

**Allegato D7**

IDENTIFICAZIONE E QUANTIFICAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE EMISSIONI IN  
ACQUA E CONFRONTO CON SQA PER LA PROPOSTA IMPIANTISTICA PER LA  
QUALE SI RICHIEDE AUTORIZZAZIONE



## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	3
2	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DOVUTI AI PRELIEVI IDRICI.....	4
3	VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLO SCARICO TERMICO IN MARE.....	4
3.1	IL CODICE DI SIMULAZIONE: CORMIX.....	6
4	VALUTAZIONE DEI POTENZIALI IMPATTI SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI DOVUTI AGLI SCARICHI IDRICI.....	16
5	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE IMPATTO SULLE BIOCENOSI DOVUTO ALLO SCARICO DELL'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO PER L'UNIFICAZIONE DEGLI SCARICHI TERMICI E LA CONSEGUENTE VARIAZIONE DEL FLUSSO.....	17
5.1	CARATTERISTICHE ECOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO.....	17
5.2	ANALISI DELLE PERTURBAZIONI APPORTATE DALLO SCARICO DELLE ACQUE DI RAFFREDDAMENTO.....	28
5.3	STIMA DEGLI IMPATTI.....	29

**FIGURA 1FT: Curve isoterme con temperatura pari a 3°C – Periodo invernale**

**FIGURA 2FT: Curve isoterme con temperatura pari a 3°C – Periodo estivo**

**FIGURA 3FT: Carta delle isoterme**

**FIGURA 4FT: Carta delle biocenosi bentotiche marine – Stato attuale**

**FIGURA 5FT: Carta delle biocenosi bentotiche marine – Stato futuro**



## 1 INTRODUZIONE

Il presente Allegato analizza i potenziali impatti sull'ambiente idrico derivanti dai prelievi e dagli scarichi idrici della Centrale termoelettrica di Fiume Santo.

L'approvvigionamento idrico della centrale è differenziato in base all'uso previsto: le acque destinate ad usi industriali (sia di processo che di raffreddamento) sono prelevate direttamente dallo specchio di mare antistante il sito di Centrale, altre acque di processo vengono approvvigionate mediante 2 pozzi di proprietà E.ON (denominati W4 e W4bis), realizzati in prossimità del parco carbone all'esterno del perimetro di Centrale, mentre le acque per uso sanitario vengono prelevate dall'acquedotto comunale.

Viene inoltre riutilizzata acqua proveniente dall'impianto di trattamento acque reflue, che viene reintrodotta nel circuito acqua industriale. E' anche possibile l'acquisizione di acqua demineralizzata dallo stabilimento Polimeri Europa di Porto Torres, tramite un collegamento dedicato.

Nella nuova configurazione futura, con la dismissione delle sezioni 1 e 2 da 160 MW ad olio combustibile e la realizzazione della nuova sezione 5 da 410 MW a carbone, le fonti di approvvigionamento idrico saranno le medesime utilizzate nell'assetto attuale di impianto, e precisamente:

- acqua industriale (in parte da acqua di mare previo trattamento, in parte acqua di falda dai pozzi e in parte acqua di recupero da ITAR);
- acqua di raffreddamento (acqua di mare);
- acqua potabile (da acquedotto).

La Centrale è attualmente dotata di due distinti scarichi idrici finali, uno per lo scarico dei gruppi 1 e 2 (SF1) ed uno per i gruppi 3 e 4 (SF2), che convogliano al mare le acque di raffreddamento e le acque reflue opportunamente trattate. Nella nuova configurazione futura, l'opera di presa/scarico asservita ai gruppi 1 e 2 verrà dismessa ed il gruppo 5 utilizzerà le opere già predisposte e parzialmente utilizzate dalle sezioni 3 e 4.

Gli effluenti liquidi della Centrale saranno costituiti principalmente dall'acqua di raffreddamento (o di circolazione) e dalle acque reflue in uscita dagli impianti di trattamento. L'acqua di circolazione sarà, dal punto di vista quantitativo, pressappoco uguale a quella della configurazione attuale, in quanto il calore ceduto al condensatore dalla nuova sezione sarà pressoché equivalente a quello attualmente ceduto dalle sezioni 1 e 2.

Nella configurazione futura l'impianto di trattamento delle acque reflue non subirà modifiche e garantirà la stessa qualità delle acque in uscita al collettore di scarico rispetto alla situazione attuale, in conformità ai limiti normativi indicati dalla Tabella 3 dell'Allegato 5 alla Parte III del D.Lgs 152/06 per lo scarico in acque superficiali.

Nei seguenti capitoli sono analizzati i potenziali impatti sull'ambiente idrico dovuti ai prelievi e agli scarichi idrici nella nuova configurazione della Centrale. Tali impatti sono riconducibili a:



- eventuali impatti dovuti ai prelievi idrici;
- effetto dello scarico termico in mare delle acque di raffreddamento;
- eventuali impatti sulla qualità delle acque superficiali dovuti agli scarichi idrici;
- eventuali impatti sulle biocenosi marine.

## 2 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DOVUTI AI PRELIEVI IDRICI

Le esigenze di acqua per usi industriali della Centrale, oltre che mediante prelievo di acqua di mare, sono soddisfatte dall'emungimento di acqua di falda da due pozzi (W4 e W4bis). La Centrale è autorizzata a prelevare dai suddetti pozzi una portata pari a 23 l/s.

La portata emunta nella configurazione futura sarà a circa 500.000 m<sup>3</sup>/anno (inferiore a quella attuale alla capacità produttiva e di poco superiore al prelievo del 2007) che, considerando un periodo di funzionamento annuo della Centrale di 8.760 h corrisponde a circa 15,8 l/s. Tale valore di portata risulta quindi conforme alla portata complessiva autorizzata (23 l/s) e risulta anche inferiore a quella attuale alla capacità produttiva, comportando quindi una discreta riduzione dello sfruttamento delle risorse idriche sotterranee.

L'acquifero profondo, da cui captano le acque i pozzi di Centrale, risulta essere di notevole potenzialità. Esso ha sede nelle coperture alluvionali quaternarie ma è alimentato in subalveo da un serbatoio idrico di notevole potenzialità rappresentato dalle sequenze calcareo-dolomitiche mesozoiche, di cui il fiume Santo costituisce uno dei principali recapiti. Pertanto, visto l'assetto idrogeologico dell'area e la potenzialità dell'acquifero, la portata emunta in futuro non produce alterazioni significative dello stato quantitativo delle acque di falda.

Le acque per uso igienico-sanitario di Centrale sono prelevate dall'acquedotto comunale. Con il passaggio alla configurazione futura i consumi idrici saranno quasi dimezzati, da circa 92.000 m<sup>3</sup>/anno a circa 48.000 m<sup>3</sup>/anno, riducendo quindi drasticamente il carico sull'acquedotto dovuto al prelievo di acqua da parte della Centrale.

## 3 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLO SCARICO TERMICO IN MARE

Secondo quanto riportato nell'Allegato 5 alla Parte III del D.Lgs 152/06, " *per il mare ....., la temperatura dello scarico non deve superare i 35°C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve superare i 3 °C oltre i 1.000 metri di distanza dal punto di immissione.*"

La Centrale è dotata di sistemi di raffreddamento (condensazione del vapore) del tipo ad acqua in ciclo aperto mediante i quali è prelevata acqua dal mare e ad esso restituita a temperatura superiore.

L'acqua di raffreddamento non è trattata chimicamente quindi, l'unico impatto è imputabile all'aumento di temperatura e non all'eventuale presenza di additivi chimici. Inoltre, poiché l'acqua di raffreddamento circola solo nei condensatori di vapore (in depressione sul lato vapore), non vi sono pericoli che essa possa essere contaminata da altre sostanze come può accadere nel caso di impianti in cui l'acqua circola in scambiatori in cui la sostanza da raffreddare è in pressione e/o tossica.



In **Tabella 1** sono riportati i principali dati di progetto riferiti alle acque di raffreddamento dello scenario futuro.

**Tabella 1: Caratteristiche delle acque di raffreddamento nella configurazione futura**

Sezione	Portata acqua di raffreddamento [m <sup>3</sup> /s]	Potenza Immessa [MW]	Innalzamento di temperatura allo scarico [°C]
<b>Scenario Futuro</b>			
Sezione 3	13,15 <sup>(1)</sup>	398,5	8
Sezione 4	13,15 <sup>(1)</sup>	398,5	8
Sezione 5	13 <sup>(2)</sup>	412	7,6

(1) Le portate di acqua di raffreddamento sono comprensive del contributo acqua servizi in ciclo chiuso ed evaporatori.  
(2) Per la sezione 5 le portate di acqua di raffreddamento sono comprensive del contributo acqua servizi in ciclo chiuso.

Lo scarico SF2 delle acque di raffreddamento delle attuali sezioni 3 e 4 e della futura sezione 5 avviene attraverso un'opera di restituzione in cemento armato realizzata precedentemente nell'ipotesi di una espansione futura dell'impianto. Tale opera di scarico è formata da 4 canali indipendenti a sezione quadrata lunghi circa 50 m, ciascuno dei quali dimensionato per scaricare, in qualsiasi condizione di agitazione del mare, una portata di circa 13 m<sup>3</sup>/s.

La sezione di sbocco a mare è caratterizzata da una quota di fondo di -2,00 m IGM, con la larghezza netta di ciascun canale pari a 2,70 m. Il fondale prospiciente la sezione di sbocco a mare, per una larghezza di 50 m ed una lunghezza di 100 m, è protetto da una idonea mantellata di massi posta su sottofondo di pietrame scapolo.

L'opera di scarico è stata dimensionata per una velocità massima allo scarico di circa 2 m/s che consente di realizzare una buona diluizione.

Nella configurazione futura il carico termico totale immesso in mare rimarrà sostanzialmente invariato rispetto alla situazione attuale e si avrà un miglioramento dell'efficienza della dispersione termica in relazione all'utilizzo di un unico diffusore di scarico per le sezioni 3-4-5 avente caratteristiche idrauliche ottimali che garantiscono una elevata diluizione nel campo vicino. Nell'assetto di impianto futuro lo scarico delle acque avverrà attraverso tre delle quattro concamerazioni esistenti dell'opera di restituzione in cui sono convogliate attualmente le sezioni 3 e 4.

Si rileva inoltre che sarà rispettato il limite assoluto di 35 °C (D.Lgs 152/06) per le acque di scarico: sommando infatti l'incremento termico delle acque di raffreddamento (8 °C per le sezioni 3-4 e 7,6 °C stimati per la nuova sezione 5) alla massima temperatura dell'acqua prelevata dall'opera di presa (pari a 25 °C, temperatura massima raggiungibile dall'acqua di mare), non saranno mai superati i 35 °C.

Per verificare che la dispersione termica in mare delle acque di raffreddamento provenienti dalle sezioni 3, 4 e 5 non porti ad un innalzamento della temperatura oltre il limite (fissato dal D.Lgs 152/06, di +3°C a 1.000 m di distanza dal punto di emissione) è stato utilizzato il modello di calcolo CORMIX.



