

Industrial and Environmental
Fluid-Dynamic Research
Group
DICA, University of Trieste

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trieste, Piazzale Europa 1, 34127 Trieste

Centrale a ciclo combinato, alimentata a gas naturale, nel porto industriale di Trieste:

SIMULAZIONE TERMO-FLUIDODINAMICA DEL PRELIEVO-UTILIZZO-SCARICO DELL'ACQUA DI MARE PER SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO DI UNA CENTRALE ELETTRICA SITA IN ZONA INDUSTRIALE DI TRIESTE

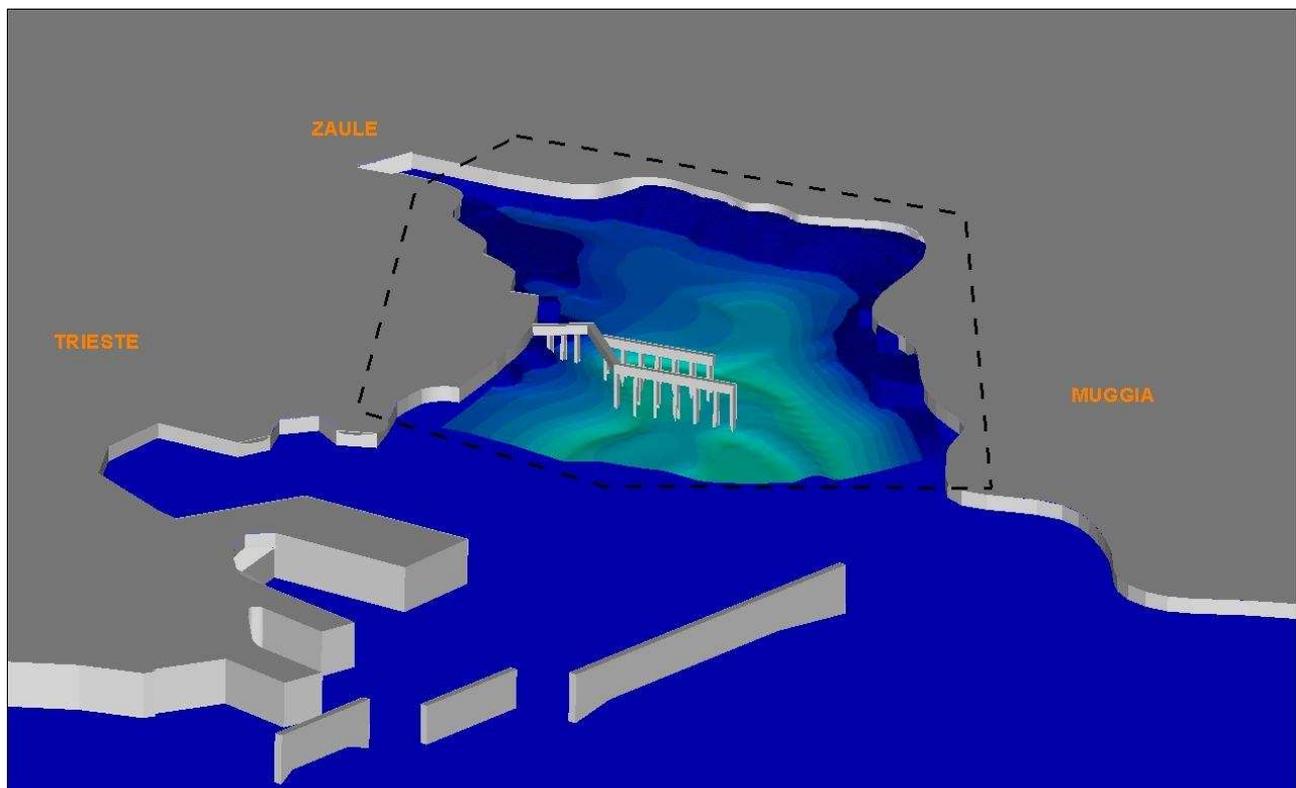
RELAZIONE DI INTEGRAZIONE:

Analisi della diffusione di temperatura e di biocidi per portata pari a $32,000 \text{ m}^3/\text{h}$ e $\Delta t=6.25^\circ\text{C}$

Data: 03 Giugno 2010

Studio eseguito per MEDEA Engineering S.A.

da IE-Fluids, Coordinato dal Prof. Ing. Vincenzo Armenio, DICA, Università di Trieste



INDICE

Premessa.....	pag. 3
1. Caso 5: analisi delle caratteristiche di dispersione del getto termico con salto termico $\Delta T=6.25^{\circ}\text{C}$: condizione invernale, emissione cloro, centrale + termovalorizzatore, 24 ore.....	6
2. Caso 6: analisi delle caratteristiche di dispersione del getto termico con salto termico $\Delta T=6.25^{\circ}\text{C}$: condizione estiva, emissione cloro, centrale + termovalorizzatore, 24 ore.....	15
3. Caso 6b: analisi delle caratteristiche di dispersione del getto termico con salto termico $\Delta T=6.25^{\circ}\text{C}$: condizione estiva, emissione cloro con decadimento, centrale + termovalorizzatore, 24 ore.....	24
4. Considerazioni su possibili effetti cumulativi	27
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	30
6. BIBLIOGRAFIA.....	32

Premessa

La presente relazione si colloca ad integrazione della precedente di data 22 aprile 2009 (nel seguito Relazione) nell'ambito della documentazione tecnica di supporto allo Studio di Impatto Ambientale della Centrale a ciclo combinato di potenza pari a 400 MW da ubicarsi nell'area del Porto industriale di Trieste (si veda figura 1 per la zona di collocazione della centrale), proposta dalla Lucchini Energia nel quadro delle iniziative promosse per la riconversione produttiva dello stabilimento siderurgico esistente ("Ferriera di Servola").

In particolare, nel presente lavoro si è posta l'attenzione alla configurazione in cui la Centrale Lucchini lavori in combinazione unicamente con il termovalorizzatore Acegas e pertanto in uno scenario in assenza del contributo del rigassificatore (come da progetto GasNatural nella zona di Zaule [1]).

Sono state quindi effettuate due nuove simulazioni dell'analisi dell'impatto ambientale dello scarico in mare nella baia di Muggia. Come scenari meteomarini sono stati considerati il caso estivo ed il caso invernale in assenza di vento in quanto risultavano i più conservativi tra quelli analizzati nella Relazione nei riguardi della diffusione del campo termico. Nel caso in cui la Centrale lavori in combinazione unicamente con il termovalorizzatore è stata considerata una portata di 32000 m³/h con un salto termico $\Delta T = 6.25^{\circ}\text{C}$. E' stata posta particolare attenzione alla dispersione del Cloro attivo libero nella baia, legato ai processi di anti "bio-fouling" dei circuiti di raffreddamento della turbina della Centrale Lucchini. La concentrazione di Cloro al punto di emissione è stata posta pari a 0.2 mg/l, valore massimo ammesso dalla normativa vigente in materia.

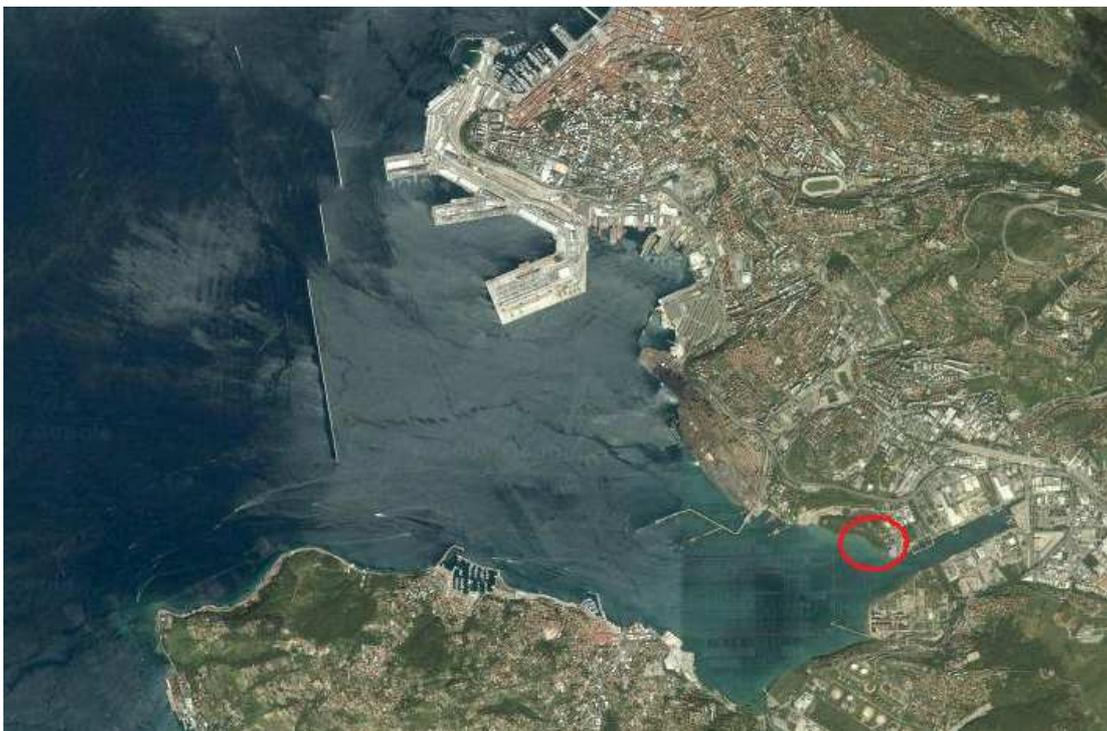


Figura 1: Immagine satellitare della Baia di Muggia. Cerchiata in rosso l'area del previsto insediamento della centrale termica (immagine da Google map).

L'obiettivo del presente studio è quindi duplice:

- 1) analizzare la diffusione del sovrariscaldamento termico nel caso di assenza del contributo compensativo del rigassificatore, nelle condizioni di funzionamento e meteorologiche più critiche;
- 2) valutare, in tali condizioni, il rispetto della normativa vigente in materia riguardo alla diffusione del Cloro attivo libero nel bacino marino, in osservanza al Decreto Legislativo 152/2006 contenente norme in materia ambientale.

La presente relazione è strutturata nel modo seguente:

- Nella sezione 1 sono riportati i risultati della simulazione effettuata per un tempo di 24 ore a partire dall'emissione, per condizioni invernali e calma di vento. Sono analizzate rispettivamente la diffusione del campo termico e del Cloro attivo libero. Alla luce della nomenclatura usata nella Relazione il presente caso simulato verrà denominato caso 5.
- Nella sezione 2 sono riportati i risultati della simulazione effettuata per un tempo di 24 ore a partire dall'emissione per condizioni estive e calma di vento. Sono analizzate rispettivamente la diffusione del campo termico e del Cloro attivo libero. Questo scenario viene denominato caso 6.
- La sezione 3 mostra la diffusione del Cloro attivo libero, nel caso in cui si considerino le reazioni chimiche che avvengono in ambiente marino e quindi il suo decadimento durante il processo di diffusione.
- La sezione 4 contiene considerazioni sull'eventuale effetto cumulativo del Cloro attivo libero emesso dalla Centrale Lucchini con quello emesso da altre realtà industriali operanti nella baia di Muggia.
- Infine la sezione 5 contiene le conclusioni del presente studio.

La scelta di far sviluppare le simulazioni per 24 ore risponde ad un principio di conservatività. Infatti, nelle condizioni di esercizio la Centrale Lucchini sarà operativa per 16 ore al giorno. Bisognerebbe quindi considerare cicli di simulazioni con lo scarico attivo per 16 ore e disattivato per le restanti 8 ore della giornata. Nelle presenti simulazioni si considera l'emissione del getto termico clorato per un tempo continuativo di 24 ore, che costituisce una condizione molto più gravosa di quella da progetto ai fini dell'accumulo delle concentrazioni di biocida e dell'incremento della temperatura dell'acqua di mare.

Per quanto riguarda l'inquadramento del problema, le forzanti meteorologiche considerate ed il modello matematico si rimanda alla Relazione. Una descrizione dettagliata del modello numerico è riportata in [2]. Rispetto alla Relazione, nel presente studio viene considerata la diffusione del Cloro attivo libero. Tale processo viene modellato per mezzo di una equazione di advezione-

diffusione della concentrazione della sostanza emessa in corrispondenza dello scarico. Il numero di Schmidt di sottogriglia è posto pari a 0.5. Inoltre, dato che la concentrazione della sostanza emessa non è tale da variare la densità dell'acqua di mare in maniera significativa, il biocida è trattato come uno scalare passivo.

Infine, nel caso in cui si considerino reazioni chimiche tra il Cloro attivo libero e sostanze presenti nell'acqua di mare, nell'equazione di advezione-diffusione è considerato un termine di decadimento del biocida. Maggiori dettagli su questo punto sono riportati nella sezione 4.

Per chiarezza si richiama in figura 2 la parte della baia di Muggia oggetto di modellazione numerica e si ricorda che nelle simulazioni è stata considerata la forza di Coriolis, legata alla rotazione terrestre, rilevante già a queste scale, mentre non è stato considerato l'effetto della marea come pure non sono state considerate la circolazione marina nell'alto adriatico, l'apporto di acqua dolce da parte dei piccoli rii che insistono nella baia, lo scambio termico tra superficie marina e atmosfera. Si fa notare che tali scelte lavorano in criterio di conservazione, in quanto gli effetti citati tenderebbero a mitigare gli effetti del getto termico ed a favorire la diluizione del biocida.

