

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 1 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

TERMINALE DI PORTO TORRES

STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE TERMICA/CHIMICA IN AMBIENTE MARINO IN FASE DI ESERCIZIO

00	Emissione finale/ per Enti	 Francesco De Leo	 Giovanni Besio	 Cristina Belloni	27/10/2022
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fig. 2 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

INDICE

1	GENERALITA'	3
1.1	Inquadramento generale	3
1.2	Scopo e contenuti del documento	4
1.3	Acronimi e Abbreviazioni	4
1.4	Riferimenti	4
1.5	Normative	5
2	DEFINIZIONE	6
3	CARATTERIZZAZIONE DELLE FORZANTI AMBIENTALI	7
4	MODELLAZIONE NUMERICA DELL'IDRODINAMICA E DELLA DISPERSIONE	12
5	CONFIGURAZIONE PROGETTUALE PER LO STUDIO MODELLISTICO	16
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	18
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	24

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 3 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

1 GENERALITA'

1.1 Inquadramento generale

Snam Rete Gas sta sviluppando un progetto per l'approvvigionamento di gas naturale nel Nord della Regione Sardegna che prevede l'ormeggio a lungo termine (25 anni) di una unità di stoccaggio e rigassificazione (FSRU) di Gas Naturale Liquefatto (GNL) all'interno del porto industriale di Porto Torres nonché i lavori impiantistici, civili e marittimi di adeguamento della relativa banchina di ormeggio fino al limite di batteria con la condotta di distribuzione di gas naturale che porterà il gas alle utenze industriali e civili del nord Sardegna.

La condotta di collegamento con la Dorsale Sardegna Nord per il trasporto del gas naturale avrà un diametro DN 650 ed una pressione di progetto (DP) di 75 bar.

La posizione selezionata per l'ormeggio della FSRU è rappresentata nella immagine sottostante e corrisponde all'attuale molo carbonifero (Banchina E-ON) cui attraccano le navi che approvvigionano la vicina centrale elettrica di Fiume Santo di proprietà di EPH.

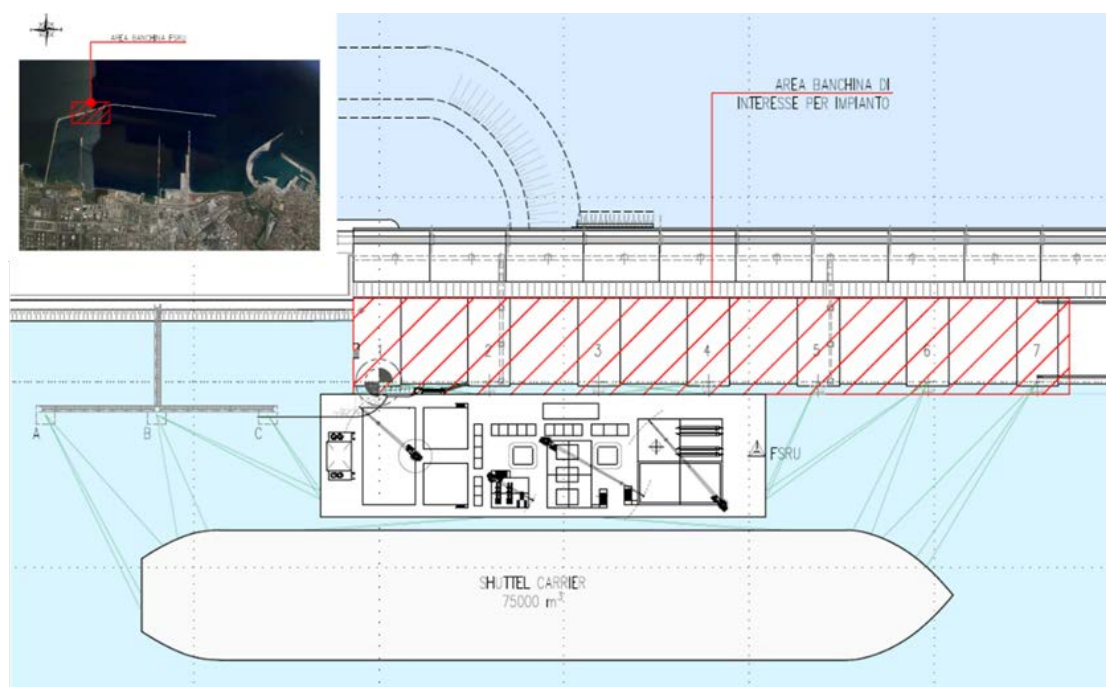


Figura 1.1: Molo carbonifero (Banchina E-ON) Porto Torres

Il porto industriale di Porto Torres è classificato in Categoria II e Classe I secondo la legge italiana n. 84 (del 28 gennaio 1994)

L'FSRU avrà una capacità di stoccaggio di circa 25.000 m³ ed una capacità di rigassificazione massima di LNG (send out) di 170.000 Sm³/h. Nell'ambito delle condizioni di esercizio è previsto il prelievo e la restituzione dell'acqua di mare per soddisfare le esigenze del processo di rigassificazione GNL (tramite i vaporizzatori). La portata massima di acqua di mare necessaria ai vaporizzatori risulta di circa 4.500 m³/h. La temperatura dell'acqua in uscita dai vaporizzatori è stata impostata considerando un ΔT pari a -5°C rispetto alla temperatura dell'acqua in entrata. Inoltre,

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 4 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

per prevenire la crescita di organismi marini nel sistema di acqua di mare, è previsto un sistema di iniezione di ipoclorito. L'acqua rilasciata dalla FSRU avrà un contenuto di Cloro conforme al limite indicato dalla normativa, pari a 0,2 mg/l (valore massimo di Cloro attivo libero per sistema di elettro-clorinazione come definito nell'Allegato 5 alla Parte III del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.). Inoltre, per l'adeguamento della banchina di ormeggio si rende necessaria l'infissione di alcuni pali in acciaio a ridosso della posizione di ormeggio della FSRU.

1.2 Scopo e contenuti del documento

Lo studio di modellazione è stato condotto per simulare e quantificare gli effetti indotti dallo scarico delle acque di riscaldamento in fase di esercizio e fornire gli elementi conoscitivi per la valutazione degli eventuali impatti di tale dispersione sull'ambiente circostante, che verranno descritti all'interno dello Studio di Impatto Ambientale. A tale scopo, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università degli Studi di Genova (DICCA) è stato incaricato di implementare, in fase di predisposizione degli studi ambientali per l'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) della FSRU Snam di Porto Torres, un modello matematico per la simulazione del contenuto termico e chimico delle acque scaricate in ambiente marino, al fine di fornire elementi per la valutazione dei potenziali impatti sulla componente. Lo studio ha inoltre preso in considerazione la valutazione di eventuali fenomeni erosivi e di ri-sospensione dei sedimenti indotti dallo scarico della nave.

Le simulazioni hanno l'obiettivo di comprendere e valutare i processi di dispersione dell'acqua di mare prelevata e successivamente scaricata con caratteristiche differenti. Tali analisi sono state effettuate sulla base dei dati ingegneristici provenienti dalla progettazione di base dell'opera, così come presentati all'interno della documentazione di VIA.

Nel presente elaborato vengono riportate tutte le informazioni utilizzate per la costruzione del modello, per la definizione delle condizioni al contorno impiegate e sono mostrati i risultati per le diverse simulazioni realizzate. Il presente report tecnico costituisce la relazione finale relativa ai risultati di una serie di simulazioni atte a descrivere la dispersione termica e chimica all'interno del porto di Porto Torres e nelle aree limitrofe, a seconda degli scenari ambientali alternativi considerati.

1.3 Acronimi e Abbreviazioni

DICCA	Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale – Università degli Studi di Genova
GNL	Gas Naturale Liquefatto
SIA	Studio di Impatto Ambientale
SNAM	Società Nazionale Metanodotti

1.4 Riferimenti

Cremonini, G., De Leo, F., Stocchino, A., & Besio, G. (2021). On the selection of time-varying scenarios of wind and ocean waves: Methodologies and applications in the North Tyrrhenian Sea. *Ocean Modelling*, 163, 101819.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 5 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2013). Developing and validating a forecast/hindcast system for the Mediterranean Sea. *Journal of Coastal Research*, (65 (10065)), 1551-1556.

Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2015). Performance evaluation of Wavewatch III in the Mediterranean Sea. *Ocean Modelling*, 90, 82-94.

Dushaw, B. D., Egbert, G. D., Worcester, P. F., Cornuelle, B. D., Howe, B. M., & Metzger, K. (1997). A TOPEX/POSEIDON global tidal model (TPXO. 2) and barotropic tidal currents determined from long-range acoustic transmissions. *Progress in Oceanography*, 40(1-4), 337-367.

1.5 Normative

Decreto legislativo 3/4/2006 n. 152 – Norme in materia ambientale (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006)

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 6 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

2 DEFINIZIONE

COMMITTENTE	Snam Rete Gas S.p.A.
PROGETTO	Esecuzione delle attività di ingegneria relative alla progettazione del FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) di Porto Torres ed opere connesse
SITO	Porto Torres
IMPIANTO DI RICEZIONE	Impianto in Banchina
TERMINALE	La FSRU e l'impianto di ricezione
NAVE SPOLA	Nave metaniera "shuttle carrier" necessaria a garantire la fornitura di gas naturale alla FSRU
BUNKERING VESSEL	Nave metaniera necessaria per la distribuzione del GNL stoccato nei serbatoi della FSRU
FSRU	Floating Storage Regasification Unit

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 7 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

3 CARATTERIZZAZIONE DELLE FORZANTI AMBIENTALI

L'analisi dei processi fisici relativi alla circolazione costiera e ai processi di dispersione in tale zona è sempre stata di grande interesse da un punto di vista sia scientifico sia applicativo. La necessità di avere a disposizione degli strumenti di analisi e predizione di tale tipo di processi è sentita non solo in ambito di pianificazione e programmazione delle attività umane nella fascia costiera (i.e., controllo della dispersione dei dragaggi, progettazione degli emissari degli impianti di depurazione) ma anche in ambito di gestione delle emergenze e della qualità delle acque (i.e., sversamenti e dispersione di inquinanti sia lato terra che mare, incidenti in mare ed operazioni di search&rescue).

