordone litoraneo bordato da una spiaggia debolmente e regolarmente falcata, originatasi per l'azione del moto ondoso che ha distribuito in questo modo i sedimenti rispetto ai promontori di Capo Sant'Elia e di Torre Zavorra (Sarroch), rispettivamente a SE e a SW del bacino lagunare. Non risulta invece nettamente demarcato il margine verso terraferma della laguna (N-NW), in quanto il rilievo mantiene una debolissima energia per una decina di chilometri ed oltre di distanza dal litorale marino e le aree palustri si raccordano alla pianura del Campidano in maniera molto graduale.

L'attuale fisionomia dello stagno, profondamente modificato rispetto al suo assetto originario, è il risultato di ingenti opere di colmata e di escavo legate principalmente alle realizzazioni delle saline impiantate presso Macchiareddu nel 1928, al successivo intervento per la costruzione del Porto Canale, all'ampliamento dell'aeroporto e alla sistemazione dei canali e delle foci fluviali. Le antiche forme ed i lembi di terra emersa che caratterizzavano lo Stagno di Cagliari sono solo in parte riconoscibili nell'intricato



sistema di arginature e canali: all'interno di quello che in origine era un unico specchio d'acqua emergevano diverse piccole isole, la più ampia delle quali era quella di Sa Illetta o San Simone. Vi erano poi le isole di Sa Figu Morisca, de Is Fraris, de Is Cadenas, Pischeras, Isoledda ed Ischeras, alle quali sono state appoggiate le varie arginature che delimitano le vasche evaporanti e quelle di salificazione.

La conformazione "a delta" della laguna, nelle sue linee essenziali, può essere ricondotta all'azione combinata di deposito e rimaneggiamento di sedimenti fluviali e fluviomarini nell'ambiente deltizio di transizione terra-mare: ancor oggi ad essa afferiscono diversi corsi d'acqua che non raggiungono direttamente il mare, tra i quali, quelli di maggior rilievo quanto a portata, sia liquida che solida, sono il Rio Cixerri e il Flumini Mannu nel settore settentrionale, e il Rio di Santa Lucia nel settore meridionale. Altri corsi d'acqua minori sono il Rio Sa Nuxedda di Assemmini, il Rio Sa Murta, il Rio Giacù Meloni ed il Rio di Sestu.

La genesi della laguna è strettamente correlata con l'evoluzione paleogeografica che il settore costiero meridionale dell'Isola ha subito soprattutto da 150.000 a circa 12.000 anni fa – durante l'alternarsi degli ultimi episodi glaciali e interglaciali – che hanno determinato significative variazioni del livello del mare con innesco di importanti cicli di sovraescavazione (erosione) e di deposizione.

Circa 100.000 anni fa questo settore costituiva la prosecuzione del Campidano che terminava verso il Golfo degli Angeli e successivamente inciso, durante il ritiro del livello marino in epoca glaciale, da un ampio fondovalle scavato dai Flumini Mannu e Rio Cixerri attualmente sepolto da fanghi e sabbie recenti. Il colmamento di questa paleovalle è avvenuto durante le fasi terminali della trasgressione versiliana (Quaternario recente) quando il livello del mare si è sollevato fino a circa un metro sopra il livello attuale, provocando la deposizione di una coltre pluridecimetrica di sedimenti salmastri, palustri o fluviali fino al raggiungimento della configurazione attuale. Tale assetto è stato lentamente modificato, negli ultimi millenni, dagli apporti solidi dei corsi d'acqua, ed in particolare del Flumini Mannu e del Rio Cixerri, che hanno determinato un progressivo interrimento dei fondali e conseguente una sostanziale riduzione della superficie della zona umida.

D'altra parte, attualmente lo stato di attività dei processi geomorfologici risulta molto ridotto, in relazione al raggiungimento di uno stadio evolutivo della laguna relativamente avanzato, ma anche a causa del forte controllo antropico dell'area.

Di seguito si riportano alcune viste aeree del sito di intervento e la sovrapposizione delle opere in progetto.

Si noterà come l'area abbia subito nel secolo scorso delle sensibili variazioni sia morfologiche che in termini di suolo.



Figura 17 – Foto storica e sovrapposizione degli interventi in progetto (1945).



Figura 18 - Foto storica e sovrapposizione degli interventi in progetto (1954).



Figura 19 - Foto storica e sovrapposizione degli interventi in progetto (1977).



Figura 20 - Foto storica e sovrapposizione degli interventi in progetto (1998-99).

2.3 Assetto tettonico e strutturale dell'area vasta

Il complesso litologico di questo settore dell'Isola, coprente un arco di tempo geologico di circa 10 milioni di anni che va dal Langhiano al Messiniano, rappresenta l'importante testimonianza di una copertura sedimentaria molto più estesa che probabilmente interessava (almeno sino al Pliocene inferiore = circa 5÷3 M.a.) buona parte del settore meridionale dell'attuale Campidano, appoggiandosi ai rilievi metamorfico-cristallini del Sarrabus-Gerrei e del Sulcis orientale.

L'intensa tettonica distensiva pliocenica (circa 5÷1,8 M.a.), connessa con l'apertura del Mar Tirreno, oltre a determinare lo sprofondamento della Fossa del Campidano, nella sua complessità tettonico-strutturale ha di fatto favorito la conservazione di un limitato lembo della successione miocenica più recente, i cui residui profondamente intaccati dall'erosione plio-quadernaria e fortemente dislocati dagli eventi deformativi suddetti, danno corpo ai rilievi collinari della città di Cagliari.

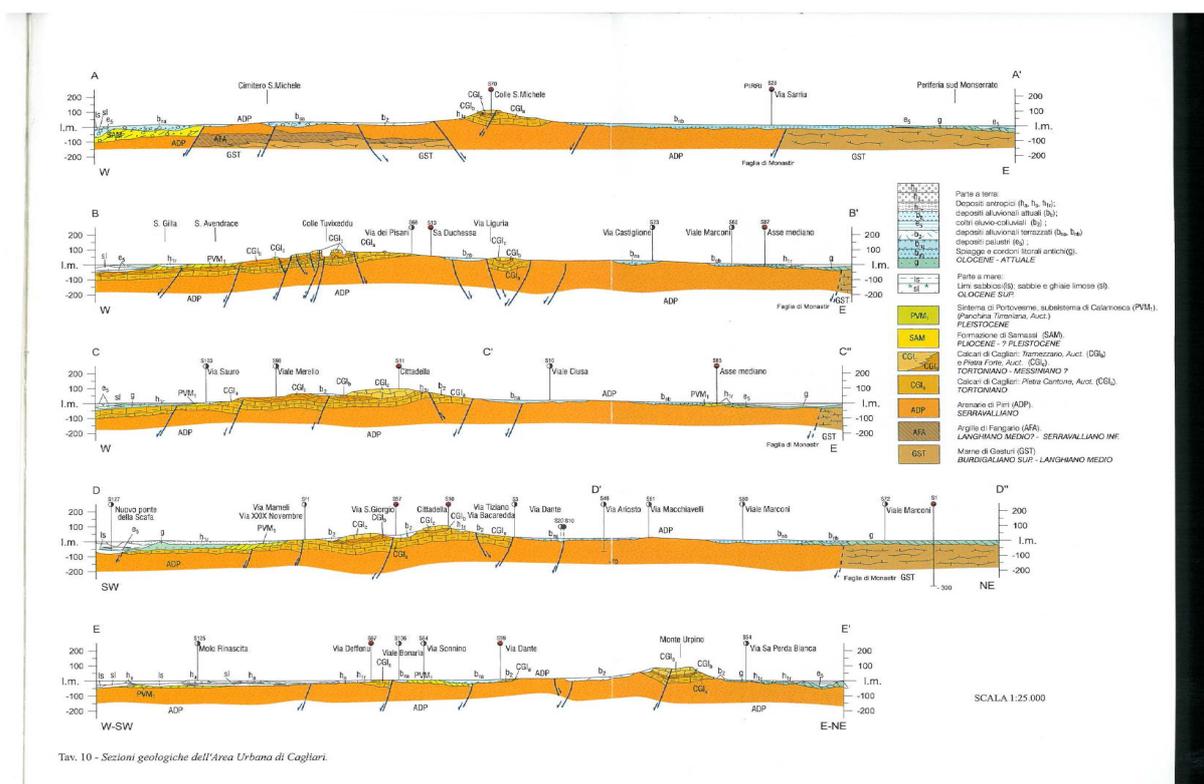


Figura 21 – Profili geologici dell'area di Cagliari (fonte: Note illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000).

Il successivo modellamento morfologico subito dal settore, una volta smantellata la copertura carbonatica tortoniano-messiniana (Formazione dei calcari di Cagliari, con le relative facies "Pietra Cantone", "Tramezzario" e "Pietra Forte") e intaccata significativamente anche la sequenza stratigrafica langhiano-serravalliana (Formazione



delle Marne di Gesturi, Formazione delle "Argille del fangario" e Formazione delle "Arenarie di Pirri"), ha consentito alle acque di scorrimento superficiale, che si riversavano verso sud in direzione dell'antica linea di costa, di modellare l'assetto planoaltimetrico dei luoghi sino a formare ampie aree depresse che durante il Quaternario sono state ripetutamente interessate da fenomeni di eustatismo con conseguenti processi di deposizione/erosione marina e fluvio-torrentizia sino all'attuale configurazione dei sistemi stagno-laguna, Molentargius-Saline di Stato e Stagno di Quartu.

Al contorno dell'area del litorale Poetto altri depositi litificati e semilitificati ("Tirreniano" Auct.), attribuibili al Pleistocene superiore, affiorano in modo discontinuo soprattutto attorno ai rilievi collinari più vicini all'attuale linea di costa (Monte Urpinu, Capo Sant'Elia, Sella del Diavolo) costituiti da sedimenti clastici di età compresa tra 120.000 e 60.000 anni fa, accumulatisi in ambiente marino e costiero in occasione del periodo a clima più caldo compreso tra la glaciazione "Riss" e quella "Würm" contestualmente alla risalita eustatica del mare.

Relativamente alla storia geologica recente dell'ambito costiero cagliaritano la letteratura scientifica indica che in tale occasione il livello del mare era attestato a circa 8÷10 m più in alto rispetto ai giorni nostri e alcune delle attuali colline di Cagliari erano o isolate o collegate alla terraferma da tomboli, cordoni litorali o zone stagnali con la linea di riva molto più interna rispetto all'attuale e gli stagni di Molentargius e di Quartu, comprese le saline, sotto il livello del mare. La formazione dei diversi cordoni litorali che caratterizza la fascia costiera di Cagliari e Quartu è invece da ricondurre essenzialmente all'Olocene.

Durante il successivo periodo glaciale, conosciuto con il nome di *Würm* (60.000÷18.000 anni fa), il mare si ritira sino ad una quota max di circa 120 m rispetto al livello attuale: tutta l'area del Golfo di Cagliari diventa perciò terra emersa e sottoposta di conseguenza a intensa erosione che smantella la maggior parte dei depositi marino-litorali depositatisi nell'ultimo interglaciale.

