


EMERGENZA GAS

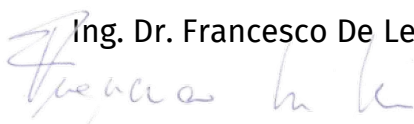
INCREMENTO CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022, n. 50)

FSRU Piombino e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti

**INTEGRAZIONI ALLA RELAZIONE REL-AMB-E-00014 –
STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE
TERMICA/CHIMICA IN FASE DI ESERCIZIO PRESSO IL
TERMINAL PORTUALE DI PIOMBINO (LI)**

Genova, 26 agosto 2022


Prof. Ing. Giovanni Besio


Ing. Dr. Francesco De Leo

Dr. Mohammad Daliri





PREMESSA

Il presente elaborato intende rispondere alle osservazioni sollevate in merito al documento REL-AMB-E-00014 – STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE TERMICA/CHIMICA IN FASE DI ESERCIZIO PRESSO IL TERMINAL PORTUALE DI PIOMBINO (LI), redatto dall'Università degli Studi di Genova in data 20/06/2022 e di seguito abbreviato in "REL-AMB-E-00014".

Nel suddetto documento, si riportavano le informazioni relative allo studio che ha permesso di valutare gli impatti dovuti al rilascio di acqua di mare con diverse caratteristiche, sia in termini di contenuto di cloro che di temperatura, rispetto alle condizioni ambientali in prossimità del porto di Piombino (LI). Tale studio si inserisce nel più ampio progetto di Snam FSRU Italia, controllata al 100% da Snam S.p.A ("Snam"), di un ormeggio di un mezzo navale tipo FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) nel porto di Piombino (c.d. "Progetto FSRU Piombino") e delle connesse infrastrutture per l'allacciamento alla rete di trasporto esistente.

Nel documento che segue, sono ripresi ed approfonditi alcuni passaggi dello studio descritto nel documento REL-AMB-E-00014, al fine di soddisfare le richieste di chiarimenti pervenute dal Comune di Piombino, dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) e dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Le righe sono di seguito numerate per facilitare i rimandi alle risposte alle osservazioni pervenute.

Sommario

1.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.	RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI PERVENUTE.....	4

Glossario

DICCA	D ipartimento di I ngegneria C ivile, C himica e A mbientale dell'Università degli studi di Genova
SNAM	S ocietà NA zionale M etanodotti
ARPAT	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana
FSRU	F loating S torage and R egassification U nit. È una nave in grado di stoccare e rigassificare gas allo stato liquido
ADCP	A coustic D oppler C urrent P rofiler. È uno strumento per la misura puntuale di corrente, trasporto solido e caratteristiche d'onda ancorato sul fondale marino
Drifter	Dispositivo galleggiante, non ancorato al fondo, usato per il rilevamento delle correnti marine
Delft3D	Modello numerico usato per lo studio dell'idrodinamica costiera (https://oss.deltares.nl/web/delft3d)
Hindcast	Ricostruzione di serie storiche di dati meteo-marini tramite opportuni modelli di calcolo
TPXO.3	TOPEX/Poseidon software per il calcolo delle oscillazioni mareali
WHO	W orld H ealth O rganization
Isolinea	Luogo dei punti in cui un elemento geofisico assume valore costante
NCEP	N ational C enter for E nvironmental P rediction
CFSv2	C limate F orecast S ystem
WW3	Wavewatch III – modello numeric per il calcolo dei parametri anemometrici e ondametrici a larga scala



1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I documenti cui si fa riferimento nel prosieguo della seguente relazione sono di seguito elencati:

- REL-AMB-E-00014 – STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE TERMICA/CHIMICA IN FASE DI ESERCIZIO PRESSO IL TERMINAL PORTUALE DI PIOMBINO (LI) a cura del Dipartimento di Ingegneria Civile Chimica e Ambientale dell'Università degli Studi di Genova (DICCA);
- ALLEGATO A – RICHIESTA INTEGRAZIONI DOCUMENTALI SERVIZIO POLITICHE AMBIENTALI. Prot. no. 0310528 del 05/08/2022 a cura della Città di Piombino;
- Prot. no. 0312308 del 08/08/2022 a cura dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- Prot. no. 0312310 del 08/08/2022 a cura di ARPAT.

2. RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI PERVENUTE

Per poter rispondere in modo compiuto alle osservazioni pervenute, si ritiene di dover anzitutto chiarire l'approccio utilizzato per lo studio dei fenomeni di dispersione del cloro e del gradiente termico nell'area di studio (ovvero, in prossimità del porto di Piombino), a seguito delle operazioni di rigassificazione da parte della nave FSRU.

Tale premessa si rende necessaria alla luce di alcuni commenti, riscontrati in particolar modo nell'ALLEGATO A, Prot. no. 0310528 del 05/08/2022 della Città di Piombino, dove si richiede uno "studio correntometrico dettagliato dell'area di costa interessata" (pag. 8).

A tal proposito, giova precisare che la modellazione numerica introdotta nel documento REL-AMB-E-00014 è stata precisamente implementata al fine di caratterizzare le correnti litoranee indotte nell'area di studio dalle forzanti meteo-marine di rilievo, quali maree, vento ed onde. Tale approccio è l'unico che permetta un'analisi areale su lassi temporali estesi: la misura delle correnti tramite apposita strumentazione in situ fornisce infatti informazioni puntuali (è questo, ad esempio, il caso degli Acoustic Doppler Current Profiler o ADCP), al più definite lungo determinate traiettorie (come nel caso dei drifter). Tali misure, pertanto, potrebbero al massimo essere utilizzate come benchmark di riferimento per la validazione di modelli numerici atti a ricostruire le complesse dinamiche che si sviluppano in prossimità della zona costiera, cui si deve invece far riferimento qualora si intendano derivare informazioni esaustive nel tempo e nello spazio.

La scelta del modello numerico è ricaduta su Delft3D, introdotto nel capitolo 3 del documento REL-AMB-E-00014, il quale rappresenta indubbiamente il modello più diffuso all'interno della comunità scientifica internazionale; vedasi a titolo di esempio alcuni riferimenti nella lista no. 1 (lungi dall'essere esaustiva) riportata in coda al testo. Essendo costantemente mantenuto e sviluppato, il modello numerico Delft3D rappresenta uno strumento solido e attendibile per il calcolo dell'idrodinamica costiera, ed in conseguenza della dispersione indotta nei confronti della concentrazione di cloro e del gradiente termico in uscita dall'impianto a servizio della FSRU.

Un commento a parte meritano i dati utilizzati per forzare il modello: se, come affermato in precedenza, questi rappresenta uno strumento di assoluta affidabilità, deve essere accoppiato con dati altrettanto validi al fine di calcolare correttamente le correnti litoranee. Questi dati altro non sono che le forzanti ambientali in grado di generare correnti a scala locale, ovvero venti, onde, maree. Nel caso delle maree, le serie temporali di riferimento sono state estratte tramite il software di previsione di marea TPXO.3¹, largamente utilizzato nella comunità scientifica e dunque opportunamente testato (si osservi che le maree sono un segnale deterministico e dunque relativamente facile da calcolare). Per quanto attiene ai dati di vento ed onda, sono stati invece utilizzate le serie temporali ricostruite dal DICCA, (il

¹ Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic technology*, 19(2), 183-204.

cosiddetto Hindcast, vedasi il capitolo 2 della relazione REL-AMB-E-00014). Queste sono stati ricostruite su tutto il Mar Mediterraneo tramite il modello numerico Wavewatch III² (WW3) a partire dai dati meteorologici forniti dal NCEP Climate Forecast System Reanalysis, CFSR per il periodo 1979-2010, e dal CFSv2 a partire dal 2011. Per i dettagli si rimanda alle pubblicazioni scientifiche di riferimento^{3,4}. Anche questi dati sono stati opportunamente validati con misure strumentali attendibili (quali boe e satelliti), e sono attualmente utilizzati per una pletera di applicazioni sia nel campo della ricerca scientifica, come mostrato nella lista no. 2 in coda al presente documento, che per attività peritali e consultive nell'ambito dell'ingegneria marittima e costiera. I dati sono forniti a intervalli orari su un esteso intervallo di tempo (i.e., 1979-2020), e rappresentano pertanto la miglior fonte possibile per la definizione dei parametri meteo-marini in prossimità dell'area di studio.