In quest'ottica nelle ultime decadi, soprattutto grazie alla crescita esponenziale della potenza di calcolo dei moderni computer, è stato fatto sempre maggiore affidamento all'utilizzo di programmi di calcolo in grado di realizzare simulazioni numeriche dell'idrodinamica marina e costiera e dei processi di dispersione sia da un punto di vista euleriano (dinamica della concentrazione) che da un punto di vista lagrangiano (dispersione di massa e oggetti). Lo studio di tali fenomeni generalmente si basa su un'enorme quantità di informazioni che richiedono elevati tempi di computazione e grandi potenze di calcolo non sempre disponibili: questo, in particolare, può succedere quando ad esempio il dataset in esame proviene da un servizio di re-analisi climatologica, caratterizzato da alta risoluzione temporale e spaziale. In questo caso, può essere conveniente ridurre il numero di condizioni ambientali da tenere in considerazione per le simulazioni numeriche, in modo da individuare e conservare i modi più significativi della variabilità del fenomeno.

Risolvere un numero limitato di condizioni ambientali, altresì dette "scenari", è vantaggioso perché non solo permette di selezionare gli scenari più importanti per il processo investigato ma anche perché viene ridotto significativamente il carico computazionale necessario per risolvere l'intera catena di modellazione. A tale fine, è possibile impiegare delle tecniche di "Data mining" ovvero di analisi massiva dei dati a disposizione, tramite algoritmi di raggruppamento dati (cd. clusterizzazione); tale approccio permette di raggruppare un insieme di dati in classi di oggetti (cluster) sulla base della loro similarità/dissimilarità. Un cluster rappresenta un raggruppamento di elementi che sono simili tra loro e sono dissimili dagli elementi di un altro cluster. Il risultato che si ottiene è un sottoinsieme di elementi in grado di riassumere il dataset iniziale, mantenendo le sue proprietà principali.

Nel presente studio si adotta una metodologia che permette di caratterizzare il clima meteo-marino considerando la velocità del vento, il campo di pressione, la forzante di marea e le condizioni del moto ondoso. Per la costruzione del dataset iniziale viene quindi scelta una finestra temporale adeguata in funzione del tipo di processo che si vuole studiare, ovvero la descrizione della dispersione di inquinanti/sedimenti/particelle in acque costiere, in seguito all'immissione in mare di una portata definita in un certo intervallo di tempo.

Le variabili meteo-marine impiegate nel presente studio derivano dai prodotti di hindcast del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica ed Ambientale dell'Università di Genova (DICCA; www3.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html). Tramite una re-analisi delle condizioni atmosferiche, è stato costruito un database contenente dati orari di onda, vento e campo barico definiti su una griglia con risoluzione approssimativamente di 10 km lon/lat, estesa a tutto il bacino del Mar Mediterraneo (Mentaschi et al., 2013, 2015). L'implementazione del dataset di hindcast è avvenuta

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 8 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

in seguito alla validazione e alla ottimizzazione della catena di modelli numerici impiegata (WRF per la parte meteo e WaveWatchIII per la parte onde) e, ad oggi, questi dati sono stati utilizzati in numerose ricerche e applicazioni.

Per lo sviluppo degli algoritmi di identificazione di scenari climatici caratteristici vengono prese in considerazione le serie temporali dal 1979 al 2020, su base oraria, di altezza d'onda significativa (H_s), di periodo e direzione di picco (rispettivamente, T_p e θ_p), delle componenti di velocità longitudinale/latitudinale del vento (w_x/w_y) e della pressione media sul livello del mare (mslp).

In un secondo momento, vengono ricavate le forzanti di marea (di seguito $\Delta\eta$) nella posizione selezionata grazie al Software di Previsione di Marea (TPXO.3) fornito dall'Università dello Stato dell'Oregon (Dushaw et al, 1997). L'escursione di marea è stata calcolata nello stesso intervallo di tempo e con la stessa frequenza per cui sono disponibili i dati meteomarini di hindcast. I dati sono stati selezionati in corrispondenza del punto hindcast no. 003170, sito nei paraggi di Porto Torres all'interno del golfo protetto dall'isola dell'Asinara (Figura 3.1).

Sono stati selezionati in modo automatico 100 cluster tramite opportuno codice di calcolo (valore per cui si è in grado di riprodurre più del novanta per cento della variabilità delle forzanti ambientali); successivamente, sono stati manualmente identificati 4 scenari specifici che presentano caratteristiche variabili, soprattutto in riferimento alle condizioni di intensità e direzione di provenienza del vento. L'estensione temporale degli scenari è stata imposta pari a due settimane, in quanto i processi di dispersione dello scarico della FSRU, soprattutto per quanto riguarda l'evoluzione della temperatura e della concentrazione di cloro, possono avere un tempo scala di qualche giorno.

Gli scenari così identificati corrispondono ai gruppi no. 42, 66, 74, 85 (denominati in seguito scenari A, B, C e D rispettivamente), sono riportati nelle figure seguenti, in cui vengono mostrati gli andamenti temporali delle diverse variabili ambientali (θ_p e θ_w si riferiscono rispettivamente alle direzioni d'onda e vento):

- Lo scenario A (Figura 3.2) è associato a stati di vento e onda moderati, caratterizzati da direzioni tipiche dei settori di Levante/Scirocco nella prima fase del periodo considerato e di Tramontana/Grecale nella fase terminale.
- Lo scenario B (Figura 3.3) presenta stati meteo-marini maggiormente energetici e tuttavia non eccezionali; la direzione di propagazione delle onde incidenti è variabile su tutta la rosa.
- Lo scenario C (Figura 3.4) presenta stati di mare tempestosi in ingresso nel golfo; gli stati di mare si propagano da Nord, mentre la direzione dei venti è maggiormente variabile e spazia su tutta la rosa.
- Lo scenario D (Figura 3.5) è associato a stati di mare energetici e tuttavia ridotti rispetto allo scenario C; gli stati di mare e vento sono tendenzialmente equiversi, associati per la maggior parte al settore di Tramontana.

Gli scenari selezionati presentano caratteristiche meteomarine di temperatura, frequenza, durata e direzione di propagazione del moto ondoso tali da poter essere considerati rappresentativi delle variabili ambientali più cautelative ai fini della dispersione.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 9 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006



Figura 3.1. Area di studio e punto hindcast utilizzato per la selezione degli scenari meteo-marini.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 10 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

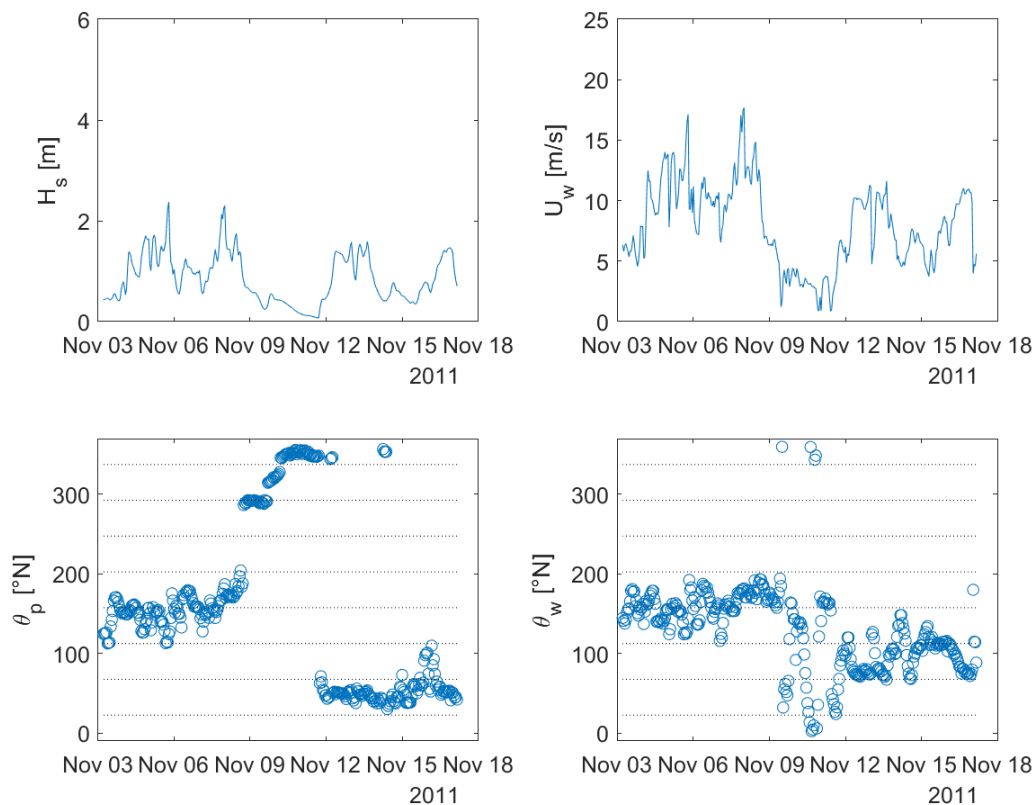


Figura 3.2. Forzanti Meteo-Marine: Scenario A.

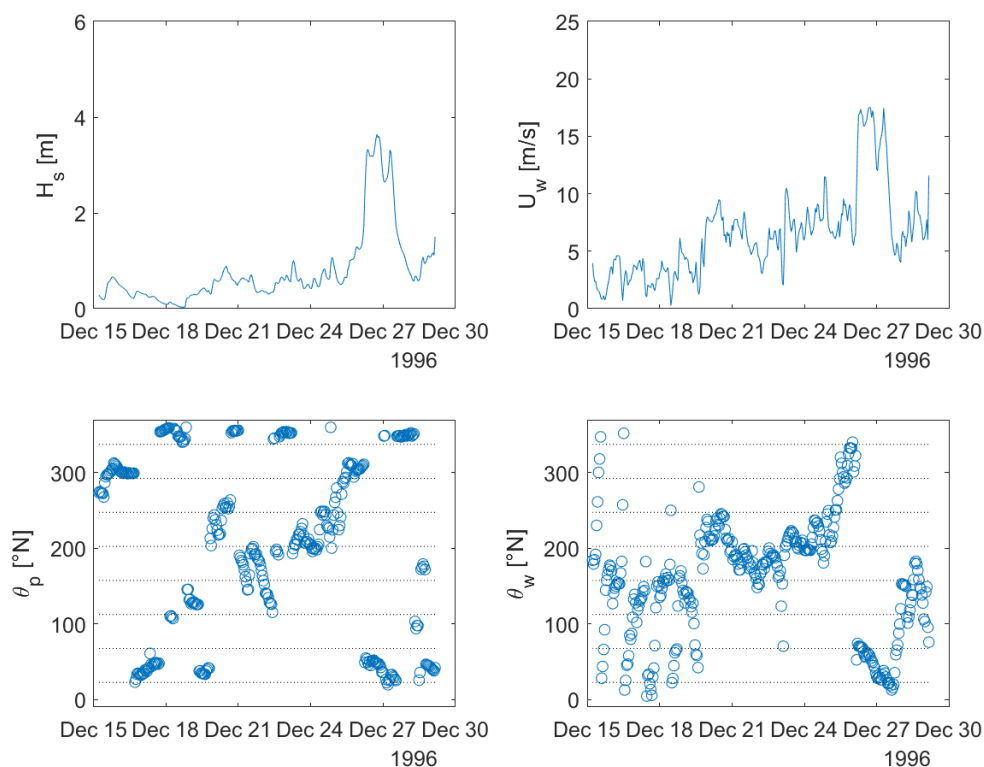


Figura 3.3. Forzanti Meteo-Marine: Scenario B.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 11 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