### 3.1 IL CODICE DI SIMULAZIONE: CORMIX

#### 3.1.1 Descrizione del codice

CORMIX consiste di tre sottosistemi integrati che permettono l'analisi, la previsione e la rappresentazione del comportamento degli scarichi in acque superficiali, con particolare attenzione alle caratteristiche di diluizione e dispersione degli inquinanti e alla geometria della zona di miscelazione:

- CORMIX1, permette di simulare il comportamento di singoli scarichi sommersi in ambienti stratificati e non stratificati, quali fiumi, laghi, estuari e acque costiere;
- CORMIX2 si occupa degli scarichi sommersi multipli in ambienti stratificati e non stratificati, quali fiumi, laghi, estuari e acque costiere;
- CORMIX3 si occupa degli scarichi di superficie caratterizzati da flussi in grado di galleggiare; il modello è limitato agli scarichi galleggianti.

Nelle analisi di CORMIX, tutte le valutazioni relative alla zona di miscelazione (rimescolamento), sono effettuate presupponendo che le condizioni ambientali siano stazionarie: questo vale sia per il flusso dello scarico (velocità o portata costante) che per il corpo recettore (velocità costante).

I tre sottosistemi di CORMIX richiedono in generale che la sezione verticale del corpo recettore sia descritta o schematizzata come un canale rettangolare uniforme e liscio che può essere limitato lateralmente (corsi d'acqua superficiali) o non essere limitato (coste o laghi). La velocità del fluido nell'ambiente viene supposta come uniforme attraverso la sezione verticale. Inoltre, CORMIX3 presuppone un profilo di densità verticale uniforme per il corpo recettore.

Tutti i sistemi di CORMIX possono predire la miscelazione sia per i processi conservativi che per processi non conservativi con decadimento di primo ordine e possono simulare lo scambio di calore nel caso l'effluente sia termico.

Anche se nella realtà non esiste un ambiente in stato stazionario, questo presupposto è solitamente adeguato a simulare l'ambiente in quanto i processi di miscelazione sono abbastanza veloci rispetto alla scala temporale delle variazioni idrografiche. Nel caso di maree caratterizzate da un'ampia variabilità nel flusso il presupposto non è più valido e si può verificare una accumulazione significativa dell'inquinante indagato. In questo caso CORMIX prevede la possibilità di valutare gli effetti dovuti alle maree (indicando il tempo di ritorno e le altezze media dell'alta e bassa marea) descrivendo gli effetti di ritrascinamento sul comportamento del pennacchio. In questa sede si ritiene che il problema non sia rilevante e che sia adeguata una simulazione standard, data la scarsa escursione (< 0,30 m) del livello del mare nell'area oggetto dello studio.

CORMIX contiene uno schema rigoroso di classificazione delle diverse tipologie di flussi che possono svilupparsi da scarichi sommersi o superficiali.

La differente classificazione viene determinata dalle caratteristiche:



- dell'ambiente del corpo recettore;
- dello scarico;
- della "mixing zone" (zona di rimescolamento).

Per ognuno di questi aspetti il modello prevede una serie di dati di ingresso, sulla base dei quali il programma determina il valore di alcuni parametri (*scale di lunghezza*) che permettono di valutare il comportamento del flusso.

I dati di input relativi alla caratterizzazione dell'ambiente sono comuni ai tre sottosistemi di CORMIX e sono divisi in due tipologie di corpo recettore:

- acque lentiche (corsi d'acqua superficiali naturali o artificiali);
- acque lotiche, o marine.

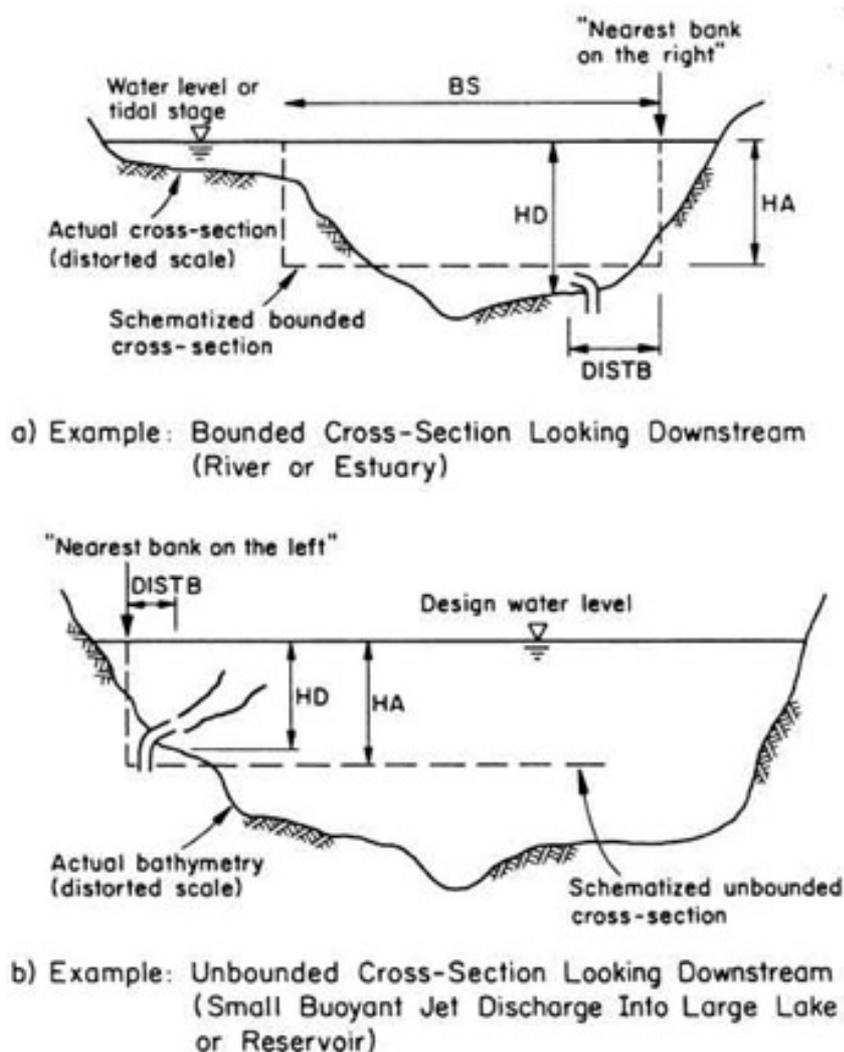
Per entrambe le tipologie CORMIX richiede che la sezione trasversale del corpo ricettore sia descritta come una regione rettangolare che può essere lateralmente limitata o non limitata. Questa semplificazione è necessaria per calcolare l'effetto dell'interazione al contorno (*Boundary Interactions*) sul comportamento della zona di miscelazione. Le *Boundary Interactions* si hanno quando il flusso determinato dallo scarico entra in contatto con le superfici laterali (sponde o costa) del corpo recettore o con il fondo. Le *Boundary Interaction* possono verificarsi anche in acque che presentano stratificazione verticale della densità, nello strato di passaggio da uno strato all'altro.

Inoltre la sezione verticale che descrive l'ambiente del corpo recettore è ipotizzata essere uniforme nel senso della corrente, ma la sezione verticale cambia lungo la direzione del flusso seguendo l'andamento del corso d'acqua che può essere uniforme, moderatamente meandriforme o meandriforme.

Nella **Figura 1** è riportato un esempio di schematizzazione della sezione verticale del corpo recettore: poiché grande attenzione viene posta nella valutazione dell'interazione al contorno in quanto influenza fortemente i processi di rimescolamento, notevole attenzione deve essere posta nella modalità di semplificazione/simulazione dei contorni locali nell'analisi della zona di miscelazione. Quando avviene l'interazione tra il flusso e una superficie laterale quale a esempio le sponde del corpo recettore si possono determinare alte concentrazioni della sostanza inquinante con effetti bentonici indesiderabili.



Figura 1: Esempi del procedimento di schematizzazione della sezione trasversale del corpo recettore



### 3.1.2 Il Sottosistema CORMIX3

CORMIX3 analizza gli scarichi di superficie caratterizzati da flusso di galleggiamento positivo che si hanno quando un effluente fluisce lateralmente in un corpo idrico di maggiori dimensioni, tramite un canale o una tubatura che si immette vicino alla superficie.

Il modello è in grado di valutare le differenti influenze sul rimescolamento dello scarico, dovute a differenze nella geometria e nell'orientamento dello scarico. Le strutture di scarico all'interno di CORMIX3 sono indicate nelle seguenti *Figure 2 e 3*:

- scarico Flush, allo stesso livello della sponda o della costa;
- scarico Protrudine, sporgente rispetto alla sponda o alla costa;
- scarico Co-flowing, parallelo rispetto alla costa o alla sponda.

Inoltre CORMIX valuta le caratteristiche del corpo ricettore allo scarico quali profondità e inclinazione del fondo in quanto determinano un'eventuale possibilità di interazione del flusso con il fondo.



Figura 2: Configurazioni Possibili di Scarico Rispetto alla Sponda del Corpo Recettore Previste da CORMIX3.

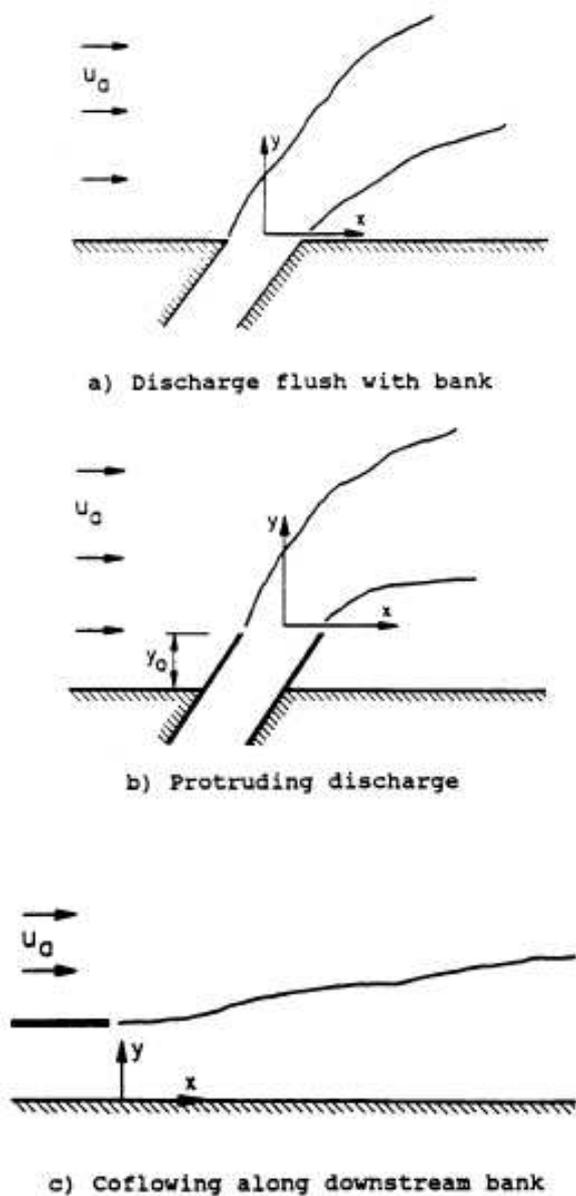
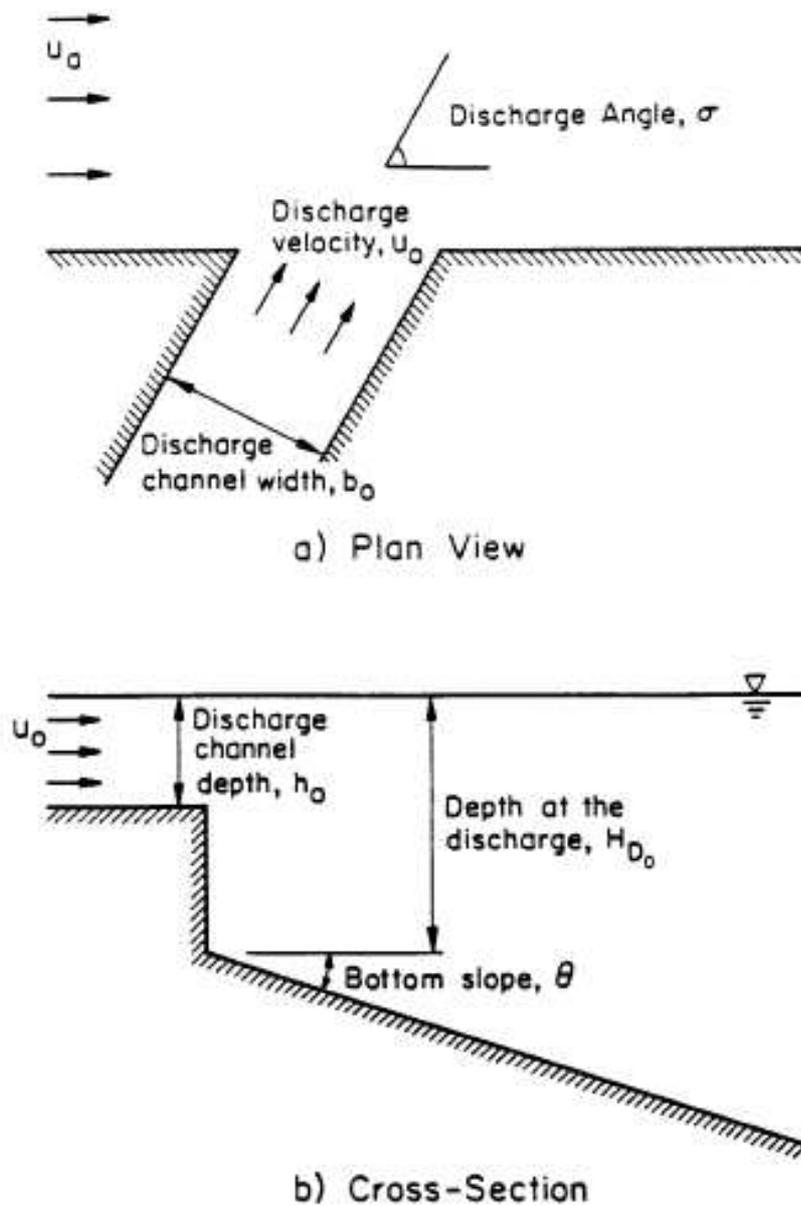