Con il graduale aumento delle temperature globali e lo scioglimento dei ghiacci, da circa 15.000 anni fa il mare riprende a risalire sino al cosiddetto "optimum" climatico raggiunto in epoca proto-storica - circa 6.000 anni fa - quando il livello raggiunge qualche decimetro rispetto all'attuale: a tale periodo è da ricondurre la formazione del cordone litorale di Is Arenas (e della corrispettiva area stagnale di retrospiaggia attualmente occupata dal Molentargius) che va a ricoprire lembi residui della sedimentazione marino-litorale del Pleistocene superiore, anche grazie alla disponibilità di ingenti quantità di sedimento derivanti, con buona probabilità, dal terrazzamento del conoide alluvionale dei rii Corongiu e Is Ammostus i cui sedimenti sarebbero perciò stati movimentati verso SW dalle correnti di deriva litorale.

Solo nelle ultime migliaia di anni, attraverso modeste ulteriori variazioni del livello del mare, si instaurano condizioni favorevoli alla deposizione di altri sedimenti sabbiosi e ghiaiosi litorali che si concentrano e si accrescono lungo una fascia parallela al più antico cordone de "Is Arenas", a qualche centinaio di metri più a SE. In tal modo, con la formazione del cordone litorale del Poetto, viene a formarsi in posizione di



retrospiaggia, anche lo Stagno di Quartu e delle Saline di Cagliari, analogamente a quanto successo in precedenza con la formazione dello stagno di Molentargius.

Da allora la dinamica litorale è rimasta piuttosto stabile andando a formare i campi dunari di retrospiaggia che sino al secolo scorso erano presenti nel settore di Marina Piccola, del Lido e del D'Aquila ed anche nell'estremità nord-orientale del golfo di Cagliari (Margine Rosso), attualmente occupata dalle abitazioni. Lo stesso cordone di spiaggia del Poetto è stato profondamente trasformato rispetto alla sua configurazione originaria, anche a causa dell'intensa pressione antropica e alla costruzione della viabilità litoranea. Gli avvenimenti dell'ultimo secolo e la progressiva antropizzazione del Poetto hanno oramai irrigidito la dinamica litorale che non più alimentata da sedimenti clastici fluviali e costieri ha innescato l'attuale arretramento della spiaggia con le conseguenze da tutti conosciute.

L'insieme di ultimi eventi descritto in maniera sintetica, ha consentito la deposizione di uno spessore medio di circa 20 m di sedimenti sabbioso-limoso-argillosi olocenici piuttosto complesso che costituisce il sottosuolo naturale di ampi settori compresi tra l'attuale linea di demarcazione dell'area stagnale di Molentargius e gli abitati di Cagliari, Monserrato, Selargius e Quartu. Si deve invece all'attività antropica degli ultimi secoli la colmata di vaste aree originariamente di pertinenza idraulica attraverso un insieme di "bonifiche", colmate, canalizzazioni artificiali e tombinamenti che, innalzando anche di qualche metro l'assetto planoaltimetrico originario, hanno sottratto definitivamente quelle zone dall'influenza delle acque permettendo l'urbanizzazione delle stesse.

2.4 Caratteri litostratigrafici locali

L'area investigata è ubicata in corrispondenza di una fascia transizionale costiera interessata da numerose variazioni batimetriche e, di conseguenza, paleoambientali.

Le facies riconoscibili dalle stratigrafie mostrano alternanze verticali e laterali di ambienti da litorale ad alluvionale passando per ambienti transizionali e fluvio-deltizi. La complessità di tale assetto litostratigrafico si traduce in una marcata eterogeneità di sedimenti.

Il secolo scorso è stato caratterizzato da opere di bonifica allo scopo di recuperare terre e nel contempo renderle idonee all'insediamento e alle attività antropiche.

In letteratura esistono, per l'area del Porto Canale, numerosi dati provenienti da campagne di indagini geognostiche. In particolare in prossimità dell'area oggetto del presente studio sono stati eseguiti numerosi sondaggi geognostici corredati da prove CPT ed SPT e prove di laboratorio (prove di taglio diretto, prove edometriche e classificazioni granulometriche).



In tale fase autorizzativa pertanto, al fine di una corretta pianificazione di indagini da eseguirsi nella successiva fase progettuale, sono stati analizzati i dati esistenti e rielaborati in funzione anche delle conoscenze degli scriventi.

I *range* di parametri risultanti dal presente studio dovranno successivamente essere confrontati con i risultati provenienti da una dettagliata campagna di indagini, elaborata in questa fase, come esposto nelle pagine seguenti.

La successione stratigrafica dell'area investigata, dall'alto verso il basso, può essere così schematizzata:

- Unità 1 – Riporti di origine antropica sabbiosi e ciottolosi
- Unità 2 – Sabbie medie e sabbie fini
- Unità 3 – Limi sabbiosi, limi argillosi e argille con livelli organici
- Unità 4 – Sabbie fini con concrezioni carbonatiche
- Unità 5 – Sabbie assortite con livelli conglomeratici
- Unità 6 – Argille consistenti e argille sabbiose

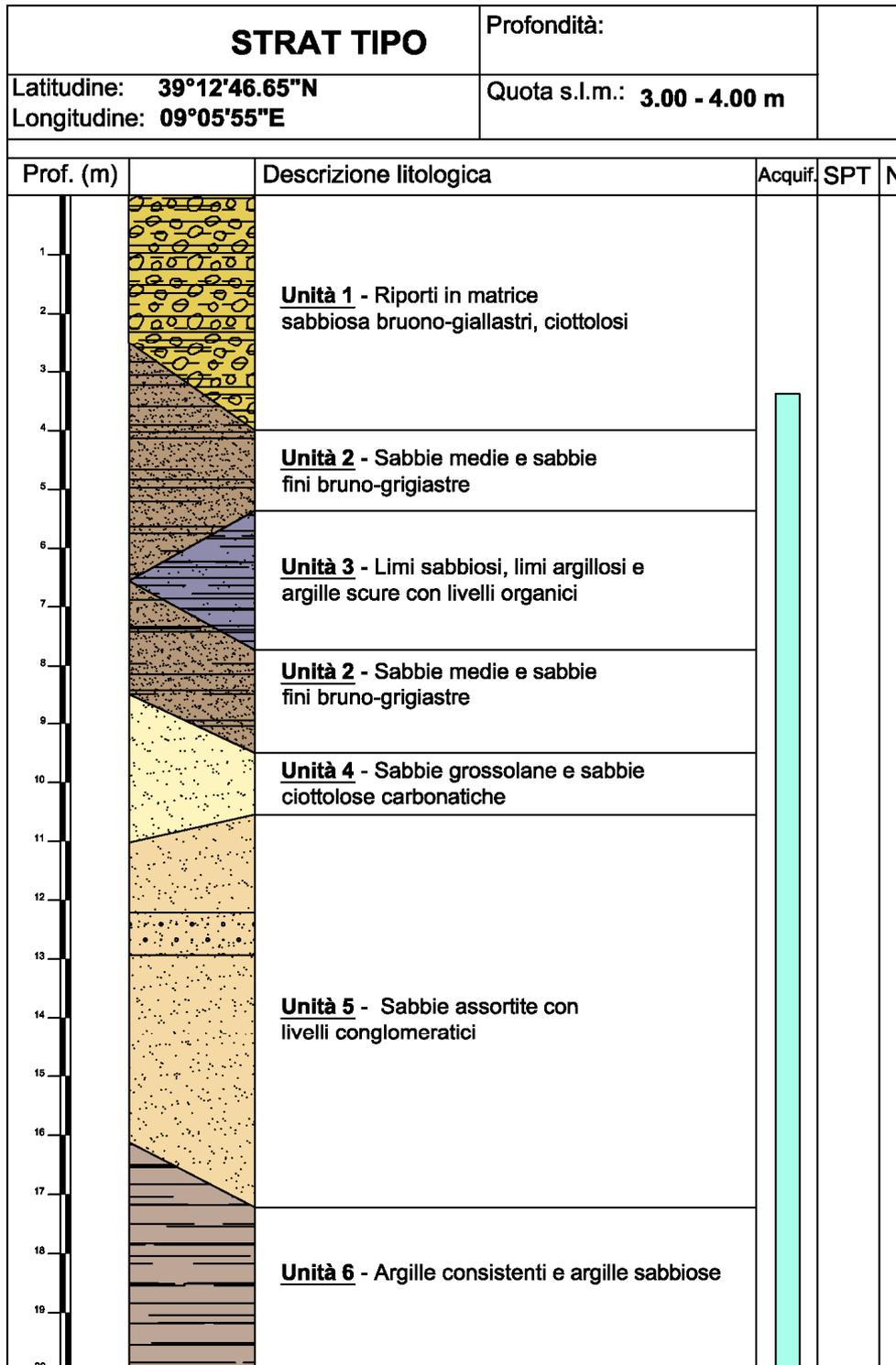


Figura 22 – Stratigrafia tipo del settore investigato.



UNITA' 1 – RIPORTI

Comprende i terreni di riporto di origine antropica costituiti essenzialmente da materiali sabbiosi misti a detriti ciottolosi a luoghi cementati. Lo spessore medio varia da 3 a 4 m.

UNITA' 2 – SABBIE MEDIE E FINI

Si tratta di sabbie da medie a fini, a luoghi limose e/o ciottolose. Sono presenti intercalati livelli conchiliari e resti di paglia marina. Lo spessore medio varia da 2 a 6 m.

UNITA' 3 – LIMI SABBIOSI E ARGILLE CON LIVELLI ORGANICI

Tale unità è costituita da sedimenti limosi e argillosi con parziale componente sabbiosa. Il contenuto di paglia marina e di frammenti conchiliari risulta rilevante. Si rileva sia in strati continui che in lenti isolate. Lo spessore medio varia da 0 a 2,5 m.

UNITA' 4 – SABBIE FINI CON CONCREZIONI CARBONATICHE

Si tratta essenzialmente di sabbie limose sature con intercalati livelletti e straterelli cementati o ricchi di concrezioni carbonatiche. Lo spessore medio varia da 1 a 3 m.

UNITA' 5 – SABBIE ASSORTITE E LIVELLI CONGLOMERATICI INTERCALATI

Sono costituite da sabbie da medie a fini addensate, con intrecciazioni di straterelli conglomeratici. Lo spessore medio è plurimetrico.

UNITA' 6 – ARGILLE CONSISTENTI E ARGILLE SABBIOSE

Tale unità è costituita da argille e limi sabbiosi con rari inclusi di dimensione plurimillimetrica. L'unità 6 si rileva generalmente a partire dai 15 m dal piano di campagna.



3 SISMICITÀ

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" affida alle Regioni l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dando in questo modo attuazione al D. Lgs. 112/1998 ed in particolare agli articoli 93 e 94 che determinano la ripartizione tra Stato e Regioni delle competenze in materia di riduzione del rischio sismico. L'Ordinanza, allineando il sistema normativo per le costruzioni in zona sismica al sistema dei codici europei (EC8), ha consentito una significativa razionalizzazione del processo di individuazione delle zone sismiche. L'allegato 1 dell'Ordinanza stabilisce che le zone sismiche vengono individuate da 4 classi di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La coincidenza fra il numero di categorie del precedente sistema ("classificazione sismica") e il numero di zone previste dall'Ordinanza non deve incoraggiare a stabilire un parallelismo eccessivo fra mappe relative a sistemi che sottendono livelli di protezione sismica differenti. Basti ricordare ad esempio che la quarta categoria precedente non richiedeva alcun intervento antisismico, mentre la quarta zona attuale lo richiede, sia pure in modo semplificato. La cronistoria della classificazione sismica del territorio italiano nella classificazione definita dai Decreti emessi fino al 1984 la sismicità è definita attraverso il "grado di sismicità" S. Nella proposta di riclassificazione del GdL del 1998 si utilizzano 3 categorie sismiche più una categoria di Comuni Non Classificati (NC).