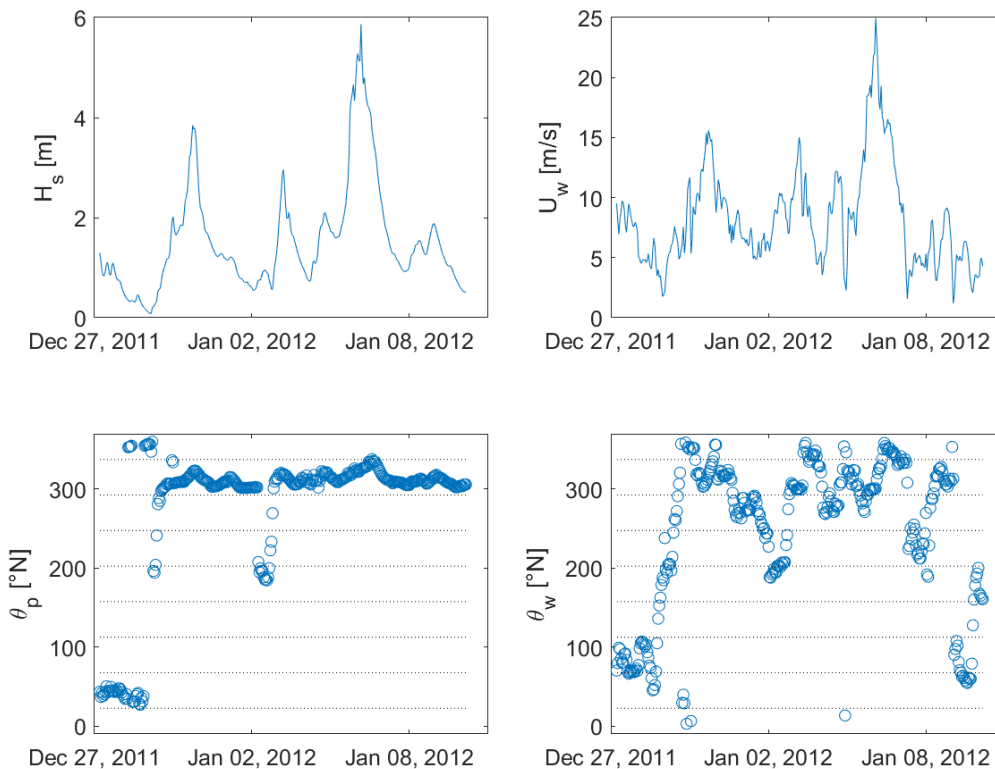


Figura 3.4. Forzanti Meteo-Marine: Scenario C.

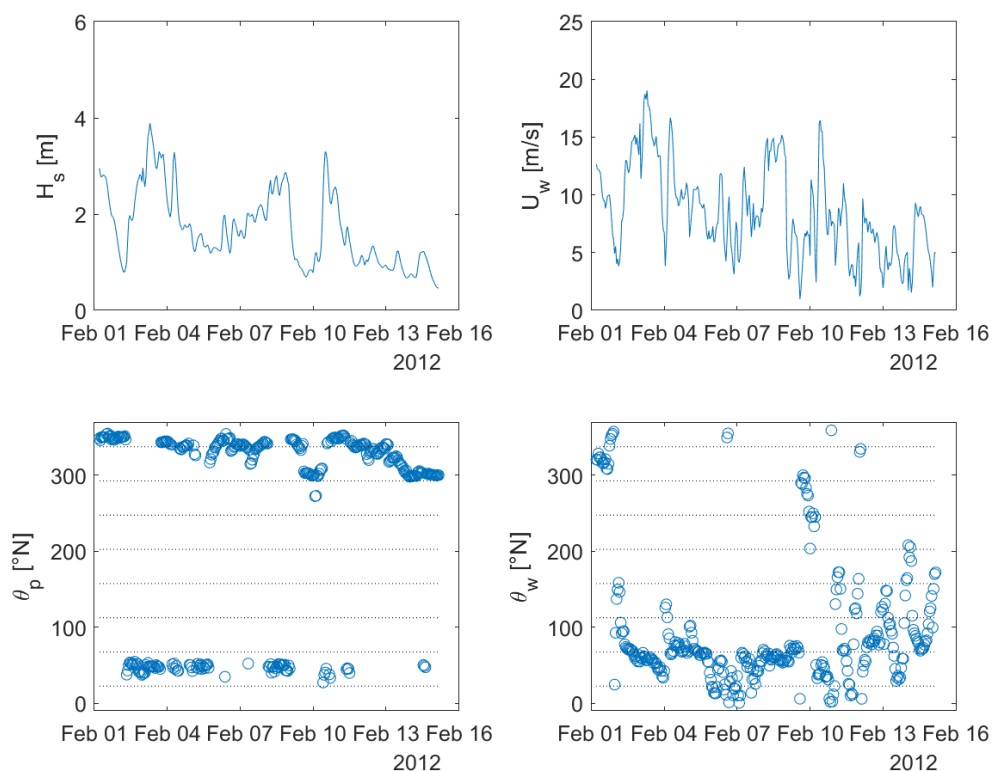


Figura 3.5. Forzanti Meteo-Marine: Scenario D.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 12 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

4 **MODELLAZIONE NUMERICA DELL'IDRODINAMICA E DELLA DISPERSIONE**

Per la simulazione dell'idrodinamica e per lo studio dell'evoluzione spazio/temporale della temperatura e della concentrazione di cloro è stato impiegato il modello numerico Delft3D, sviluppato e mantenuto da Deltares (precedentemente Delft Hydraulics). Tale modello numerico è uno dei più robusti e affidabili strumenti per lo studio della dinamica delle correnti, del trasporto di sedimenti, delle onde e della qualità delle acque, sia da un punto di vista applicativo che da un punto di vista di sviluppo e ricerca. Delft3D è composto da diversi moduli che possono essere eseguiti indipendentemente o possono essere accoppiati e interagiscono tra loro, scambiandosi le opportune informazioni. Delft3D-FLOW è uno di questi moduli. Esso è un codice che simula l'idrodinamica e il trasporto, prendendo in considerazione una vasta gamma di forzanti, quali eventi meteorologici, maree, scarichi antropici, eccetera.

Le equazioni di governo sono costituite dalla equazione di continuità e dall'equazione della quantità di moto lungo le due direzioni orizzontali. Il modello risolve le equazioni RANS con approssimazione idrostatica. La velocità verticale è ottenuta dall'equazione di continuità. Il modello impostato in questa maniera è un modello così detto Quasi-3D, ovvero che riesce a risolvere anche la componente verticale del moto, non tramite la soluzione dell'equazione della quantità di moto lungo l'asse verticale, bensì tramite l'impiego dell'equazione di continuità una volta risolte le equazioni della quantità di moto lungo le direzioni orizzontali.

Per poter provvedere alla soluzione numerica del problema bisogna quindi definire alcune condizioni di chiusura e al contorno in modo che il modello abbia tutte le informazioni necessarie per poter evolvere nel tempo e nello spazio al fine di ricavare la soluzione del campo di moto. In particolare, è necessario fornire un modello di turbolenza e adeguate condizioni al contorno. Per quanto riguarda la chiusura della turbolenza è stato impiegato un classico modello $k - \varepsilon$ che è reso disponibile nella stessa suite di Delft3D. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, il modello può essere forzato sulla superficie libera da un vento e una pressione atmosferica variabile nel tempo e nello spazio. La condizione al contorno al fondo viene fornita in funzione della tensione che dipende da un parametro di scabrezza tipico, impostato dall'utente. Le relazioni che legano le tensioni al fondo e sulla superficie libera con le derivate della velocità sono quelle classiche relative all'imposizione di una velocità di attrito a un determinato livello di riferimento.

La griglia computazionale è costituita da una griglia cartesiana rettangolare o curvilinea. L'utente può decidere se realizzare una griglia rettangolare (anche a passo variabile) o creare una griglia curvilinea a partire da una serie di splines. La schematizzazione per la soluzione numerica è impostata su una maglia del tipo "Arakawa-C". Nel presente studio è stata impiegata una maglia cartesiana rettangolare infittendo la risoluzione del modello nella zona di interesse e rilassando la risoluzione verso il contorno esterno del dominio. Da un punto di vista numerico le equazioni che governano il problema sono risolte tramite il metodo ADI (Alternating Direction Implicit method). Il metodo ADI suddivide l'avanzamento nel tempo in due fasi successive. Ogni fase è composta da un intervallo di tempo intermedio. In entrambe le fasi, tutti i termini delle equazioni del modello sono risolti con almeno un'accuratezza al secondo ordine di precisione nello spazio. Per la discretizzazione spaziale dei termini di avvezione orizzontale sono disponibili tre

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 13 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

diverse opzioni. I primi due metodi sono chiamati WAQUA e Cyclic e non impongono alcuna restrizione sull'intervallo temporale di integrazione. Il terzo metodo è chiamato *flooding* e viene utilizzato in particolare per simulare zone soggette a cicli di asciutto/bagnato, ovvero per zone che non presentano costantemente la presenza di acqua. Si pensi, per esempio, ad eventi alluvionali, sia costieri che fluviali.

La risoluzione della dinamica di eventuali concentrazioni di temperatura/inquinanti/sedimenti in funzione delle condizioni ambientali selezionate (Paragrafo 3) è realizzata tramite l'impiego dell'equazione di convezione-diffusione di uno scalare che deve essere caratterizzato opportunamente a seconda del fenomeno che si vuole analizzare. In particolare, nel caso della temperatura e della concentrazione di cloro, è necessario fornire le caratteristiche delle diverse quantità (condizioni iniziali e condizioni al contorno) e le caratteristiche di diffusività turbolenta.