In sintesi, non sussiste motivo alcuno di ritenere che il modello ed i dati utilizzati non rappresentino strumenti ottimali per il calcolo delle correnti litoranee a scala di dettaglio nell'area portuale di Piombino e nelle zone ad essa attigue. Infatti, seppur i dati Hindcast presentano una bassa risoluzione spaziale per lo studio correntometrico di dettaglio, essendo definiti su punti posti a distanza di circa 10 km l'uno dall'altro sia in longitudine che in latitudine (il che probabilmente ha indotto l'equivoco su analisi di carattere "generale") il ricorso all'utilizzo di Delft3D ha consentito di trasferire informazioni dai bordi della maglia computazionale del modello (le cosiddette condizioni al contorno) sino ai siti di interesse per lo studio, risolvendo le equazioni che regolano l'idrodinamica costiera su ciascuna cella della maglia computazionale implementata in funzione delle caratteristiche meteo-marine selezionate (vedi sotto). In particolare, in prossimità del punto di prelievo di acqua destinato all'allevamento ittico di Agroittica Toscana, la risoluzione spaziale, ovvero la distanza tra le celle della maglia di calcolo nelle quali sono calcolate le correnti indotte è pari a ≈25 metri (≈250 metri al largo dell'area di studio; ≈5 metri in prossimità della FSRU). Il crescente grado di dettaglio dal largo verso riva è utilizzato al fine di ridurre i tempi computazionali necessari al calcolo delle correnti, riducendo la risoluzione spaziale laddove gli effetti batimetrici siano irrilevanti (ovvero, al largo della costa dove vi sono elevate profondità) ed incrementandola in prossimità della costa e del rilascio di cloro e gradiente di temperatura, laddove la maglia di calcolo permette analisi di dettaglio. Maggiori dettagli sul funzionamento di Delft3D e sull'implementazione della maglia computazionale possono essere reperiti nel capitolo 3 della relazione REL-AMB-E-00014

Si ritiene a questo punto di dover fornire ulteriori chiarimenti in merito alla selezione degli scenari meteo-marini di riferimento utilizzati per lo studio dell'idrodinamica costiera. Attraverso un'analisi statistica dedicata del periodo 1979-2020, condotta tramite tecniche di

² Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14. Technical note, *MMAB Contribution*, 276(220).

³ Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2015). Performance evaluation of Wavewatch III in the Mediterranean Sea. *Ocean Modelling*, 90, 82-94.

⁴ 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.

“data mining” tra le più avanzate, come testimoniato dalla recente bibliografia scientifica al riguardo⁵⁶, gli scenari meteo-marini caratterizzanti l’area di progetto sono stati ricondotti ad un numero limitato di scenari-tipo in grado di rappresentare il clima locale. L’estensione temporale degli scenari-tipo ad una settimana consente di: 1) assicurare il pieno sviluppo degli stati di mare e vento considerati; 2) descrivere compiutamente la dinamica costiera generata, la quale decorre per l’appunto su scale temporali di qualche giorno.

La scelta di avvalersi di un sotto-insieme di stati ai fini della modellazione idrodinamica è motivata dai tempi computazionali richiesti per risolvere, tramite il modello Delft3D, l’idrodinamica costiera nell’area di studio, elemento quest’ultimo legato a molteplici fattori (sia ambientali che legati alla morfologia del dominio studiato) e per questo non parametrizzabile tramite semplici modelli deterministici. A titolo di esempio, si consideri che la modellazione di una settimana sulla maglia computazionale implementata (che consta di 73571 celle; cfr. Figura 8 e Figura 9 del documento REL-AMB-E-00014) impiega 60 ore su una macchina a 12 processori del tipo Intel (R) Xeon (R) CPU E5-2650 v4 @ 2.20 GHz. Ne consegue dunque che una modellazione diretta di tre anni di dati meteo-marini non sia realistica. Ad ogni modo, gli stati così selezionati, dettagliati nel paragrafo 2 della relazione REL-AMB-E-00014, coprono una vasta gamma di condizioni meteo-marine, sia per quanto attiene alle direzioni di propagazione di vento ed onda, che per l’intensità delle mareggiate possibilmente sviluppate lungo le settimane selezionate. Tali condizioni coprono in modo esaustivo la variabilità climatica dell’area, e sono pertanto state assunte a riferimento per lo sviluppo dello studio che ha prodotto i risultati di seguito riportati. In sintesi, si riassume di seguito la procedura per il calcolo delle correnti litoranee indotte in prossimità della costa di Piombino:

1. Implementazione di una maglia di calcolo su tutta l’area costiera, così come mostrato in Figura 8 nella relazione REL-AMB-E-00014;
2. Selezione di scenari meteo-marini di durata settimanale significativi per l’area in esame in corrispondenza dei bordi della maglia, a partire dai dati Hindcast forniti dal DICCA;
3. Utilizzo di Delft3D per la propagazione di suddetti scenari, al fine di propagare i dati meteo-marini e mareali dai bordi del dominio sotto costa;
4. Calcolo delle correnti indotte sotto costa tramite Delft3D per tre diverse configurazioni progettuali (vedi Figura 8 nella relazione REL-AMB-E-00014), ovvero: 1 → scarico della FSRU al di fuori dell’area portuale, in prossimità della presa a servizio degli allevamenti di Agroittica Toscana; 2 → scarico della FSRU all’interno dell’area portuale; 3 → scarico della FSRU subito al di fuori dell’area portuale (vedasi elaborati Allegati A4 e A5 in allegato).
5. Calcolo della dispersione di cloro e gradiente termico su tutto il dominio di calcolo, ipotizzando le seguenti caratteristiche per l’acqua rilasciata dalla

⁵ 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.

⁶ Bárcena, J. F., Camus, P., García, A., & Álvarez, C. (2015). Selecting model scenarios of real hydrodynamic forcings on mesotidal and macrotidal estuaries influenced by river discharges using K-means clustering. *Environmental Modelling & Software*, 68, 70-82.

FSRU: ΔT pari a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla temperatura ambiente del mare, posta a $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ in favor di sicurezza; contenuto di cloro pari a $2 \times 10^{-4}\text{ kg/m}^3$.

Al fine di soddisfare le richieste di cui ai sottopunti 1, 2 e 3, del punto 9 dell'ALLEGATO A, Prot. no. 0310528 del 05/08/2022 della Città di Piombino, i risultati completi delle simulazioni in termini di correnti litoranee, concentrazione di cloro e gradiente termico indotto sono forniti su apposito formato informatico.