Figura 3: Esempio di Sezione Geometrica di uno Scarico Superficiale



La classificazione del flusso viene infine effettuata sulla base dell'interazione tra lo scarico e l'ambiente, valutando i comportamenti specifici del flusso in funzione principalmente di:

- scarico:
  - velocità (o portata) iniziale dello scarico;
  - geometria e inclinazione dello scarico.
- ambiente recettore:
  - rapporto di densità tra acque di scarico e corpo recettore;
  - stratificazione dell'ambiente;
  - velocità della corrente;
  - profondità media delle acque e profondità allo scarico.



Lo specifico comportamento nella dispersione degli inquinanti per ogni tipologia di scarico/ambiente viene valutato attraverso un diagramma di flusso che permette, sulla base dei valori ottenuti per alcuni parametri relativi al flusso e all'ambiente, di indirizzare la scelta verso una categoria specifica di simulazione. Lo schema di classificazione pone particolare attenzione al comportamento dello scarico nel near-field ed usa il concetto di "length scale", come misura dell'influenza di ogni processo sul rimescolamento. Il comportamento di flusso nel far-field, è in gran parte controllato dalle caratteristiche ambientali. La scala di lunghezza è una misura dinamica dell'influenza di alcune caratteristiche idrodinamiche sul rimescolamento.

Sulla base dei dati di input (ambiente, scarico, zona di miscelazione) CORMIX3 calcola le scale di lunghezza che sono i parametri fondamentali utilizzati per selezionare uno scenario di rimescolamento rispetto a un altro. Il diagramma di flusso che sta alla base del programma di simulazione di CORMIX3 e che permette al codice di selezionare il regime di dispersione dovuto allo scarico in acque superficiali si basa sui seguenti fattori di scala:

- $L_M = M_0^{3/4}/J_0$ , che indica la lunghezza del tratto del flusso in cui si ha la transizione dalla regione jet-like (dove il flusso e il rimescolamento sono dominati solo dall'iniziale velocità di iniezione) alla regione plume-like (dove il flusso di galleggiamento guida il rimescolamento);
- $L_Q = Q_0 / M_0^{1/2}$  che indica la regione del tratto del flusso dominata fortemente dalla geometria dello scarico;
- $L_m = M_0^{1/2}/u_a$  che indica la lunghezza del tratto del flusso in cui si ha la transizione da jet (flusso) poco deviato a flusso deviato fortemente dalla corrente del corpo recettore;
- $L_b =$  che indica la regione terminale del tratto del flusso dominata dal flusso di galleggiamento.

dove:

- $Q_0 = u_0 A_0$  è la portata dello scarico ( $A$  è l'ampiezza e  $u$  la velocità);
- $M_0 = u_0 Q_0$  è il momento del flusso;
- $J_0 = g'_0 Q_0$  è il flusso di galleggiamento.

### 3.1.3 Dati di input e risultati delle simulazioni

Vista la tipologia dello scarico, si è usato il modello CORMIX 3 per stimare l'innalzamento di temperatura nel mare, dovuto allo scarico proveniente dalla Centrale. Al fine di avere un quadro completo dei possibili scenari di dispersione che si potrebbero avere sono state effettuate 8 simulazioni, 4 per l'estate e 4 per l'inverno. La distinzione in due periodi temporali è dovuta al fatto che in inverno, quando si verifica la temperatura del mare più bassa dell'anno, la differenza di densità tra l'acqua dello scarico e l'acqua del mare è diversa (più bassa) da quella che si ha in estate, quando si verifica la temperatura del mare più alta dell'anno. Inoltre per ogni periodo si è simulato, per due differenti valori di profondità caratteristiche del mare (4 e 6 m), sia una condizione di calma, velocità della corrente pari a 0,02 m/s, che una condizione di corrente forte, velocità pari a 0,5 m/s. Di seguito sono dettagliati i parametri menzionati sopra per ciascuno scenario simulato:



---

*Inverno (Temperatura Mare 14°C)*

---

- Scenario 1:* HA=4 m, UA = 0,02 m/s, RHOAM = 1.028 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.026 kg/m<sup>3</sup>;  
*Scenario 2:* HA=6 m, UA = 0,02 m/s, RHOAM = 1.028 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.026 kg/m<sup>3</sup>;  
*Scenario 3:* HA=4 m, UA = 0,5 m/s, RHOAM = 1.028 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.026 kg/m<sup>3</sup>;  
*Scenario 4:* HA=6 m, UA = 0,5 m/s, RHOAM = 1.028 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.026 kg/m<sup>3</sup>.
- 

*Estate (Temperatura Mare 25°C)*

---

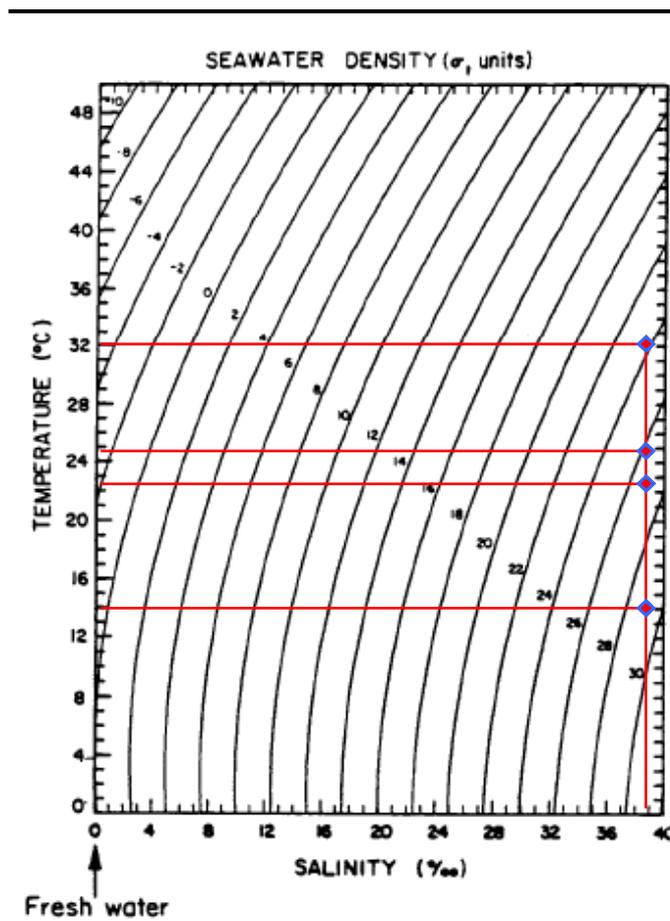
- Scenario 5:* HA=4 m, UA = 0,02 m/s, RHOAM = 1.025 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.022,5 kg/m<sup>3</sup>;  
*Scenario 6:* HA=6 m, UA = 0,02 m/s, RHOAM = 1.025 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.022,5 kg/m<sup>3</sup>;  
*Scenario 7:* HA=4 m, UA = 0,5 m/s, RHOAM = 1.025 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.022,5 kg/m<sup>3</sup>;  
*Scenario 8:* HA=6 m, UA = 0,5 m/s, RHOAM = 1.025 kg/m<sup>3</sup>, RHO0 = 1.022,5 kg/m<sup>3</sup>.
- 

Dove HA è la profondità caratteristica del mare, UA la velocità della corrente, RHOAM la densità caratteristica del mare e RHO0 la densità caratteristica dello scarico.

Le densità RHOAM e RHO0 sono state calcolate mediante il grafico riportato in *Figura 4* assumendo una salinità pari al 37,5 ‰:



Figura 4: Diagramma per la Densità dell'Acqua di Mare come Funzione della Temperatura e della Salinità



Si noti che solitamente tra lo strato superficiale ed il fondo del mare è presente un gradiente termico. Questo implica un gradiente di densità dell'acqua che influenza i processi di miscelamento e di conseguenza la dispersione del pennacchio termico. Nella zona interessata dalla dispersione il mare ha una profondità media tale da poter ritenere che il gradiente termico sia trascurabile e di conseguenza che la densità sia costante lungo la verticale.

Sulla base delle seguenti informazioni, si è considerata una corrente del mare parallela alla costa e diretta da NO verso SE:

- in bibliografia si trovano indicazioni che dicono che le correnti nella zona della Centrale sono dirette a est;
- durante la campagna di monitoraggio del luglio 2000 la corrente era diretta da NO verso SE;
- i venti dominanti nell'area oggetto di studio spirano da NO, ciò origina sotto costa una corrente diretta verso SE generata dalla trasformazione del moto ondoso caratterizzato dall'assenza del trasporto di massa, tipico delle acque profonde, in un moto ondoso con trasporto di massa, tipico delle acque basse.



Si noti comunque che ai fini dello studio, vista la morfologia della costa e le caratteristiche geometriche dello scarico, è indifferente che la corrente sia diretta da NO verso SE oppure da SE verso NO.

In considerazione della reale geometria dello scarico, è stata selezionata la tipologia di scarico di "flush". L'opera di scarico è inclinata di 90° rispetto alla linea immaginaria della costa.