Per quanto concerne le caratteristiche della presa/scarico della FSRU sono stati considerati i dati di progetto. In particolare, è stata utilizzata per le simulazioni una portata massima pari a 1,25 m³/s corrispondente a circa 0,3 m/s di velocità considerando un'area della sezione dell'opera di presa/scarico dell'ordine dei 4 m². Il valore in uscita della concentrazione di cloro è stato imposto pari a 2 mg/l (0.0002 kg/m³) secondo quanto indicato negli input di progetto e in accordo con i limiti indicati nell'Allegato V alla Parte III del D.lgs. 152/2006 per lo scarico in acque superficiali. Per quanto riguarda la temperatura, è stata presa a riferimento una temperatura media dell'acqua pari a 13 °C.

Questa scelta si rivela conservativa, in quanto caratterizzante condizioni tipiche dei mesi invernali che presentano temperature più rigide: in questo caso, ulteriori abbassamenti della temperatura potrebbero dunque avere ricadute negative sugli ecosistemi marini presenti in loco. Per quanto riguarda la temperatura dello scarico della FSRU è stato sempre imposto un ΔT pari a -5 °C tra la presa e lo scarico, variazione sulla base della quale sono stati dimensionati i vaporizzatori della FSRU.

Una sintesi delle impostazioni del modello è riportata nelle tabelle Tabella 4.1 e Tabella 4.2; Figura 4.1 e Figura 4.2 mostrano rispettivamente il dominio e la griglia computazionale utilizzati.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 14 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

Tabella 4.1: Parametri utilizzati per il modello numerico.

Parametri fisici			
Viscosità		Sedimenti	
Modello di turbolenza	k-ε	Frazione del sedimento	Sabbia fine
Viscosità turbolenta orizzontale [m ² /s]	0,1	Densità [kg/m ³]	2650
Viscosità turbolenta verticale [m ² /s]	1,0E-06	Velocità di sedimentazione [mm/s]	7,7
Diffusività turbolenta orizzontale [m ² /s]	1	Tensione critica di mobilizzazione [N/m ²]	0,17
Diffusività turbolenta verticale [m ² /s]	1,0E-06	d50 [mm]	0,07 ¹
Interpolazione vento	lineare		
Coefficiente di attrito vento	0,0063		

Tabella 4.2: Condizioni di operatività considerate nel modello

PRESA				
Portata [m ³ /s]	Profondità (m s.l.m.)	Salinità [ppt]	Temperatura [°C]	Cloro [kg/m ³]
1.25	5,5	37	13	0
SCARICO				
Portata [m ³ /s]	Profondità (m s.l.m.)	Salinità [ppt]	Temperatura [°C]	Cloro [kg/m ³]
1.25	5,5	36	T presa -5°C	0.0002

¹ Valore di Granulometria assunto in coerenza con i risultati delle analisi di campo di cui al Doc. 001-ZA-E-85030_00_Rapporto Finale indagini

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 15 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006



Figura 4.1: Estensione spaziale del dominio computazionale.

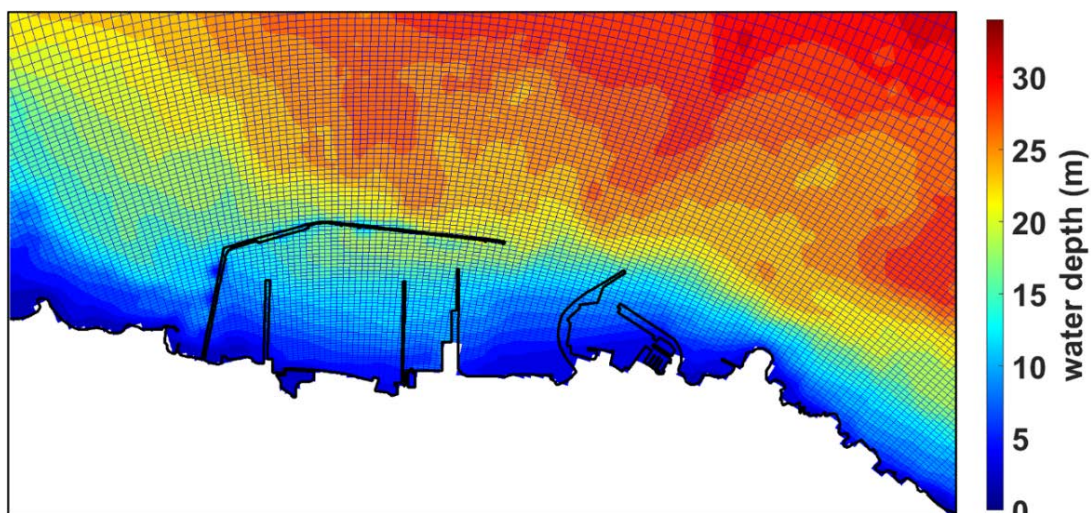


Figura 4.2: Maglia di calcolo nell'area portuale di Porto Torres e inciso sulla batimetria.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 16 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

5 CONFIGURAZIONE PROGETTUALE PER LO STUDIO MODELLISTICO

Come anticipato nel capitolo introduttivo, le simulazioni numeriche hanno riguardato la configurazione progettuale proposta di presa e scarico per quanto riguarda l'impianto della FSRU. I punti suddetti sono evidenziati in Figura 5.1.

All'interno della parete di levante della diga (ovvero, il ramo ad Ovest del punto di presa o *intake*), sono presenti inoltre quattro canali per la vivificazione delle acque portuali, posti ad una profondità di 2,25 m dalla superficie libera (vedi Allegato A0). I suddetti canali sono stati modellati imponendo una apertura all'interno della parete impermeabile della diga, come mostra l'inciso riportato in Figura 5.2.

La FSRU è stata posizionata in modo tale da orientare lo scarico verso l'imboccatura del porto, al fine di favorire fenomeni di dispersione di cloro e gradiente termico ed evitare possibili accumuli degli stessi nelle darsene del molo carbonifero. Lo scarico a mare tramite sealine è stato invece scartato per il rischio di danneggiamento associato alle correnti litoranee esterne al porto.

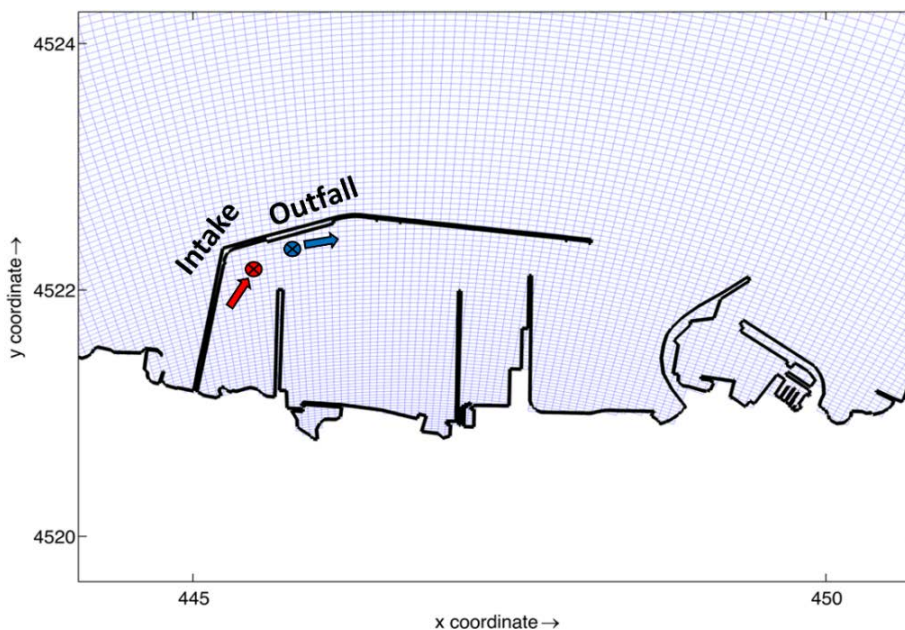


Figura 5.1. Zoom sull'area portuale. In figura sono mostrati il punto di presa intake) e di scarico (outfall) della FSRU.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 17 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

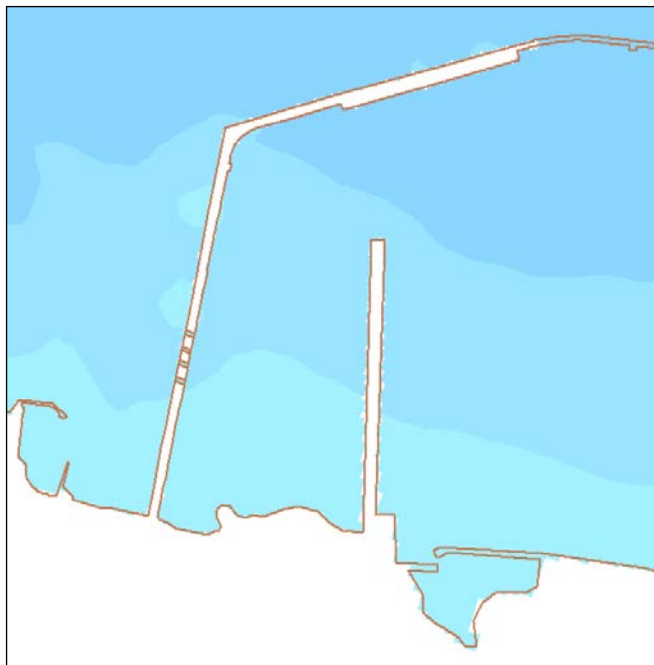


Figura 5.2. Ingrandimento sui quattro canali vivificatori presenti all'interno della diga (la rispettiva sezione è riportata nell'allegato A0).