È bene ribadire che il calcolo su dispersione del cloro e del gradiente termico di temperatura è stato svolto a crescente grado di dettaglio per tutta l'area prossima al punto di ormeggio della nave FSRU, ivi compreso l'imbocco degli impianti di itticultura (cfr. Figura sottostante).

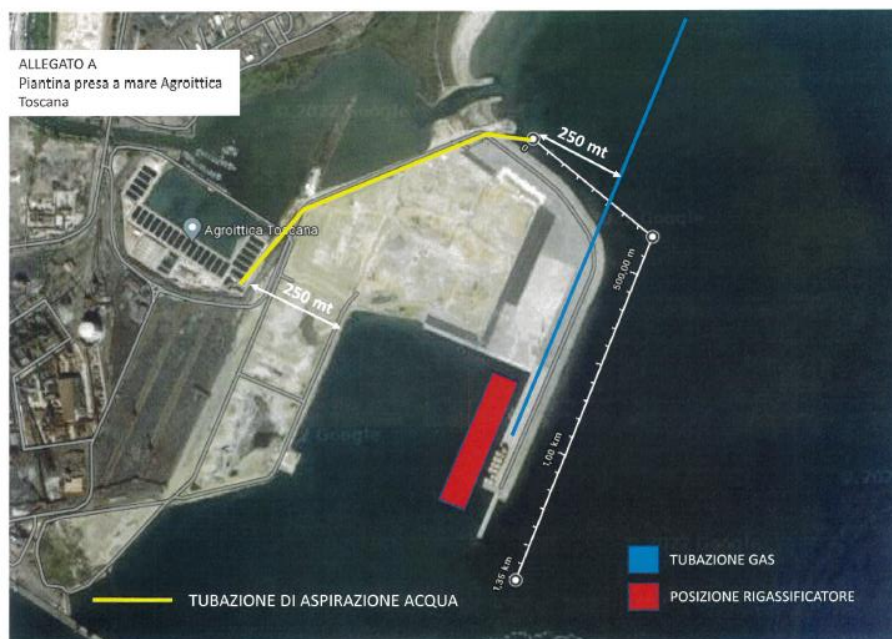


Figura 1. Planimetria del porto di Piombino. Nell'immagine si vede in rosso la FSRU, in giallo la tubazione a servizio degli impianti di Agroittica Toscana.

La contiguità di suddetti impianti con il vicino scarico della FSRU richiede particolare attenzione: a tal proposito, i risultati relativi a concentrazione di cloro e gradiente termico per gli scenari meteomarinari di riferimento sono stati estratti in corrispondenza dell'area critica (coordinate LON/LAT del punto selezionato: 10.5605/42.9464; SR: WGS84) per tutte e tre le configurazioni progettuali testate; i profili di questi due parametri sono di seguito mostrati in Figura 2 e Figura 4 per quanto attiene alla configurazione progettuale prescelta (ovvero la numero 2; vedasi allegati A4 e A5; i documenti adempiono alla richiesta 9, pagina 6 del Prot. no. 0312310 del 08/08/2022 a cura di ARPAT), mentre i risultati per tutte e tre le configurazioni progettuali testate (cfr. capitolo 4 del documento REL-AMB-E-00014) sono mostrate negli Allegati A1 e A2.

Dall'analisi delle concentrazioni di cloro, si osserva come la situazione più critica si verifica in corrispondenza dello scenario 040 (per i dettagli su analisi climatologica e selezione degli scenari si rimanda al Capitolo 2 del documento REL-AMB-E-00014).

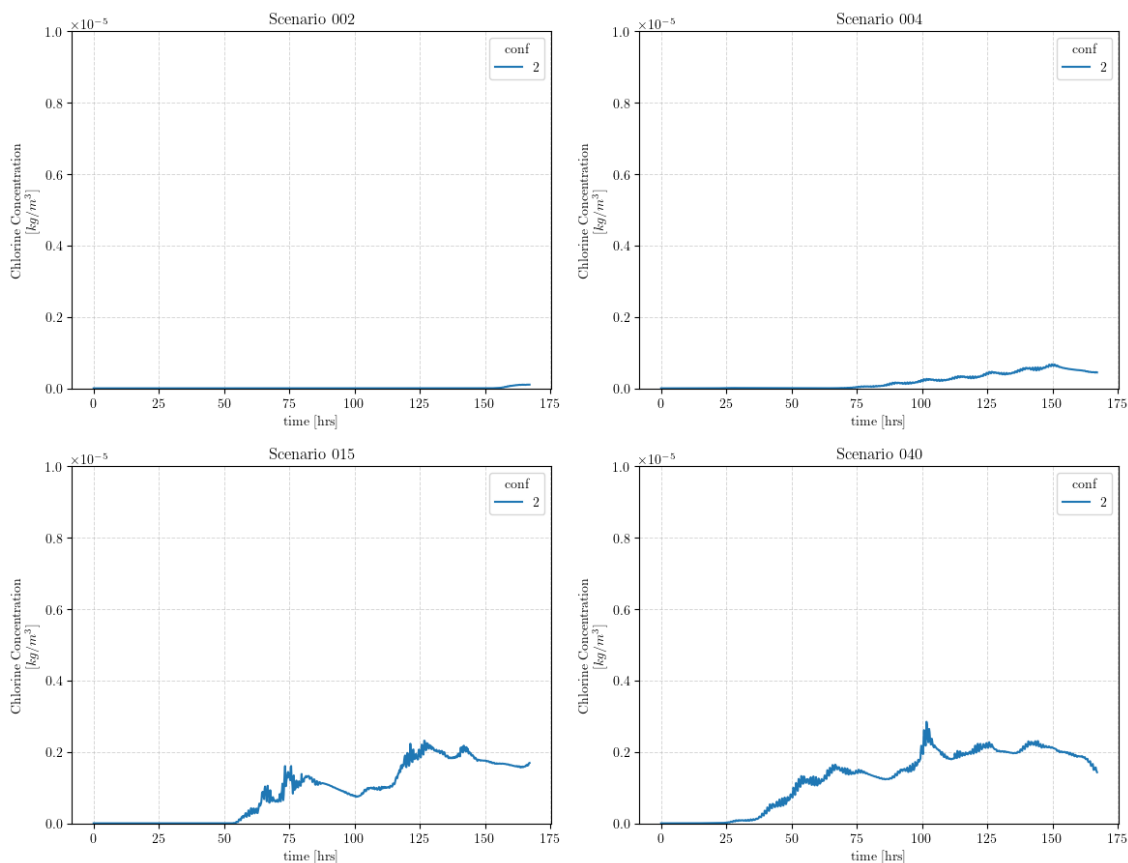


Figura 2. Concentrazioni di cloro (strato superficiale) in prossimità degli allevamenti di Agroittica Toscana per gli scenari meteomarinari selezionati ed assegnate configurazione progettuale (no. 2; vedi cap. 4 relazione DICCA ed allegati A4 e A5). Lo scenario di riferimento è riportato in testa a ciascun pannello (per la numerazione si fa riferimento al documento REL-AMB-E-00014; notazione analoga nelle figure successive).