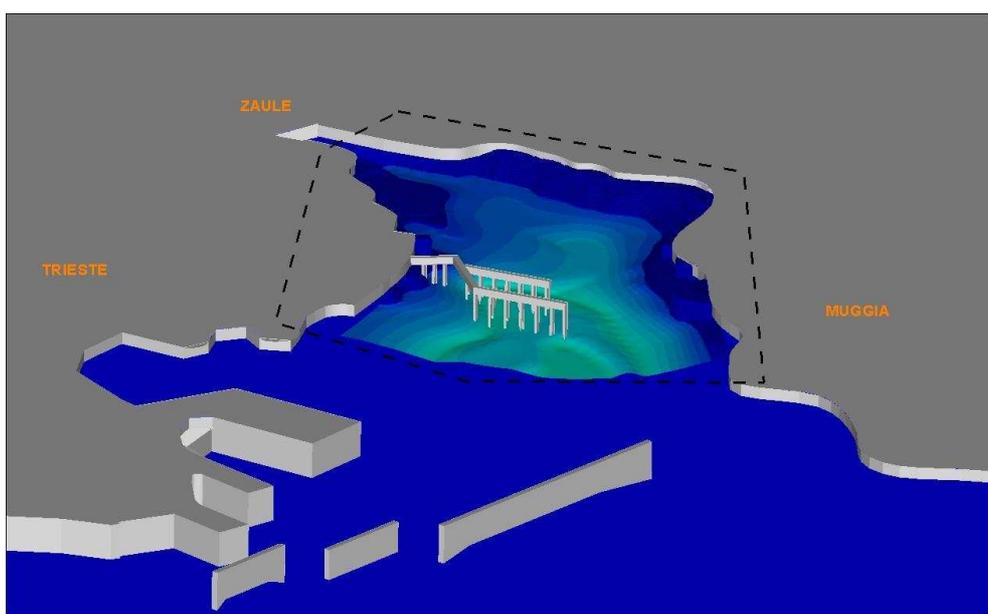


Figura 2: Vista tridimensionale della riproduzione dei contorni del bacino della baia di Muggia. Le simulazioni numeriche sono state effettuate sul dominio contenuto all'interno del perimetro tratteggiato. Si noti che ai fini della simulazione numerica non sono stati considerati i pontili della Siot, in quanto appoggiati su pile che non modificano le caratteristiche di circolazione nella baia.

Nella figura 3 viene mostrata la griglia di calcolo applicata al dominio e la posizione delle sonde di controllo (poste su 2 circonferenze a 500 e 1000 metri rispettivamente dal punto di emissione). Per chiarezza di esposizione vengono mostrati solo alcuni punti del grigliato di calcolo.

Si ricorda infine che la normativa vigente richiede che le caratteristiche del getto siano tali che:

- 1) l'aumento della temperatura dell'acqua sia non superiore a 3°C in corrispondenza di un arco di circonferenza di raggio pari a 1000 metri a partire dal punto di emissione.
- 2) La temperatura dell'acqua allo scarico non superi, in ogni caso il valore di 35°C .
- 3) La concentrazione del Cloro attivo libero non superi i 0.2 mg/l al punto di emissione.

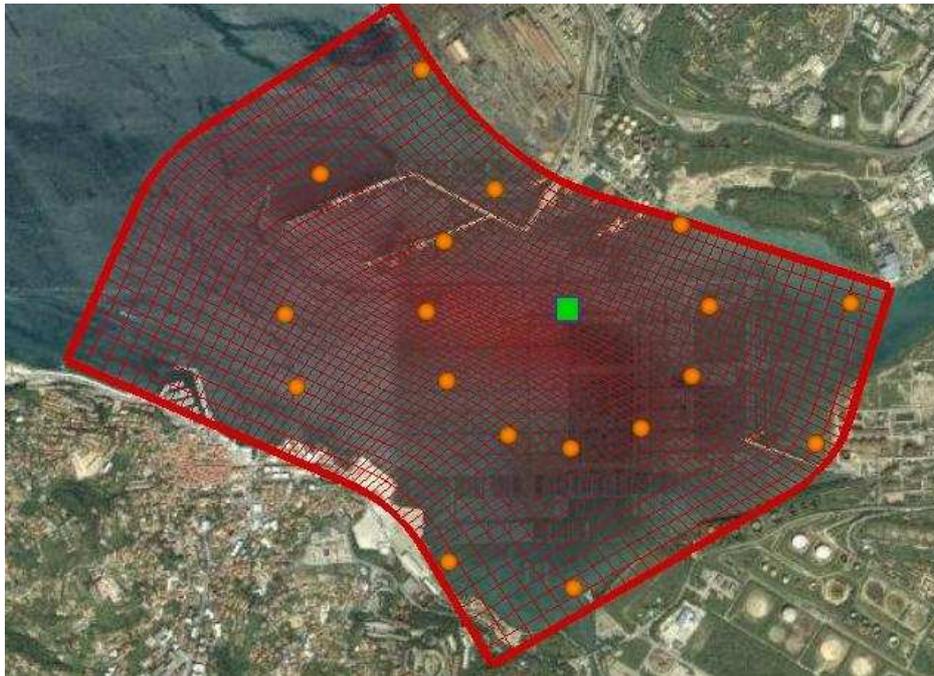


Figura 3: Immagine satellitare della Baia di Muggia. Il piano della griglia di calcolo in corrispondenza della superficie marina e dettagli della griglia stessa per la simulazione idrodinamica sono riportati con linee rosse. Per chiarezza di visualizzazione è riportato un sottoinsieme delle linee di griglia. Il quadrato verde denota la posizione della sezione di emissione. I punti di colore arancione indicano il posizionamento delle sonde numeriche (ad un raggio di 500 metri ed un raggio di 1000 metri rispettivamente) alle quali è stato registrato l'andamento temporale del sovrarzo termico e la concentrazione di cloro.

1. CASO 5: analisi delle caratteristiche di diffusione del getto termico e del Cloro attivo libero. Caso invernale, assenza di vento; tempo di simulazione pari a 24 ore a partire dall'emissione.

La presente simulazione numerica è stata effettuata considerando una portata di scarico pari a $32000\text{ m}^3/\text{h}$ con un salto termico di $6.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla temperatura alla presa. La concentrazione del Cloro attivo libero al punto di scarico è pari a 0.2 mg/l . Si considera la baia in condizioni invernali pertanto con un profilo di temperatura pressoché costante nella colonna d'acqua.

La simulazione è stata fatta partire da una situazione di calma e assenza di emissione e quindi è stata fatta sviluppare per un tempo pari a 24 ore (86400 secondi). Questo intervallo di tempo è sufficiente al raggiungimento di condizioni stazionarie dei valori massimi di temperatura e della concentrazione del biocida a 1000 metri dal punto di emissione.

Figura 4 riporta la distribuzione spaziale dell'incremento di temperatura in corrispondenza della superficie marina all'istante finale della simulazione. Si ricorda che le sonde 0-9 sono collocate a 500 metri dal punto di emissione mentre le restanti (A-H) sono poste a 1000 metri di distanza.

Le caratteristiche di galleggiamento del getto sono tali per cui i valori massimi di temperatura saranno sempre nella zona superficiale ad una certa distanza dal punto di emissione.

Il getto, una volta risalito in superficie, tende a diffondersi seguendo un percorso traslatorio-rotatorio governato dalla forza di Coriolis. Inoltre il carico termico del getto viene diffuso rapidamente lungo piani orizzontali. Si osserva che, come nei casi precedentemente analizzati in condizioni di assenza di vento, il getto non presenta una simmetria radiale in corrispondenza della superficie marina. In particolare si notano due chiazze separate, una che si propaga lungo la linea di costa verso nord ed una opposta in direzione sud. Questo comportamento è stato già osservato nelle precedenti simulazioni e risulta confermato nel presente caso. L'analisi del campo di moto (disponibile su richiesta) mostra come il fenomeno sia legato alle circolazioni che si instaurano nella zona NNE della baia. Il meccanismo che determina la separazione a chiazze del plume in superficie è legato alla configurazione della baia. In particolare si sviluppa un vortice ad asse verticale di larga scala e di debole intensità in corrispondenza delle sonde 7 ed 8, nella zona NE della baia. Tale vortice inibisce il trasporto del getto termico verso la zona del canale navigabile.

In generale si osserva che gli incrementi di temperatura sono molto ridotti già a breve distanza dal punto di emissione.

Figura 5 mostra il sovrizzo termico in corrispondenza di una sezione curvilinea verticale passante per il centro della sezione di emissione. In essa si può osservare la dinamica del getto. Questo risale rapidamente verso la superficie libera mantenendo gran parte del carico termico. Quindi si sviluppa nel piano orizzontale rimanendo confinato nei primi metri sotto la superficie libera dove evolve dando origine ad onde interne di gravità. Tali onde si generano tra fluidi a diverse densità quando un fluido più leggero (nel caso specifico acqua calda) si trova al di sopra di un fluido più pesante (acqua fredda). Tali onde sono in grado di trasferire energia cinetica ma non trasferiscono massa e temperatura. In generale la dinamica osservata è tipica per condizioni di stratificazione stabile come nel caso in esame.

A conferma di quanto detto si può osservare la Figura 6, dove vengono mostrate superfici isoterme tridimensionali per diversi valori di temperatura (rispettivamente $\Delta T=0.5^\circ, 1.0^\circ, 1.5^\circ\text{C}$). Da questa immagine si possono osservare la presenza di onde interne, il sezionamento del getto, l'effetto di rotazione e la zona della baia interessata maggiormente dalla diffusione di temperatura. Si noti come il sovrizzo termico appaia notevolmente ridotto già a breve distanza dalla zona di emissione.

Figura 7 mostra profili verticali del sovrizzo di temperatura in corrispondenza delle sonde al tempo di 24 ore. Il profilo di temperatura appare influenzato dal getto termico solo nei primi 5 metri di profondità. A 500 metri dalla sezione di emissione l'incremento istantaneo massimo misurato alle sonde è di 1.4°C in corrispondenza della superficie marina. Nel caso 1b analizzato nella Relazione, relativo ad un salto termico pari a 8°C e forzanti meteo marine equivalenti, veniva osservato un massimo sovrizzo termico pari a 1.8°C a 500 metri di distanza dall'emissione. A 1000 metri dall'emissione il sovrizzo termico appare ridotto e non viene mai superato 1°C, il massimo valore raggiunto risulta infatti pari a 0.94°C. Come nel caso 1b alla sonda E si osserva un approfondimento dello strato termico. Ciò è dovuto al fenomeno di downwelling provocato dalla corrente superficiale che impatta sulla linea di costa e per continuità tende ad approfondirsi.

Figura 8 mostra l'evoluzione nel tempo della temperatura alle sonde. Si osserva che sia a 500 metri che a 1000 metri la temperatura massima osservata alla superficie è ben al di sotto del valore limite di 3°C a 1000 metri dal punto di emissione, valore limite di normativa

Nella presente simulazione è stata anche considerata la diffusione del Cloro attivo libero con concentrazione al punto di emissione pari a 0.2 mg/l, valore massimo da normativa. La simulazione della diffusione del Cloro attivo libero è ampiamente conservativa, vengono infatti trascurati gli effetti di decadimento sempre presenti e dovuti alle reazioni chimiche con le sostanze organiche ed inorganiche presenti in mare.

Le figure 9 e 10, analogamente alle corrispettive per il salto termico, mostrano la distribuzione spaziale della concentrazione del Cloro attivo libero al tempo $t = 24$ h. In particolare la figura 9 mostra la distribuzione in corrispondenza della superficie del mare, mentre figura 10 mostra una sezione curvilinea verticale in corrispondenza del punto di emissione.

Innanzitutto si osserva che la concentrazione di Cloro tende a distribuirsi secondo le stesse dinamiche del getto termico. Questo è in accordo col fatto che il biocida, essendo uno scalare passivo¹, viene trasportato dal campo di moto senza influenzarne le caratteristiche di galleggiamento. Come nel caso del sovrizzo termico si osserva la formazione di due chiazze distinte che si muovono rispettivamente verso nord e verso sud. La figura 11, che contiene superfici isolivello per diversi valori di concentrazione confermano questo andamento. Si osserva inoltre che la concentrazione del Cloro attivo libero segue le onde interne generate dal getto termico a causa della differente densità tra l'acqua superficiale più calda e leggera e quella fredda e pesante sottostante. Come per il carico termico anche la concentrazione del Cloro attivo libero

¹ Uno scalare è definito passivo quando la sua concentrazione è tale da non modificare in maniera apprezzabile la densità dell'acqua, ai fini delle caratteristiche di stabilità della colonna d'acqua.

tende rapidamente a ridursi allontanandosi dal punto di emissione a causa della forte diluizione alla quale è soggetto.