La pendenza del fondale in prossimità dello scarico è stata assunta pari a 1,4°, misurata ortogonalmente alla costa, come è stato possibile desumere dal profilo batimetrico ricavato dall'analisi di carte nautiche. Il corpo recettore è stato considerato di tipo non limitato "unbounded".

La velocità del vento è un fattore che favorisce la dispersione del pennacchio termico: tanto è maggiore tanto è migliore la dispersione. Negli scenari studiati la velocità del vento è stata posta conservativamente pari a 2 m/s.

Sotto si riportano i parametri base utilizzati per la modellazione di tutti gli scenari considerati:

- larghezza della sezione di scarico (3x2,70 + 2x0,50): 9,1 m;
- profondità dell'acqua nello scarico: 2 m;
- portata complessiva dello scarico: 39,3 m<sup>3</sup>/s;
- innalzamento termico nel punto di scarico: 7,83 °C;
- coefficiente di attrito di Darcy-Weisbach del fondo marino: 0,025;
- direzione della corrente: NO (parallela alla costa);
- coefficiente di scambio termico con l'atmosfera: 15 W/m<sup>2</sup> °C;
- velocità del vento: 2 m/s;
- inclinazione dello scarico rispetto alla costa: 90°;
- Pendenza del fondale nei pressi dello scarico: 1,4 °.

Nella seguente *Tabella 2* sono riportati i risultati per gli scenari simulati, con indicati i differenti valori utilizzati per le variabili profondità caratteristica del mare, velocità della corrente, densità caratteristica dello scarico e densità caratteristica del mare. I risultati si riferiscono alla temperatura dell'acqua alla distanza di 1.000 metri dallo scarico della Centrale. Poiché l'output del codice di calcolo fornisce i risultati ad intervalli spaziali predefiniti, sono cautelativamente riportati i valori coincidenti o immediatamente inferiori alla distanza di 1.000 metri.



**Tabella 2: Scenari simulati e risultati ottenuti**

Scenario	Densità caratteristica mare [kg/m <sup>3</sup> ]	Densità caratteristica scarico [kg/m <sup>3</sup> ]	Profondità [m]	Velocità della corrente [m/s]	$\Delta T$ massimo stimato a 1000 m [°C]
Scenario 1	1.028	1.026	4	0,02	1,19 <sup>(*)</sup> (893 m)
Scenario 2	1.028	1.026	6	0,02	0,98 <sup>(*)</sup> (834,8 m)
Scenario 3	1.028	1.026	4	0,5	1,83
Scenario 4	1.028	1.026	6	0,5	1,83
Scenario 5	1.025	1.022,5	4	0,02	1,18 <sup>(*)</sup> (762,8 m)
Scenario 6	1.025	1.022,5	6	0,02	1 <sup>(*)</sup> (759,8 m)
Scenario 7	1.025	1.022,5	4	0,5	1,5
Scenario 8	1.025	1.022,5	6	0,5	1,5

(\*) Il software CORMIX interrompe la simulazione prima dei 1.000 metri perché il flusso, nel passaggio dalla "Near-Field region" alla "Far-Field region", diventando altamente instabile non permette di predire risultati affidabili. Tra parentesi è riportato il punto più distante dallo scarico dove è stata calcolata la dispersione.

Nella seguente **Tabella 3** viene riportata per ciascuno scenario simulato la distanza dallo scarico in corrispondenza della quale si ha un incremento termico pari a 3°C.

**Tabella 3: Distanza dallo scarico dove si raggiunge un incremento termico pari a 3°C**

Caso	Distanza dallo scarico dove $\Delta T=3^{\circ}\text{C}$ [m]
Scenario 1	≈200
Scenario 2	≈168
Scenario 3	≈196
Scenario 4	≈196
Scenario 5	≈196
Scenario 6	≈166
Scenario 7	≈167
Scenario 8	≈167

Nelle **Figure 1FT** e **2FT** sono riportate le curve isoterme a 3°C che riguardano rispettivamente il periodo invernale e quello estivo.

I risultati ottenuti dalle simulazioni sono allineati con quanto rilevato durante la campagna di monitoraggio dello stato *attuale* svolta nel luglio del 2000. L'incremento termico massimo a 1.000 m dal diffusore SF2 è pari a 1,83 °C (vedi **Tabella 2** per gli scenari 3 e 4).

Con velocità della corrente di 0,02 m/s, sia nelle condizioni invernali che in quelle estive, il pennacchio risulta disperdersi meglio quando la profondità del mare è 6 m anziché 4 m. Questo è dovuto al fatto che con una profondità minore si ha una maggiore interazione del pennacchio con il fondale che ostacola il miscelamento e quindi la dispersione termica.

Con velocità della corrente di 0,5 m/s, sia nelle condizioni invernali che in quelle estive, la dispersione del pennacchio risulta non essere influenzata dalla profondità del mare. Questo perché l'azione esercitata da una corrente di forte intensità rende trascurabili le forze di attrito



che si creano con il fondale. Inoltre con queste condizioni di corrente si ha un attaccamento del pennacchio alla costa che rende più difficoltosa la dispersione termica. L'attaccamento alla costa potrebbe essere accentuato dall'interazione del pennacchio con il fondale. Infatti, questo fenomeno potrebbe bloccare completamente lungo la verticale, nella zona occupata dal pennacchio, la corrente marina ed aumentare di conseguenza la spinta deviante di quest'ultima.

Paragonando le *Figure 1FT* e *2FT* si può dedurre che la dispersione termica è debolmente influenzata dalla differenza di densità che si ha tra l'acqua di mare e l'acqua dello scarico quando la velocità della corrente è di 0,02 m/s mentre è influenzata in maggior misura quando la velocità della corrente è pari a 0,5 m/s. In estate la differenza di densità più alta che in inverno favorisce il miscelamento e di conseguenza la dispersione termica (questo effetto come detto sopra si nota maggiormente con velocità della corrente più grandi).

Come è possibile dedurre dalle due *Tablelle 2 e 3* e dalle *Figure 1FT* e *2FT*, in tutte le situazioni considerate lo scarico nello scenario futuro rispetta il limite normativo di un innalzamento termico di 3 °C a 1.000 metri di distanza dal punto di scarico.

#### 4 VALUTAZIONE DEI POTENZIALI IMPATTI SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI DOVUTI AGLI SCARICHI IDRICI

Oltre alle acque di raffreddamento, di cui si è ampiamente parlato precedentemente, la Centrale produce acque industriali, acque igienico-sanitarie e acque meteoriche inquinate (oleose). Le acque industriali, le acque oleose e le acque igienico-sanitarie, eccetto quelle impiegate nella sezione DeSOx, dopo essere state convogliate all'Impianto di Trattamento Acque Reflue (ITAR) vengono scaricate in mare. Le acque provenienti dalla sezione DeSOx vengono, prima di essere scaricate in mare, trattate nell'impianto di trattamento spurghi DeSOx. Le acque meteoriche non inquinate sono scaricate direttamente in mare senza la necessità di un trattamento dedicato.

L'impianto di trattamento delle acque reflue non subirà modifiche e garantirà la stessa qualità delle acque in uscita al collettore di scarico rispetto alla situazione attuale, in conformità ai limiti normativi indicati dalla Tabella 3 dell'Allegato 5 alla Parte III del D.Lgs 152/06 per lo scarico in acque superficiali.

La quantità di acque reflue scaricate in mare nella configurazione attuale complessivamente pari a 894.380 m<sup>3</sup>/anno mentre nella configurazione futura saranno pari a 1.870.675 m<sup>3</sup>/anno. L'incremento tiene conto anche di una linea aggiuntiva dell'impianto di trattamento spurghi DeSOx installata per il nuovo gruppo 5.

Nel complesso, i quantitativi totali scaricati subiranno un aumento di poco meno del 6% rispetto ai dati storici del 2007.

Parte delle acque reflue viene recuperata e riutilizzata in Centrale; tale pratica avviene tutt'ora e continuerà a verificarsi nella configurazione futura di Centrale.



## 5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE IMPATTO SULLE BIOCENOSI DOVUTO ALLO SCARICO DELL'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO PER L'UNIFICAZIONE DEGLI SCARICHI TERMICI E LA CONSEGUENTE VARIAZIONE DEL FLUSSO

Il presente paragrafo valuta gli impatti sulle biocenosi marine dovuti allo scarico dell'acqua di raffreddamento per l'unificazione degli scarichi termici e la conseguente variazione del flusso dovuto all'installazione del gruppo 5 nella nuova configurazione futura.

Nel seguito si riportano:

- le caratteristiche ecologiche dell'ambiente marino dell'area di studio;
- l'analisi delle perturbazioni apportate dallo scarico delle acque di raffreddamento;
- la stima degli impatti sulle biocenosi dovuta allo scarico delle acque di raffreddamento.

### 5.1 CARATTERISTICHE ECOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO

La caratterizzazione dell'ambiente marino dell'area di studio è stato realizzato mediante l'utilizzo dei dati disponibili in letteratura (pubblicazioni di campagne di monitoraggio, articoli scientifici, ecc...) riguardanti l'area di studio o aree ad essa limitrofe.

Il presente paragrafo è suddiviso in:

- caratterizzazione chimico-fisica delle acque;
- caratterizzazione delle biocenosi.

#### 5.1.1 Caratterizzazione Chimico-Fisica delle Acque

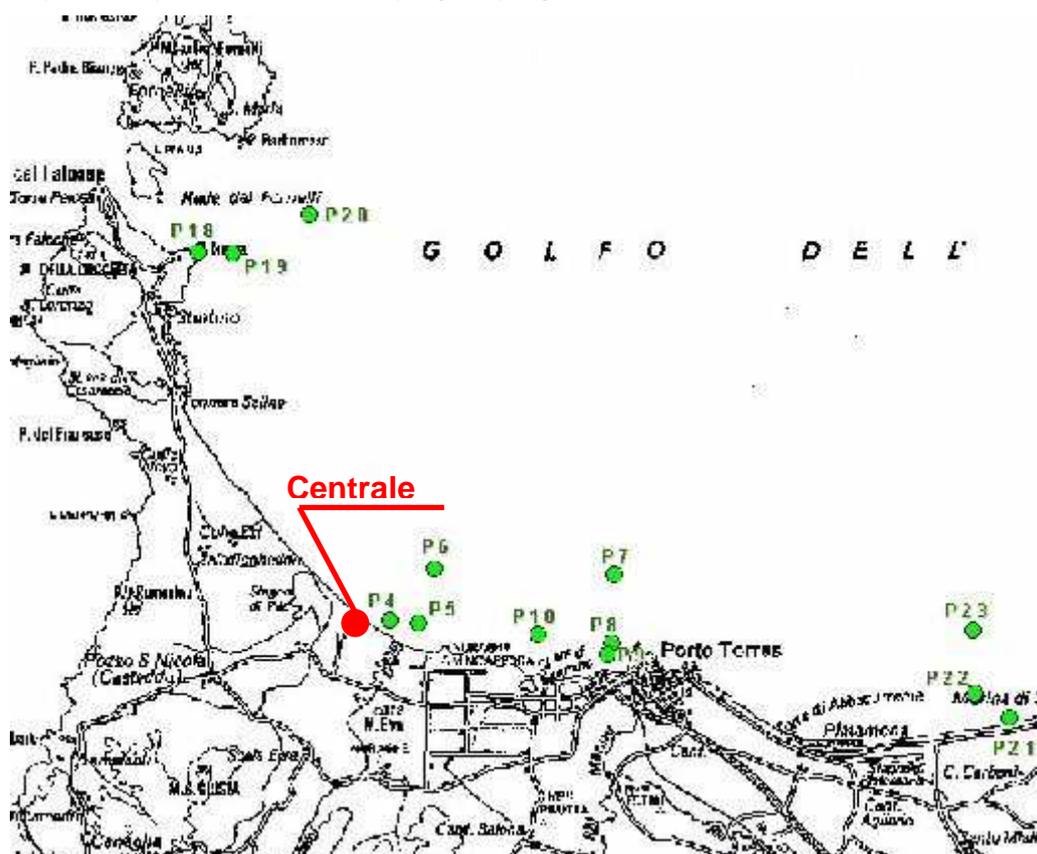
La caratterizzazione chimico-fisica delle acque dell'area di studio è stata eseguita sulla base dei dati rilevati durante le campagne di monitoraggio svolte nel 2005 e 2006, realizzate dalla Provincia di Sassari nell'ambito del progetto MONIQUA (programma comunitario INTERGG III di monitoraggio sistematico di qualità dell'ambiente marino costiero).