La riclassificazione sismica del territorio nazionale prevede che tutto il territorio sia classificato sulla base della Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale riportata di seguito: in relazione alla pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità in funzione a quattro differenti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo (a_{g475}), ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s. alle quali si applicano norme tecniche differenziate per quanto concerne le costruzioni. L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di a_{g475} con una tolleranza 0,025g.

Come si evince dalla tabella, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Infatti le nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 in vigore dal 1° luglio 2009 hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali.

Zona	a_{g475}
1	$a_{g475} \geq 0.25g$
2	$0.25g < a_{g475} \leq 0.15g$
3	$0.15g < a_{g475} \leq 0.05g$
4	$a_{g475} < 0.05g$

Tabella 1 – Valori di accelerazione orizzontale massima al suolo.

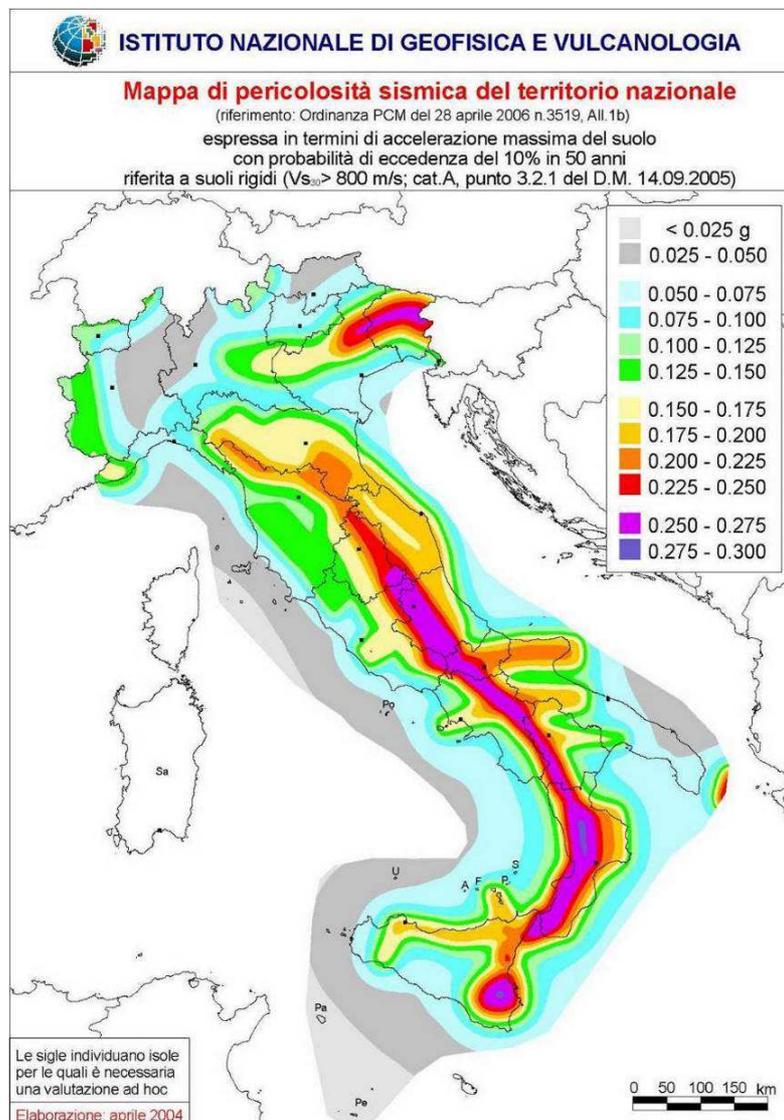


Figura 23 – Mappa della pericolosità sismica per il territorio nazionale.

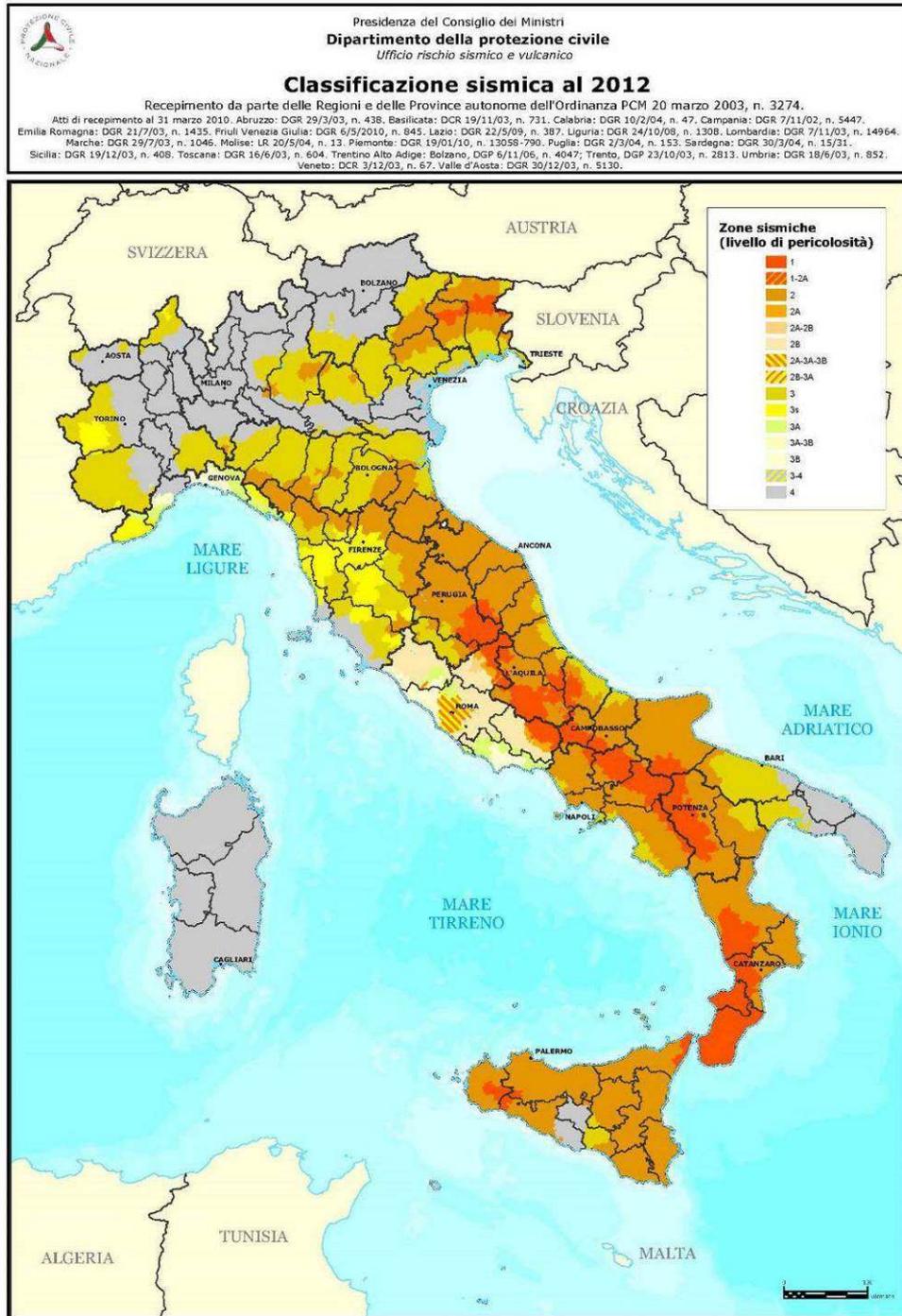


Figura 24 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Fonte Dipartimento Protezione Civile).

In precedenza, per ciascuna zona veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1- luglio 2009 invece, con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera.

Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio Civile, etc.).

La Regione Autonoma della Sardegna ha recepito la zonizzazione del territorio nazionale con D.G.R. 30.03.2004, n.15/31 "Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20.03.2003, n. 3274" (B.U. Sardegna 21.08.2004, n. 23). L'area interessata dalle opere in progetto, come tutto il territorio regionale, ricade in **Zona sismica 4**, ovvero quella meno pericolosa a cui corrisponde la normativa antisismica meno severa, per la quale il parametro a_g (corrispondente all'accelerazione orizzontale di picco con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) è assegnato un valore convenzionale di **0,05g** da adottare nella progettazione.

Per quanto riguarda la massima intensità macrosismica I_{max} (che rappresenta una misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sull'uomo, sugli edifici e sull'ambiente), si fa riferimento alla classificazione del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (G.N.D.T.).

Per i comuni della Sardegna, così come per quelli ove si segnalano intensità massime molto basse o non esiste alcun dato osservato, è stato assegnato un valore "ponderato" di intensità (I_{max}/pon), stimato per estrapolazione dai valori osservati nei comuni limitrofi oppure calcolando un risentimento massimo a partire dal catalogo NT.3 mediante opportune leggi di attenuazione. Ad ogni comune risulta quindi associato un valore di intensità massima osservata (I_{max}/oss), oppure "ponderata" (I_{max}/pon).

Sardegna

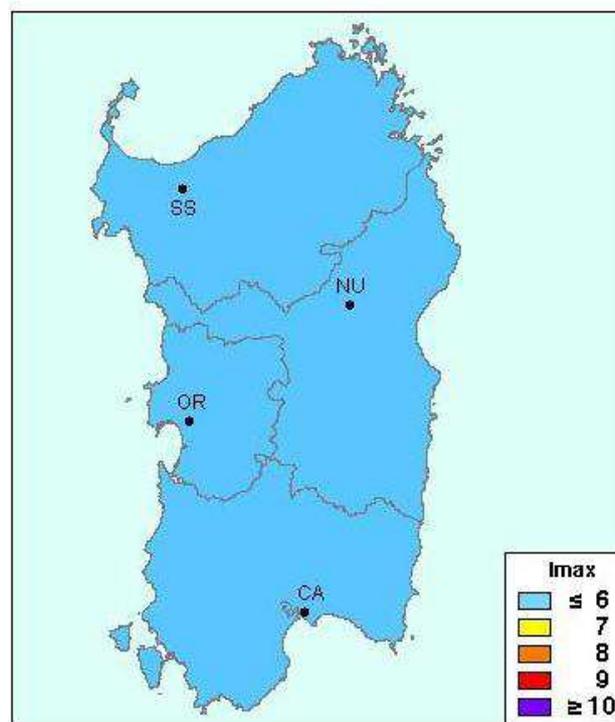


Figura 25 – Intensità macrosismica I_{max} per la Sardegna.



Dei 375 comuni della Sardegna, meno del 5% ha comunicato al G.N.O.T. i dati relativi all'intensità macrosismica MCS: in ogni caso, nella totalità delle rilevazioni, i valori sono risultati minori di 6, come si evince dalla figura precedente.