Nella figura 12 sono mostrati i profili verticali di concentrazione del Cloro attivo libero al tempo $t=24h$. Si osserva come anche in questo caso le concentrazioni più alte rimangono confinate in uno strato superficiale analogo a quello per la temperatura. In generale si può osservare che la diluizione della concentrazione di Cloro avviene molto rapidamente. A 500 metri dal punto di emissione, e a maggior ragione a 1000 metri, le concentrazioni osservate sono sempre inferiori a 0.05 mg/l e i valori massimi registrati sono rispettivamente pari a 0.043 mg/l e 0.028 mg/l. Tale risultato come già discusso, è ampiamente conservativo avendo trascurato il decadimento e assumendo che la riduzione di concentrazione sia unicamente legata al fenomeno di diluizione. Da osservare che tale diluizione sarebbe ancora maggiore se venissero considerate le forzanti meteo marine ivi trascurate, come la circolazione del nord adriatico con il conseguente ricambio di acqua nella baia, le maree e l'afflusso di acque dolci dal rio Ospo e dal torrente Rosandra.

Infine la figura 13 mostra l'evoluzione temporale lungo le 24 ore di simulazione della concentrazione del Cloro attivo libero registrato alle sonde numeriche. In generale si conferma come già a breve distanza dal punto di emissione la concentrazione si riduca notevolmente.

A conclusione di questo primo caso analizzato è possibile giungere alle seguenti conclusioni:

- analogamente a quanto osservato nei precedenti casi analizzati il getto termico tende a risalire rapidamente in superficie dove tende a distribuirsi sul piano orizzontale riducendo in breve il proprio carico termico;
- il getto in superficie risulta non simmetrico e ciò è legato alle circolazioni che si instaurano a causa della morfologia della baia;
- l'incremento massimo di temperatura osservato alle sonde è di 1.4°C a 500 metri e inferiore ad 1 grado a 1000 metri;
- il sovrizzo termico rimane confinato in uno strato superficiale di circa 5 metri;
- non si osservano incrementi significativi di temperatura in prossimità del canale navigabile;
- la concentrazione di Cloro libero attivo tende a diffondersi con le stesse caratteristiche della temperatura;
- i valori di concentrazione decadono rapidamente allontanandosi dal punto di emissione con concentrazioni massime osservate di 0.043 mg/l e 0.028 mg/l rispettivamente a 500 e 1000 metri dall'emissione.

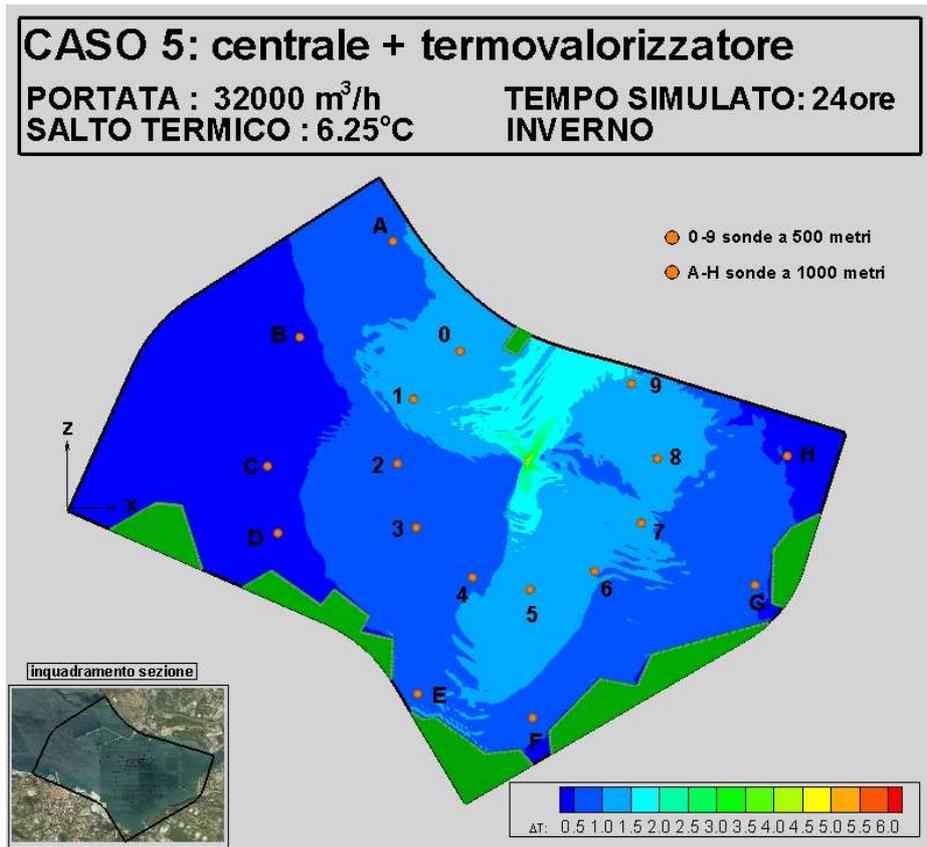


Figura 4: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Distribuzione spaziale istantanea del sovrizzo termico in corrispondenza della superficie libera del mare a 24 ore dall'inizio dell'emissione.

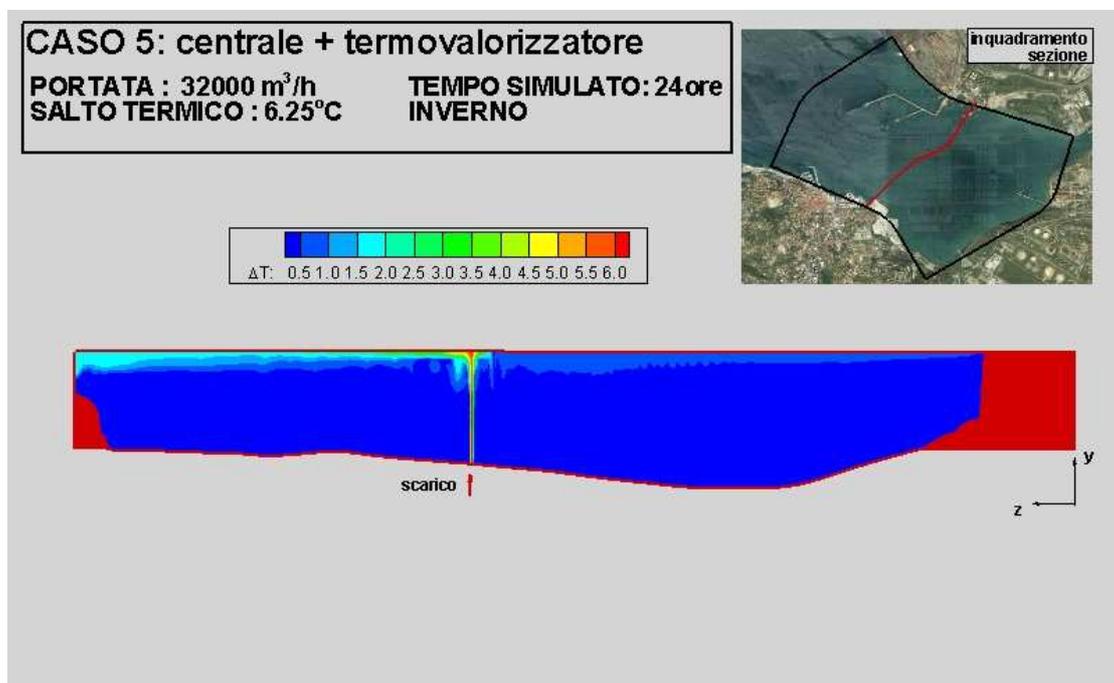


Figura 5: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Distribuzione spaziale istantanea del sovrizzo termico su una sezione verticale passante per il centro della sezione di emissione ed evidenziata dalla linea rossa del pannello in alto a destra. Tempo pari 24 ore dall'inizio dell'emissione.

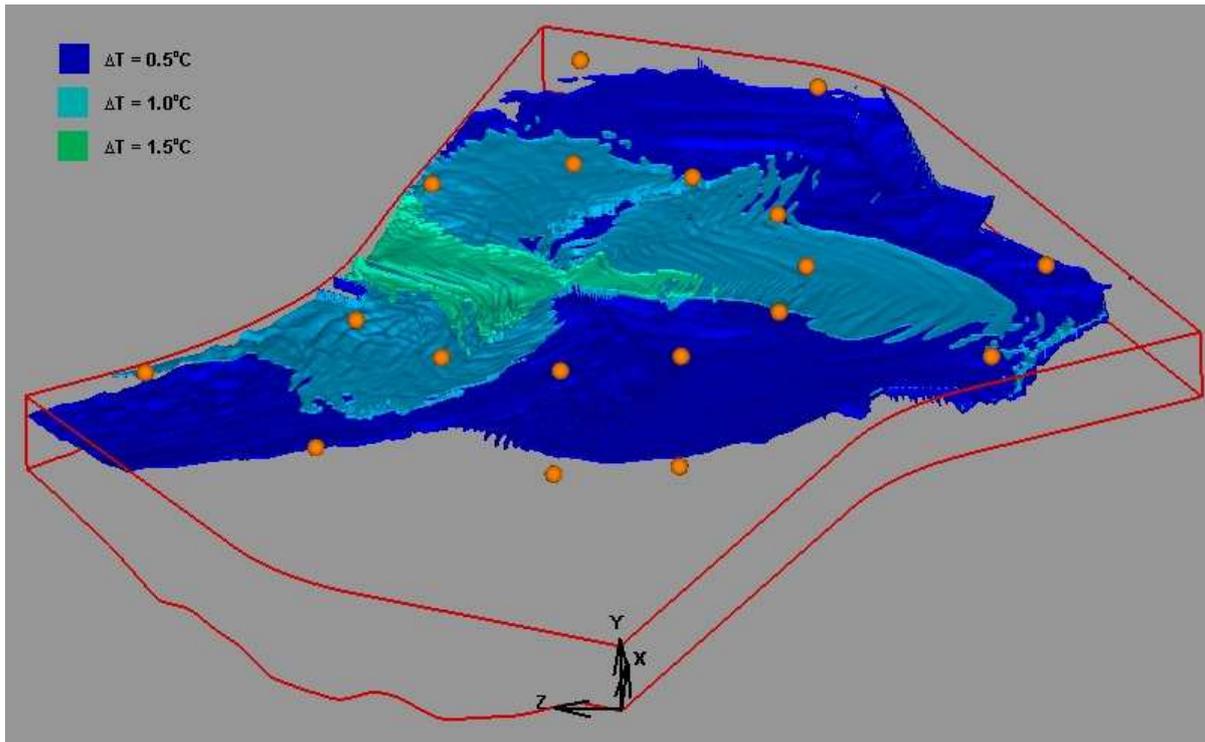


Figura 6: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Superfici isoterme per il sovrizzo termico istantaneo a valori di $\Delta T = 0.5, 1.0, 1.5$ °C, ad un tempo di 24 ore dall'inizio dell'emissione. In rosso viene evidenziato il perimetro del dominio di calcolo, con i pallini arancione vengono segnalate le sonde. Per chiarezza la direzione verticale è intensificata di un fattore 15 e la linea di costa non viene mostrata.

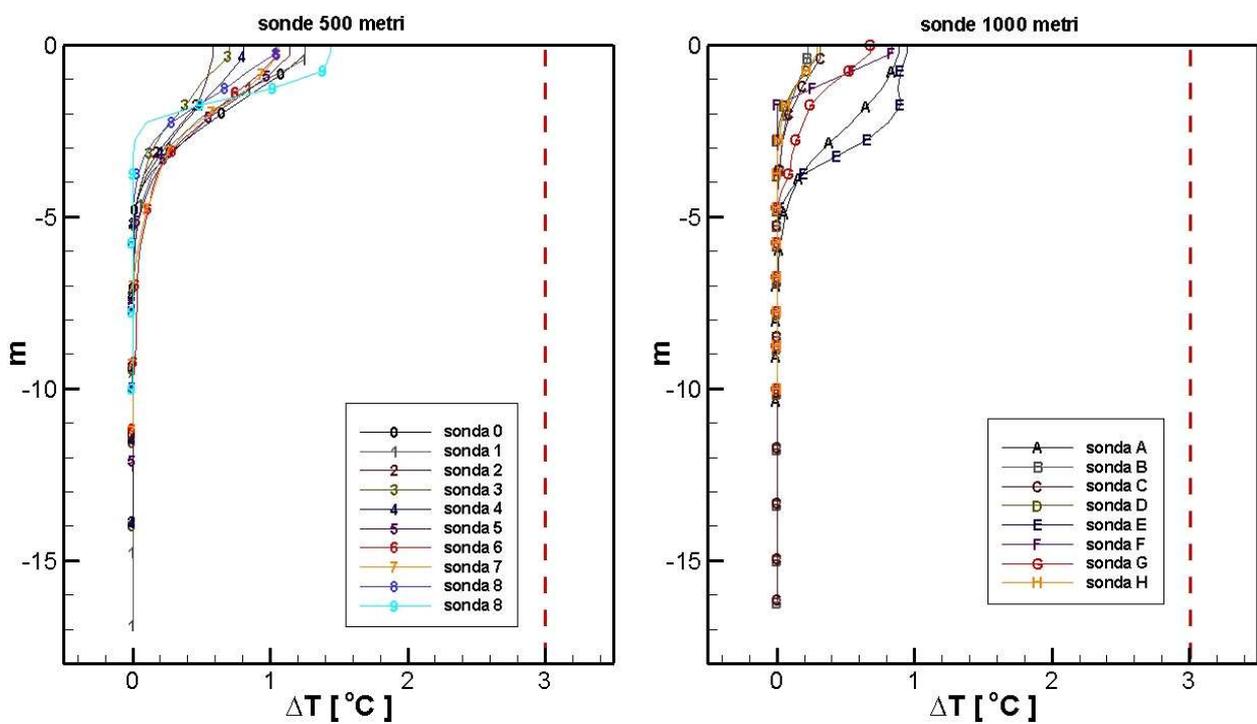


Figura 7: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Profili verticali istantanei del salto termico in corrispondenza delle sonde al tempo di 24 ore dall'inizio dell'emissione.