Al fine di evitare possibili errori di valutazione dovuti alla durata limitata dei monitoraggi (i campionamenti sono stati effettuati in pochi giorni), i dati delle campagne 2005 e 2006 sono stati confrontati con quelli disponibili rilevati durante campagne realizzate nell'area di studio o al suo limitare in anni precedenti.

Le attività di campionamento sono state condotte nei giorni compresi tra il 4 e il 7 agosto 2005 e tra l'8 ed il 13 maggio 2006. Nel presente *Paragrafo* si riportano considerazioni relative ai dati rilevati nelle stazioni P4, P5 e P6 del monitoraggio, incluse o prossime all'area di studio (*Figura 5*).



Figura 5: Localizzazione delle stazioni di monitoraggio Progetto MONIQUA (Fonte: [http://www.provincia.sassari.it/progetti/progetto\\_MONIQUA](http://www.provincia.sassari.it/progetti/progetto_MONIQUA))



Durante la Campagna sono stati prelevati campioni in superficie, sul fondo e a profondità intermedia. Nella seguente *Tabella 4* si riportano le coordinate delle stazioni di interesse e le profondità di prelievo dei campioni.

Tabella 4: Profondità di campionamento per stazioni

Stazione Cod. Stazione	Profondità di Campionamento			Coordinate WGS 84	
	Campione Superficiale	Campione Intermedia	Campione di Fondo	Latitudine	Longitudine
P04	1	9	18	40°52,678'	8°18,900'
P05	1	10	20	40°52,038'	8°19,400'
P06	1	12	24	40°52,450'	8°18,930'

I parametri analizzati per ogni campione sono stati:

- trasparenza;
- temperatura;
- ossigeno disciolto;
- salinità;
- pH;
- clorofilla "a";



- nutrienti.

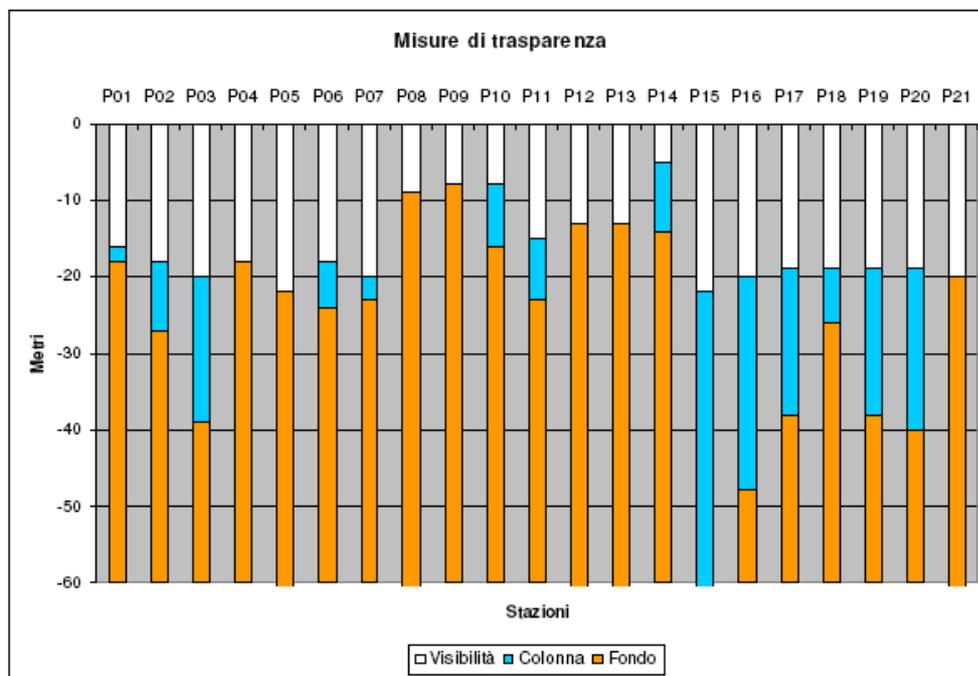
### Trasparenza

La trasparenza è stata misurata utilizzando il Disco di Secchi. Si ricorda che le misure di trasparenza dell'acqua effettuate con il disco Secchi sono sempre influenzate dalle differenti condizioni di moto ondoso con cui ci si trova ad operare e dalla presenza o meno di copertura nuvolosa del cielo.

Dal grafico riportato in **Figura 6** si può dedurre che durante la campagna effettuata nel maggio 2006 (condizioni meteo – marine buone) è stata rilevata una buona trasparenza. Presso le stazioni P4 e P5 la trasparenza era di 18 e 20 metri (fondo) mentre presso la stazione P6 si è registrata una trasparenza di 18 metri. I valori rilevati nella campagna 2005, per la quale i punti di campionamento sono praticamente coincidenti con quelli del 2006, mostrano una bassa trasparenza: 5 metri nelle stazioni P4 e P5 e 13 metri per la stazione P6. Tali misure sono state condizionate dalle cattive condizioni meteo – marine in cui si è svolta la campagna di monitoraggio, dalla superficie del mare increspata e dal cielo nuvoloso.

Infine, durante precedenti campagne di monitoraggio, svolte stagionalmente nel 2001, si registrarono valori di trasparenza buoni, 5 metri di profondità (fondo) per le stazioni sotto costa e 18 metri per la stazione più lontana. I risultati tuttavia non sono direttamente correlabili perchè i punti di campionamento non sono i medesimi delle campagne 2005 e 2006.

**Figura 6: Misure di Trasparenza - Campagna oceanografica Maggio 2006**

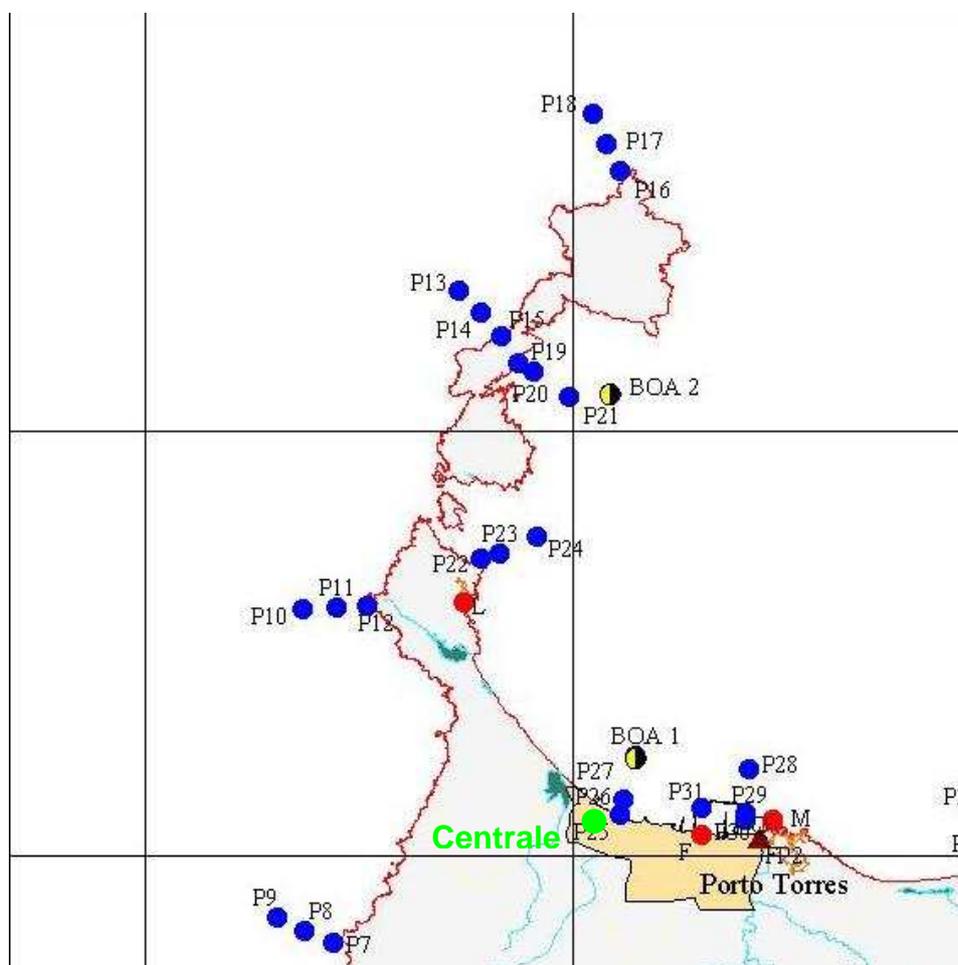


## Temperatura

I valori della temperatura superficiale e nella colonna d'acqua presentano un andamento stagionale dovuto alla differente intensità della radiazione solare. Per una analisi completa delle variazioni delle temperature nell'arco dell'anno nell'area di studio, oltre a considerare i dati misurati nelle più recenti campagne (2005 e 2006), sono stati analizzati i dati registrati trimestralmente dal dicembre 2000 al novembre 2001, sempre nell'ambito del programma di monitoraggio "MONIQUA" realizzato dalla Provincia di Sassari.

I punti di campionamento utilizzati durante le campagne trimestrali sono localizzati nel mare antistante la Centrale Termoelettrica di Fiume Santo, *Figura 7*. Per la caratterizzazione dell'andamento delle temperature nell'area di studio sono stati presi in considerazione i dati rilevati nelle stazioni P25, P26 e P27, più prossime alla Centrale. La profondità del fondo marino presso i punti P25 e P26 è pari a circa 5 metri, mentre in corrispondenza di P27 pari a circa 23 metri.

*Figura 7: Punti di campionamento - Campagne trimestrali Dicembre 2000 – Novembre 2001, Progetto "MONIQUA" (Fonte: [http://www.provincia.sassari.it/progetti/progetto\\_MONIQUA](http://www.provincia.sassari.it/progetti/progetto_MONIQUA))*



Le temperature medie registrate per le singole stazioni di campionamento nel periodo dicembre 2000 – novembre 2001 sono riportate nella *Tabella 5*, mentre in *Tabella 6* si riportano le temperature medie relative a tutte le stazioni di misura della campagna di monitoraggio.