Nel corso della settimana di riferimento, si rileva un picco nella concentrazione di cloro in prossimità delle 100 ore pari a $0,3 \times 10^{-5}$ kg/m³; o, equivalentemente, 0,003 mg/l. Tale valore risulta essere abbondantemente al di sotto del valore soglia imposto per legge in All. 5, P. Terza, D.L. n. 152 del 03.04.06, pari a 0,2 mg/l. Peraltro, successivamente al picco, il valore della concentrazione di ipoclorito diminuisce significativamente a causa della variabilità delle condizioni meteomarine impiegate per la simulazione numerica: tali variazioni nel tempo inducono infatti fluttuazioni sia per quanto riguarda l'intensità che la direzione al regime di correnti litoranee responsabili della convezione e dispersione del soluto. In ogni modo, un continuo monitoraggio delle qualità chimiche e termiche delle acque, da integrarsi secondo quanto richiesto nella Richiesta di Integrazione prot. no. 0312308 del 08/08/2022 (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale; punto f a pagina 3), e nella Richiesta di



Integrazione prot. no. 0312310 del 08/08/2022 (ARPAT; richiesta 12 a pagina 12), consente di verificare e garantire i modelli di dispersione previsti.

Volendo analizzare la distribuzione spaziale della concentrazione di ipoclorito all'interno dello scalo portuale, è possibile osservare come avvicinandosi allo scarico della nave si riscontrano ovviamente valori maggiori della concentrazione di cloro; tali valori risultano comunque ben lontani dal valore soglia di 0,2 mg/l (i.e., 2×10^{-4} kg/m³), come riportato in Figura 3. Nella Figura sono riportate le isolinee della concentrazione di ipoclorito, ovvero il luogo dei punti in cui il cloro assume lo stesso valore di concentrazione. In particolare, le curve rosse si riferiscono a una concentrazione di 0,03 mg/l mentre quelle blu si riferiscono ad una concentrazione di 0,01 mg/l, ovvero, in entrambi in casi, un ordine di grandezza in meno rispetto al valore di immissione da parte della FSRU. I risultati riportati in Figura si riferiscono agli istanti terminali della simulazione (una settimana), ovvero quegli istanti in cui i processi di dispersione/diffusione si sono completamente sviluppati e stabilizzati nella transizione dal campo vicino (in prossimità dello scarico FSRU) al campo lontano (ovvero a grande distanza dal punto di immissione). I risultati ottenuti mostrano come il processo di dispersione provochi un significativo abbattimento del soluto in una area compresa all'interno dell'imboccatura portuale, e che l'eventuale uscita di concentrazione di ipoclorito presenta valori prossimi allo zero al di fuori della rada portuale, come anche dimostrato dai risultati ottenuti tramite sonde virtuali poste in prossimità dell'opera di adduzione acque degli impianti di itticultura e presentati in precedenza (Figura 2). È da sottolineare inoltre come, già a distanze molto prossime dello scarico della FSRU, il valore di ipoclorito venga abbattuto di un ordine di grandezza (isolinea rossa); si tenga sempre a mente che le simulazioni sono realizzate nelle condizioni di rilascio più conservative (concentrazione massima di ipoclorito rilasciata in continuo; quantità massima corrispondente al limite ammesso per legge, pari a 0,2 mg/l, ossia 2×10^{-4} kg/m³). Si può pertanto ragionevolmente ritenere che la qualità chimica del corpo idrico marino costiero non sia influenzata dalla presenza della FSRU nel porto (riferimento nota dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, Prot. no. 0312308 del 08/08/2022, pagina 3, punto a). Per quanto attiene alla richiesta (e) dello stesso documento dell'Autorità di Bacino (pagina 3), le simulazioni prodotte hanno evidenziato come il bacino portuale sia un sistema aperto con i suoi cicli naturali di ricambio idrico che prevengono fenomeni di ristagno.

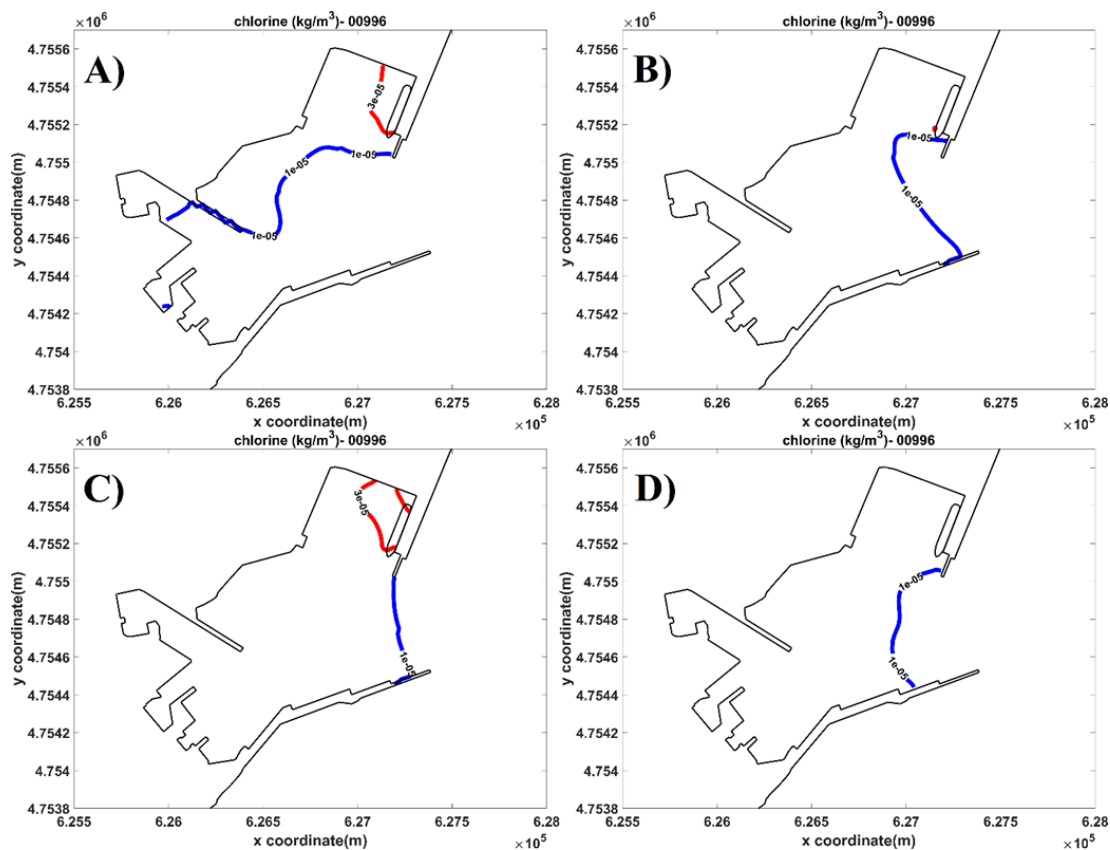


Figura 3. Isolinee di concentrazione di cloro all'interno del porto di Piombino (configurazione progettuale 2) alla fine delle settimane considerate per le simulazioni. Pannello A): scenario 002; pannello B): scenario 004; pannello C): scenario 015; pannello D): scenario 040.

Considerazioni del tutto analoghe alle precedenti possono essere spese in capo ai valori che si ottengono in seguito alle simulazioni della dispersione della temperatura. Come fatto per quanto riguarda la concentrazione di ipoclorito, si riportano prima i risultati ottenuti in prossimità della presa d'acqua degli impianti di itticoltura tramite sonde virtuali all'interno del modello numerico; quindi, in seguito vengono riportate le mappe spaziali della distribuzione della temperatura tramite la rappresentazione di isoterme (vedi Figura 5). Il maggior decadimento in prossimità della presa a servizio di Agroittica Toscana risulta essere pari a circa 0.1 °C per la configurazione progettuale prescelta (sempre in seguito alle condizioni dello scenario meteo-marino 040), ben al di sotto dei gradienti termici legati alla naturale stratificazione delle acque dovuta al termoclino, che possono arrivare sino a ≈5°C.