Per l'area in esame, la pericolosità sismica di base, la classificazione sismica e la magnitudo di riferimento sono le seguenti:

- Accelerazione orizzontale massima al suolo normativa < 0,05 g
- Zona sismica 4 (sismicità molto bassa)
- Intensità macrosismica 7
- Magnitudo <6

La classificazione, adottata secondo i criteri sopra definiti, consente di individuare cinque categorie di suoli di fondazione:

- A: formazioni litoidi o suoli litoidi omogenei molto rigidi caratterizzati da valori VS30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo di 5m.
- B: depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzate da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media NSPT > 50, o coesione non drenata media $C_u > 250$ kPa)
- C: depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di VS30 compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa).
- D: depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di VS30 < 180 m/s ($NSPT < 15$, $C_u < 70$ kPa).
- E: profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di VS30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con VS30 > 800 m/s.

4 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

4.1 Assetto idrografico

L'U.I.O. del Flumini Mannu-Cixerri è la più estesa tra le U.I.O. individuate con i suoi 3.566 km² di superficie e al suo interno ricadono complessivamente 71 centri urbani.

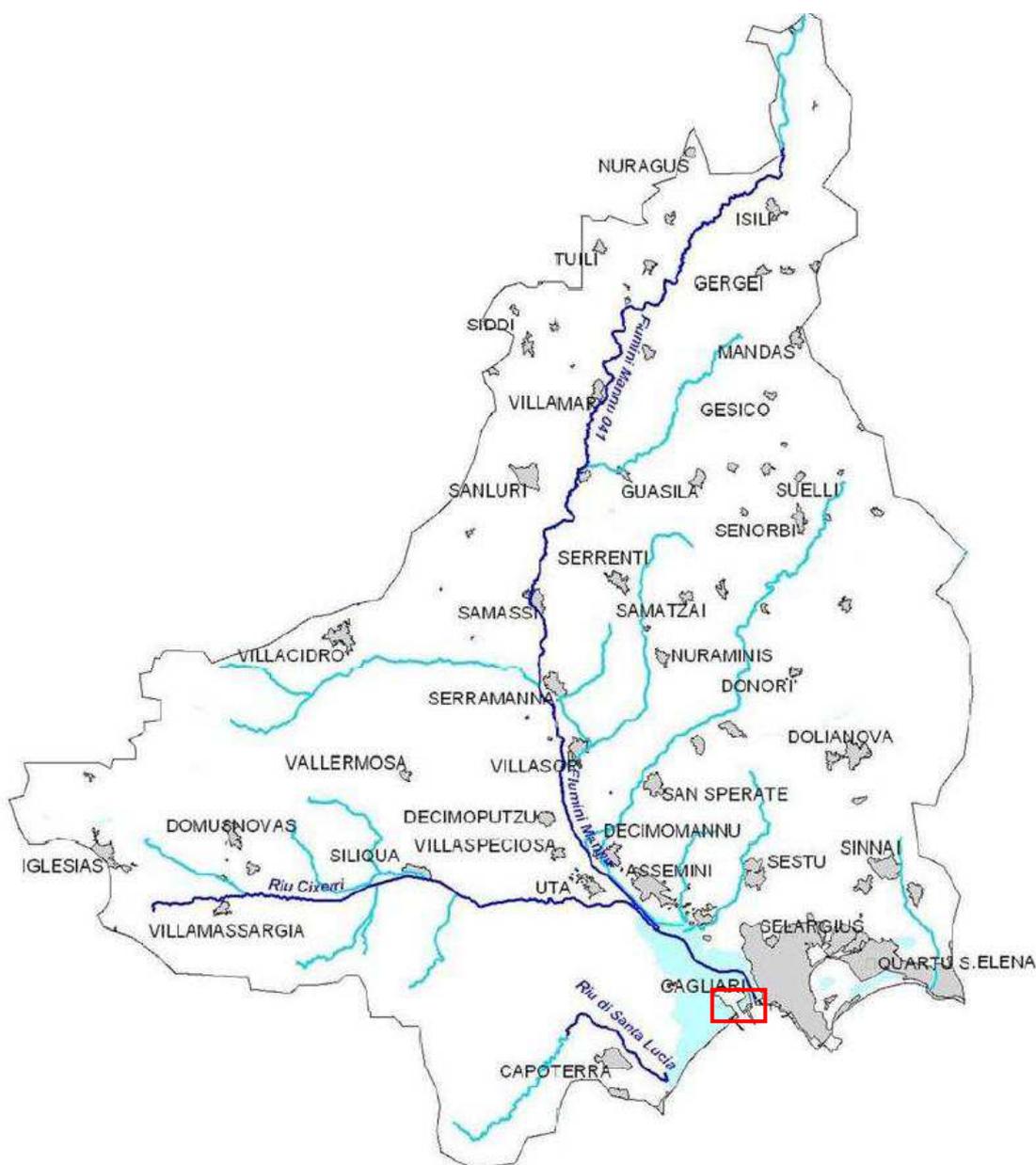


Figura 26 - Reticolo idrografico del Flumini Mannu (da P.S.F.F.). In rosso: l'area investigata.



Il Flumini Mannu è il quarto fiume della Sardegna per ampiezza di bacino e presenta una lunghezza complessiva di circa 105 km, di cui circa 96 km classificati come asta principale. Il tratto principale è ulteriormente suddiviso in una classificazione che distingue il primo macrotratto denominato Flumini Mannu 041 (circa 63 km compresi tra il lago San Sebastiano e Serramanna) dal secondo macrotratto, arginato focivo, che dà il nome all'intera asta.

Data la sua configurazione morfologica ribassata, a questo settore del Campidano meridionale afferiscono numerosi corsi d'acqua ad andamento preferenziale NW-SE, i più importanti dei quali sono il Fluminimannu, il cui bacino di alimentazione si estende fino alla regione dei Tacchi del Sarcidano, ed il Rio Cixerri. Questi sfociano nello Stagno di Santa Gilla, insieme ad altri corsi d'acqua minori (Rio di Sestu, il Rio sa Murta, il Rio de sa Nuxedda, il Rio de Giaccu Meloni) sia per portata solida che liquida.

L'assetto idrografico di superficie assume scarsa importanza nel settore urbano di Cagliari s.s., poiché l'alto morfologico su cui la città si è in prevalenza sviluppata, sebbene irregolarmente strutturato dai diversi colli, funge da spartiacque tra i deflussi fluvio-torrentizi che si immettono nella Laguna di Santa Gilla a W e nello Stagno di Molentargius a E.

Solo mediante l'analisi della cartografia storica antecedente al rapido sviluppo urbano del capoluogo degli ultimi 4-5 decenni (Porcu, 1976) si può ricavare l'originario schema di drenaggio superficiale dell'hinterland di Cagliari e, soprattutto, il sovrapporsi nel tempo di interventi strutturali di significativa entità quali deviazioni, canalizzazioni, tombamenti, colmate e bonifiche.

Anche per quanto riguarda Cagliari città, il naturale reticolo di deflusso superficiale delle acque meteoriche risulta attualmente obliterato dai quartieri sviluppatisi nelle aree comprese tra i colli, e per poterlo visualizzare è necessario prendere visione della cartografia antecedente il 1950.

Il principale asse di drenaggio superficiale, al pari di quello sotterraneo, è localizzato tra i colli di Monte Uripinu, Bonaria e Montixeddu ad E e il colle di Castello-Buoncammino a W: prima dell'espansione urbanistica oltre il perimetro di Castello e Villanova, esso permetteva il deflusso delle acque di ruscellamento areale provenienti da Monte Claro e dagli attuali quartieri di Genneruxi e C.E.P. verso l'attuale area costiera compresa tra il vecchio e il nuovo molo di Levante (ex Darsena del Sale).

Il passaggio delle acque di ruscellamento in prossimità del santuario di San Saturnino (Loc. Is Arrius) determinava la formazione di vaste aree di ristagno e la ricarica dell'acquifero superficiale.

Tutte le altre aree attorno ai colli subivano, allora come oggi, solamente gli effetti del ruscellamento diffuso sulle pendici.

Tutti i corsi d'acqua attualmente riconoscibili hanno i loro alvei modificati in modo più o meno marcato dall'azione dell'uomo, per cui risulta oramai privo di senso definirli "naturali". Sin dalle fasi iniziali dell'Olocene essi alimentavano il vasto sistema di stagni e lagune che dalla costa si estendeva per diversi chilometri nell'entroterra cagliaritano.

Le intense opere di bonifica hanno in quest'ultimo secolo alterato e talora compromesso irreparabilmente gli equilibri idrogeologici e idrodinamici naturali.

Tra strozzature, canalizzazioni, deviazioni, tombature e interruzioni degli alvei, le quantità d'acqua potenzialmente defluibili in essi o nelle loro antiche fasce di pertinenza si sono drasticamente ridotte a scapito della sicurezza degli abitati e a favore di un innalzamento della soglia di rischio da esondazione in caso di condizioni meteorologiche critiche.

Così come l'assetto morfologico, anche l'idrografia naturale dei luoghi è stata oggetto di consistenti interventi antropici che hanno alterato il tracciato e la fisionomia naturale dei corsi d'acqua al contorno della zona umida: questi sono stati attuati per limitare gli inconvenienti dovuti all'ingrossamento degli alvei e alle periodiche esondazioni da parte delle acque fluviali. Dette modificazioni si sono tradotte in interventi di canalizzazione e deviazione di alcuni corsi d'acqua.