**Tabella 5: Media delle temperature per stazione e per campagna di monitoraggio**

Campagna	Giorno	Temperatura (°C) per Stazioni		
		P25	P26	P27
4	5/12/00	15,2	15,2	15,9
5	31/03/01	15,1	14,8	14,3
6	07/06/01	22,9	20,9	22,1
7	12/09/01	21,0	20,7	20,9
8	01/11/01	21,3	21,1	20,9

**Tabella 6: Temperatura per campagna oceanografica**

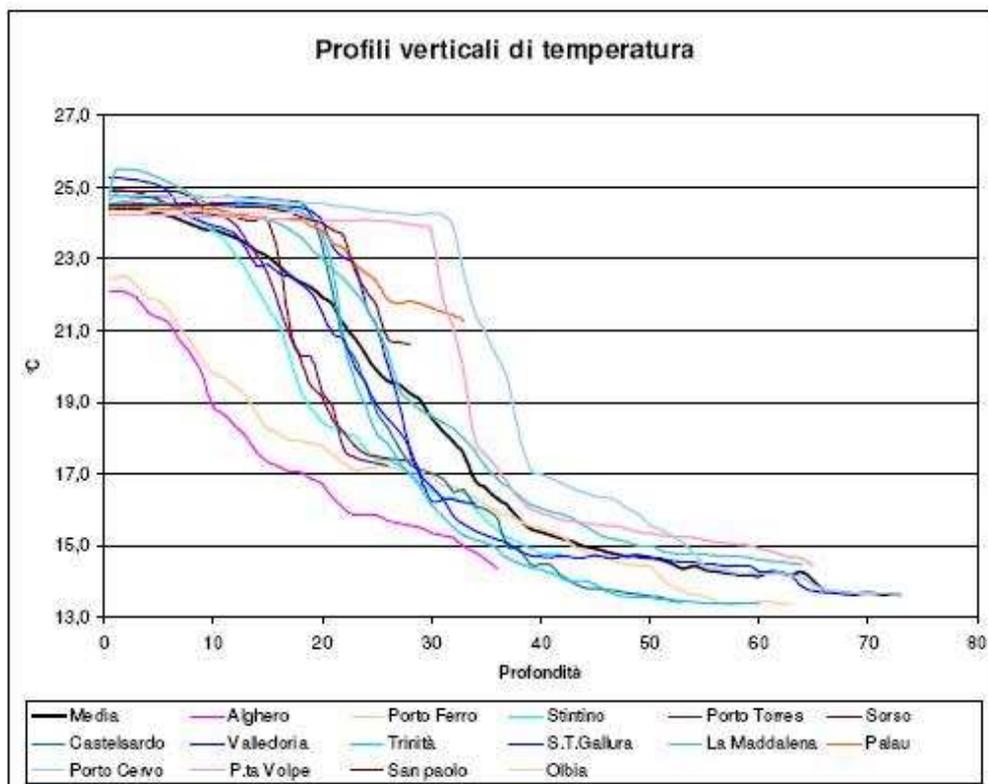
Campagna	Campionamenti	Temperature °C		
		Minimo Medio	val. Massimo Medio	val. T. Media
4	68	14,645	17,351	16,6
5	65	Non calcolato	Non calcolato	14,695
6	68	15,171	22,078	18,510
7	68	16,116	24,834	21,875
8	68	17,557	22,396	20,346

I dati riportati nelle precedenti *Table* indicano che la temperatura dell'acqua nell'area di studio risulta un po' più bassa nel periodo invernale, mentre più alta nel periodo estivo-autunnale, rispetto alla temperatura media di campagna (Provincia di Sassari). Questo è dovuto alla bassa profondità dell'area di ubicazione delle stazioni in esame (massimo 23 metri) che facilita lo scambio termico, così che la colonna d'acqua può riscaldarsi o raffreddarsi omogeneamente. Questo implica che la temperatura media della colonna sia pressoché la stessa della temperatura superficiale (influenzata dalle condizioni meteo-climatiche), mentre nel caso di colonne d'acqua caratterizzate da un termocline (variazione di temperatura), nel calcolo della media intervengono temperature più fredde durante l'estate e più calde durante l'inverno.

Dai profili termici delle stazioni, si rileva una sostanziale uniformità di temperatura lungo la colonna d'acqua nelle stazioni P25, P26 e P27 sia nel periodo invernale che estivo. A conferma di ciò si vedano i profili termici registrati durante la campagna di agosto 2005 (*Figura 8*, stazioni di Stintino e Porto Torres), in cui si può chiaramente osservare che fino a 20 m di profondità la colonna d'acqua presenta la stessa temperatura, pari a circa 25°C, e solo successivamente la temperatura diminuisce. L'assenza di termocline nel Golfo dell'Asinara a profondità superiori ai 20 metri e sottocosta (entro i 500 m) è stata evidenziata anche da una campagna di studi effettuata tra il maggio del 1997 e l'aprile del 1998 (A. Luglie, R.Ruiu, G. Ceccarelli, N.Sechi, 2002).



Figura 8: Profili verticali di temperatura - Campagna 10 Agosto 2005 – Progetto “MONIQUA”



Il contrasto più evidente si rileva tra le temperature registrate durante la campagna oceanografica 4, dicembre 2000, e la campagna oceanografica 8, novembre 2001 per le quali si è registrata una differenza di circa 5 °C. Questa differenza è dovuta alle abbondanti piogge che hanno preceduto la quarta campagna. Le piogge e l'incremento degli apporti delle acque dolci fluviali (Fiume Santo) più fredde hanno abbassato in modo sensibile la temperatura dell'acqua.

Dai dati delle diverse campagne oceanografiche considerate si deduce che le temperature dell'acqua nell'area di studio variano da un minimo di circa 13 -14 °C, in gennaio, a un massimo di circa 25 °C, in agosto, e che la temperatura nei primi 20 metri di profondità è generalmente uniforme.

#### Ossigeno Disciolto

Le concentrazioni di ossigeno disciolto (% di saturazione) misurate durante le campagne “MONIQUA” agosto 2005 e maggio 2006 rilevano una buona ossigenazione in tutte le stazioni indagate. Durante la campagna di maggio 2006 sono state misurate concentrazioni medie di saturazione sempre superiori al 95% nei primi 20 metri, durante la campagna di agosto 2005 i valori medi di ossigeno disciolto hanno oscillato intorno al 90%, ad eccezione delle medie superficiali che sono risultate intorno all'80%.

A tal proposito si sottolinea che durante il periodo estivo le concentrazioni sono generalmente più basse in superficie (con l'aumentare della temperatura diminuisce la solubilità dell'ossigeno) mentre risultano più alte al di sotto del termocline.



Risultati simili sono stati riscontrati durante le campagne oceanografiche trimestrali progetto "MONIQUA" dicembre 2000 –novembre 2001.

#### Salinità

I valori di salinità, rilevati durante le diverse campagne nell'ambito del progetto "MONIQUA", incluse quelle del 2001, sono compresi tra 37,5 psu e 38,1 psu. Tali valori sono da considerarsi nella norma per le acque costiere mediterranee.

#### pH

I valori medi di pH lungo i profili, rilevati durante le campagne di maggio 2006 e agosto 2005, non mostrano particolari variazioni. Sono state rilevate medie superficiali di pH pari a 8,27 durante la campagna maggio 2006 e di pH pari a 8,28 durante quella di agosto 2005.

#### Clorofilla

I valori medi registrati durante le ultime campagne oceanografiche lungo i profili della colonna d'acqua nelle varie stazioni confermano una generale situazione di oligotrofia delle acque, con concentrazioni medie superficiali di clorofilla pari a 0,2 - 0,24 mg/m<sup>3</sup> rispetto ad una media generale lungo la colonna pari a 0,32 mg/m<sup>3</sup>. A tal riguardo si sottolinea che, dall'analisi dei dati relativi alle stazioni più profonde, le concentrazioni medie tendono ad incrementare con la profondità fino a 0,58 mg/m<sup>3</sup> subito dopo i -50 m, per poi decrescere immediatamente fino a concentrazioni prossime ai minimi.

In particolare per l'area in esame, durante le ultime campagne di monitoraggio, sono stati rilevati i valori riportati nella **Tabella 7** seguente.

**Tabella 7: Concentrazioni di Clorofilla – Agosto 2005 e Maggio 2006**

Stazione	Clorofilla (mg/m <sup>3</sup> ) agosto 2005		Clorofilla (mg/m <sup>3</sup> ) maggio 2006			
	Campione Superficiale	Campione Intermedio	Campi one Fondo	Campione Superficial	Campione Intermedio	Campio ne Fondo
P04	0,14	0,10	0,13	0,08	0,10	0,16
P05	0,10	0,14	0,11	0,11	0,15	0,20
P06	0,10	0,13	0,18	0,08	0,16	0,24

Come si può osservare i valori medi sono molto inferiori a 3 mg/m<sup>3</sup>, che è considerato il valore soglia di eutrofizzazione.

#### Nutrienti

Le concentrazioni di azoto ammoniacale nelle stazioni analizzate presenti nell'area di studio o nei suoi pressi (stazioni P4, P5 e P6) durante le ultime due campagne, sono risultate inferiori al limite di rilevabilità strumentale (< 2 mg/m<sup>3</sup>), così come per quanto riguarda le concentrazioni di azoto nitroso (< 0,2 mg/m<sup>3</sup>) e per l'azoto nitrico (< 1 mg/m<sup>3</sup>). Per quanto riguarda l'azoto totale le concentrazioni sono di 2-3 mg/m<sup>3</sup>, per le stazioni P4 e P5 durante la campagna agosto 2005 mentre durante la campagna successiva è risultato inferiore ai limiti di rilevabilità. Le



concentrazioni del fosforo totale sono di  $37 \text{ mg/m}^3$ , rilevati in tutte e due le campagne ma solo per la stazione P5 al campionamento intermedio.

### 5.1.2 Caratterizzazione delle Biocenosi

La caratterizzazione delle biocenosi del mare antistante la Centrale è stata realizzata analizzando i dati riportati in letteratura. In particolare sono stati utilizzati i dati rilevati durante le campagne agosto 2005 e maggio 2006 del progetto di monitoraggio marino costiere "MONIQUA" realizzate dalla Provincia di Sassari presso le stazioni P4, P5 e P6 (Figura 5). Le informazioni sono state integrate e confrontate con i dati disponibili in letteratura sull'area in esame o su aree limitrofe.

#### Benthos

La comunità bentonica presente nell'area di studio è caratterizzata dalla presenza di *Posidonia oceanica* che nell'area costituisce una estesa prateria caratterizzata da un generale stato di buona conservazione.

Lo stato della comunità bentonica nell'area di studio è buono. Dai dati rilevati durante la campagna effettuata nell'agosto 2005, in corrispondenza del punto P5, è stato stimato uno dei più alti indici di biodiversità di tutto il golfo dell'Asinara (si veda Figura 9, Indice di Shannon = 3,54). Così come durante la campagna maggio 2006 sono stati rilevati alti i valori di biodiversità per le stazioni P6 e P7 (Figura 10).