Gradienti termici così ridotti rispetto alle condizioni ambientali sono senz'altro da imputarsi allo scarico puntuale della nave FSRU (interno del porto; cfr. Figura 8 del documento REL-AMB-E-00014 e Figura 1 nella presente relazione), ed al fatto che questo è posto a debita distanza dalla presa a servizio degli allevamenti ittici (i.e., ≈1,3 km). Infatti, un eventuale scarico a ridosso della zona di presa implicherebbe un gradiente termico più marcato, così come ampiamente documentato nella relazione REL-AMB-E-00014 e visibile dal profilo relativo alla configurazione progettuale 1, riportato nel materiale integrativo in coda al testo (Figure A1 e

A2). Per tale motivo si è scelto di scartare tale ipotesi progettuale (la no. 1; cfr. cap. 4 relazione DICCA) che prevede lo scarico in prossimità del punto di presa a mare degli allevamenti ittici, a favore dell'ipotesi progettuale che prevede lo scarico nell'area interna al porto. Tale considerazione permette di rispondere al punto d), pagina 3 della Richiesta di Integrazione Prot. no. 0312308 del 08/08/2022, nota dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

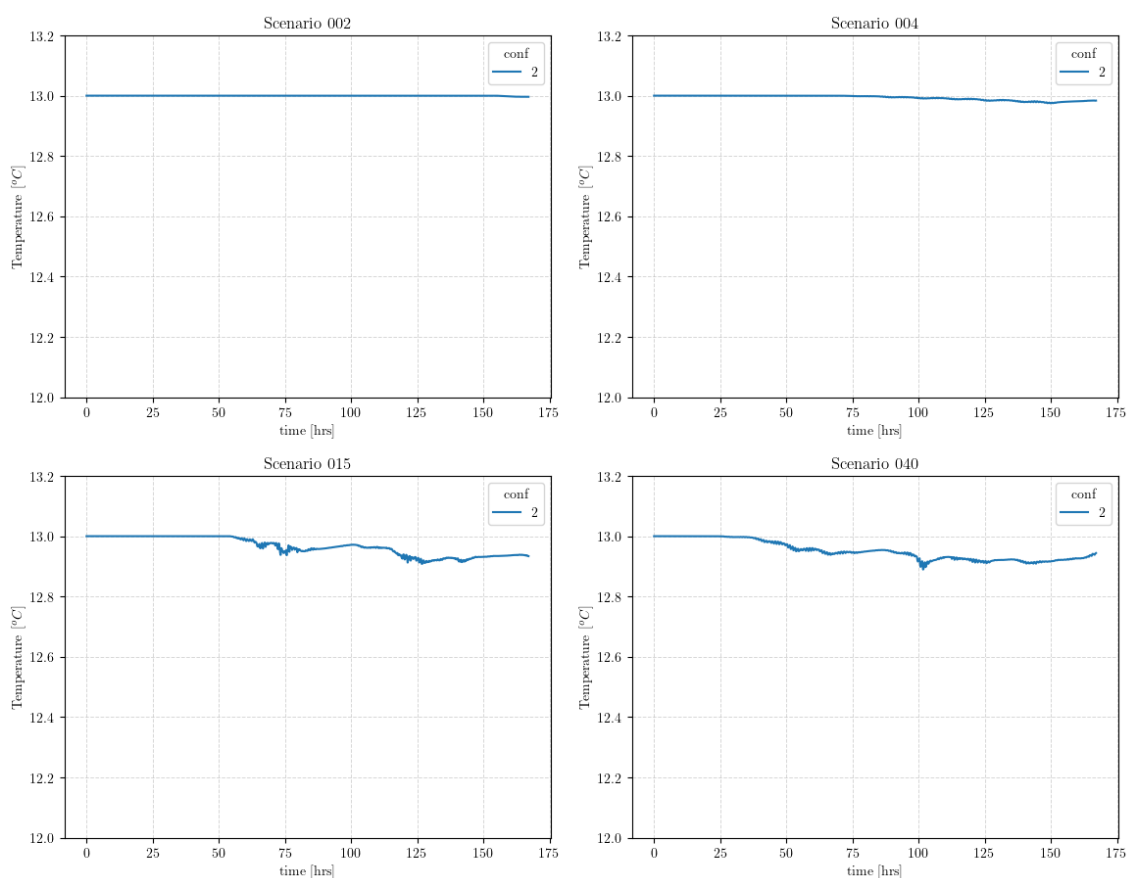


Figura 4. Temperatura dell'acqua (strato superficiale) in prossimità degli allevamenti di Agroittica Toscana per gli scenari meteomarinari selezionati ed assegnata configurazione progettuale (no. 2).

Analizzando la distribuzione spaziale del gradiente termico, è possibile osservare dai risultati riportati in Figura 5 come anche nel caso della temperatura ci sia una rapida dispersione e i gradienti siano assolutamente contenuti in una area molto limitata, che varia a seconda delle condizioni meteo-marine considerate. Nell'immagine sono riportate due linee isoterme relative alla temperatura di 12°C con la linea blu (quindi $\Delta T=1^\circ\text{C}$) e alla temperatura di 12,5°C con la linea rossa (quindi $\Delta T=0,5^\circ\text{C}$); si noti che tali differenze di temperature sono estremamente contenute. L'analisi spaziale mostra come la variabilità a seconda delle

condizioni meteomarine sia compresa tra una transizione rapida e circoscritta dalla temperatura di rilascio alla temperatura “ambiente” delle acque marine per lo scenario 002 (estensione limitata alla darsena di ormeggio per un gradiente di circa un grado, quindi raggiungimento al massimo di una distanza di circa 400 m dal punto di conferimento dell’acqua di processo), e una maggiore dispersione del gradiente termico che comunque rimane compreso all’interno del grado e mezzo di differenza all’interno di tutta l’area portuale. Nuovamente, come nel caso della dispersione dell’ipoclorito, è evidente come anche la parziale fuoriuscita dello scalare temperatura non comporti una criticità all’esterno del porto in quanto il valore raggiunto all’imboccatura portuale risulta essere contenuto entro una variazione limitata ($\Delta T=0,5^{\circ}\text{C}$).