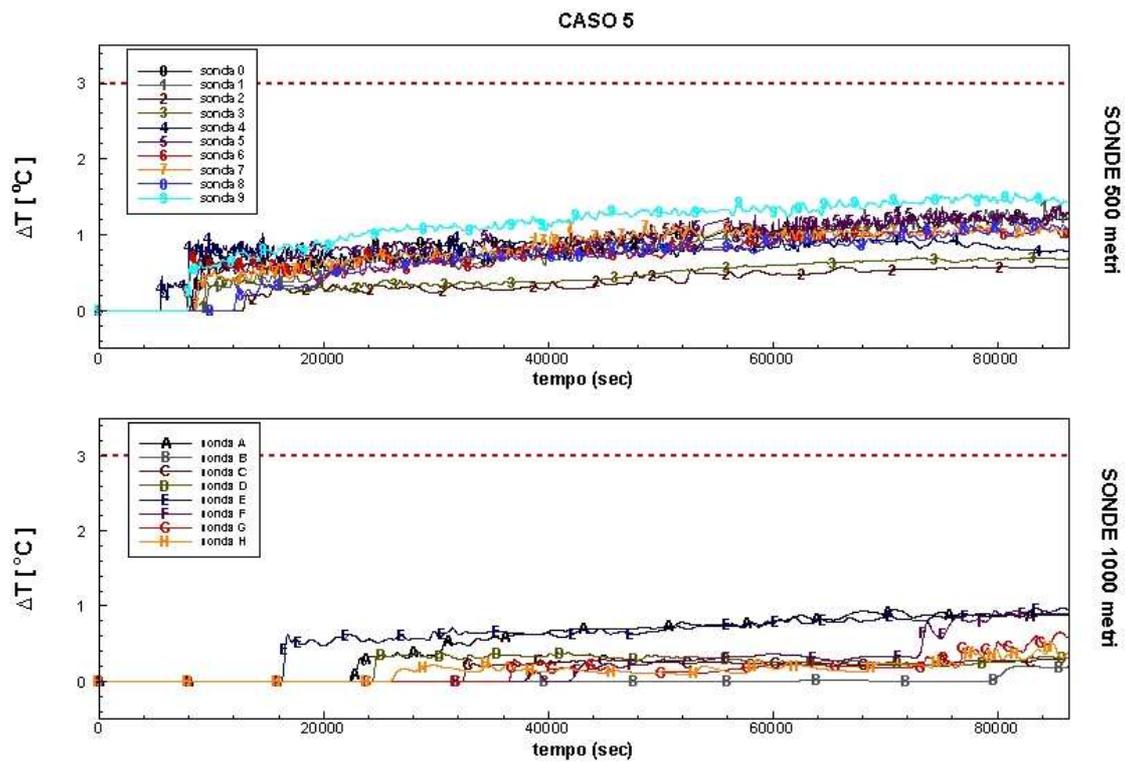


Figura 8: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Andamento dell'incremento di temperatura registrato dalle sonde numeriche durante l'evoluzione temporale del getto in 24 ore: pannello superiore, sonde a 500 metri dall'emissione; pannello inferiore, sonde a 1000 metri dall'emissione. I grafici riportano in linea tratteggiata rossa il limite di normativa pari a 3°C a 1000 metri di sovrizzo termico.

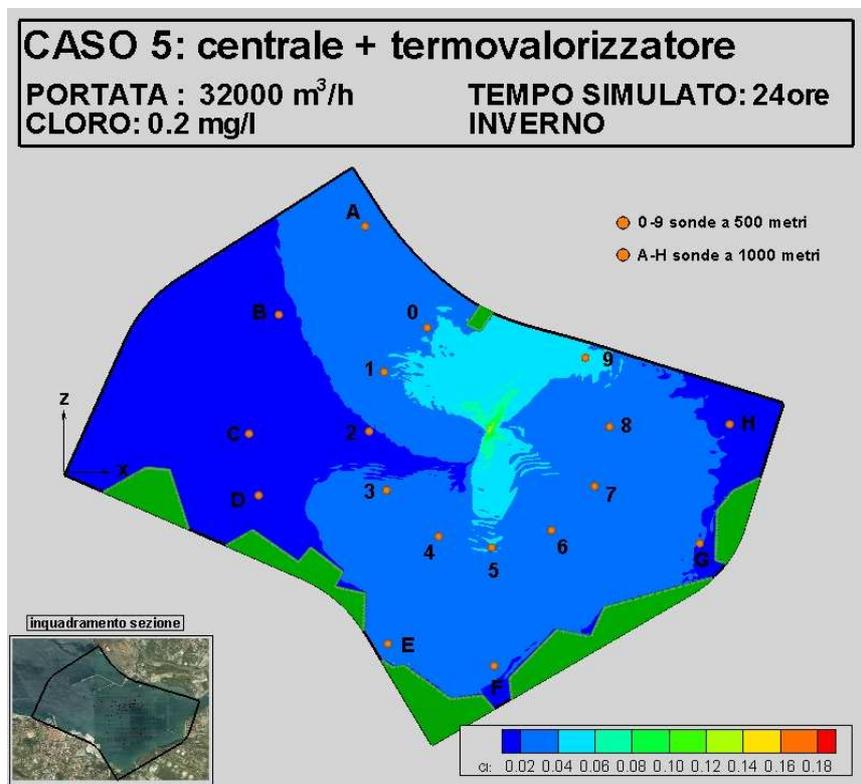


Figura 9: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Distribuzione spaziale istantanea della concentrazione di cloro in corrispondenza della superficie libera del mare a 24 ore dall'inizio dell'emissione. Condizione invernale, assenza di vento.

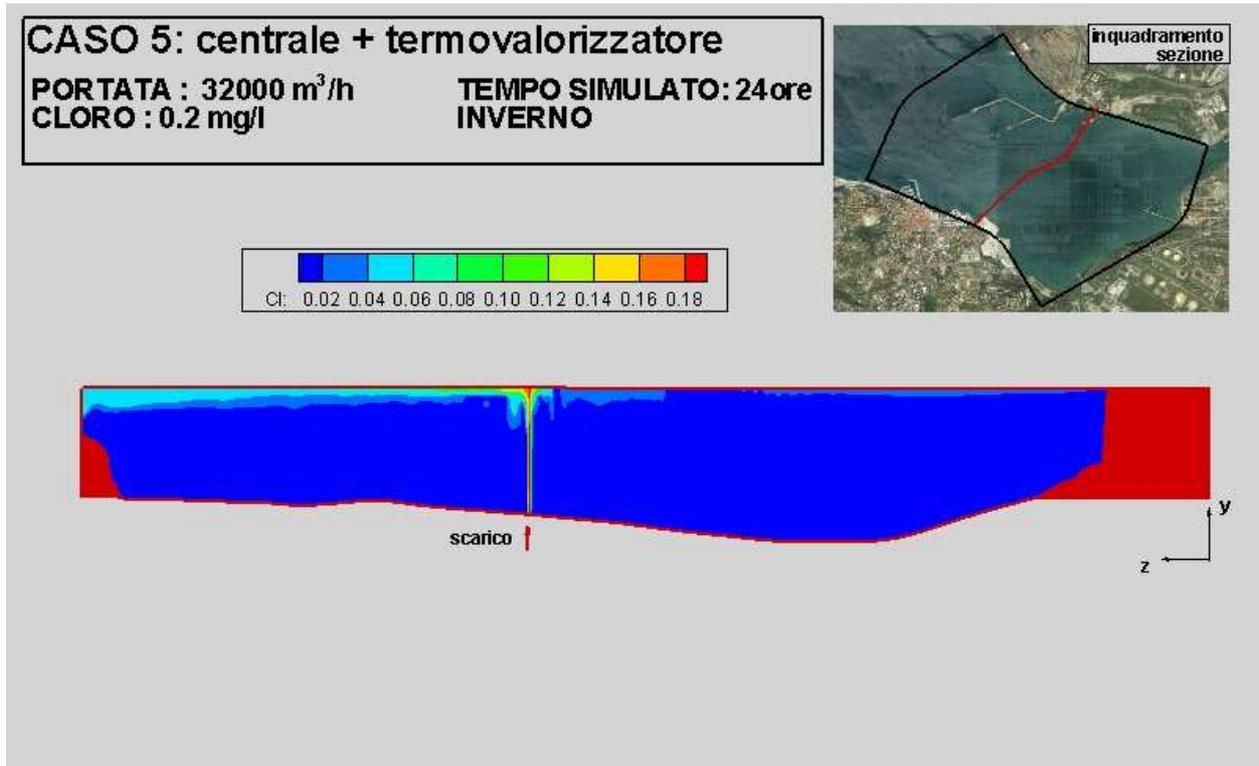


Figura 10: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Distribuzione spaziale istantanea della concentrazione di cloro su una sezione verticale passante per il centro della sezione di emissione ed evidenziata dalla linea rossa del pannello in alto a destra. Tempo pari 24 ore dall'inizio dell'emissione.

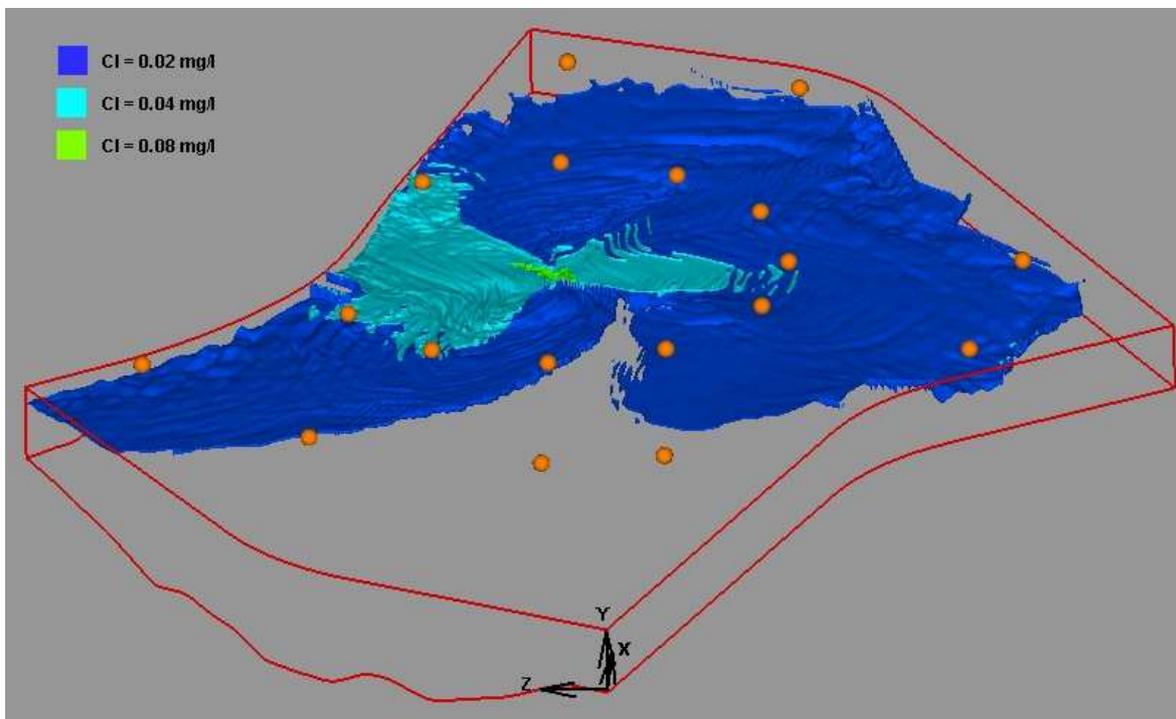


Figura 11: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Superfici isolivello per la concentrazione di cloro istantanea a valori di $Cl = 0.02, 0.04, 0.08$ mg/l, ad un tempo di 24 ore dall'inizio dell'emissione. In rosso viene evidenziato il perimetro del dominio di calcolo e con i pallini arancione la posizione delle sonde. Per chiarezza la direzione verticale è intensificata di un fattore 15 e la linea di costa non viene mostrata.