Figura 9: Biodiversità Indice di Shannon 2005

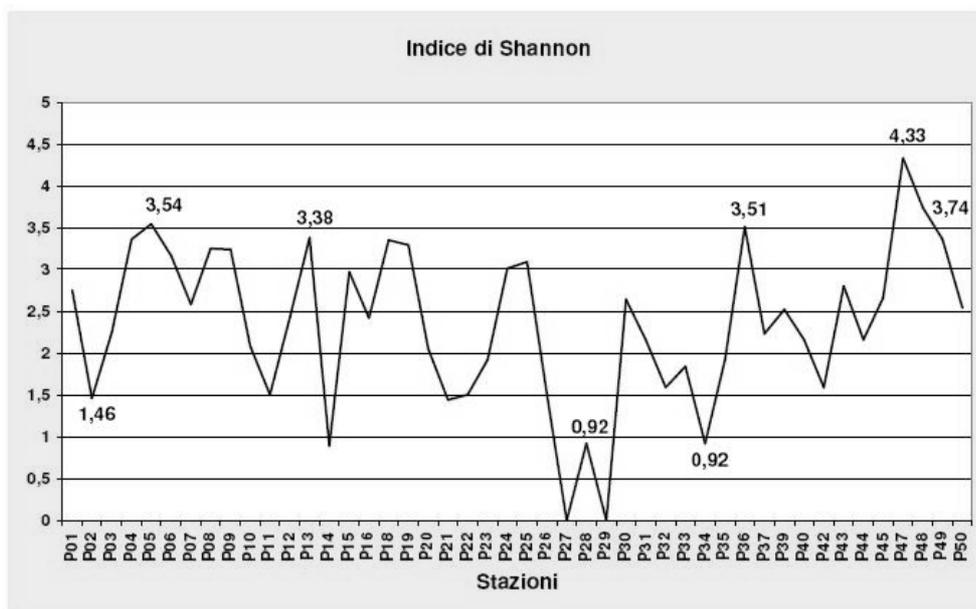
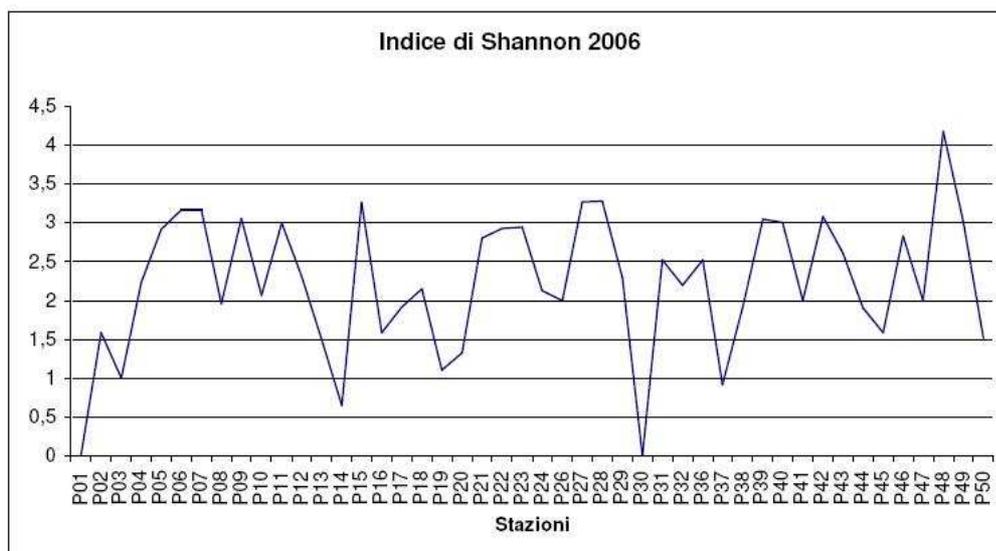


Figura 10: Biodiversità Indice di Shannon 2006



Dal punto di vista biocenotico le stazioni P4, P5 e P6, come tutte le stazioni costiere con substrato sabbioso-ghiaioso analizzate durante le campagne "MONIQUA" 2005 e 2006, sono principalmente caratterizzate da specie indicatrici di *Posidonia oceanica*.

Studi più approfonditi sulle biocenosi bentoniche che popolano il fondale marino antistante la Centrale furono realizzati nel 1981 e nel 1984-85, dall'Università di Sassari e da ENEL - DCO (Controllo dell'Ambiente Marino antistante la Centrale Termoelettrica di Fiume Santo, AA.VV. 1986)

Dai dati riportati nello studio appena citato risulta che i fondali marini dell'area antistante la Centrale sono caratterizzati da una vasta prateria a *Posidonia oceanica* interrotta da ampie aree di "intermatte" costituite da ampi canali con affioramenti rocciosi. Solo nella zona sottocosta il posidonieto appare rado o notevolmente ridotto. Oltre a *Posidonia* sono presenti specie della macroflora algale epifita dei rizomi (*Peyssonnelia squamata*, *Udotea petiolata*, *Rhodomenia ardissoni*, *Valonia macrophysa*, *Dictyopetris membranacea*, e *Halopteris filica*) e delle foglie (*Myrionema orbicolare*, *Giraudya sphaceloides*, *Castagnea cylindrica* e *C. mediterranea*).

Tra la fauna bentonica sono state rilevate specie appartenenti ai seguenti gruppi:

- **Poriferi:** specie comuni nelle praterie di *Posidonia* (crescono sui rizomi, *Crambe crambe*, *Tethya aurantium*, *Oscarella lobularis*, *Spongia virgultosa*, ecc.) e sui substrati rocciosi frammisti al posidonieto;
- **Idroidi:** sono presenti specie tipiche del posidonieto, tra le più comuni ci sono *Monotheca posidoniae* e *Sertularia perpusilla*. Da segnalare la presenza di alcuni esemplari di *Synthecium evansi*, specie endemica del Mediterraneo e di ambiente coralligeno;
- **Policheti:** sono presenti numerose specie carnivore, indicatrici di una buona struttura della biocenosi, appartenenti principalmente ai *Sillidi* e *Aphroditi*. Non sono state rilevate specie indicatrici di "matte" morte, ambienti con elevata torpidità o inquinamento;
- **Molluschi:** sono presenti specie appartenenti a *Gasteropoda*, *Bivalvia*, *Placophora* e *Scaphopoda*. La maggior parte delle specie rinvenute sono tipiche del posidonieto o di



ambienti costieri con fondali sabbiosi. Pur rilevando una scarsa densità di popolazione, dall'analisi delle categorie trofiche e etologiche, si evidenzia una struttura trofica sufficientemente equilibrata, sedentari brucatori (*Fasianellidi*, *Rissoidi* e *Ceratidi*), sedentari carnivori (*Turridi*), sedentari detritivori (*Nassaridi*), fossori carnivori (*Naticidi*, *Scafopodi*), fossori sospensivori (*Veneridi*, *Cardidi*) e fossori detritivori (*Tellinidi* e *Corbulidi*);

- *Crostacei*: le specie censite appartengono ai *Cirripeda*, *Mysidacea*, *Isopoda*, *Anfipoda* e *Decapoda* e mostrano un popolamento quali-quantitativo modesto e caratterizzato principalmente da specie tipiche di prateria e tolleranti (ad es. *Siriella clausi* e *Idotea lineris*, *I. baltica* e *Zenobiana prismatica*). Tra i Cirripedi si segnala comunque la presenza di *Balanus perforatus*, tipico di acque limpide;
- *Briozoi*: sono state censite principalmente specie epifite di *Posidonia oceanica* sia fogliari (*Electra posidoniae*, *Fenestrulina johanna*, *Plagiocia patina*, *Haplopyma impressum*, *Corallina balzaci*, ecc) sia che crescono sui rizomi (*Smittia cheilostoma*, *Fenestrulina malusi*, *Cribilaria innominata*, *Copidozum planum* e *Membranipora uncornis*);
- *Echinodermi*: le specie presenti appartengono alle famiglie *Holothuridae*, *Asteridae*, *Astropectinidae*, *Echinasteridae*, *Ophiidermatidae*, *Amphiuridae*, *Ophiotricidae*, *Echinidae*, *Arbaciae*, *Toxopneustidae*, *Spatangidae* e *Antedonidae* e sono specie comuni nelle praterie di *Posidonia* e di altre macrofite;
- *Ascidiacei*: una delle specie a più ampia diffusione risulta essere *Didemnum candidum* (famiglia *Didemnidi*), che si sviluppa sui rizomi di *Posidonia*, oltre a *Styela partita* e *S. plicata*, diffuse nelle stazioni litoranee e comuni anche sulle scogliere e sui pontili.

Per quanto riguarda la presenza di specie alloctone non è da escludere la presenza dell'alga *Caulerpa racemosa* nell'area di studio. In uno studio realizzato nell'inverno del 2002 (A. Cossu *et al.*, 2003) si localizzava la presenza di *Caulerpa racemosa* nel solo tratto di costa compreso tra Porto Torres e Punta Tramontana, su fondi di "matte" morta, mentre durante una campagna successiva (agosto 2002) (V. Gazale, A. Cossu *et al.*, 2004) è stata segnalata all'interno della Rada del Reale in una stazione prossima al limite inferiore della prateria a *Posidonia oceanica*.

Da quanto riportato si deduce che la presenza di maggior importanza, per quanto riguarda i popolamenti bentonici presenti nell'area di studio, è quella di *Posidonia oceanica*. Questa fanerogama marina endemica del mediterraneo costituisce un complesso ecosistema fondamentale nell'ambiente marino costiero, sia come fonte di cibo e rifugio per una gran varietà di specie bentoniche e nectoniche, sia come produttore primario di energia (Pergente *et al.* 1989).

#### Plancton

Il plancton è costituito da piccoli organismi viventi adattati alla sospensione e soggetti al trasporto passivo da parte di onde e correnti. Si distingue in fitoplancton e zooplancton.



### Fitoplancton

L'analisi microscopica dei campioni di fitoplancton prelevati nel corso della campagna di maggio 2006 (Campagna di monitoraggio marino Provincia di Sassari, progetto "MONIQUA") ha portato all'identificazione di 101 diversi taxa, dei quali 35 sono *Diatomee*, 39 *Dinoflagellati* e 27 taxa sono appartenenti ad altri gruppi. Le Diatomee caratterizzano quantitativamente il popolamento rappresentando da sole quasi il 90% delle cellule contate mentre i *dinoflagellati*, poco più del 5% delle cellule contate, non rappresentano in nessun campione parte rilevante del popolamento. Similmente la somma dei taxa appartenenti ad altri gruppi (tra i quali soprattutto *Primmesioficee*), supera di poco il 4% del popolamento totale. Fra le Diatomee osservate sono particolarmente abbondanti specie dei generi *Chaetoceros* (*C. constrictus*, *C. socialis*, *C. decipiens*, etc) a cui si aggiunge con presenze consistenti di *Leptocylindrus*.

Durante la campagna di agosto 2005 sono state rilevate concentrazioni cellulari basse. La composizione dei popolamenti appare in linea con quanto atteso per le normali successioni stagionali. La distribuzione percentuale più alta delle Diatomee (69%), risulta amplificata dal fatto che la specie *Leptocylindrus minimum* è coinvolta nei fenomeni di fioritura in atto nelle stazioni localizzate presso la zona industriale di Porto Torres (P8 e P9), all'interno del porto (P10) e immediatamente a Nord al transetto di Sorso (P21, P22, P23). Le Diatomee, sono abbondanti con le specie coloniali quali *Chaetocerus*, e le varie *Nitzschie*, ma, come atteso per il periodo, assumono una rilevante importanza le *Dinoficee* (12% distribuzione %) e le *Criptoficee* che per le loro caratteristiche dimensionali, di flottabilità e metaboliche, si adattano meglio alle condizioni ambientali estive. Le piccole forme flagellate raggruppate come "Altri" (19% distribuzione %) sono quelle che rispondono in maniera molto veloce ad occasionali apporti terrigeni che si formano più facilmente quando la stratificazione ed il minore idrodinamismo consentono una minore dispersione.