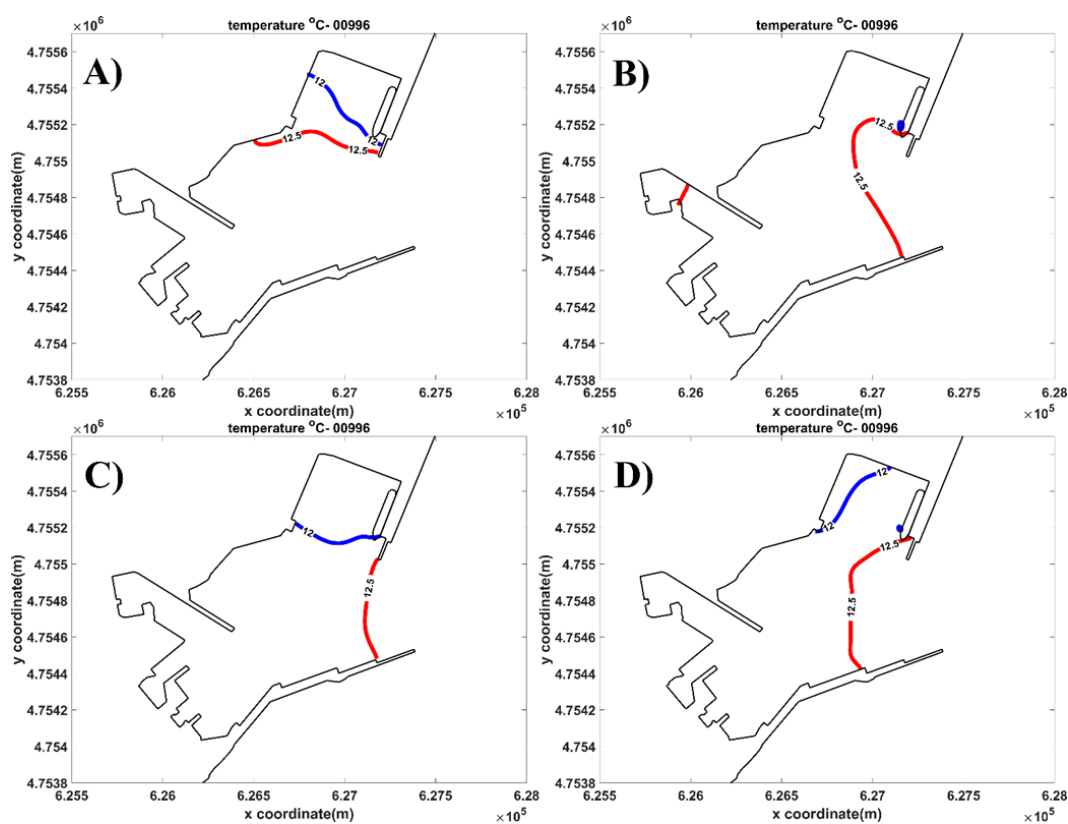


Figura 5. Isoleee di temperatura all’interno del porto di Piombino (configurazione progettuale 2) alla fine delle settimane considerate per le simulazioni. Pannello A): scenario 002; pannello B): scenario 004; pannello C): scenario 015; pannello D): scenario 040.

In virtù dei risultati poc’anzi mostrati, si ritiene che le differenze di temperatura che si instaurano gradualmente sulla superficie del mare non rappresentino cosiddetti “cold-spot”, ovvero non siano in grado di innescare fenomeni atmosferici significativi di correnti discendenti a causa della limitata estensione della zona più fredda della superficie del mare (si veda la distanza delle isolee dalla FSRU in Figura 5) e del gradiente spaziale estremamente limitato (comunque compreso nelle condizioni peggiori entro 1°C) (vedi

osservazione no. 8, Richiesta di Integrazione prot. no. 0312310 del 08/08/2022 da parte di ARPAT).

Le analisi precedentemente introdotte nel report sulla modellazione del DICCA, e qui riprese, riportano gli effetti che le correnti locali, generate da vento, onde ed escursioni mareali hanno sulla dispersione di cloro e gradiente termico lungo la costa di Piombino. Gli ordini di grandezza delle variabili in gioco, mostrati in Figura 1, Figura 2 e Figura 3 permettono di ribadire, con adeguato margine di certezza, come non si rilevino criticità significative da un punto di vista ambientale per l'area in esame, e come l'effetto cumulato sul periodo di vita utile della struttura non comprometta la qualità chimica dell'acqua né, in particolar modo, condizioni le attività di piscicoltura; questa tesi è ulteriormente corroborata in virtù di quanto segue.

Anzitutto, le condizioni più gravose in termini di diffusione di cloro e gradiente termico in prossimità della presa a mare degli impianti di Agroittica Toscana si verificano in corrispondenza degli scenari meteo-marini no. 015 e no. 040 (cfr. Figura 2 e Figura 4), il primo dovutamente alle direzioni delle correnti indotte; il secondo, associato a condizioni d'onda e vento più energetiche che accelerano la dispersione dei contaminanti al di fuori dell'area portuale. Tali condizioni non sono tuttavia predominanti: da un'analisi delle settimane climatiche lungo i 40 anni dei dati Hindcast in corrispondenza delle condizioni al contorno del modello, si evince infatti come prevalgano gli stati di mare "calmo", i.e., le finestre climatologiche di una settimana sono molto spesso associabili allo scenario 004 (cfr. Figura 5 della relazione DICCA); più infrequentemente agli stati di mare "mosso" (scenari 015 e 040; cfr. Figure 6 e 7 della relazione DICCA). Si veda a tal proposito la Figura 6 sottostante, che mostra la frequenza con cui le settimane susseguitesi dal 1979 al 2020 possono essere associate a ciascuno dei quattro scenari-tipo.

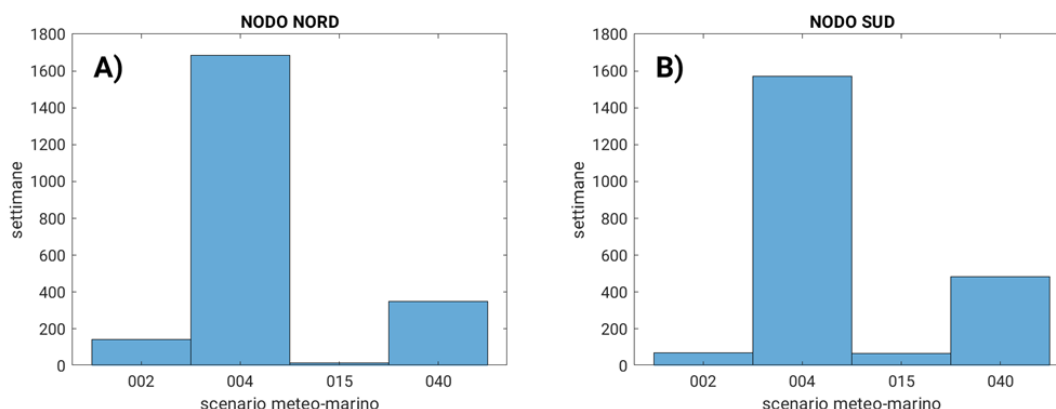


Figura 6. Analisi di frequenza degli scenari meteo-marini settimanali considerati in corrispondenza del nodo Nord (pannello A; punto 001033) e del nodo a Sud (pannello B; punto 001291) del dominio computazionale (per la numerazione dei punti Hindcast vedasi la relazione REL-AMB-E-00014 ed il sito <http://www3.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html>).



In secondo luogo, lo studio dell'atlante delle correnti a scala di bacino (ossia quelle correnti macroscopiche indotte, ad esempio, da gradienti salini variabili tra i diversi sotto-bacini del Mar Mediterraneo, dalla rotazione della terra etc.) prodotto dall'Istituto Idrografico della Marina e allegato al presente documento (A3), evidenzia come la direzione preferenziale delle macro-correnti sopra menzionate sia S-N, il che favorisce ulteriormente la dispersione di cloro e gradiente termico lontano dalla zona di itticultura a valle del porto.

Infine, in riferimento alla richiesta b), pagina 3 della Richiesta di Integrazione prot. no. 0312308 del 08/08/2022 a cura dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, relativa al contributo che il flusso in uscita dalla nave FSRU avrebbe in termini di risospensione di sedimenti, si riportano in Figura 7 i risultati delle simulazioni morfodinamiche per gli scenari meteomarini considerati al termine delle rispettive settimane di simulazione. Le analisi morfodinamiche permettono di stimare la movimentazione di sedimenti dal fondale innescata dalle correnti prevalentemente generate dalla propagazione del moto ondoso. Le simulazioni sono state condotte ipotizzando un diametro mediano dei sedimenti tipico della sabbia fine (ovvero 0,07 mm; cfr. Tab 4 della relazione DICCA), operando dunque in favor di sicurezza. Com'è noto, le frazioni di sabbia fine sono infatti più mobili, è dunque lecito attendersi variazioni batimetriche al fondo più contenute nella realtà.