Figura 5.3. Punti di controllo per l'analisi dell'evoluzione temporale di concentrazione di cloro e gradiente termico.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 18 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Le figure successive mostrano i risultati della dispersione di cloro e gradiente termico nell'area portuale di Porto Torres per tutti gli scenari meteo-marini considerati. Per facilitare la lettura del presente report, vengono presentate le distribuzioni delle quantità di interesse all'interno del porto per un numero ridotto di istanti temporali nell'arco della durata degli scenari selezionati (ovvero due settimane): in particolare, si riportano le mappe della dispersione della temperatura e del cloro per una serie di intervalli temporali pari a 1 giorno, 5 giorni, 10 giorni e 2 settimane, in riferimento alla quota di fondo, ritenuta la più cautelativa in quanto lo scarico modellato è caratterizzato da una temperatura inferiore rispetto al corpo idrico ricevente, quindi tende a portarsi verso il basso. A tal proposito, si precisa come la maglia computazionale sia stata discretizzata in undici strati a spessore variabile lungo la direzione verticale lungo tutto il dominio computazionale. La quota del fondo corrisponde all'undicesimo strato verticale (profondità variabile tra 5 m e 20 m all'interno dell'area portuale; cfr. Figura 4.2). Negli allegati sono riportati inoltre i risultati relativi alla superficie libera che corrisponde al primo strato, il cui spessore all'interno del porto varia tra ≈ 30 e ≈ 50 cm a seconda della profondità locale. L'estensione temporale delle simulazioni è stata presa sufficientemente lunga in modo da simulare in maniera esaustiva un eventuale evento meteorologico caratteristico e da dare il tempo ai fenomeni dispersivi di svilupparsi completamente sia nel campo vicino sia in quello intermedio e in quello lontano (Cremonini et al., 2021 hanno dimostrato come l'intervallo di correlazione di una tempesta all'interno del Mediterraneo è di circa tre giorni).

I risultati mostrano come i meccanismi di trasporto e diffusione siano in grado di disperdere rapidamente l'afflusso di cloro puntuale rilasciato dalla FSRU, che diffonde all'interno dell'area portuale dove risulta significativamente diluito, come mostrato nelle immagini da Figura 6.1 a Figura 6.4. L'area caratterizzata da concentrazioni maggiori rispetto alle condizioni ambientali, cosiddetta *plume*, rimane circoscritta nello specchio acqueo portuale e presenta valori di concentrazione enormemente ridimensionati rispetto alle condizioni di rilascio (ordine di 10^{-2} mg/l rispetto ai 0,2 mg/l rilasciati in ambiente). Le concentrazioni di cloro riscontrate sono caratterizzate da valori ulteriormente ridotti a valle dei canali vivificatori presenti nel corpo della diga, che favoriscono uno scambio con l'ambiente esterno dovutamente alle correnti indotte da onde ed escursioni mareali.

La maggior diffusione si riscontra per lo scenario meteo-marino C (Figura 6.3), ovvero quello associato a condizioni ambientali estreme, le quali favoriscono infatti il rimescolamento delle acque. Ad ogni modo, giova rilevare come su tutto il dominio di calcolo e per tutti gli scenari meteo-marini considerati la concentrazione di cloro si mantenga su valori prossimi allo zero, come mostrato nelle serie estratte nei due punti di controllo in corrispondenza dell'imboccatura portuale e al di fuori dei canali vivificatori (vedasi Figura 5.3 e figure da Figura 6.9 a Figura 6.10).

Analogamente, nell'arco delle due settimane associate ai diversi scenari meteo-marini, non si riscontrano gradienti termici rilevanti (cfr. figure da Figura 6.5 a Figura 6.8) mantenendosi il ΔT entro valori inferiori a ≈ 0.5 °C, lontani dai gradienti termici che naturalmente si verificano in mare (ad esempio, la stratificazione delle acque dovuta al termoclino comporta variazioni di qualche grado centigrado).

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fig. 19 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

Considerazioni analoghe possono spendersi per gli strati superficiali, come mostrano i risultati relativi a tale quota (Allegati A 1- A 8).

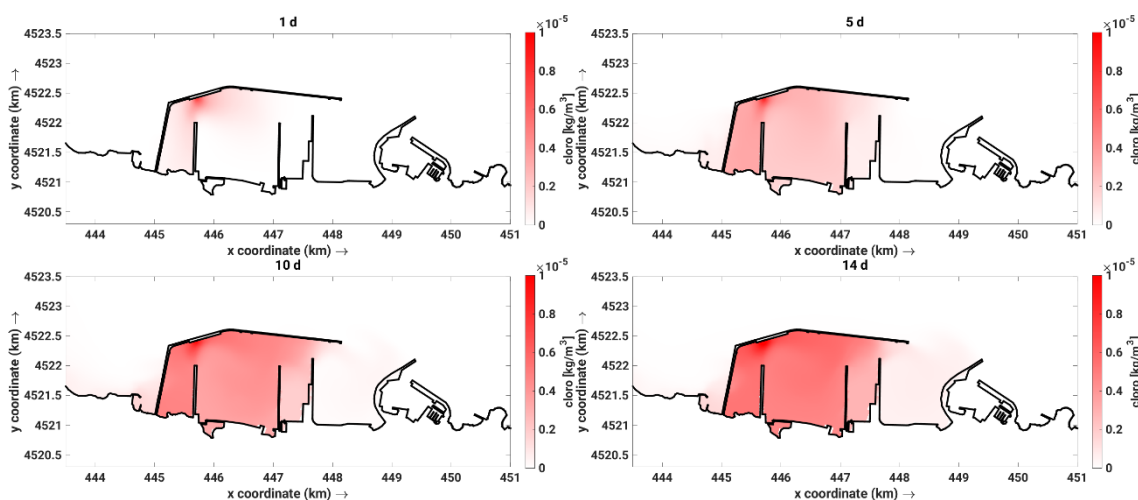


Figura 6.1. Concentrazione di cloro. Scenario A. Strato di fondo.

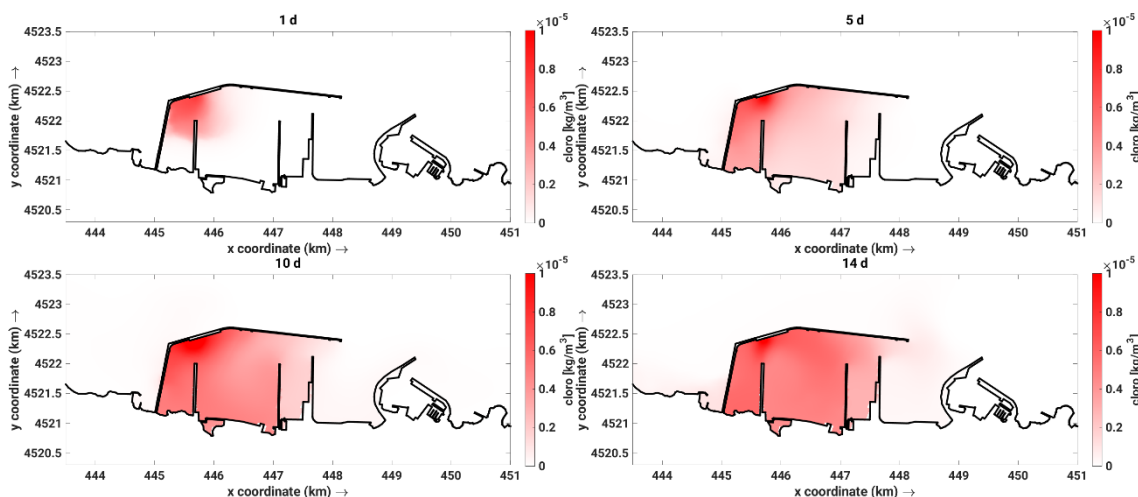


Figura 6.2. Concentrazione di cloro. Scenario B. Strato di fondo.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)		001-ZA-E-85019
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base		Fg. 20 di 30

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

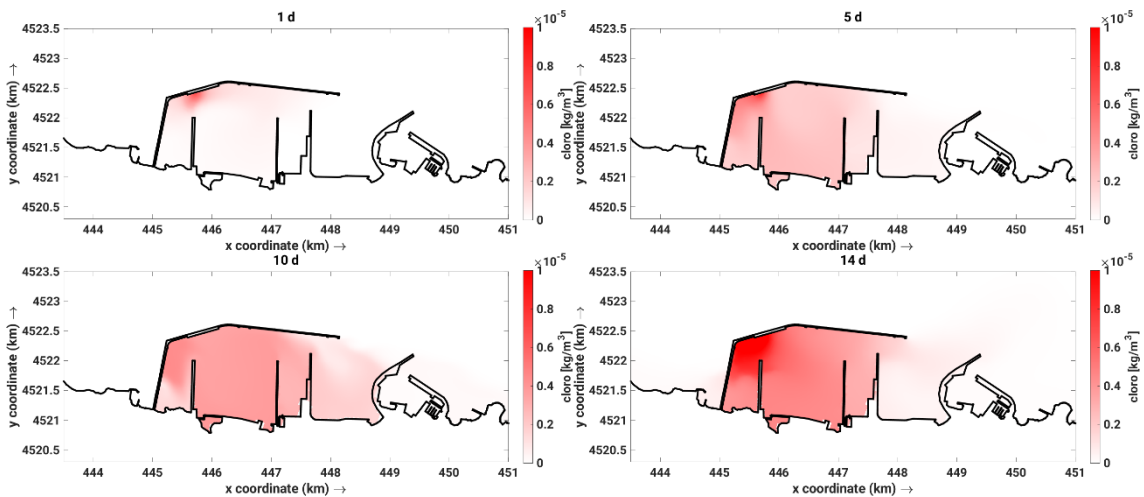


Figura 6.3. Concentrazione di cloro. Scenario C. Strato di fondo.