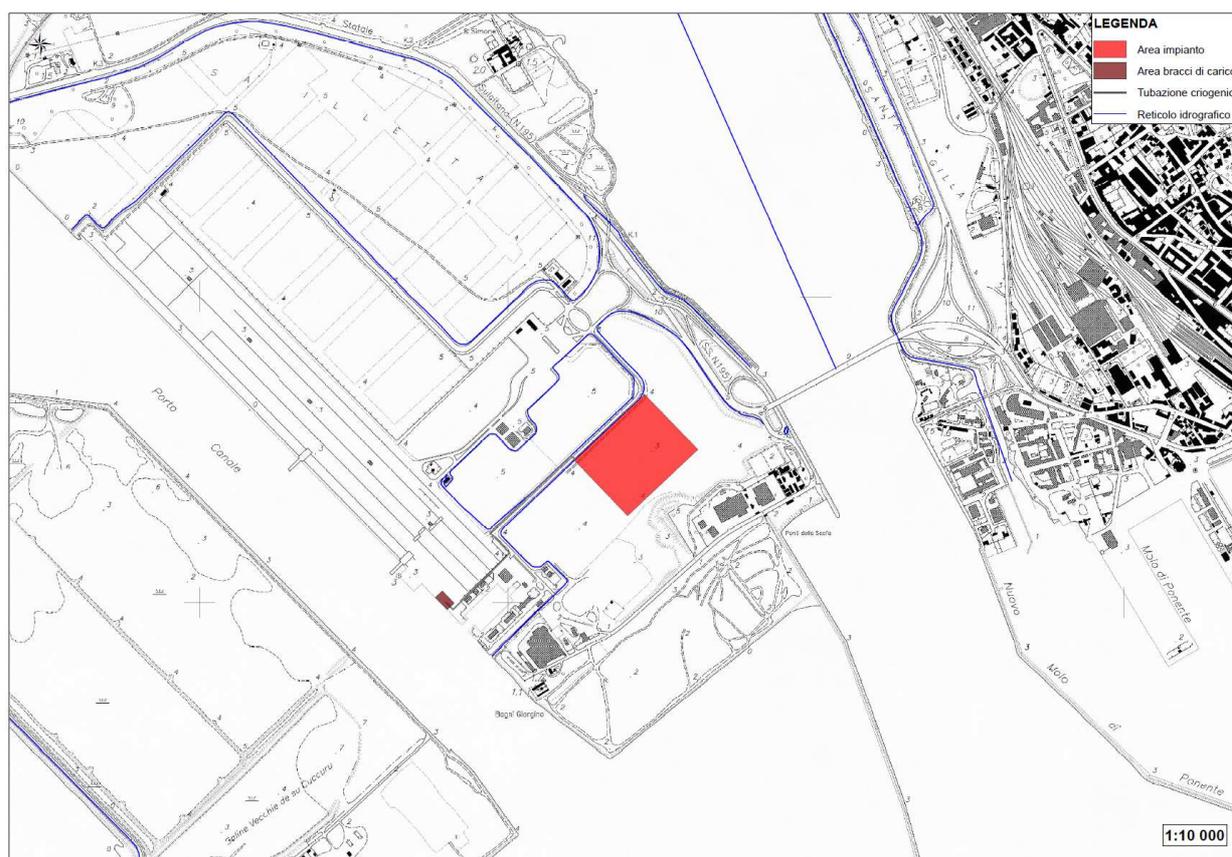


Figura 27 – Definizione del reticolo idrografico (costituito da canalizzazioni artificiali), del settore in esame.

In particolare l'alveo del Rio Mannu è stato canalizzato allo scopo di diminuire il fluire delle acque e deviato, rispetto alla sua direzione originaria N-S, prima verso est e poi verso sud per afferire infine nel Fluminimannu. Quest'ultimo ed il Rio Cixerri sono stati



oggetto di imponenti sistemazioni idrauliche sia nel tratto a monte che a valle, mirate alla regimazione dei deflussi ed al contenimento delle esondazioni.

Pertanto sono stati arginati e costretti a defluire parallelamente tra loro nello Stagno di Cagliari, dove in corrispondenza della foce, originariamente a delta con isolotti e piccole barre, è stato realizzato uno sfioratore per controllare il versamento delle acque fluviali. Queste vengono raccolte da un sistema di canali arginati che sfociano nel Golfo di Cagliari.

Nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), il settore in studio appartiene al bacino Sub-bacino Flumendosa-Campidano-Cixerri (N. 7).

4.2 Assetto idrogeologico

L'idrogeologia di un settore dipende in maniera predominante dalla natura dei litotipi affioranti e dal loro grado di fessurazione. Sono acquifere le rocce con caratteristiche tali da consentire l'assorbimento, l'immagazzinamento, il deflusso e la restituzione di acque sotterranee in quantità apprezzabili. Rocce molto porose, come sabbie e ghiaie, costituiscono ottimi acquiferi in grado di ospitare importanti falde idriche. Laddove le rocce non sono porose, eventi tettonici, contrazioni termiche ed altro possono generare fratture entro le quali può instaurarsi, anche se solo lungo lineamenti preferenziali, una circolazione idrica.

Dal punto di vista idrogeologico gli acquiferi dei depositi alluvionali della Sardegna, essendo alimentati da corsi d'acqua, forniscono portate soddisfacenti (10-40 l/s). Si tratta di acquiferi da mediamente porosi ad altamente porosi, in funzione della presenza della frazione limo-argillosa. L'alimentazione di queste falde appare provenire più che dalle precipitazioni dirette (infiltrazione reale, pari ad un decimo degli apporti e un drenaggio in periodo estivo pari al 3% degli afflussi) da corsi d'acqua a carattere torrentizio che drenano i rilievi circostanti. L'entità dell'alimentazione appare difficile da stabilirsi per mancanza di misure dei deflussi sui corsi d'acqua.

Acquiferi - consentono sia il moto che l'immagazzinamento dell'acqua. Ammettono componenti di movimento sia orizzontale (con portate significative per le opere di captazione) che verticale. I parametri idraulici sono sperimentabili con prove di portata.

Aquitardi – la componente orizzontale è pressoché trascurabile. Possono essere però sede di importanti movimenti verticali. Inoltre, se potenti, possono rappresentare importanti serbatoi di immagazzinamento, da cui l'acqua, può muoversi in verticale verso gli acquiferi. I parametri idraulici sono indirettamente determinabili con prove di pompaggio sugli acquiferi posti al letto o al tetto.

Aquicludi – entrambe le componenti di moto sono trascurabili. L'acqua può essere presente sotto forma di ritenzione, non soggetta a forza di gravità. I parametri idraulici non sono determinabili con prove di pompaggio, ma solo con test di laboratorio.

Gli acquiferi sono differenziati dagli aquitardi e dagli acquicludi in base al valore della permeabilità: Il moto è regolato dalla legge di Darcy:

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

La legge è vettoriale per cui si possono distinguere una componente orizzontale K_h e una verticale K_v . Dal punto di vista operativo il moto orizzontale viene anche definito deflusso di falda e rappresenta il vettore di flusso verso le opere di captazione, ma poiché queste ultime hanno sezioni (A) molto piccole tale componente può risultare trascurabile per bassi valori di K . Per gli stessi valori di K può viceversa essere rilevante il flusso verticale, dal momento che esso interessa l'intera sezione di A del sistema idrogeologico, se questo ammette significative variazioni del carico idraulico.

Il mezzo fisico in cui avviene il deflusso e l'immagazzinamento dell'acqua sotterranea permette di distinguere:

1. *acquiferi granulari* (porosi)

2. *acquiferi fratturati*

Gli acquiferi possono essere classificati in base alle caratteristiche idrogeologiche della formazione sovrastante nel modo seguente:

Acquiferi freatici – non necessariamente devono affiorare sino alla quota del p.c., possono essere limitati da coperture meno permeabili. La condizione determinante è che non siano saturi sino a tetto, ovvero la superficie freatica, in contatto con l'esterno, cada all'interno.

Acquiferi semifreatici – è il caso in cui l'acquifero è limitato a tetto da una copertura a bassa permeabilità relativa, all'interno del quale cade la superficie freatica.

Acquiferi confinati – al tetto presentano un *aquiclud* o comunque un *aquitard* a bassissima permeabilità relativa, tale da rendere gli scambi idrici nulli, con gli acquiferi sovrastanti. Sono saturi e il livello di falda è piezometrico, ovvero rappresenta una pressione al letto dell'acquifero.

Acquiferi semiconfinati – al letto presentano un *aquitard* che si può estendere sino al p.c., oppure essere a sua volta sormontati da un acquifero freatico. Attraverso l'*aquitard* sono resi possibili gli scambi idrici verticali con l'acquifero sottostante. Se l'*aquitard* è dotato di magazzino proprio può cedere la risorsa all'acquifero semi-confinato.

Sistemi acquiferi multifalda – sono sistemi molto diffusi in natura, e generalmente sono contrassegnati da un acquifero freatico o semi freatico sovrapposto a più orizzonti successivi semi confinati, ovvero separati da *aquitard*. Le condizioni di scambio idrico sono regolate dal carico piezometrico e dalle caratteristiche degli *aquitard*.

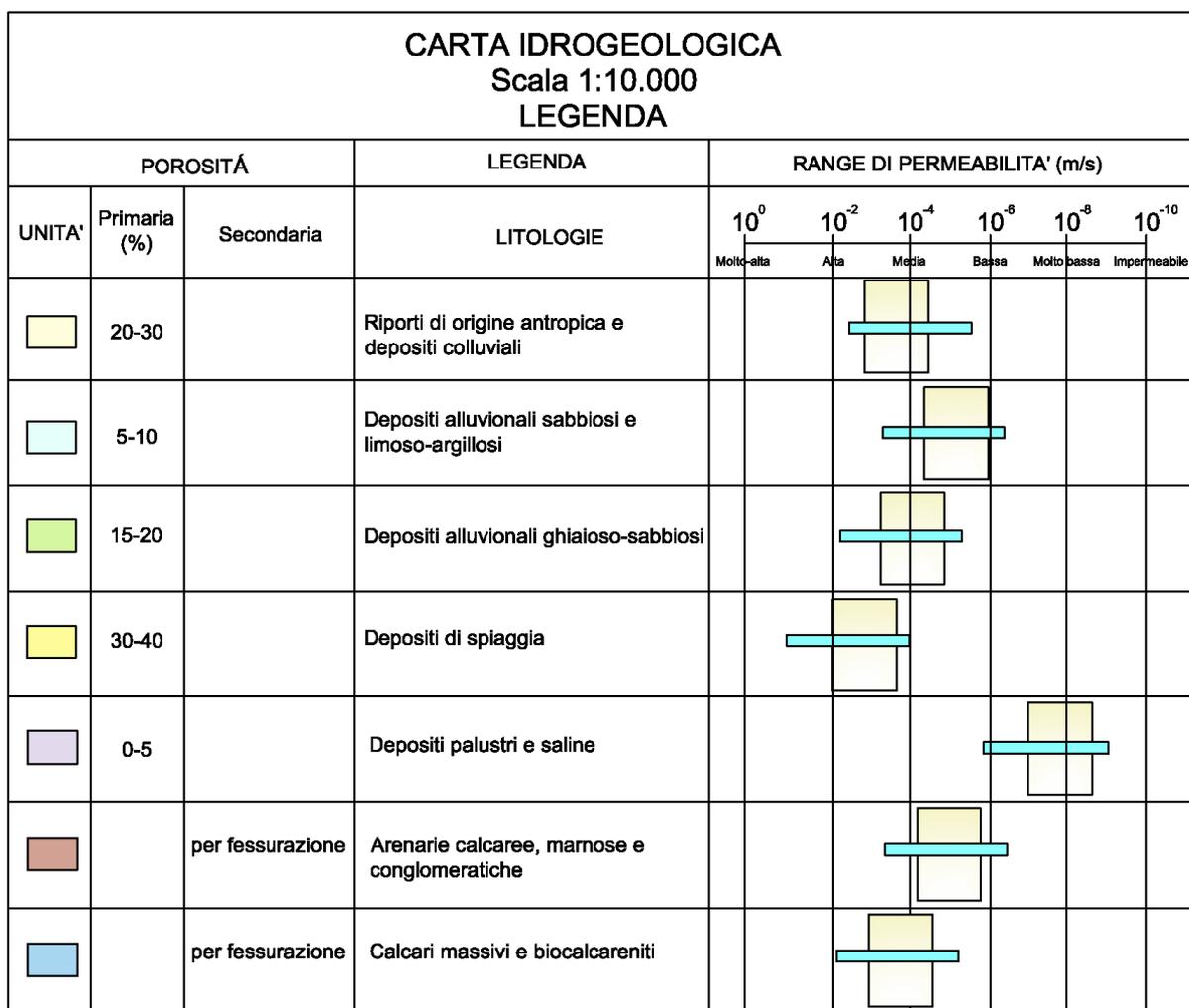


Figura 28 – Legenda della carta della permeabilità allegata al progetto.