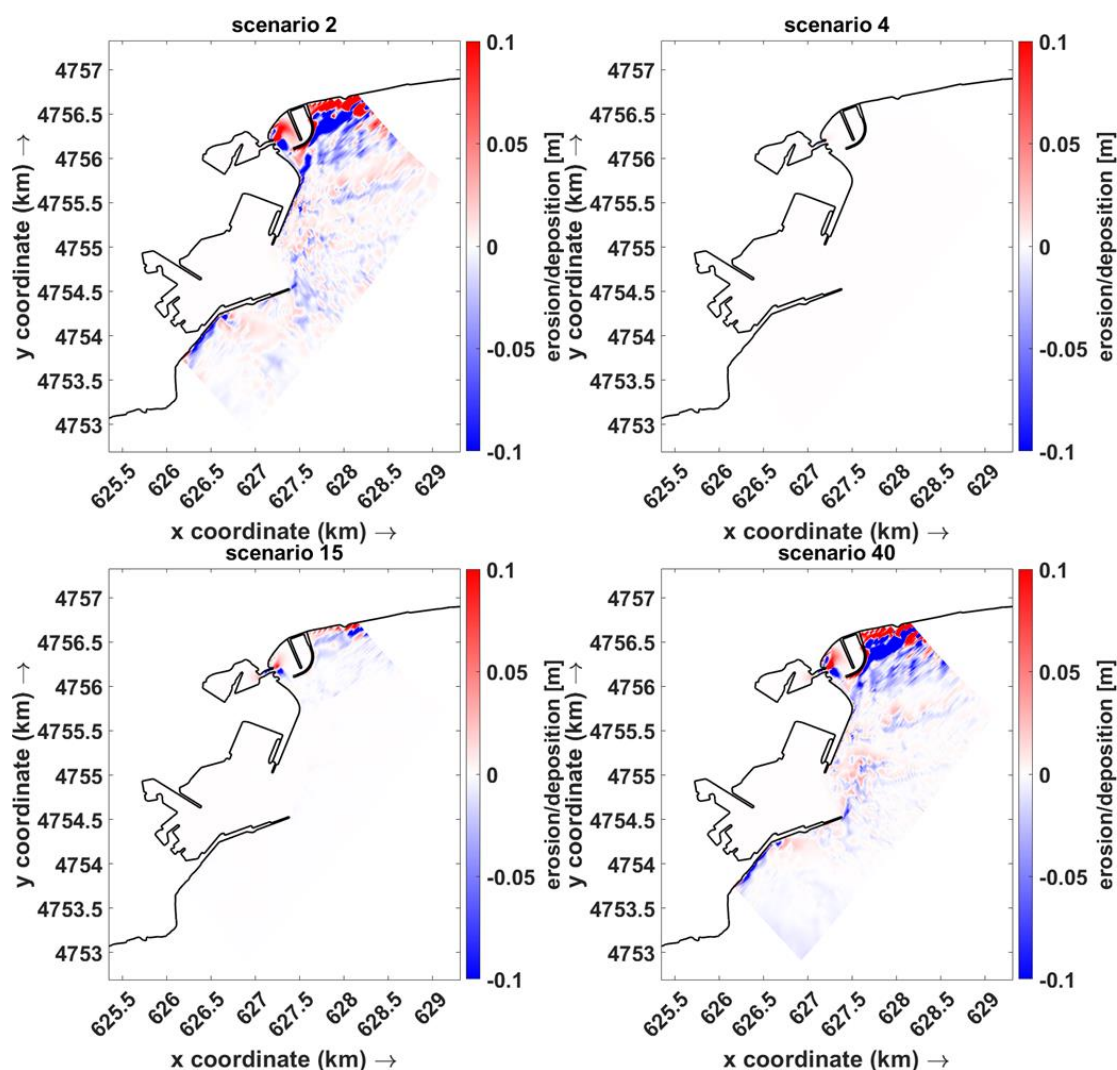


Figura 7. Aree di deposito ed erosione dei sedimenti in prossimità del porto di Piombino (configurazione progettuale no.2; vedi allegati A4 e A5). Lo scenario di riferimento è riportato in testa a ciascun pannello (per la numerazione si fa riferimento al documento REL-AMB-E-00014).

I pannelli mostrati in figura mostrano come le maggiori variazioni al fondo si riscontrino nella parte Nord-Est del dominio di calcolo, nella zona della spiaggia di Pontedoro. In particolare, la combinazione di intensità e direzione delle correnti litoranee indotte genera un'area erosiva (scavo; le parti colorate in blu) nella parte sommersa in prossimità della spiaggia, e un deposito (le parti colorate in rosso) a ridosso del molo del nuovo porticciolo, in corrispondenza degli scenari no. 002 e 040. Tali variazioni sono più contenute nel caso dello scenario 015, quasi del tutto assenti in corrispondenza dello scenario 004, essendo quest'ultimo associato a condizioni di bonaccia (vedasi Fig. 5 della relazione modellistica del DICCA). Le variazioni massime attese sono comunque contenute, non rilevando in nessuno dei casi considerati depositi/erosioni superiori ai ≈ 10 cm.



Al contrario, all'interno dell'area portuale si riscontrano movimentazioni di sedimenti caratterizzati da ordini di grandezza non rilevanti (ordine dei millimetri), come ben mostrato dalla scala di colore riportata a lato di ciascun pannello. Questo risultato è riconducibile alla schermatura della diga foranea nei confronti delle correnti esterne al porto, che sono fortemente ridimensionate all'interno dello stesso (analogo effetto di schermatura è ben documentato all'interno della banchina in prossimità degli allevamenti ittici; cfr. Figura 7). I risultati certificano inoltre come il flusso in uscita dalla nave, puntuale e posto a distanza dal fondo pari a ca. 7 m, non sia in grado di generare autonomamente scavi localizzati in prossimità della banchina di ormeggio.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI (LISTA NO. 1)