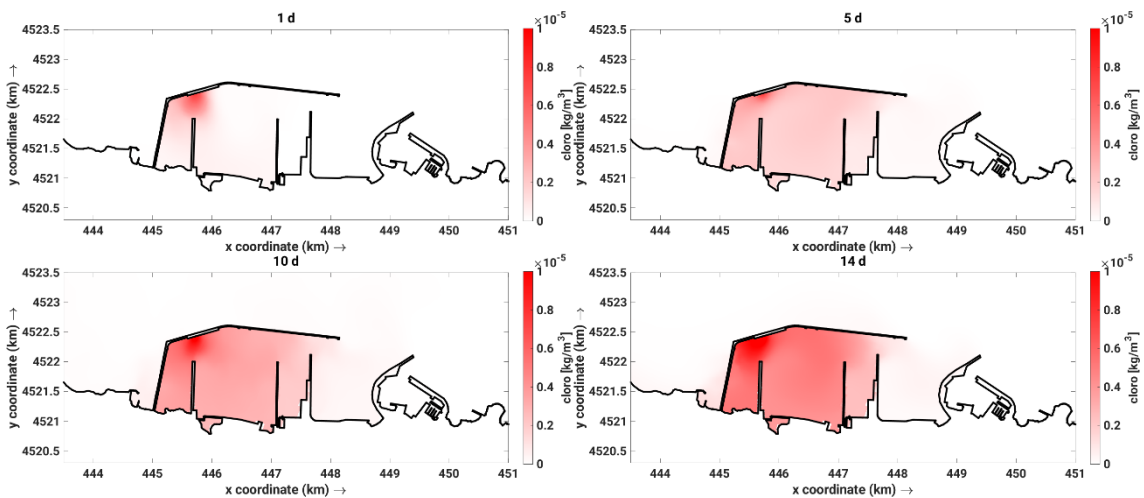


Figura 6.4. Concentrazione di cloro. Scenario D. Strato di fondo.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)		001-ZA-E-85019
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base		Fg. 21 di 30

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

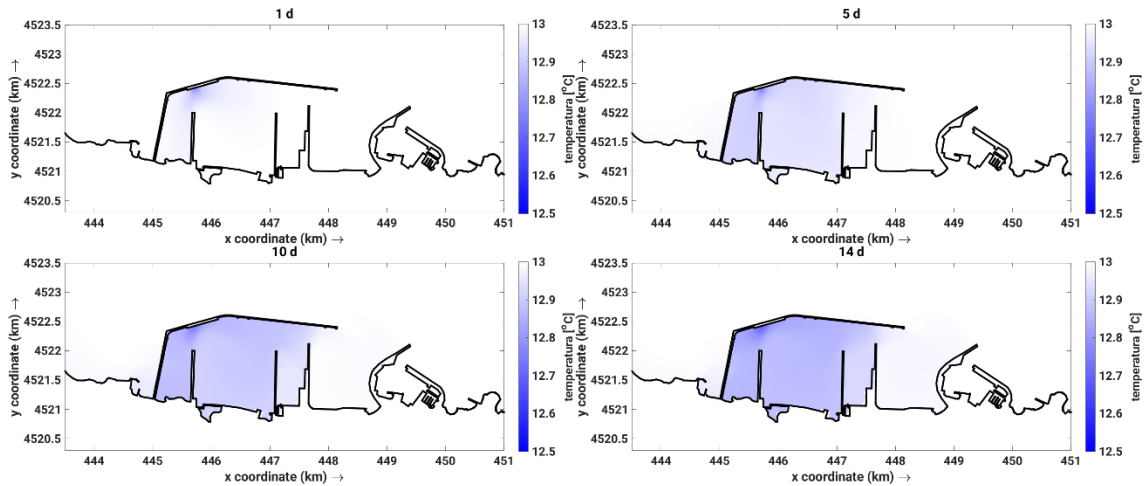


Figura 6.5. Temperatura. Scenario A. Strato di fondo.

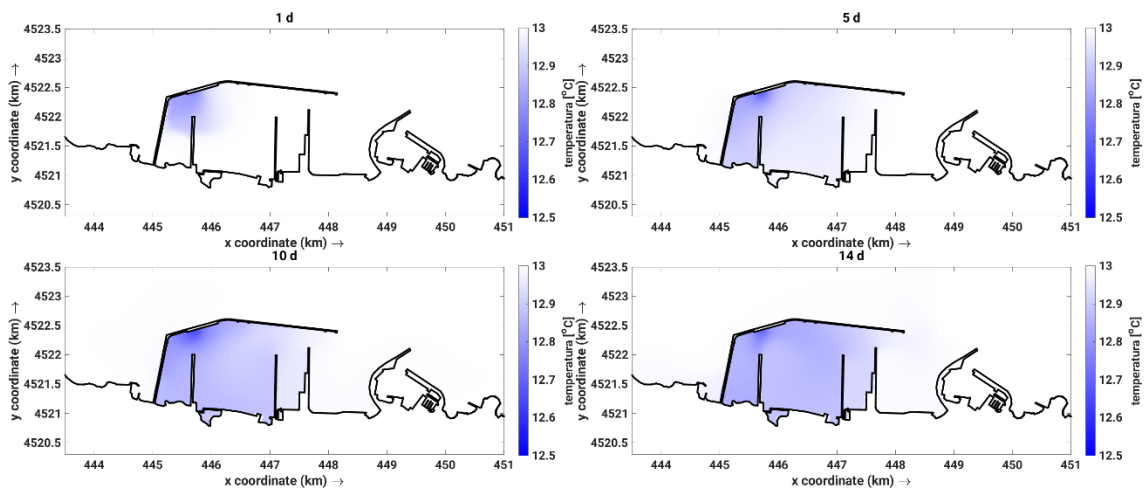


Figura 6.6. Temperatura. Scenario B. Strato di fondo.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 22 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

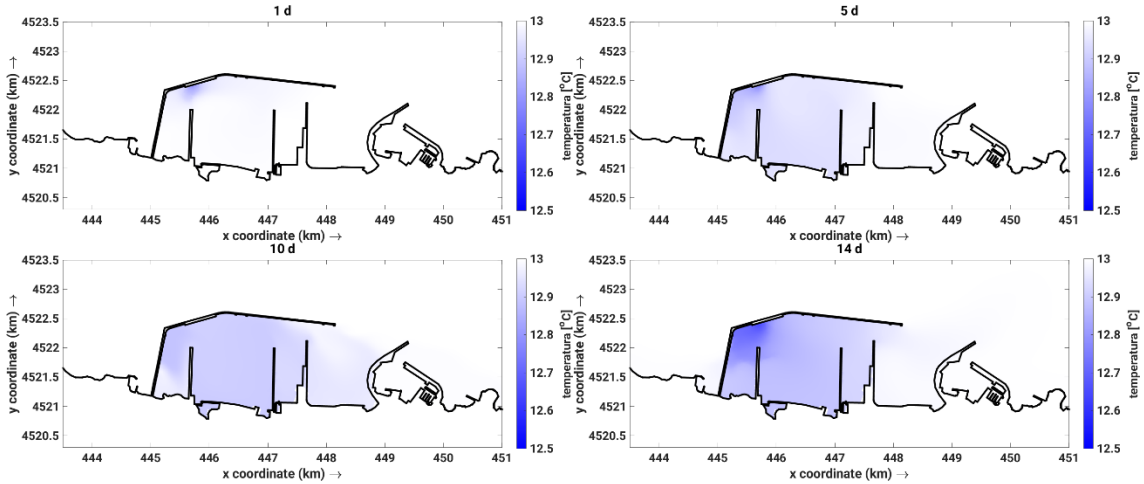


Figura 6.7. Temperatura. Scenario C. Strato di fondo.

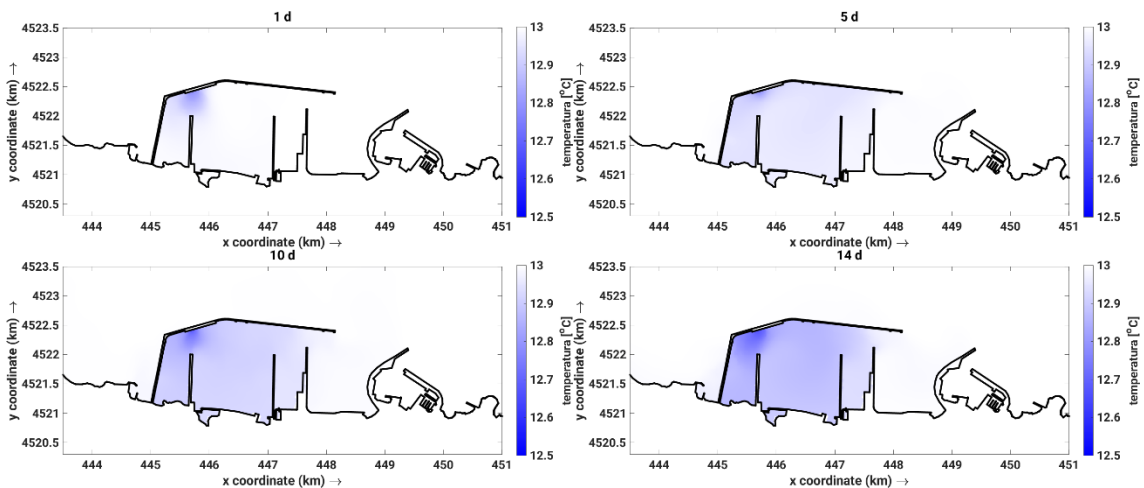


Figura 6.8. Temperatura. Scenario D. Strato di fondo.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 23 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

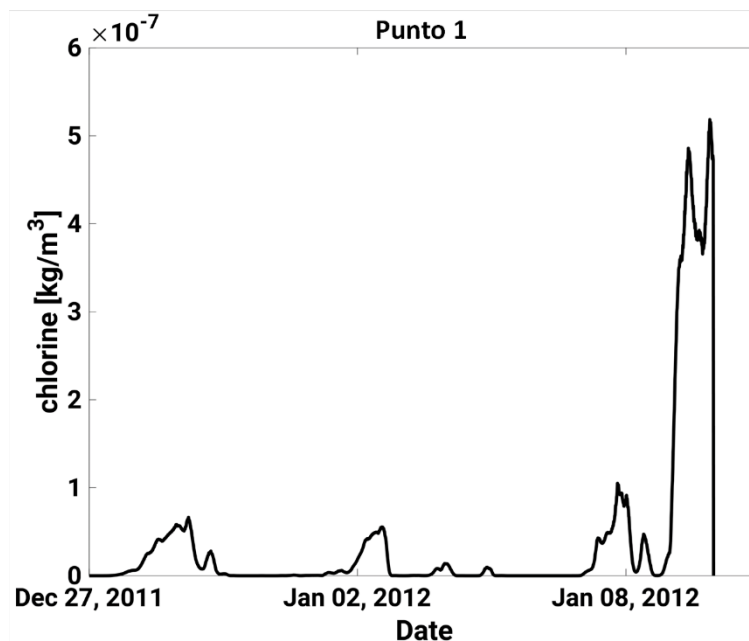


Figura 6.9. Concentrazione di cloro registrata nel punto 1 (Figura 5.3) in corrispondenza dello scenario C.