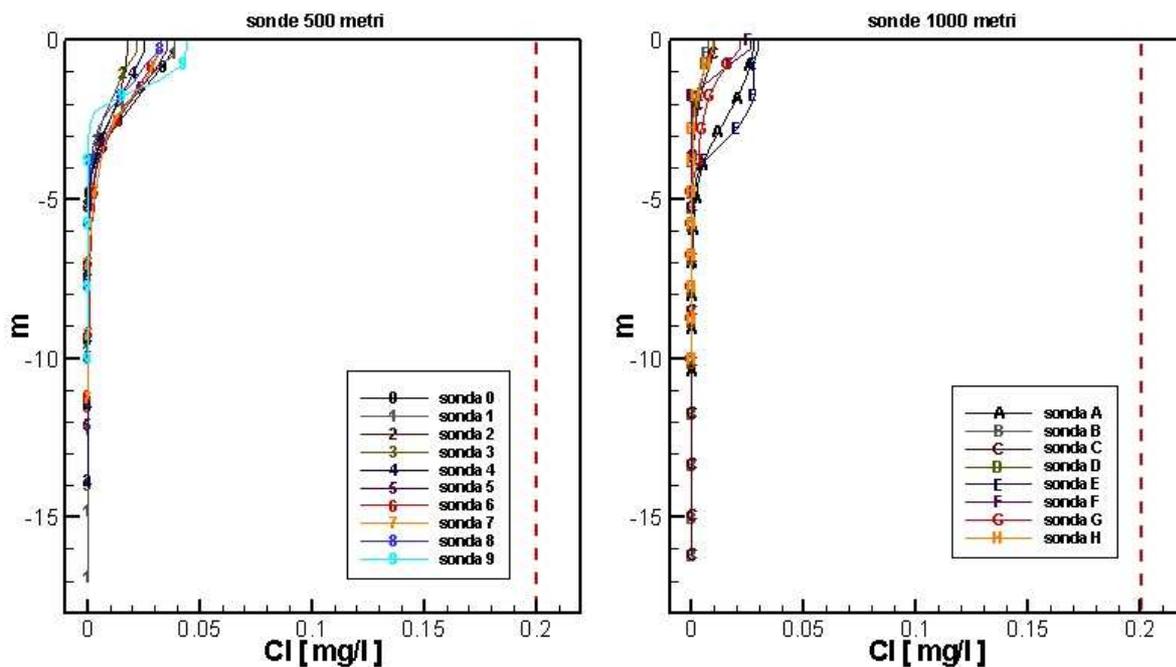


Figura 12: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Profili verticali della concentrazione di Cloro attivo libero in corrispondenza delle sonde al tempo $t=24$ h.

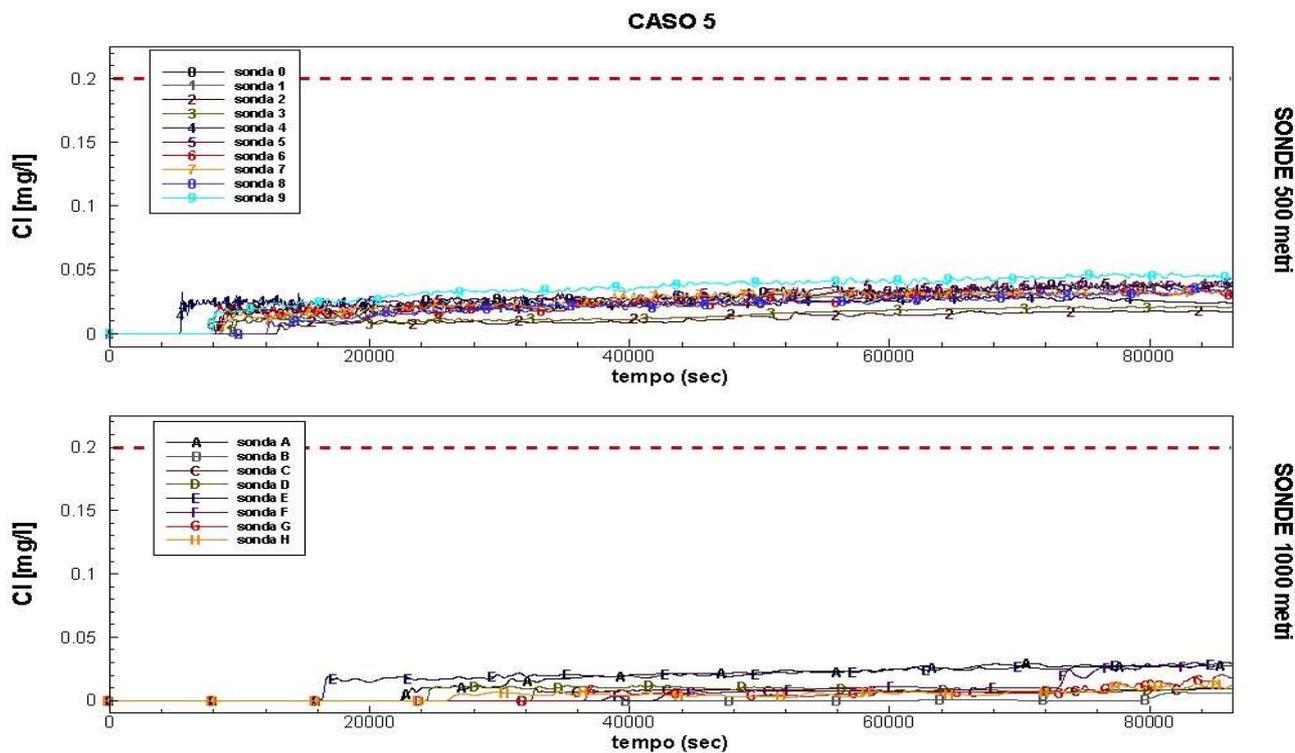


Figura 13: Caso 5, condizione invernale, assenza di vento. Andamento della concentrazione di Cloro attivo libero registrato dalle sonde numeriche durante l'evoluzione temporale del getto in 24 ore: pannello superiore, sonde a 500 metri dall'emissione; pannello inferiore, sonde a 1000 metri dall'emissione. I grafici riportano in linea tratteggiata rossa il limite di normativa pari a 0.2 mg/l al punto di emissione.

2. CASO 6: analisi delle caratteristiche di diffusione del getto termico e del Cloro attivo libero. Caso estivo, assenza di vento; tempo di simulazione pari a 24 ore a partire dall'emissione.

Questa seconda simulazione è stata effettuata con le stesse caratteristiche della precedente. La differenza sostanziale sta nel fatto che la colonna d'acqua nel bacino non si trova a temperatura costante ma in condizioni di stratificazione stabile. Il profilo termico utilizzato, come nella precedente Relazione, fa riferimento al mese di luglio in quanto il più gravoso per le condizioni di stabilità della colonna d'acqua.

Nel caso precedente si è scelto di osservare l'impatto del getto termico attraverso gli incrementi di temperatura, scelta giustificata dal fatto che in inverno la colonna d'acqua può essere considerata a temperatura costante. Nel caso estivo questo non succede; infatti, allontanandosi dalla superficie gli strati d'acqua diventano più freddi e pertanto ragionare in termini di incrementi di temperatura rispetto ad un valore medio perde di significato. E' stato scelto in questo caso di ragionare in termini di temperatura assoluta facendo riferimento al profilo di temperatura iniziale della baia (si veda Relazione). In particolare la temperatura superficiale, nella zona dove presumibilmente andrà a svilupparsi il getto, risulta essere di circa 24°C.

Le figure 14 e 15 mostrano i valori istantanei della temperatura nella baia dopo un periodo simulato di 24 ore rispettivamente alla superficie marina e su una sezione verticale in corrispondenza del punto di emissione. La figura 14 mostra una dinamica del getto simile a quella osservata per il caso precedente (caso 5). Da queste figure si osserva che, come nel caso precedente, il getto risale verso la superficie, si espande nelle direzioni orizzontali e tende a separarsi in due chiazze che si propagano in direzione nord e sud rispettivamente. Analogamente a tutti i casi precedentemente analizzati, in condizioni di assenza di vento questo meccanismo si instaura a causa delle circolazioni che si vengono a formare per l'interazione tra la morfologia della baia ed il getto di scarico, si forma infatti un vortice di larga scala intrappolato nella zona NNE della baia. Quello che si può notare è che questa circolazione di grande scala nel caso estivo risulta accentuata rispetto al caso invernale e devia leggermente in senso antiorario la direzione delle chiazze superficiali (ciò risulta evidente confrontando le immagini alla superficie per la distribuzione del Cloro attivo libero per i casi 5 e 6). L'intensificazione di questo fenomeno è ragionevole ed è imputabile alla stratificazione termica. Le strutture che si sviluppano con asse verticale tendono ad essere più "appiattite" ed estese nella direzione orizzontale in quanto la stratificazione inibisce un mescolamento nella direzione verticale.

Dalla figura 15 si può osservare bene la stratificazione termica presente nella baia. Il getto tende ad essere confinato su uno strato superficiale anche più limitato rispetto alle condizioni invernali, ciò è da imputare alle condizioni di stratificazione stabile considerata.

Figura 16 mostra superfici isoterme per valori di 24.5°C, 25.0°C e 25.5°C. Considerando che la temperatura superficiale in assenza del getto ha un valore di riferimento di 24°C i risultati in figura possono essere qualitativamente comparati con quelli di figura 6 per il caso invernale. Il primo

risultato di interesse è la diversa estensione delle superfici isoterme che nel caso estivo risultano notevolmente ridotte. Ciò è spiegabile con il forte scambio termico che si instaura al punto di emissione dello scarico con l'acqua della baia. Si ricorda che al punto di presa l'acqua ha una temperatura di 23.8°C quindi molto simile a quella superficiale e l'acqua allo scarico assumerà una temperatura di circa 30°C. Lo scarico avviene al fondo della baia, dove la temperatura è nettamente inferiore rispetto alla superficie e pertanto viene ridotto già allo scarico il carico termico del getto; infatti, ad una quota di 12 metri dal livello medio mare il profilo termico utilizzato prevede una temperatura di circa 21 gradi e la differenza con la temperatura dello scarico sarà di 9 gradi circa.

La figura 17 mostra i profili di temperatura verticali istantanei al tempo $t=24h$ alle sonde. All'immagine è sovrapposto il profilo termico indicativo di partenza della temperatura media per la colonna d'acqua (si veda la linea tratteggiata nera). E' evidente che il getto termico, come già osservato, appare confinato in uno strato superficiale e dal confronto con il caso invernale si osserva che questo strato appare più contenuto a causa della stratificazione stabile preesistente. Quindi il getto termico si spande nelle direzioni orizzontali su uno strato di circa 3 metri a fronte dei circa 5 del caso invernale. Il sovrizzo termico rispetto alla temperatura di riferimento di 24 gradi risulta molto contenuto a 500 metri e ancora più ridotto alle sonde a 1000 metri; si osservano infatti, rispettivamente valori massimi registrati di 24.82°C e 24.61°C. Come nel caso precedente le sonde con i valori assoluti più alti risultano la A e la E che corrispondono al getto che avanza lungo la direttrice nord uscente dalla baia e verso la zona sud dove a causa della linea di costa si ha un fenomeno di downwelling. Nella Relazione (caso 3), era stato analizzato uno scenario estivo in condizioni di vento, dal confronto si può osservare che nel caso senza vento il profilo termico di tutte le sonde rimane molto simile allontanandosi dalla superficie è ciò è dovuto al fatto che in assenza di vento non si instaurano quei meccanismi di mescolamento verticale della colonna d'acqua (o di upwelling / downwelling lungo costa) indotti dall'azione del vento alla superficie.

La figura 18 mostra l'evoluzione temporale nelle 24 ore simulate della temperatura assoluta alle sonde. Si osserva chiaramente che sia a 500 che a 1000 metri gli incrementi di temperatura rispetto al riferimento superficiale di 24°C sono molto contenuti, sempre ben al di sotto dei limiti di legge per quanto riguarda la richiesta di sovrizzo termico inferiore ai 3°C a 1000 metri di distanza. In generale la temperatura osservata è sempre inferiore ai 25 °C in tutte le sonde.

Anche per la figura 18 si rimanda al confronto con la corrispettiva del caso 3 esposto nella Relazione, nella quale a causa del mescolamento indotto dal vento alcune sonde presentavano temperature addirittura inferiori rispetto a quella superficiale di riferimento a causa del richiamo di acqua fredda dagli strati profondi della baia. Dall'osservazione della temperatura alle sonde si osserva che in generale qualitativamente gli incrementi di temperatura nel caso estivo appaiono

ridotti rispetto al corrispettivo invernale. Ciò si spiega con il maggiore scambio termico iniziale del getto con gli strati profondi e freddi della baia.

Infine, l'analisi del campo di temperatura (figura 14) mostra che la massima temperatura registrata è sostanzialmente inferiore ai 35°C anche in prossimità della sezione di emissione.

Come nel caso precedente si è poi posta attenzione alla diffusione del Cloro attivo libero. Le figure 19 e 20 mostrano la distribuzione della concentrazione di Cloro attivo libero dopo un tempo simulato di 24 ore rispettivamente alla superficie marina e su una sezione verticale in corrispondenza del punto di emissione. Si conferma quanto osservato in generale per il caso invernale. Come detto prima, dal confronto della dispersione alla superficie, si osserva come la dispersione del biocida abbia un maggior angolo di deviazione verso ovest rispetto al caso invernale per le strutture vorticosi di grande scala che si instaurano nella zona NNE della baia.

La figura 21 mostra le superfici isolivello per tre valori di concentrazione del Cloro attivo libero. Dal confronto con il caso precedente invernale si osserva che le superfici appaiono meno estese ma d'altra parte il getto mantiene concentrazioni più alte lungo la direttrice nord. In particolare la superficie a concentrazione 0.02 mg/l risulta lievemente più lontana dalla zona costiera NNE a riprova dell'intensificazione della circolazione in quest'area osservata per il caso estivo.