Le tipologie di complesso acquifero presenti nell'area investigata sono riconducibili a:

- Acquifero detritico-alluvionale quaternario
- Acquifero detritico alluvionale plio-quaternario

La permeabilità per porosità complessiva risulta medio bassa. Tuttavia, localmente, è possibile avere valori di permeabilità medio alta nelle componenti maggiormente grossolane e nelle facies carbonatiche (anche per fessurazione).

Il carattere fortemente antropizzato dell'area investigata è nel complesso sfavorevole alla ritenzione delle acque meteoriche.



La distribuzione degli afflussi meteorici nell'anno segue l'andamento tipico del clima mediterraneo e nella stagione piovosa è irregolare e variabile. Le prime piogge dopo la siccità estiva si verificano nei mesi di settembre-ottobre, con caratteristiche di acquazzoni estivi, mentre il normale periodo piovoso si estende da novembre-dicembre ad aprile, interrotto quasi sempre da periodi asciutti che generalmente iniziano in gennaio ed hanno nel mese una breve durata, ma che a volte si prolungano sino a febbraio ed oltre.

L'assetto idrogeologico del settore in studio è condizionato dalla presenza di una potente sequenza di terreni del Quaternario recente, di origine prevalentemente marina litorale e lagunare, con tessitura variabile dai limi alle sabbie grossolane e sormontante da una coltre plurimetrica di terre di riporto.

Considerata l'elevata permeabilità e trasmissività "in grande" di questi terreni, la falda freatica superficiale è in equilibrio con il livello del mare per cui risulta costantemente alimentata dai flussi idrici che avvengono in corrispondenza dei livelli sabbiosi.

Sulla base di dati ottenuti in cantieri limitrofi, si ritiene che la falda dovrebbe attestarsi alla profondità di circa -3,00 m dal p.c.

5 CARATTERI GEOPEDOLOGICI E USO DEL SUOLO

La geopedologia classifica i suoli secondo il sistema elaborato dal Servizio del Suolo degli Stati Uniti (Soil Taxonomy, 1994).

L'ambiente pedologico del territorio in esame deve essere visto in relazione soprattutto ai depositi geologici presenti, ai loro diversi aspetti morfo-strutturali, vegetazionali, climatici ed al loro uso presente e passato. L'intensa antropizzazione e l'urbanizzazione risultano inoltre fenomeni di fondamentale importanza nell'evoluzione nel sistema suolo.

Grandi Gruppi		Sottogruppi		Substrato	
A	Fluvaquents	1	Typic	a	Scisti
B	Xeropsammets	2	Vertic	b	Gneiss
C	Xerorthens	3	Aquic	c	Graniti
D	Xerofluvents	4	Lithic e Lithic-Ruptic	d	Calcari/Dolomie
E	Calcixerolls	5	Mollic	e	Basalti
F	Xerochrepts	6	Calcixerollic	f	Trachiti
G	Chromoxererts	7	Calcic/Petrocalcic	g	Arenarie
H	Pelloxererts	8	Ultic	h	Marne e Calcari marnosi
I	Salorthids	9	Fluventic	i	Conglomerati
L	Haploxeralfs			l	Tufi
M	Palexeralfs			m	Sabbie sciolte o leggerm. cementate
N	Rhodoxeralfs			n	Alluvioni antiche
O	Vitrandepts			o	Alluvioni recenti
				p	Colluvi
				q	Crostoni calcarei

Figura 29 – Codifica cartografica dei suoli

Pertanto i suoli, nell'ambito del territorio, sono stati suddivisi in funzione del substrato dal quale derivano e delle forme su cui si sono sviluppati. Il livello tassonomico raggiunto nella classificazione (Soil Taxonomy) è quello del sottogruppo. Per ciascun tipo di suolo sono stati esaminati i caratteri fisici più importanti sia sotto l'aspetto genetico sia riguardo gli aspetti gestionali e di utilizzazione tipica.

Nel settore oggetto del presente studio è stata eseguita una suddivisione in grande, tralasciando i suoli poco significativi per spessore ed estensione, in unità podologiche.

I caratteri dei suoli presi in considerazione per la classificazione sono: profondità, profilo, tessitura, permeabilità, reazione e saturazione in basi.

In generale i suoli esistenti sono notevolmente legati, nella loro genesi e maturazione, alla natura dei litotipi che costituiscono il substrato, alle caratteristiche fisiche, climatiche (nella sua evoluzione) e morfologiche che caratterizzano l'area di studio.

Nell'area investigata, si possono distinguere 3 unità pedologiche.

- Unità cartografica 33 – Questa unità caratterizza il paesaggio sulle sabbie eoliche dell'Olocene. I suoli appartengono al grande gruppo Xeropsamments, caratterizzati da tessitura sabbiosa, debole aggregazione, elevata permeabilità e povertà in elementi nutritivi. I profili presentano una evoluzione assai modesta, una successione di orizzonti A-C (assai più limitatamente A-Bw-C) con sottili orizzonti organici di superficie solo ove esiste una copertura vegetale continua e non degradata.

Caratteristiche principali dei suoli: profondi, tessitura da sabbiosa a sabbioso-franca, struttura poliedrica sub angolare a granuli sciolti, suolo da permeabile a molto permeabile, erodibilità elevata, scarsa presenza di sostanza organica, capacità di scambio cationico bassa.

Limitazioni d'uso: drenaggio eccessivo, a tratti lento in profondità, tessitura sabbiosa, forte pericolo di erosione.

Suoli predominanti: Typic ed Aquic Xeropsamments.

Suoli subordinati: Xerochrepts, Quartzipsamments.

- Unità cartografica 34 – Questa unità caratterizza il paesaggio sui sedimenti litoranei (paludi, lagune costiere, etc.) dell'Olocene. È l'unità tipica delle aree idromorfe e salse poste ai margini degli stagni, lagune e paludi presenti in varie località lungo le coste dell'Isola. I suoli principali sono caratterizzati dalla presenza di falde superficiali e pertanto il processo genetico più importante è rappresentato dall'accumulo di Sali per mancanza di idoneo drenaggio che non ne permette l'eliminazione. Sono normalmente profondi, a profilo A-C, con tessitura argillosa od argilloso-limosa e drenaggio assai lento od impedito.

Caratteristiche principali dei suoli: profondi, tessitura argillosa o argilloso-limosa, struttura massiva o colonnare, suolo poco permeabile, erodibilità scarsa, scarsa presenza di sostanza organica, media capacità di scambio cationico.

Limitazioni d'uso: drenaggio lento, salinità elevata, pericolo di inondazione.

Suoli predominanti: Typic Salorthids.

Suoli subordinati: Fluvaquents.

- Unità cartografica 35 – Aree urbanizzate e principali infrastrutture

Per quanto riguarda l'uso del suolo, le categorie principali sono costituite da territori modellati artificialmente, da territori agricoli e prati artificiali.

La figura sottostante riporta le categorie di suolo presenti nel settore investigato e riportate nel relativo elaborato di progetto allegato.

Per quanto riguarda l'uso del suolo, l'area di progetto ricade all'interno della classe con codice 2.1.1.2 - "Prati artificiali", i terreni all'intorno del settore in esame sono contraddistinti dai codici 1.2.1.1 - "Insediamenti industriali" e 1.2.3 - "Aree portuali".

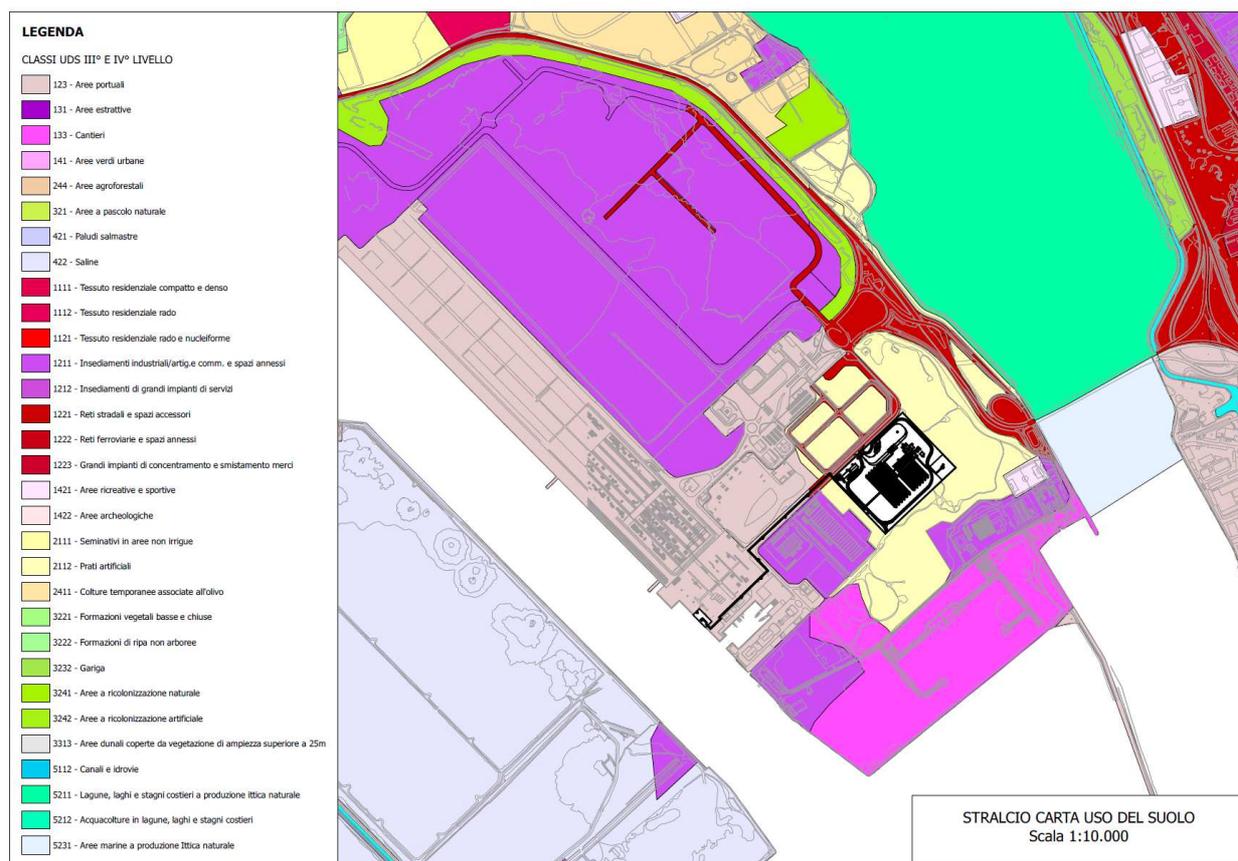


Figura 30 – Stralcio della legenda della carta dell'uso del suolo allegata al progetto.

Il Paesaggio agrario dell'ambito d'analisi è rappresentato dalla Pianura del Campidano, che si estende dal Golfo di Oristano a quello di Cagliari. La Pianura 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. Il deflusso superficiale ha contribuito alla formazione di coni di deiezione i quali hanno colmato la fossa tettonica dell'epoca terziaria, anche in concomitanza di attività vulcanica. La pianura attraversa la provincia di Cagliari, la provincia di Carbonia-Iglesias, la provincia del Medio Campidano e la provincia di Oristano.