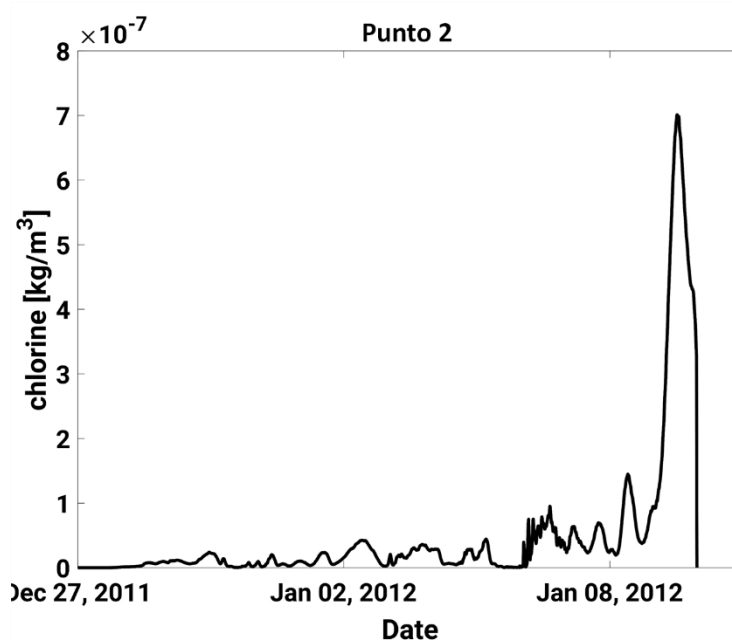


Figura 6.10. Concentrazione di cloro registrata nel punto 2 (Figura 5.3) in corrispondenza dello scenario C.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 24 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio è stato redatto al fine di analizzare la dinamica della dispersione del contenuto termico e chimico delle acque di scarico delle operazioni di rigassificazione previste all'interno dell'area portuale di Porto Torres, in seguito all'entrata in funzione di una unità di FSRU.

Lo studio è stato realizzato tramite l'impiego di un modello numerico ad alta risoluzione in grado di simulare l'evoluzione spazio-temporale della circolazione marina forzata da diverse variabili ambientali, quali vento, onde, gradienti di pressione, escursione mareale. L'implementazione di tale modello ha consentito di analizzare la dinamica della dispersione planimetrica e lungo la direzione verticale di cloro e temperatura conseguente al rilascio di reflui dall'impianto di FSRU, così come definito da configurazione progettuale, in riferimento a quattro diversi scenari climatici, selezionati al fine di rappresentare la variabilità delle condizioni meteomarine che possano verificarsi nella vasta area di Porto Torres.

Le verifiche svolte hanno evidenziato come le concentrazioni di cloro indotte si mantengano sempre su valori estremamente ridotti, alle diverse quote rispetto al fondale al di fuori dell'area portuale (ordine 10^{-7} kg/m³), così come i gradienti termici indotti, non presentando dunque criticità significative per nessuno scenario meteo-marino considerato.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 25 di 30	Rev. 00

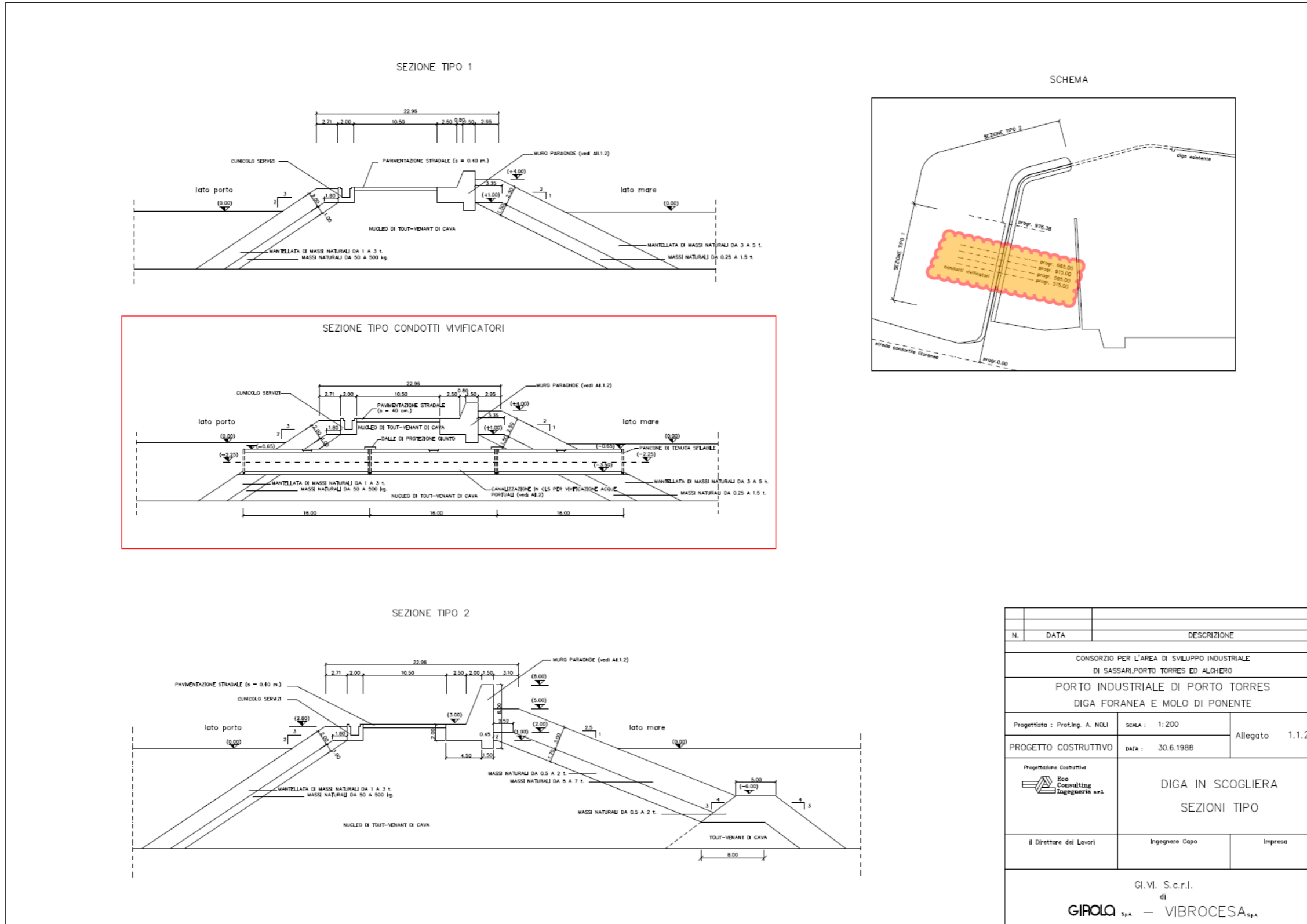
Rif. Saipem: 001-R-R-0006

Allegato A0

Vedi documento [Allegato_0-Canali vivificatori.pdf](#)

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 26 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006



N.	DATA	DESCRIZIONE
CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI SASSARI, PORTO TORRES ED ALGERO		
PORTO INDUSTRIALE DI PORTO TORRES DIGA FORANEA E MOLO DI PONENTE		
Progettista : Prof.ing. A. NOLI	SCALA : 1:200	Allegato 1.1.2
PROGETTO COSTRUTTIVO	DATA : 30.6.1988	
Progettazione Costruttiva  Geo Consulting Ingegneria s.p.a.	DIGA IN SCOGLIERA SEZIONI TIPO	
Il Direttore dei Lavori	Ingegnere Capo	Impresa
GI.VI. S.c.r.l. di GIROLA s.p.a. - VIBROCESA s.p.a.		

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 27 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

Allegati A1-A8

CLIENTE:



PROGETTISTA:



COMMESSA

7200189500

UNITÀ

-

LOCALITÀ:

Porto Torres (SS)

001-ZA-E-85019

PROGETTO:

Terminale di Porto Torres
Ingegneria di Base

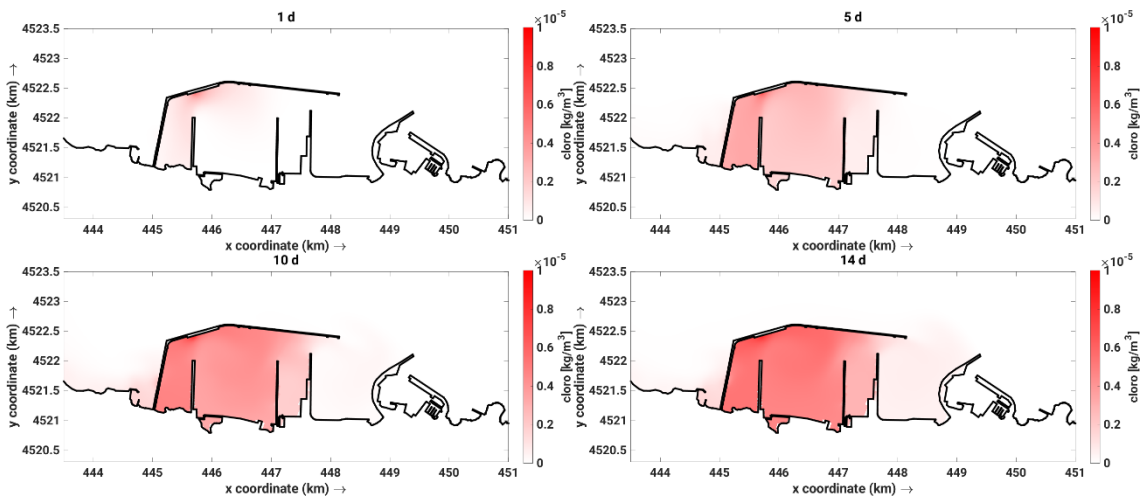
Fg. 28 di 30

Rev.
00

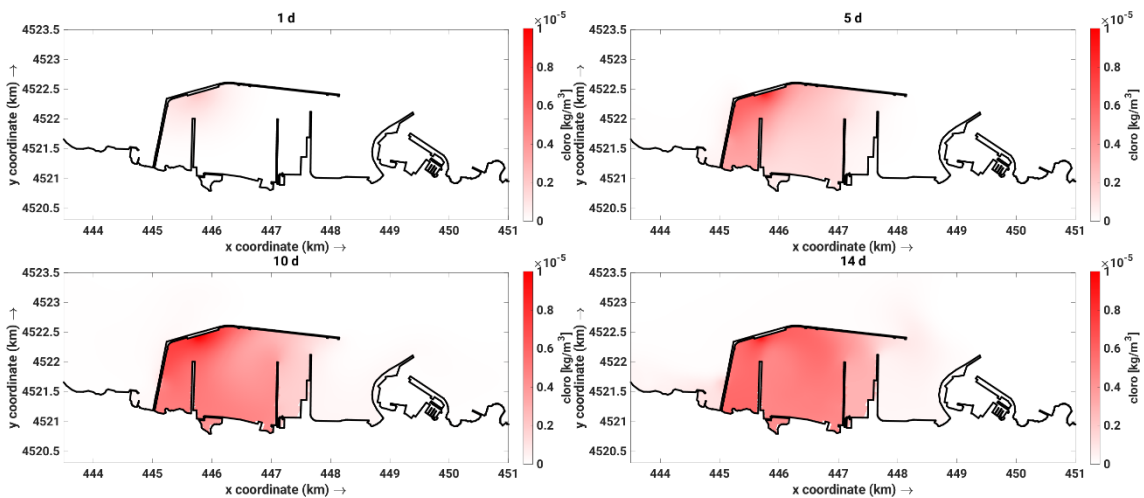
Rif. Saipem: 001-R-R-0006

Concentrazioni di Cloro e Temperatura – Quota superficiale

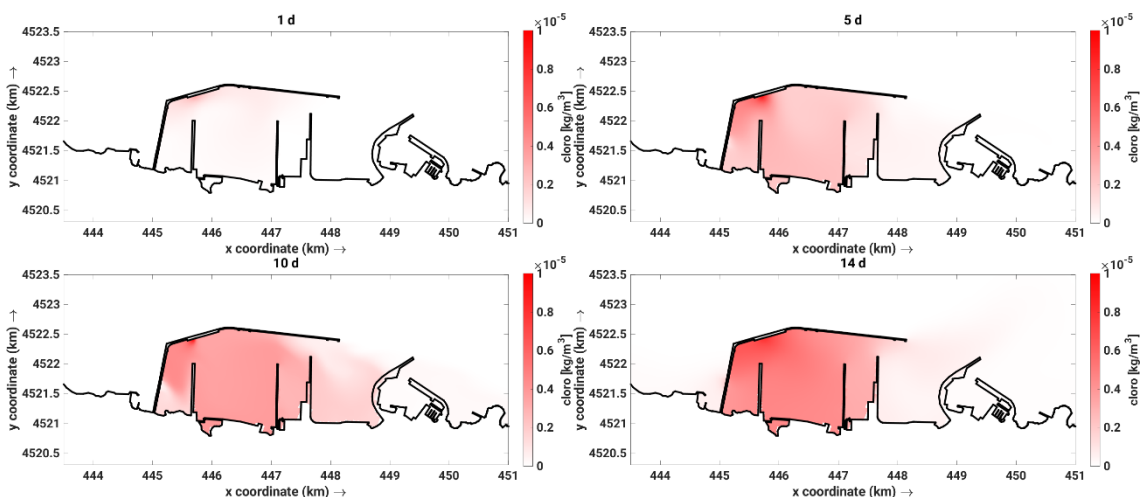
A 1. Concentrazione di cloro. Scenario A. Quota superficiale.



A 2. Concentrazione di cloro. Scenario B. Quota superficiale.



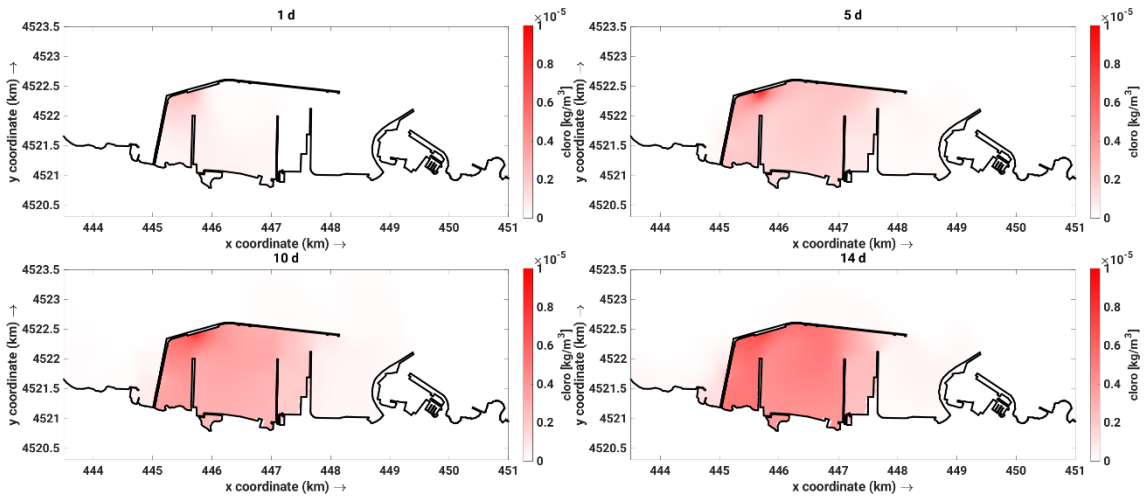
A 3. Concentrazione di cloro. Scenario C. Quota superficiale.



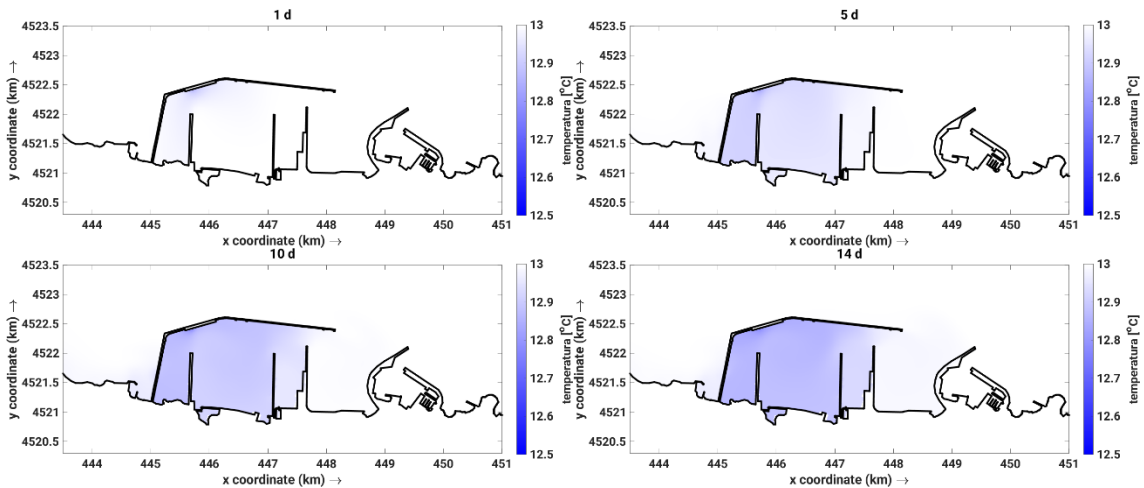
CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)	001-ZA-E-85019	
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 29 di 30	Rev. 00

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

A 4. Concentrazione di cloro. Scenario D. Quota superficiale.



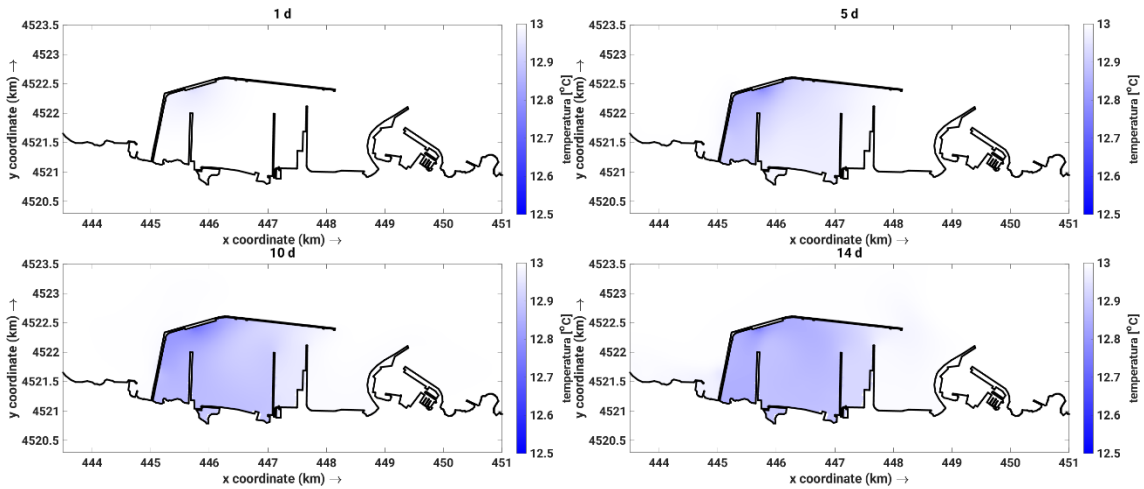
A 5. Temperatura. Scenario A. Quota superficiale.



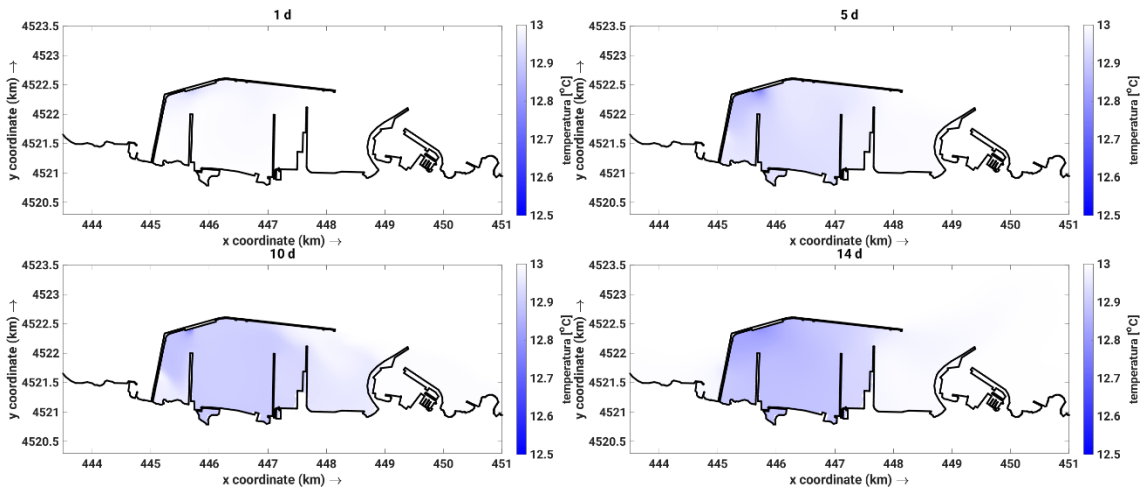
CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 7200189500	UNITÀ -
	LOCALITÀ: Porto Torres (SS)		001-ZA-E-85019
	PROGETTO: Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base		Fg. 30 di 30

Rif. Saipem: 001-R-R-0006

A 6. Temperatura. Scenario B. Quota superficiale.



A 7. Temperatura. Scenario C. Quota superficiale.



A 8. Temperatura. Scenario D. Quota superficiale.