La figura 22 mostra i profili verticali per i valori istantanei di concentrazione alle sonde dopo un tempo simulato di 24 ore. Si osservano valori molto contenuti delle concentrazioni sempre inferiori a 0.05 mg/l, precisamente 0.04 mg/l a 500 metri e 0.034 mg/l a 1000 metri. Si può inoltre notare come la concentrazione di Cloro attivo libero rimanga limitata ad uno strato superficiale di 3 metri, inferiore rispetto a quello invernale, quest'ultimo pari a circa 5 metri. D'altra parte questo determina che nel caso estivo le concentrazioni di Cloro sono maggiori rispetto al caso invernale, ad esempio per le sonde a 1000 metri abbiamo un valore istantaneo massimo di circa 0.034 mg/l per il caso estivo a fronte di circa 0.028 mg/l per il caso invernale.

Infine la figura 23 mostra l'evoluzione alle sonde della concentrazione nelle 24 ore simulate, si può notare come la diluizione sia già molto intensa a 500 metri di distanza dal punto di emissione.

Riassumendo dall'analisi del caso estivo e dal confronto con quello invernale si osserva che:

- La dinamica generale del getto termico rimane simile a quella del caso invernale, il getto rimane comunque confinato in uno strato più superficiale e devia leggermente verso ovest a causa delle circolazioni di grande scala ad asse verticale che risultano intensificate a causa della stratificazione stabile.

- Gli aumenti di temperatura appaiono più limitati rispetto al caso invernale a causa del maggior scambio termico iniziale con gli strati più profondi e freddi della baia e pertanto i limiti di legge sono ampiamente rispettati.
- La distribuzione del Cloro attivo libero segue le stesse dinamiche del getto termico, ma rimanendo confinato su uno strato superficiale ridotto, rispetto al caso invernale, presenta concentrazioni maggiori, seppur sempre molto ridotte rispetto a quelle al punto di emissione.

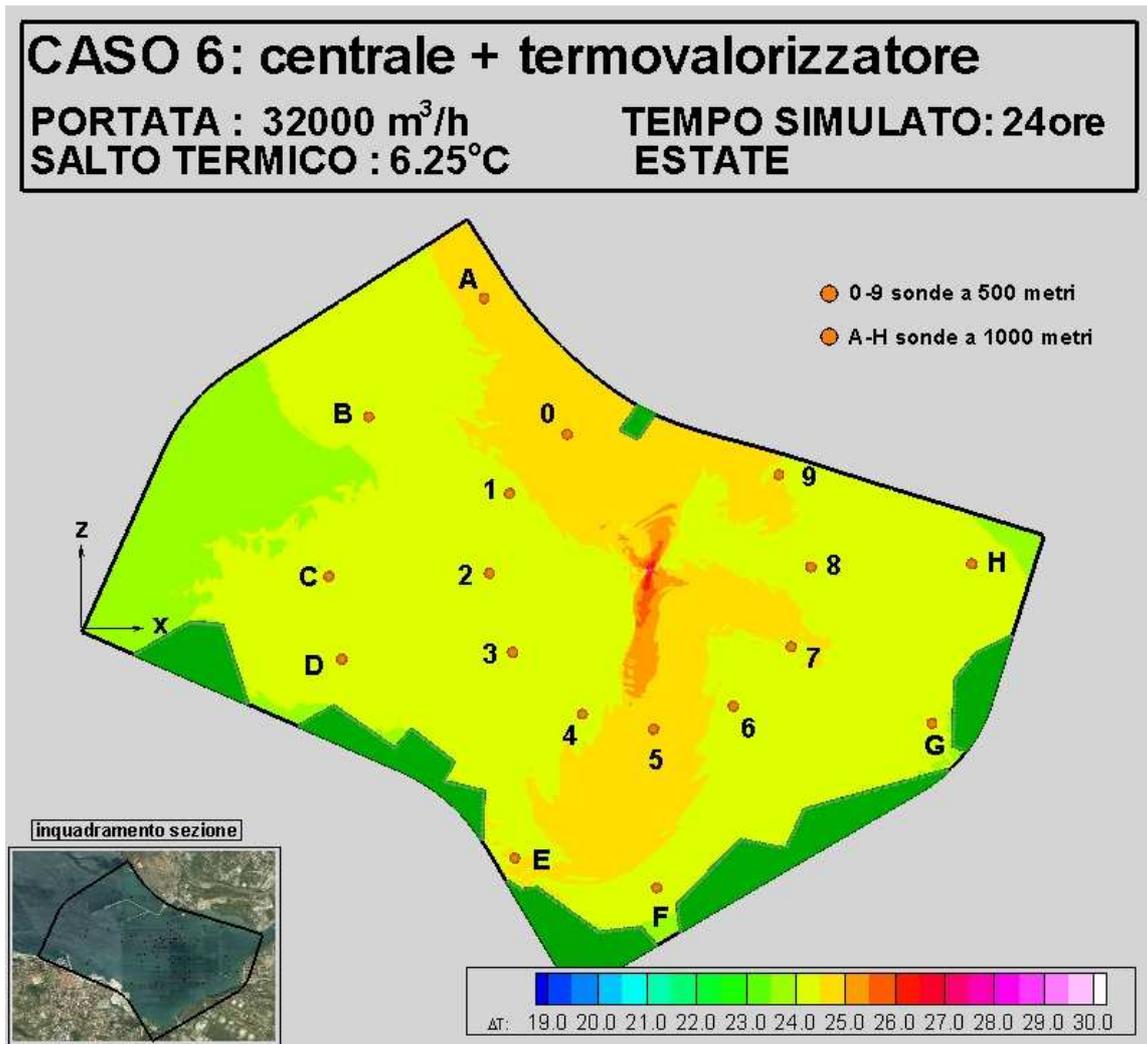


Figura 14: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Distribuzione spaziale della temperatura in corrispondenza della superficie libera del mare a t=24 h dall'inizio dell'emissione.

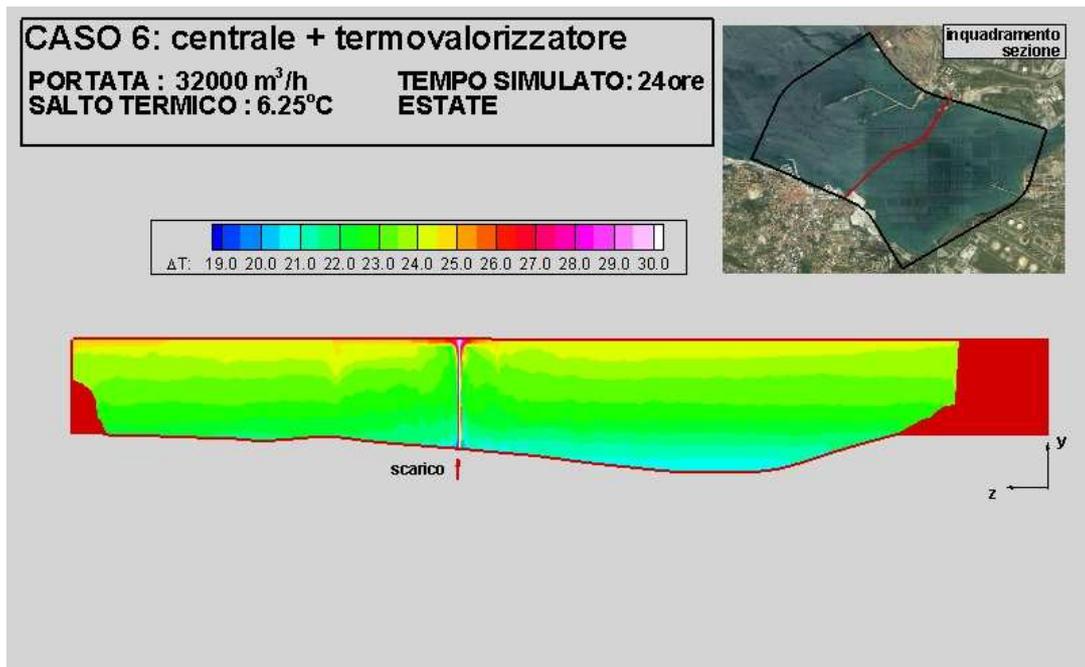


Figura 15: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Distribuzione spaziale della temperatura su una sezione verticale passante per il centro della sezione di emissione ed evidenziata dalla linea rossa del pannello in alto a destra. Tempo pari 24 ore dall'inizio dell'emissione.

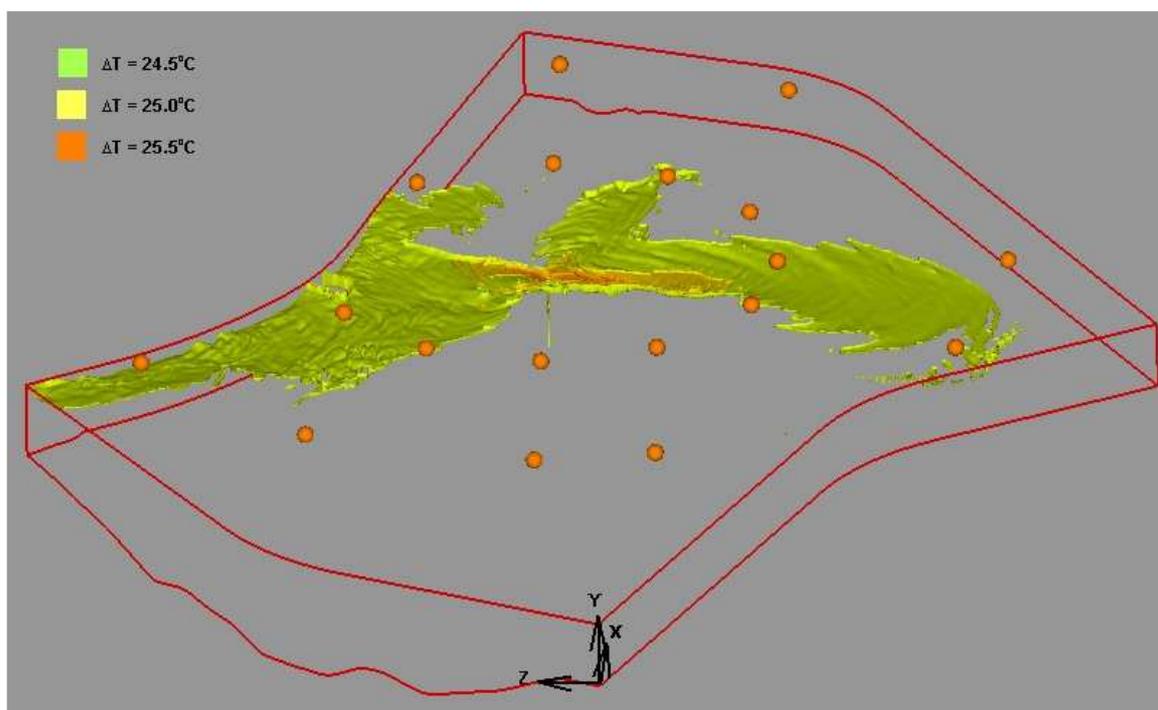


Figura 16: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Superfici isoterme della temperatura per valori rispettivamente pari a $T = 24.5, 25.0, 25.5$ °C, ($t = 24$ h ore dall'inizio dell'emissione). In rosso viene evidenziato il perimetro del dominio di calcolo, con i pallini arancione vengono segnalate le sonde. Per chiarezza la direzione verticale è intensificata di un fattore 15 e la linea di costa non viene mostrata.

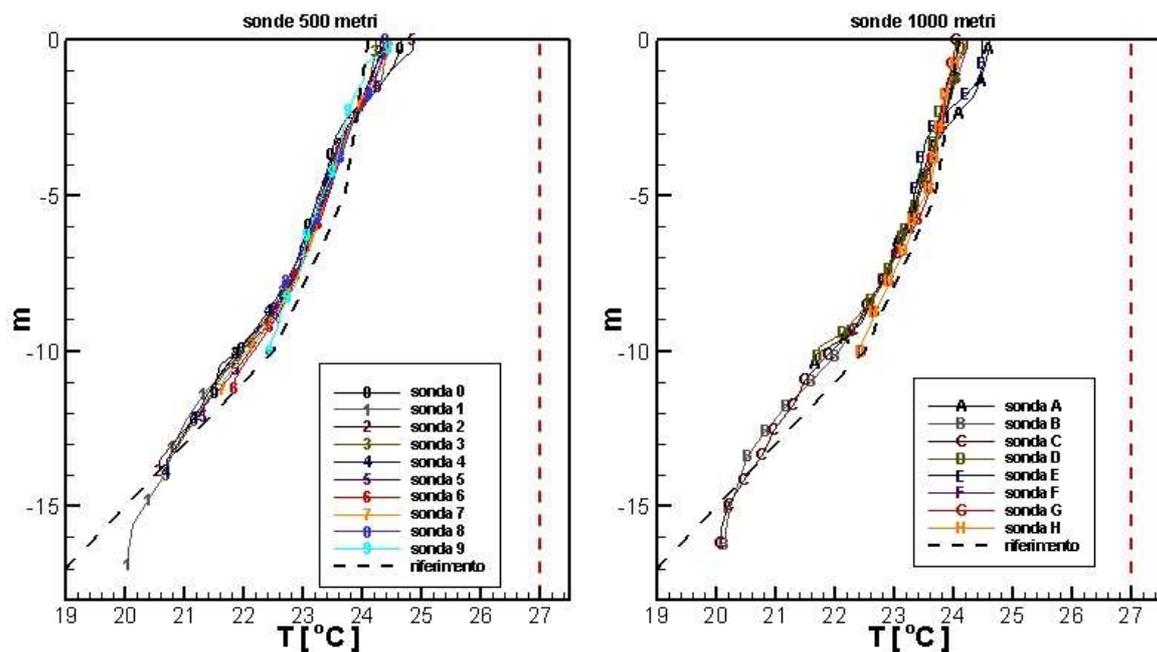


Figura 17: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Profili verticali della temperatura in corrispondenza delle sonde al tempo $t=24h$ dall'inizio dell'emissione.