I dati rilevati durante le campagne agosto 2005 e maggio 2006 sono in linea con l'andamento della popolazione del fitoplancton rilevato nelle stesse stagioni nell'area di studio durante le campagne di monitoraggio marino realizzate dalla Provincia di Sassari nell'ambito del progetto "MONIQUA" dal dicembre 2000 al novembre 2001. Dai dati rilevati durante le diverse campagne di monitoraggio si deduce che la maggioranza delle specie censite appartengono alla classe delle *Bacillariophyceae* (o Diatomee) e in misura minore alla classe delle *Dinophyceae* (o Dinoflagellati). Le concentrazioni maggiori durante l'anno si sono osservate nei mesi invernali e primaverili.

Studi sulla variabilità spazio-temporale dei popolamenti planctonici nel Golfo dell'Asinara, realizzati tra maggio 1997 e aprile 1998, hanno evidenziato la presenza di aree con condizioni ambientali differenti, tali da determinare uno sviluppo diversificato del fitoplancton sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo (*A. Luglié, R. Ruiu, G. Seccherelli, N. Sechi, 2002*). Dallo studio si rileva che i transetti prossimi alle fonti di disturbo antropiche (Porto Torres e Platamona) presentano la maggior densità di fitoplancton, una dominanza di diatomee e oltre ai massimi invernali (comuni a tutti i transetti analizzati) presentano picchi primaverili ed estivi. Di contro i transetti ad occidente di Porto Torres (Saline e Asinara) sono caratterizzati da uno sviluppo di fitoplancton più ridotto, prevalenza di specie appartenenti alle *Haptophyceae* e chiara stagionalità, con concentrazioni massime in inverno e minime in estate. L'area in esame è localizzabile tra le due tipologia di transetto analizzati.



### Zooplankton

La caratterizzazione dello zooplankton dell'area in esame si basa sui dati rilevati dai campionamenti eseguiti dalla Provincia di Sassari nell'ambito del progetto di monitoraggio marino "MONIQUA" durante le campagne realizzate nei mesi di aprile, luglio, ottobre e dicembre 2000. Le stazioni di monitoraggio considerate sono i punti P25, P26 e P27, localizzati nell'area di mare antistante la Centrale termoelettrica (*Figura 7*).

La componente oloplanctonica della comunità è rappresentata da Copepodi, Cladoceri, Foraminiferi, Appendicularie, Dolioli, Sifonofori, larve di Misidiacei e Eufasiacei; il meroplankton è costituito da larve di Decapodi, Cirripedi, Echinodermi, Policheti, Acidiacei, Molluschi, Teleostei e dalle uova di quest'ultimi.

Confrontando i dati rilevati presso le stazioni P25 e P26 durante le diverse campagne, si deduce che i Copepodi risultano il gruppo meglio rappresentato nell'area di interesse, che le massime concentrazioni di zooplankton si verificano durante il periodo primaverile e che i valori di abbondanza, intesa come numero di individui per m<sup>3</sup>, sono sempre molto bassi rispetto ai valori registrati nelle vicine stazioni di Porto Torres.

Ulteriori dati sui popolamenti del mesozooplankton sono riportati nello studio di G.A. Mocchi, P.L. Solinas del 2003 che riporta i risultati di otto campagne realizzate tra l'aprile del 2000 e agosto 2001 nel Golfo dell'Asinara. I taxa identificati sono 13: Copepodi, Cladoceri, Foraminiferi, Cnidari, larve di Gasteropodi, larve di Lamellibranchi, larvede di Policheti, larve di Cirripedi, larve di Decapodi, larve di Echinodermi, Tunicati, Chetoganti e uova e larve di Teleostei. I Copepodi sono il gruppo più abbondante con una percentuale media del 70% di zooplankton totale, mentre i Cladoceri sono stati rilevati solamente nelle campagne estive ed autunnali e in genere non superano percentuali del 15% di zooplankton totale. Dai dati rilevati nelle campagne emerge che nel transetto, posto nell'area di mare antistante il porto di Porto Torres, sono stati registrati i valori di densità medi di zooplankton più elevati e che dal calcolo delle medie di campagna il valore stagionale più alto (1917 ind/m<sup>3</sup>) è quello registrata nell'aprile 2000.

## 5.2 ANALISI DELLE PERTURBAZIONI APPORTATE DALLO SCARICO DELLE ACQUE DI RAFFREDDAMENTO

Le possibili perturbazioni dovute alla presenza di uno scarico a mare di acque di raffreddamento in ciclo aperto sono riconducibili all'alterazione termica del corpo idrico e all'alterazione dei fenomeni di idrodinamismo.

L'alterazione dei fenomeni di idrodinamismo può portare:

- a un cambiamento nella trasparenza delle acque dovuto alla risospensione dei sedimenti di fondo;
- a un cambiamento nella distribuzione dei sedimenti mediante l'asportazione dei sedimenti che possono essere portati in carico dalla corrente, e depositati quando l'intensità della stessa non è più sufficiente per portarli in carico;



- a una alterazione nella distribuzione dei popolamenti bentonici. Infatti gli organismi bentonici si distribuiscono sul fondo in relazione a diversi parametri, tra cui la natura del substrato, la torbidità delle acque e l'intensità delle correnti di fondo.
- a danneggiare le biocenosi bentoniche presenti. È stato infatti osservato che un intenso idrodinamismo può provocare sui popolamenti di fanerogame marine il seppellimento dei rizomi, delle foglie e la rottura di queste ultime (I. Delbono, C.N. Bianchi, C. Morri e A. Peirano, 2001).

Nel caso in studio le perturbazioni legate all'intensità dell'idrodinamismo sono da considerarsi trascurabili, in quanto il fondale prospiciente la sezione di sbocco a mare, per una larghezza di 50 m ed una lunghezza di 100 m, è protetto da una idonea mantellata di massi posta su sottofondo di pietrame. Inoltre l'opera di scarico è stata dimensionata per una velocità massima allo scarico di circa 2 m/s che consente di realizzare un buon mescolamento. Questi accorgimenti permettono di limitare fortemente le alterazioni sopra elencate.

L'alterazione termica del corpo idrico può principalmente portare ad una alterazione della concentrazione dell'ossigeno nell'acqua (ossigeno atmosferico è più solubile alle basse temperature e alle basse concentrazioni saline) e ad alterare il comportamento e il metabolismo degli organismi acquatici.

Per una trattazione più approfondita, degli effetti della temperatura sugli organismi e dell'impatto dello scarico termico sull'area di studio, si rimanda ai *Paragrafi* successivi.

### 5.3 STIMA DEGLI IMPATTI

Nell'analisi delle perturbazioni apportate dallo scarico termico sulle biocenosi, confrontando la situazione attuale (presenza di due scarichi termici a mare) e la situazione futura (uno scarico termico), nel presente *Paragrafo* sono valutati i possibili impatti sulle praterie di *Posidonia oceanica*.

Tale scelta è dettata dal fatto che la prateria di *Posidonia oceanica* costituisce un importantissimo ecosistema che svolge un ruolo notevole nello scambio di sostanze nel mare, offre uno spazio vitale, un riparo ed un nascondiglio a numerosi organismi contribuendo alla biodiversità del mondo marino e alla conservazione dei suoi processi biologici.

Si ricorda che le praterie di posidonie (*Posidonia oceanica*) sono un habitat tutelato dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE (habitat prioritario presente nell'Allegato I della Direttiva Habitat).

La *Posidonia oceanica* è una fanerogama endemica del Mediterraneo e rappresenta la biocenosi climax sui fondali mobili (fangosi e sabbiosi). La profondità a cui può svilupparsi dipende dalla trasparenza delle acque e la sua presenza è stata osservata fino a 44 m di profondità (Schembri, 1995). La luminosità del fondale è uno dei fattori più importanti per la distribuzione di *Posidonia oceanica*.

Per vivere necessita:

- di una salinità superiore ai 33‰ ed inferiore ai 41‰;



- di acque con temperatura compresa tra i 10 e i 28 °C (anche se è stata osservata a temperatura di 9 °C e 29,2 °C);
- di un idrodinamismo non troppo intenso.

Nelle **Figura 3FT** si riporta la diffusione dello scarico termico di Centrale nella configurazione attuale e in quella di progetto.

In entrambe le configurazioni è stata considerata una temperatura del corpo idrico ricettore pari a 25 °C (temperatura massima registrata in superficie nell'area di studio nel corso dei monitoraggi descritti nei *Paragrafi* precedenti).

Si sottolinea che la Figura mostra la temperatura massima raggiungibile dal pennacchio termico a diverse distanze dal punto di scarico.

Per quanto riguarda lo scenario attuale, la temperatura indicata è quella rilevata durante la campagna di monitoraggio svolta nell'anno 2000 e descritta nel *Paragrafo* 2.1.

Per quanto riguarda lo scenario futuro, le temperature indicate sono state stimate mediante l'applicazione del modello CORMIX.

Il golfo dell'Asinara è caratterizzato da una buona diffusione di *Posidonia oceanica* (si vedano le seguenti **Figure 4FT e 5FT**). Tuttavia sono presenti diverse aree dove la sua presenza risulta degradata.

Le principali cause di degrado di *Posidonia oceanica* nel golfo dell'Asinara sono riconducibili ad azioni meccaniche nel fondo (ancore, pesca a strascico) e alle modificazioni indotte sulla colonna d'acqua (sversamenti di acque non depurate che alterano lo stato trofico e la trasparenza delle acque). Tali effetti limitano la capacità di accrescimento di *Posidonia oceanica*. Altro fattore che ne porta il degrado è la presenza di *Caulerpa racemosa*, specie alloctona di alga infestante che tende a soppiantare *Posidonia oceanica*, attualmente segnalata nel tratto di costa compreso tra Porto Torres e punta Tramontana (A. Cossu et al., 2003), oltre che all'interno della Rada del Reale in una stazione prossima al limite inferiore della prateria a *Posidonia oceanica* (V. Gazale, A. Cossu et al., 2004).

Paragonando la situazione attuale con quella di progetto (**Figure 3FT, 4 FT e 5FT**), si può chiaramente osservare che nell'assetto futuro, a causa della dismissione delle opere di scarico delle sezioni 1 e 2, l'area interessata dallo scarico termico di Centrale diminuirà. Inoltre, nell'assetto di progetto, la temperatura massima che sarà raggiunta a 1.000 m dallo scarico delle sezioni 3, 4 e 5 (attualmente punto di scarico delle sezioni 3 e 4) sarà lievemente maggiore di quella raggiunta a 1.000 dalle attuali opere di scarico ( $\Delta T = 1,61$  °C nella situazione attuale,  $\Delta T = 1,83$  °C nella situazione futura).

Per quanto riguarda lo scenario futuro, inoltre, come indicato nella **Figura 3FT**, temperature superiori ai 28 °C sono attese, nella peggiore delle ipotesi, entro i 200 metri dallo scarico.

Osservando le **Figure 4FT e 5FT**, ove è sovrapposta la distribuzione delle praterie di *Posidonia* nell'area di studio con la diffusione del pennacchio termico nello scenario attuale e futuro di Centrale, si può osservare una generale riduzione delle interferenze con il passaggio alla situazione di progetto.



Per la configurazione di progetto, inoltre, si può osservare che l'area entro la quale le temperature possono superare 28 °C (compresa entro 200 m dal punto di scarico), e quindi compromettere lo stato di salute della *Posidonia oceanica*, non interferisce con le aree dove quest'ultima risulta presente.

Con la realizzazione del progetto, quindi, si può affermare che gli impatti sulle biocenosi presenti nell'area di studio, e in particolare sulla *Posidonia oceanica*, sono da considerarsi non significativi.