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.

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.

6 INTERVENTI PREVISTI IN RELAZIONE AL P.A.I. E AL P.S.F.F.

Il PSFF realizza una delimitazione delle regioni fluviali atta 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.

Con riferimento alla perimetrazione delle aree di **pericolosità idraulica (Hi)**, il lotto su cui sono previsti gli interventi in progetto non ricade tra le aree soggette a pericolosità.

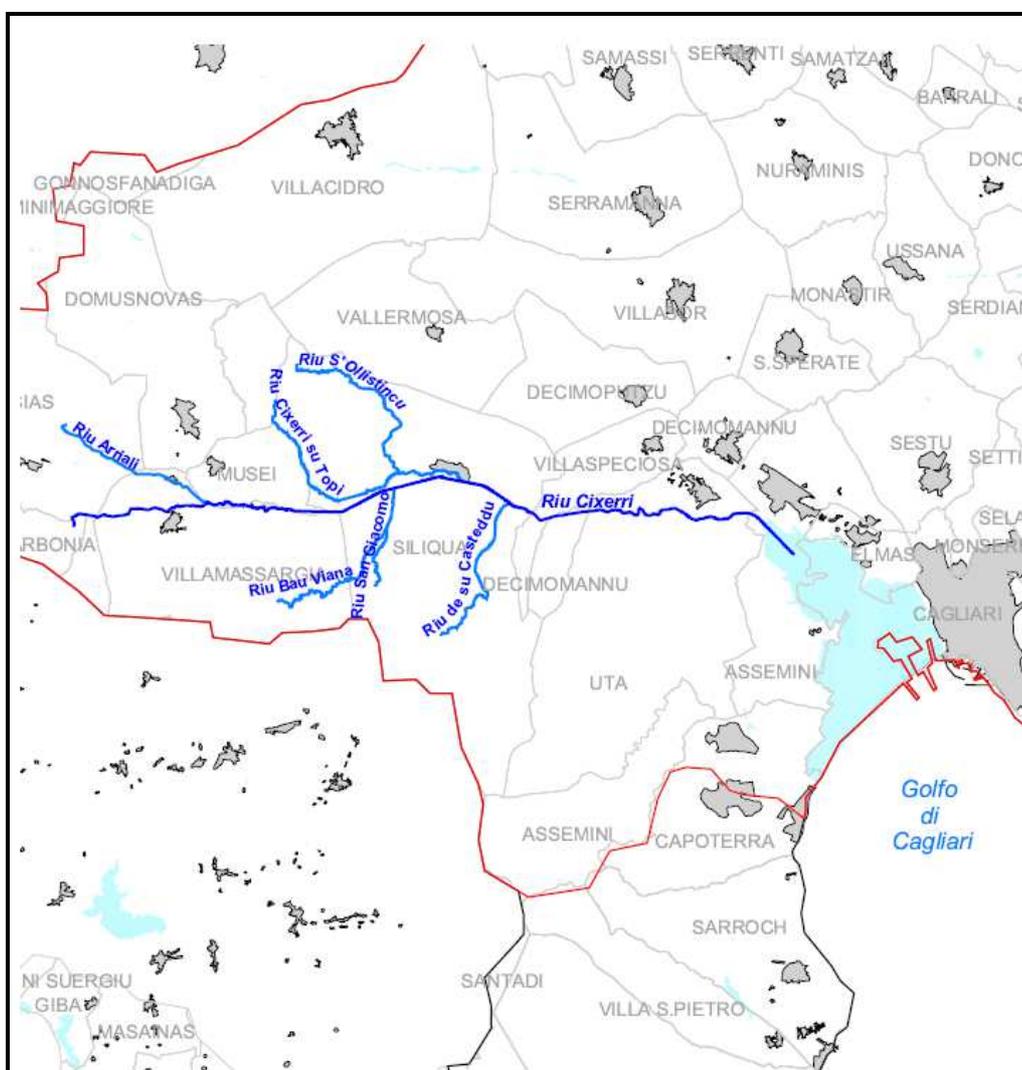


Figura 31 – Stralcio del bacino idrografico 04 Flumini Mannu. Fasce fluviali Riu Cixerri e affluenti (fonte: P.S.F.F.).

L'intervento è identificabile nella cartografia del P.S.F.F., nelle tavole 7 04 CX004 2 1 1 e 7 04 CX005 2 1 1 all'interno della fascia d'inondabilità C.

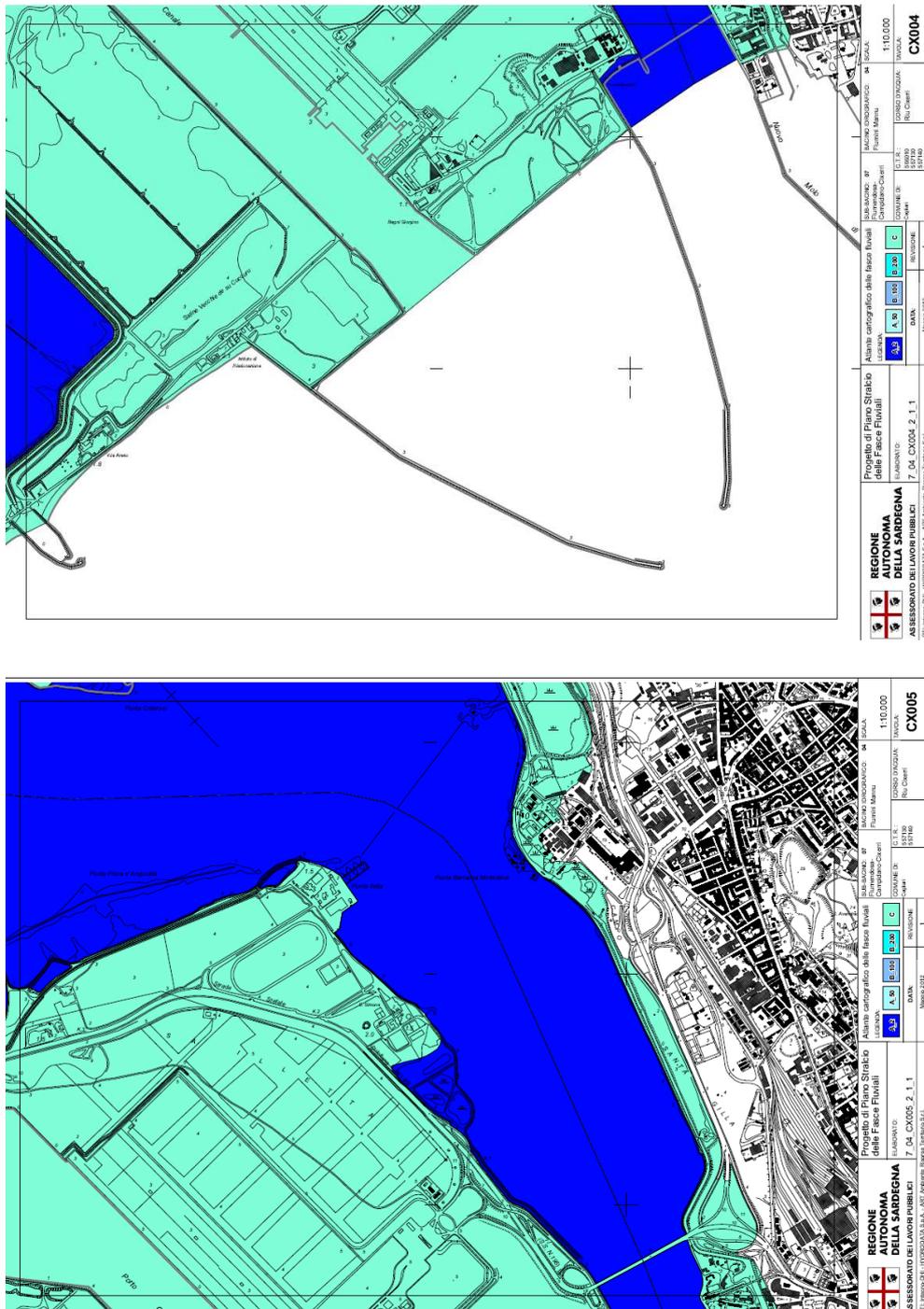


Figura 32 – Elaborati del P.S.F.F. relative al settore investigato.

7 INTERVENTI PREVISTI IN RELAZIONE AL P.G.R.A.

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni è redatto in recepimento della direttiva 2007/60/CE e del relativo decreto di recepimento nazionale, D.Lgs. n. 49 del 23 febbraio 2010 - "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni".

In particolare l'articolo 7 del suddetto decreto prevede che in ogni distretto idrografico, di cui all'art. 64 del D.Lgs. 152/2006, sia predisposto il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (di seguito indicato come PGRA).

Le mappe della pericolosità da alluvione tengono conto dei seguenti tre scenari:

- alluvioni rare di estrema intensità – tempo di ritorno fino a 500 anni (bassa probabilità);
- alluvioni poco frequenti – tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità);
- alluvioni frequenti – tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità).

Ogni scenario è caratterizzato dai seguenti parametri idraulici:

- estensione dell'inondazione;
- altezza idrica o livello;

caratteristiche del deflusso (velocità e portata).

Le mappe del rischio di alluvioni prevedono le quattro classi di rischio di cui al DPCM 29.09.1998, espresse in termini di:

- numero indicativo degli abitanti potenzialmente interessati;
- infrastrutture e strutture strategiche (autostrade, ferrovie, ospedali, scuole etc);
- beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse presenti nell'area potenzialmente interessata;
- distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata;
- impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59, che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvione e aree protette potenzialmente interessate, individuate all'allegato 9 alla parte terza del decreto legislativo n. 152 del 2006;
- altre informazioni considerate utili, come le aree soggette ad alluvioni con elevato volume di trasporto solido e colate detritiche o informazioni su fonti rilevanti di inquinamento.

Infine oltre alle mappe di pericolosità e di rischio il PGRA si compone delle mappe del danno potenziale che definiscono la perimetrazione delle aree distinguendole per gravità dei danni attesi in relazione al verificarsi di alluvioni.

La tavola che rappresenta il danno potenziale è fondamentale poiché il rischio, com'è noto è il risultato del prodotto tra pericolosità e vulnerabilità o danno.