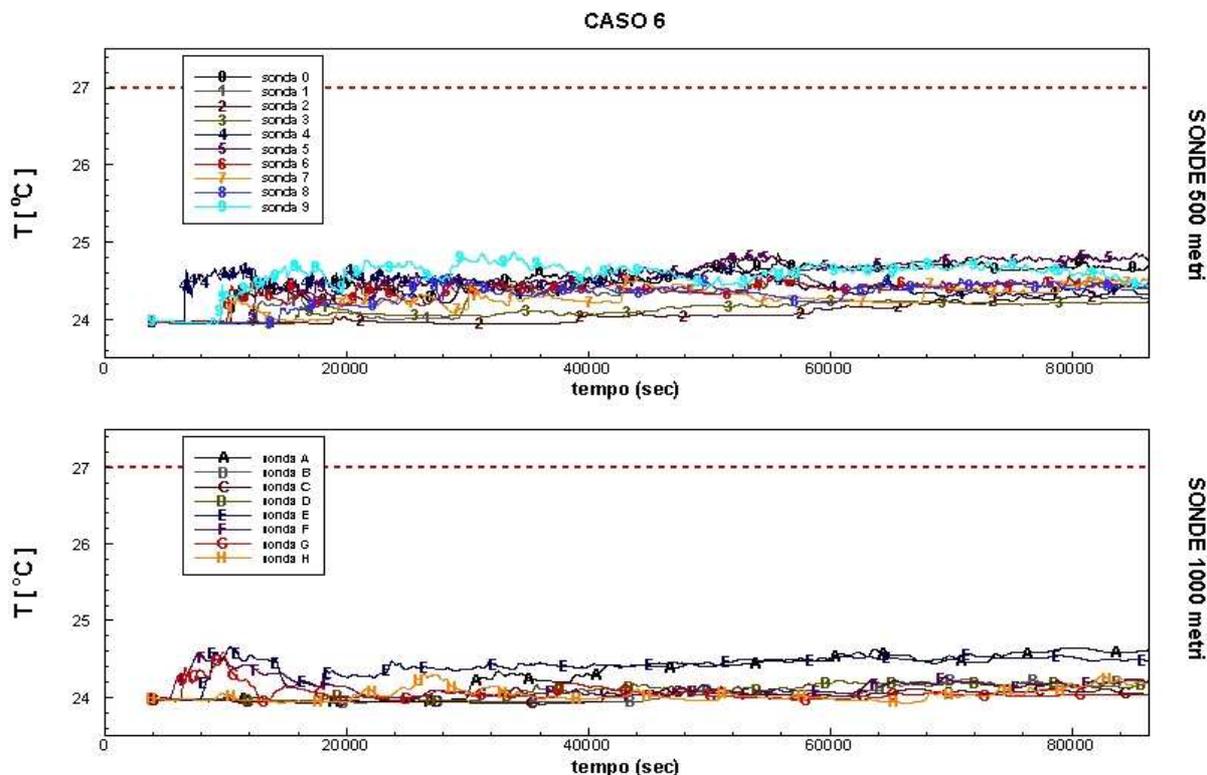


Figura 18: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Andamento della temperatura registrata dalle sonde numeriche durante l'evoluzione temporale del getto in 24 ore: pannello superiore, sonde a 500 metri dall'emissione; pannello inferiore, sonde a 1000 metri dall'emissione. I grafici riportano in linea tratteggiata rossa il limite di normativa pari a $3^{\circ}C$ a 1000 metri di sovrizzo termico.

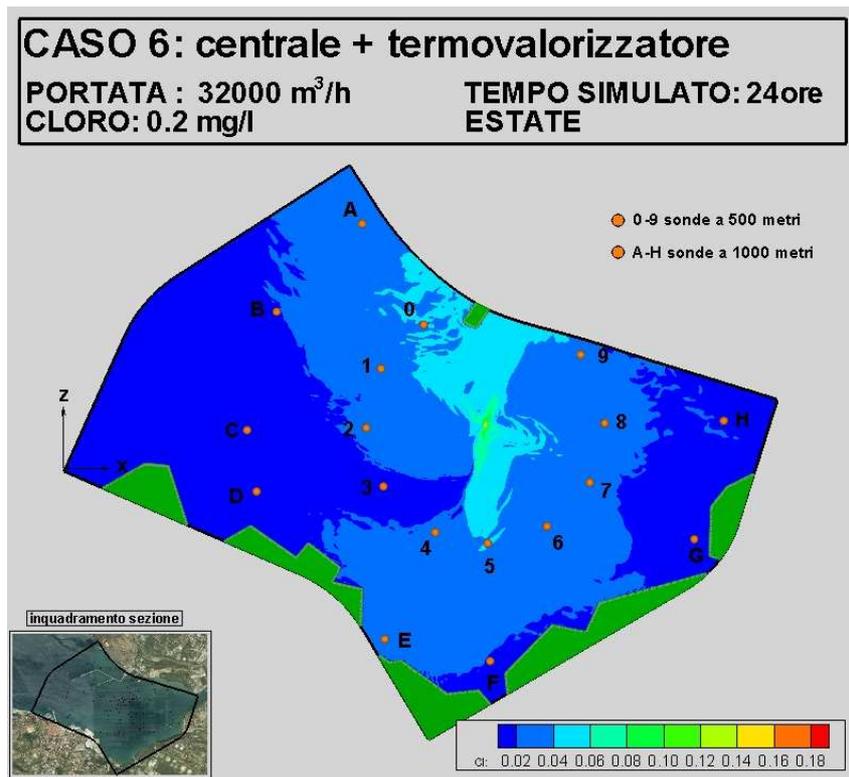


Figura 19: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Distribuzione spaziale della concentrazione di Cloro attivo libero in corrispondenza della superficie libera del mare a 24 ore dall'inizio dell'emissione.

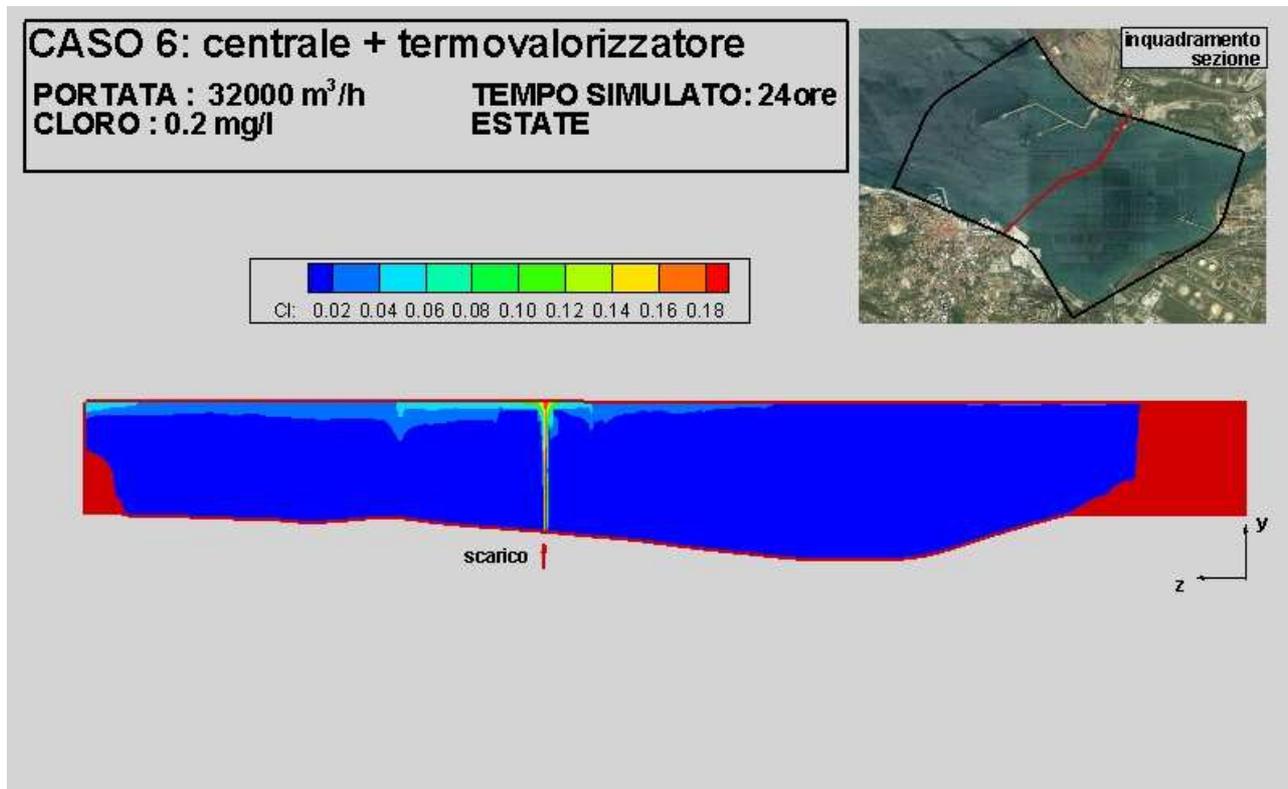


Figura 20: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Distribuzione spaziale della concentrazione di Cloro attivo libero su una sezione verticale passante per il centro della sezione di emissione ed evidenziata dalla linea rossa del pannello in alto a destra. Tempo pari 24 ore dall'inizio dell'emissione.

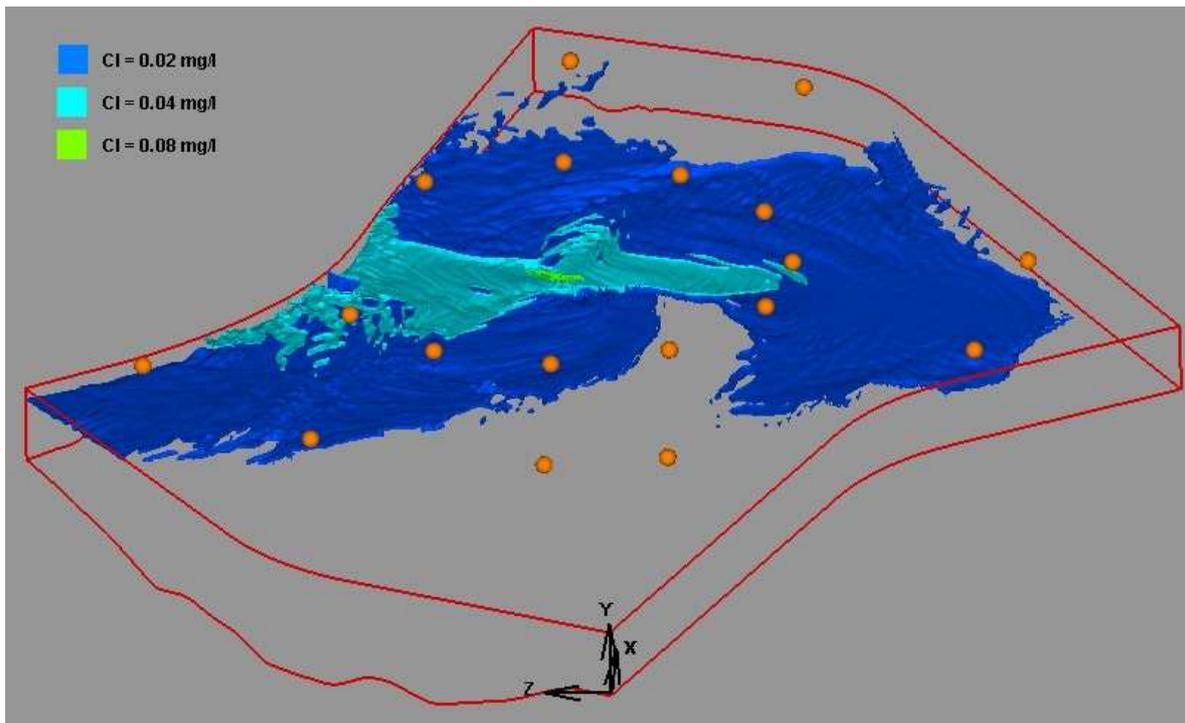


Figura 21: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Superfici isolivello per la concentrazione di Cloro attivo libero rispettivamente per valori di $Cl = 0.02, 0.04, 0.08 \text{ mg/l}$, ad un tempo di 24 ore dall'inizio dell'emissione. In rosso viene evidenziato il perimetro del dominio di calcolo, con i pallini arancione vengono segnalate le sonde. Per chiarezza la direzione verticale è intensificata di un fattore 15 e la linea di costa non viene mostrata.