- da Silva, M. C., de Paula Kirinus, E., Bendô, A. R. R., Marques, W. C., Vargas, M. M., Leite, L. R., ... & Pertille, J. (2021). Dynamic modeling of effluent dispersion on Mangueira bay—Patos Lagoon (Brazil). *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101544.
- Zhang, X., Li, D., Wang, X., Li, X., Cheng, J., & Zheng, B. (2021). Exploration of polycyclic aromatic hydrocarbon distribution in the sediments of marine environment by hydrodynamic simulation model. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112697.
- Alosairi, Y., Al-Salem, S. M., & Al Ragum, A. (2020). Three-dimensional numerical modelling of transport, fate and distribution of microplastics in the northwestern Arabian/Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111723.
- Li, Y., Sun, J., Lin, B., & Liu, Z. (2020). Thermal-hydrodynamic circulations and water fluxes in a tributary bay of the Three Gorges Reservoir. *Journal of Hydrology*, 585, 124319.
- Des, M., DeCastro, M., Sousa, M. C., Dias, J. M., & Gómez-Gesteira, M. (2019). Hydrodynamics of river plume intrusion into an adjacent estuary: The Minho River and Ria de Vigo. *Journal of Marine Systems*, 189, 87-97.
- Hodgkins, L. M., Mulligan, R. P., McCallum, J. M., & Weber, K. P. (2019). Modelling the transport of shipborne per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the coastal environment. *Science of the Total Environment*, 658, 602-613.
- Sandbach, S. D., Nicholas, A. P., Ashworth, P. J., Best, J. L., Keevil, C. E., Parsons, D. R., ... & Simpson, C. J. (2018). Hydrodynamic modelling of tidal-fluvial flows in a large river estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212, 176-188.
- Alosairi, Y., Pokavanich, T., & Alsulaiman, N. (2018). Three-dimensional hydrodynamic modelling study of reverse estuarine circulation: Kuwait Bay. *Marine pollution bulletin*, 127, 82-96.
- Lindim, C., Van Gils, J., & Cousins, I. T. (2016). A large-scale model for simulating the fate & transport of organic contaminants in river basins. *Chemosphere*, 144, 803-810.
- Zarzuelo, C., Díez-Minguito, M., Ortega-Sánchez, M., López-Ruiz, A., & Losada, M. Á. (2015). Hydrodynamics response to planned human interventions in a highly altered embayment: The example of the Bay of Cádiz (Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 167, 75-85.
- Brown, M. M., Mulligan, R. P., & Miller, R. L. (2014). Modeling the transport of freshwater and dissolved organic carbon in the Neuse River Estuary, NC, USA following Hurricane Irene (2011). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 139, 148-158.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI (LISTA NO. 2)

Lira-Loarca, A., Cobos, M., Losada, M. Á., & Baquerizo, A. (2020). Storm characterization and simulation for damage evolution models of maritime structures. *Coastal Engineering*, 156, 103620.

Oprandi, A., Mucerino, L., De Leo, F., Bianchi, C. N., Morri, C., Azzola, A., ... & Montefalcone, M. (2020). Effects of a severe storm on seagrass meadows. *Science of the Total Environment*, 748, 141373.

Mucerino, L., Albarella, M., Carpi, L., Besio, G., Benedetti, A., Corradi, N., ... & Ferrari, M. (2019). Coastal exposure assessment on Bonassola bay. *Ocean & coastal management*, 167, 20-31.

Bozzi, S., Besio, G., & Passoni, G. (2018). Wave power technologies for the Mediterranean offshore: Scaling and performance analysis. *Coastal Engineering*, 136, 130-146.

Pepe, F., Corradino, M., Parrino, N., Besio, G., Presti, V. L., Renda, P., ... & Antonioli, F. (2018). Boulder coastal deposits at Favignana Island rocky coast (Sicily, Italy): Litho-structural and hydrodynamic control. *Geomorphology*, 303, 191-209.

Besio, G., Briganti, R., Romano, A., Mentaschi, L., & De Girolamo, P. (2017). Time clustering of wave storms in the Mediterranean Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(3), 505-514.

Bove, M. C., Brotto, P., Calzolari, G., Cassola, F., Cavalli, F., Fermo, P., ... & Prati, P. (2016). PM10 source apportionment applying PMF and chemical tracer analysis to ship-borne measurements in the Western Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 125, 140-151.

Dapuelto, G., Massa, F., Costa, S., Cimoli, L., Olivari, E., Chiantore, M., ... & Povero, P. (2015). A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. *Ocean & Coastal Management*, 116, 64-77.



ALLEGATI

A1. Concentrazione del cloro (strato superficiale) in prossimità della presa a servizio degli allevamenti di Agroittica Toscana per gli scenari meteomarini selezionati e tre diverse configurazioni progettuali (vedi cap. 4 relazione DICCA). Lo scenario di riferimento è riportato in testa a ciascun pannello

A2. Temperatura dell'acqua (strato superficiale) in prossimità della presa a servizio degli allevamenti di Agroittica Toscana per gli scenari meteomarini selezionati e tre diverse configurazioni progettuali (vedi cap. 4 relazione DICCA). Lo scenario di riferimento è riportato in testa a ciascun pannello

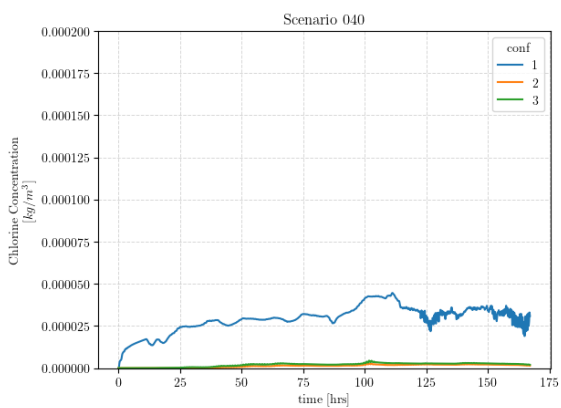
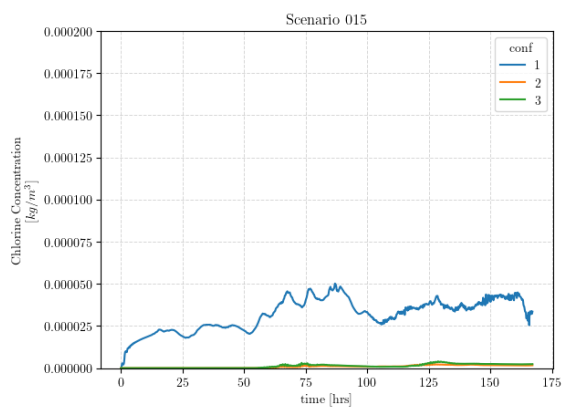
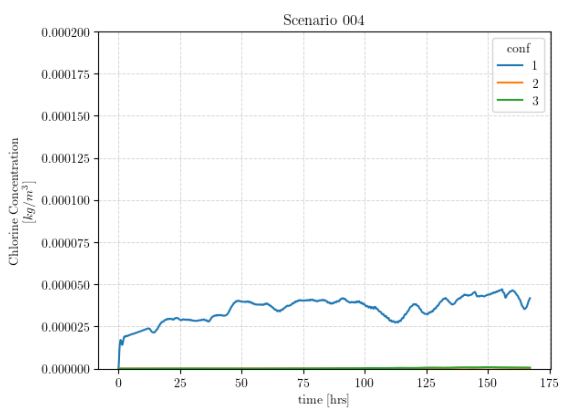
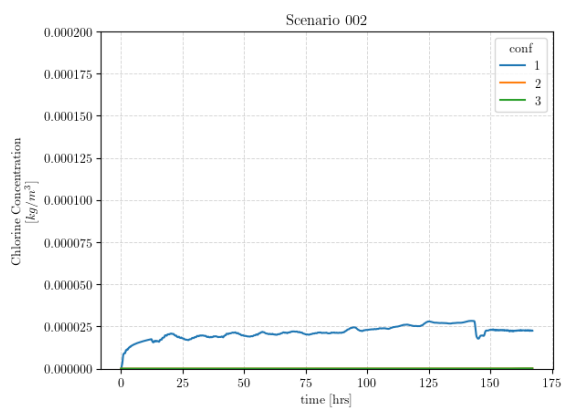
A3 Atlante delle correnti superficiali italiane: vedi documento Atlante_IIM.pdf

A4. Planimetria punti di prelievo e scarico/scarico acqua mare sistema di riscaldamento GNL. Vedi elaborato PG-CIV-3B-00001.pdf.

A5. Planimetria con punti prelievo e scarico per vaporizzatori FSRU Vedi elaborato DIS-CIV-A-00479.pdf.



ALLEGATO A1





ALLEGATO A2