L'intervento è identificabile nella cartografia del P.G.R.A. ai fogli 144-145-161 e 162 e ricade all'interno delle seguenti classi:

D2 – Danno potenziale medio

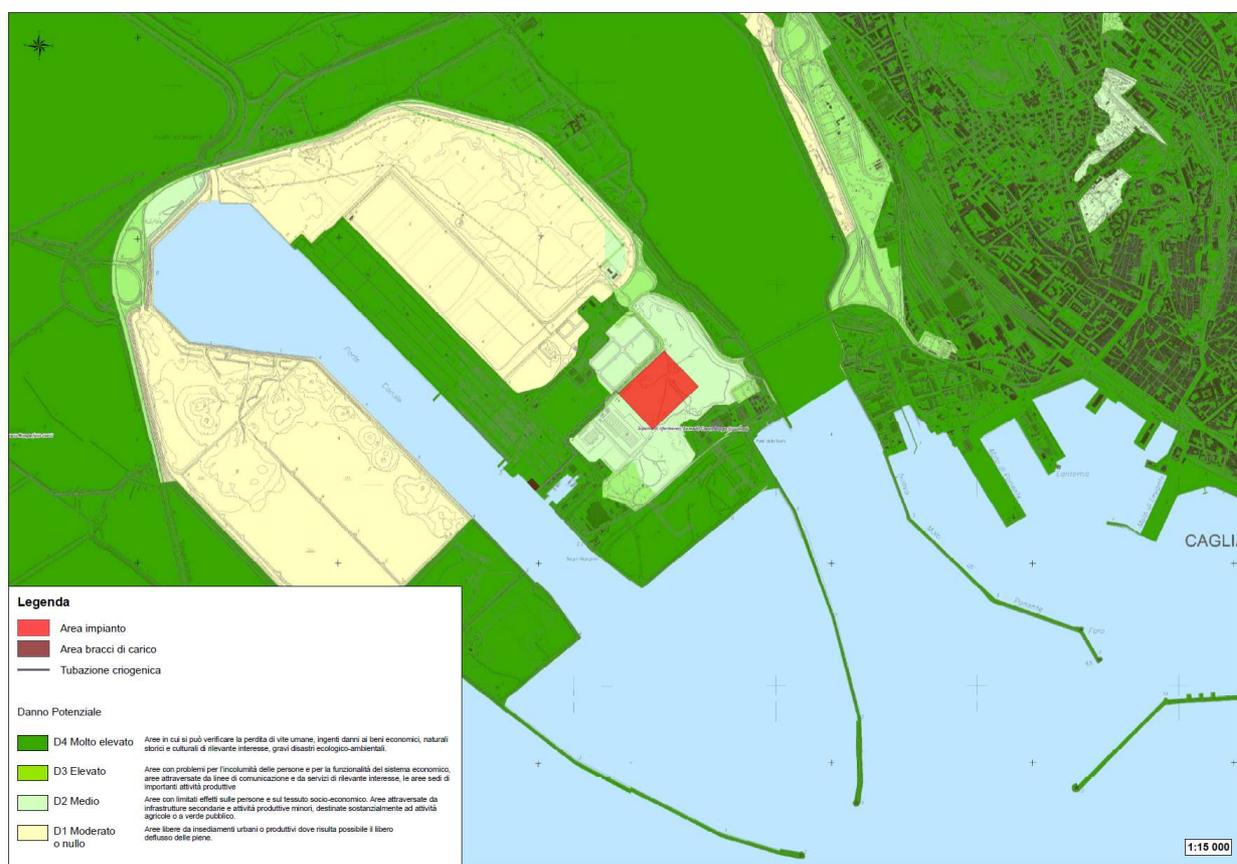


Figura 33 - Stralcio della sovrapposizione degli interventi previsti con le tavole del P.G.R.A. 0144-0145-0161 e 0162 (Danno potenziale).

P1 – Pericolosità da alluvione P1 (basso), caratterizzata da tempi di ritorno $Tr > 200$ anni.



Figura 34 - Stralcio della sovrapposizione degli interventi previsti con le tavole del P.G.R.A. 0144-0145-0161 e 0162 (Pericolosità da alluvione).

R2 – Rischio da alluvioni R2 (medio).

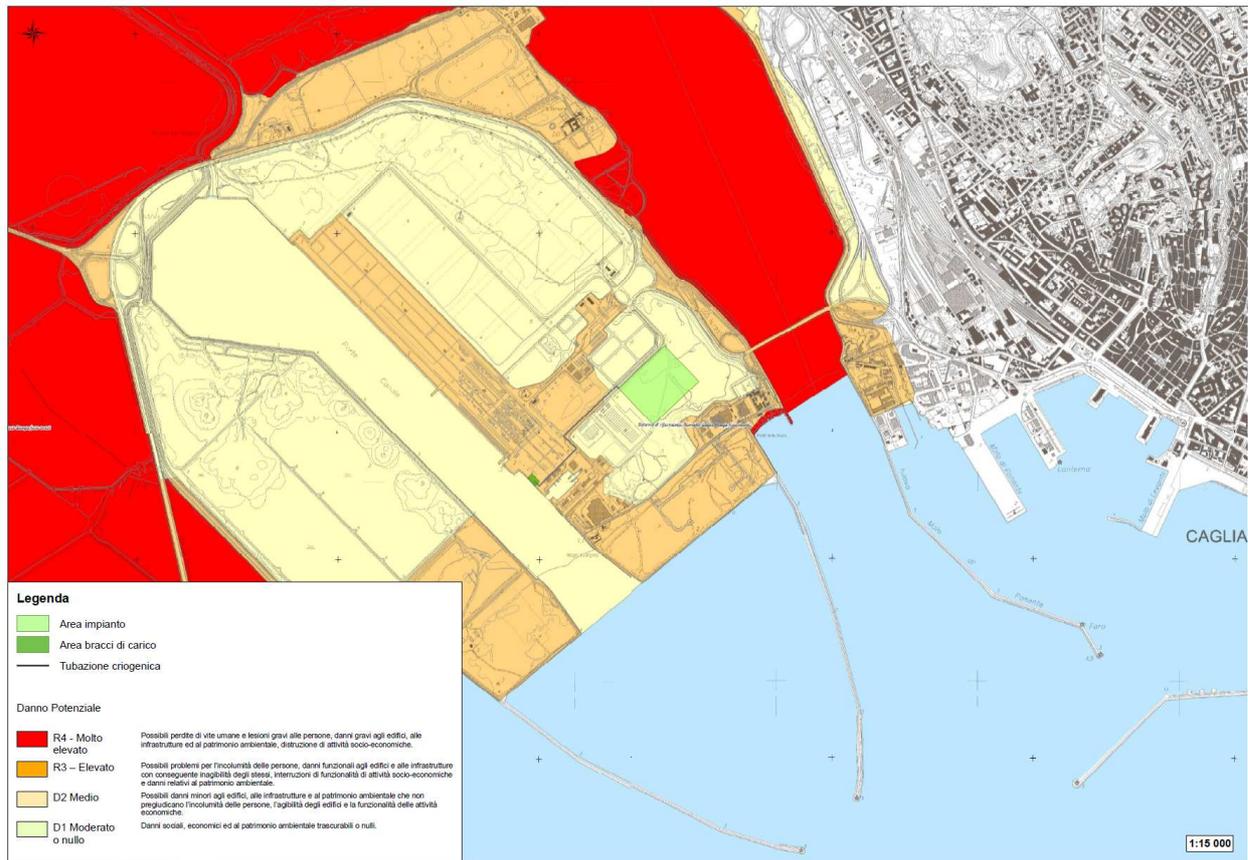


Figura 35 – Stralcio della sovrapposizione degli interventi previsti con le tavole del P.G.R.A. 0144-0145-0161 e 0162 (Rischio da alluvione).

8 CONCLUSIONI

La porzione meridionale della piana del Campidano, nella quale è localizzato il settore oggetto di indagine, mostra una certa complessità di ambienti costieri e di transizione all'entroterra, con vasti stagni-lagune che si distendono ai piedi del sistema collinare cagliaritano.

La zona in esame è situata lungo una zona estremamente pianeggiante costituita, in superficie, da depositi antropici impostati al di sopra di una sequenza di limi, sabbie e argille di ambiente transizionale, lacustre e fluvio-deltizio, poggianti su sequenze prevalentemente sabbioso-detritiche.

Gli elementi geomorfologici predominanti sono rappresentati dalle fasce costiere lagunari e dalle aree costiere marine nell'intorno dell'area studiata.

Le facies riconoscibili dalle stratigrafie mostrano alternanze verticali e laterali di ambienti da litorale ad alluvionale passando per ambienti transizionali e fluvio-deltizi. La complessità di tale assetto litostratigrafico si traduce in una marcata eterogeneità di sedimenti.

I caratteri litologici e stratigrafici dell'area in esame rispecchiano la complessità degli eventi tettonici oligo-miocenici e plio-pleistocenici e delle conseguenti fasi sedimentarie in facies continentale e marina legate alle pulsazioni trasgressive e regressive marine. La successione stratigrafica dell'area oggetto di studio è riassunta nella tabella sottostante:

UNITA' 1 – *RIPORTI*

Comprende i terreni di riporto di origine antropica costituiti essenzialmente da materiali sabbiosi misti a detriti ciottolosi a luoghi cementati. Lo spessore medio varia da 3 a 4 m.

UNITA' 2 – *SABBIE MEDIE E FINI*

Si tratta di sabbie da medie a fini, a luoghi limose e/o ciottolose. Sono presenti intercalati livelli conchiliari e resti di paglia marina. Lo spessore medio varia da 2 a 6 m.

UNITA' 3 – *LIMI SABBIOSI E ARGILLE CON LIVELLI ORGANICI*

Tale unità è costituita da sedimenti limosi e argillosi con parziale componente sabbiosa. Il contenuto di paglia marina e di frammenti conchiliari risulta rilevante. Si rileva sia in strati continui che in lenti isolate. Lo spessore medio varia da 0 a 2,5 m.

UNITA' 4 – *SABBIE FINI CON CONCREZIONI CARBONATICHE*

Si tratta essenzialmente di sabbie limose sature con intercalati livelletti e straterelli cementati o ricchi di concrezioni carbonatiche. Lo spessore medio varia da 1 a 3 m.

UNITA' 5 – *SABBIE ASSORTITE E LIVELLI CONGLOMERATICI INTERCALATI*

Sono costituite da sabbie da medie a fini addensate, con intercalazioni di straterelli conglomeratici. Lo spessore medio è plurimetrico.



UNITA' 6 – ARGILLE CONSISTENTI E ARGILLE SABBIOSE

Tale unità è costituita da argille e limi sabbiosi con rari inclusi di dimensione plurimillimetrica. L'unità 6 si rileva generalmente a partire dai 15 m dal piano di campagna.

L'assetto idrogeologico del settore in studio è condizionato dalla presenza di una potente sequenza di terreni del Quaternario recente, di origine prevalentemente marina litorale e lagunare, con tessitura variabile dai limi alle sabbie grossolane e sormontante da una coltre plurimetrica di terre di riporto.

Considerata l'elevata permeabilità e trasmissività "in grande" di questi terreni, la falda freatica superficiale è in equilibrio con il livello del mare per cui risulta costantemente alimentata dai flussi idrici che avvengono in corrispondenza dei livelli sabbiosi.

Sulla base di dati ottenuti in cantieri limitrofi, si ritiene che la falda dovrebbe attestarsi alla profondità di circa -3,00 m dal p.c..

Il presente studio, non evidenzia, allo stato attuale, la presenza di situazioni tettoniche attive, come faglie, o dislocazioni, che possano pregiudicare la realizzazione dell'opera. Per quanto sopra detto, le aree considerate nel presente lavoro sono ritenute, con gli adeguati accorgimenti progettuali e, a seguito di positive risultanze da parte di adeguata campagna geognostica, idonee per la realizzazione delle opere.

IL TECNICO
Dott. Geol. Alberto Gorini