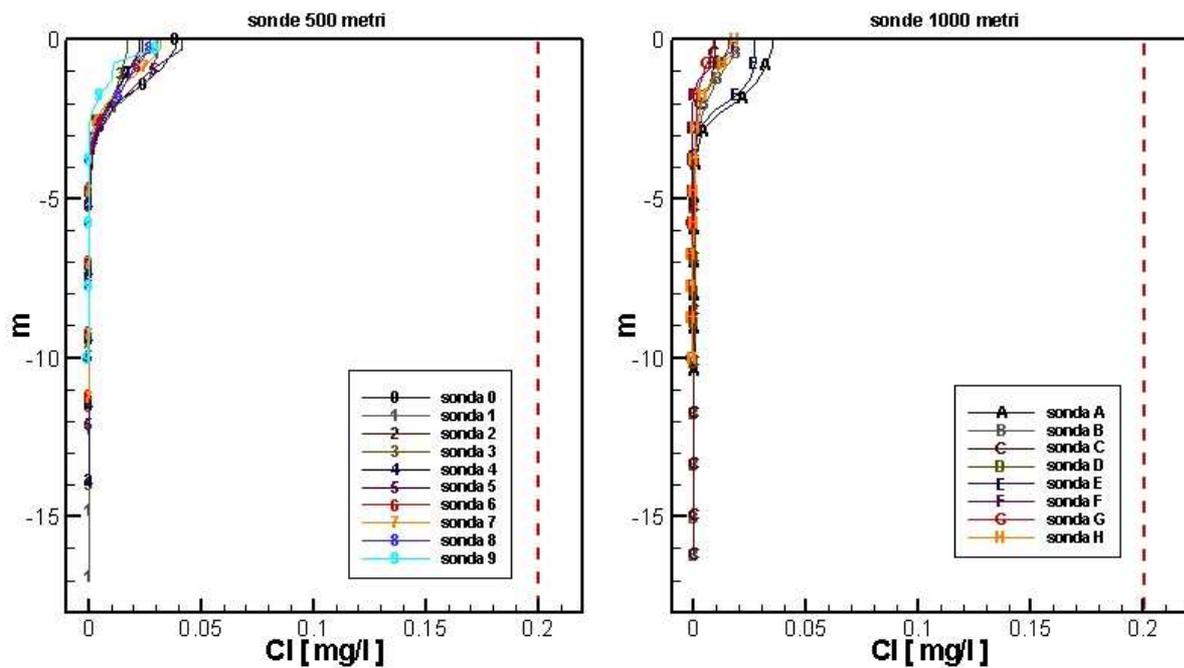


Figura 22: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Profili verticali della concentrazione di Cloro attivo libero in corrispondenza delle sonde al tempo di 24 ore dall'inizio dell'emissione.

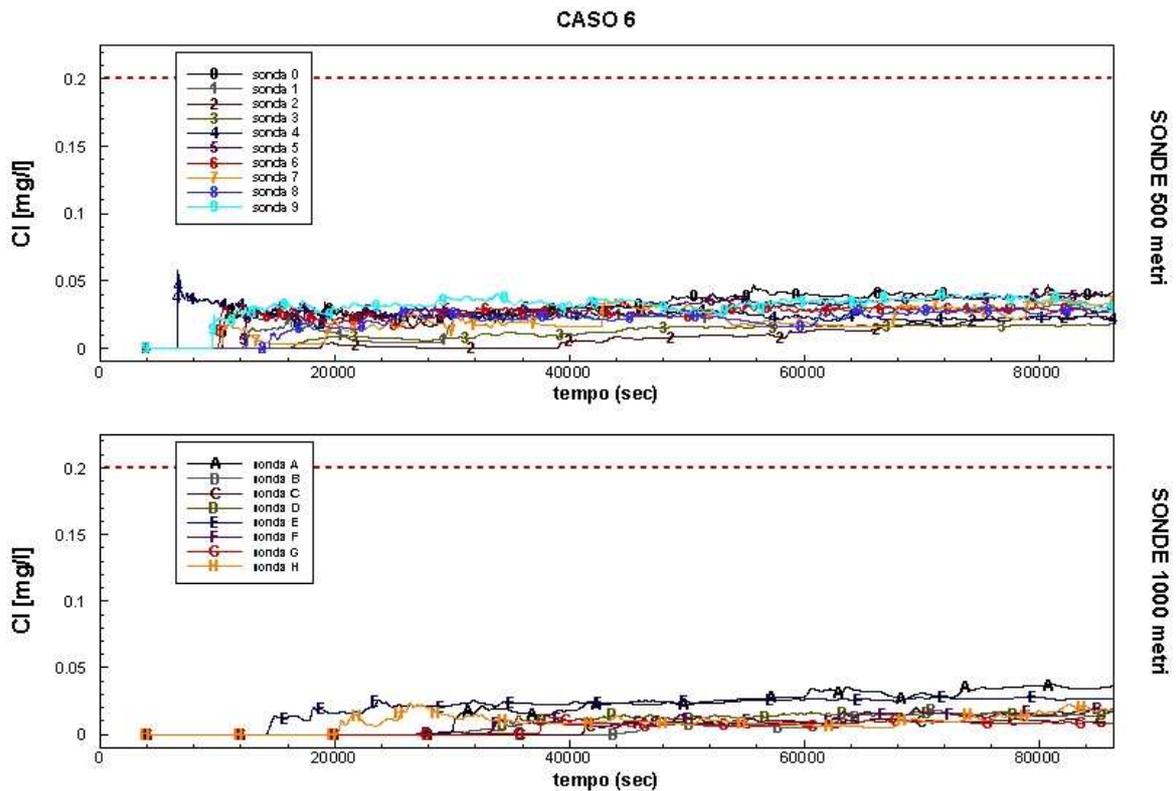


Figura 23: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Andamento temporale della concentrazione di Cloro attivo libero registrato dalle sonde numeriche durante le 24 ore di emissione: pannello superiore, sonde a 500 metri dall'emissione; pannello inferiore, sonde a 1000 metri dall'emissione. I grafici riportano in linea tratteggiata rossa il limite di normativa pari a 0.2 mg/l al punto di emissione.

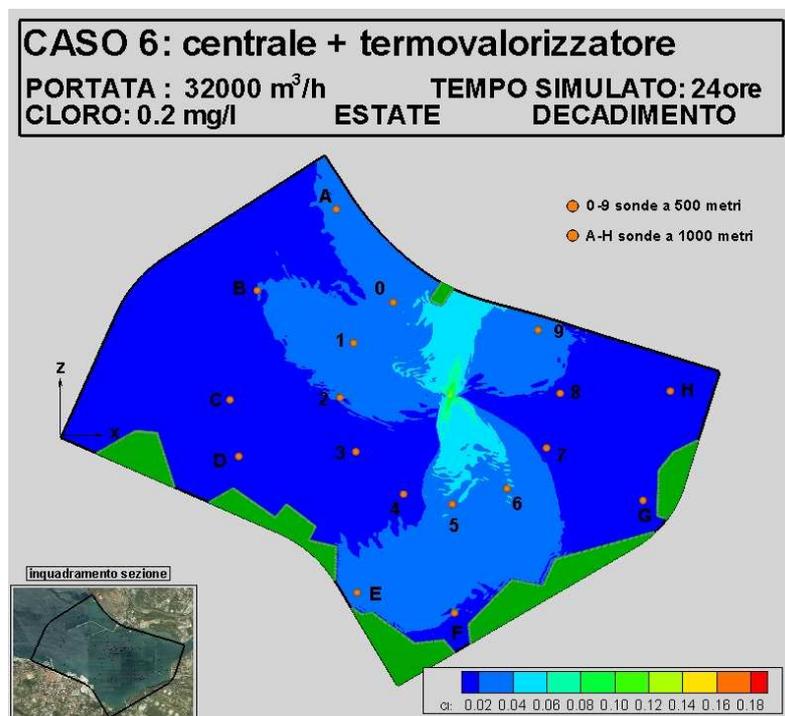


Figura 24: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento, decadimento per il Cloro. Distribuzione spaziale della concentrazione di Cloro attivo libero in corrispondenza della superficie libera del mare a 24 ore dall'inizio dell'emissione.

3. CASO 6b: analisi delle caratteristiche di dispersione del cloro, caso estivo in assenza di vento a 24 ore simulate con processo di decadimento.

Il presente scenario riconsidera una simulazione a 24 ore nel caso estivo dove però si è tenuto conto di una cinetica di decadimento per il Cloro attivo libero.

Innanzitutto bisogna far presente che gran parte della letteratura riguarda la cinetica del Cloro per reti di distribuzione di acqua dolce, molto poco invece è disponibile per il caso di acqua di mare.

Ai fini di una migliore esposizione si è scelto di mantenere la terminologia inglese per l'ambito tecnico.

Il Cloro come disinfettante o anti "bio-fouling" è comunemente usato nei desalinatori, nel trattamento dell'acqua da bere, acque reflue, come anche per le centrali termiche, nucleari etc..

Il Cl_2 immesso in acqua porta alla formazione di:

hypochlorous acid HOCl

hypochlorite ion OCl^-

Queste due componenti vanno sotto il nome di "Cloro attivo libero". La normativa italiana (D.Lgs. n. 152/2006) richiede che il "Cloro attivo libero" abbia una concentrazione non superiore a 0.2 mg/l alla sezione di scarico. Nella presente relazione di integrazione, in riferimento al Cloro attivo libero, si tengono in considerazione le reazioni chimiche che instaurano in acqua di mare, considerando quindi anche i derivati con potere ossidante.

In generale quando il Cloro viene rilasciato in acqua c'è un decadimento legato alla domanda organica di cloro, seguito da un decadimento più lento legato ad altre reazioni chimiche che intervengono. Numerosi studi sono stati eseguiti in particolare per le acque da rendere potabili e per il trattamento di acque reflue. Il decadimento del cloro attivo libero viene spesso espresso tramite modelli cinematici al primo od al secondo ordine.

Un tipico modello al primo ordine ha la forma:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad \text{che integrato fornisce} \quad \frac{C(t)}{C_0} = e^{-kt}$$

Dove C e C_0 sono rispettivamente la concentrazione al tempo t (mg/l) e la concentrazione allo stato iniziale (mg/l), k è la costante di decadimento al primo ordine (1/s) e t il tempo di reazione (s), si veda ad esempio [4].

La cinetica del decadimento del Cloro attivo libero è difficilmente ottenibile in modo preciso nel caso marino e dipende da diversi fattori tra cui la temperatura, la salinità, le specie presenti e la loro concentrazione, il pH e l'illuminazione [5].

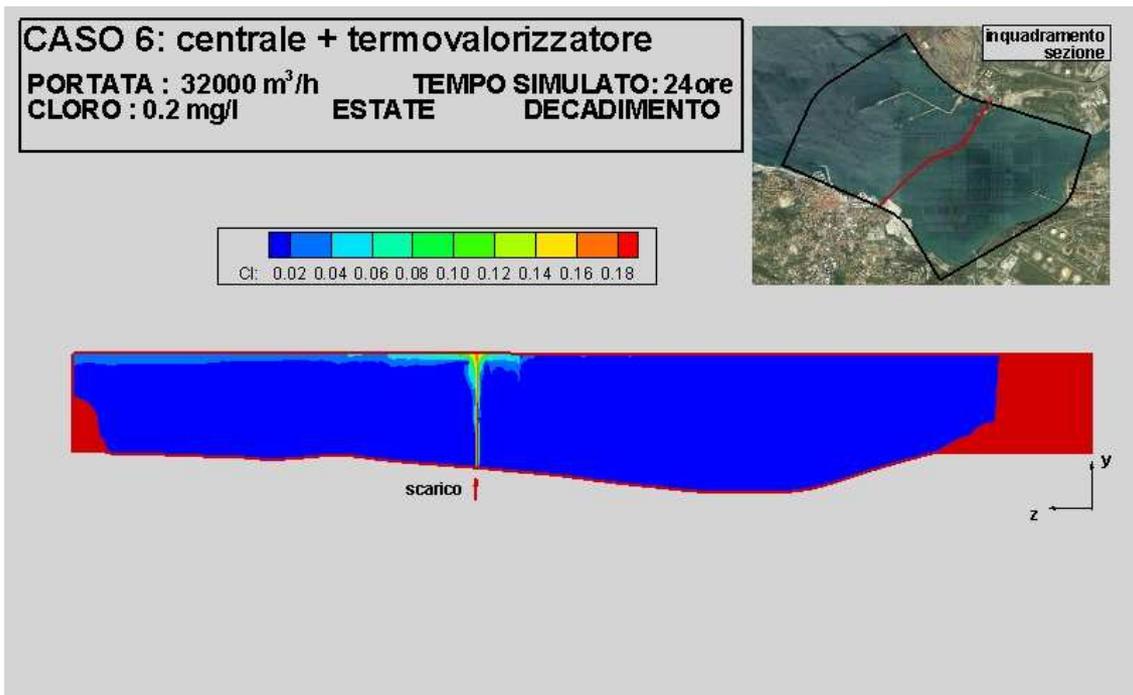


Figura 25: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento, decadimento per il Cloro. Distribuzione spaziale della concentrazione di cloro su una sezione verticale passante per il centro della sezione di emissione ed evidenziata dalla linea rossa del pannello in alto a destra. Tempo $t=24$ ore dall'inizio dell'emissione.

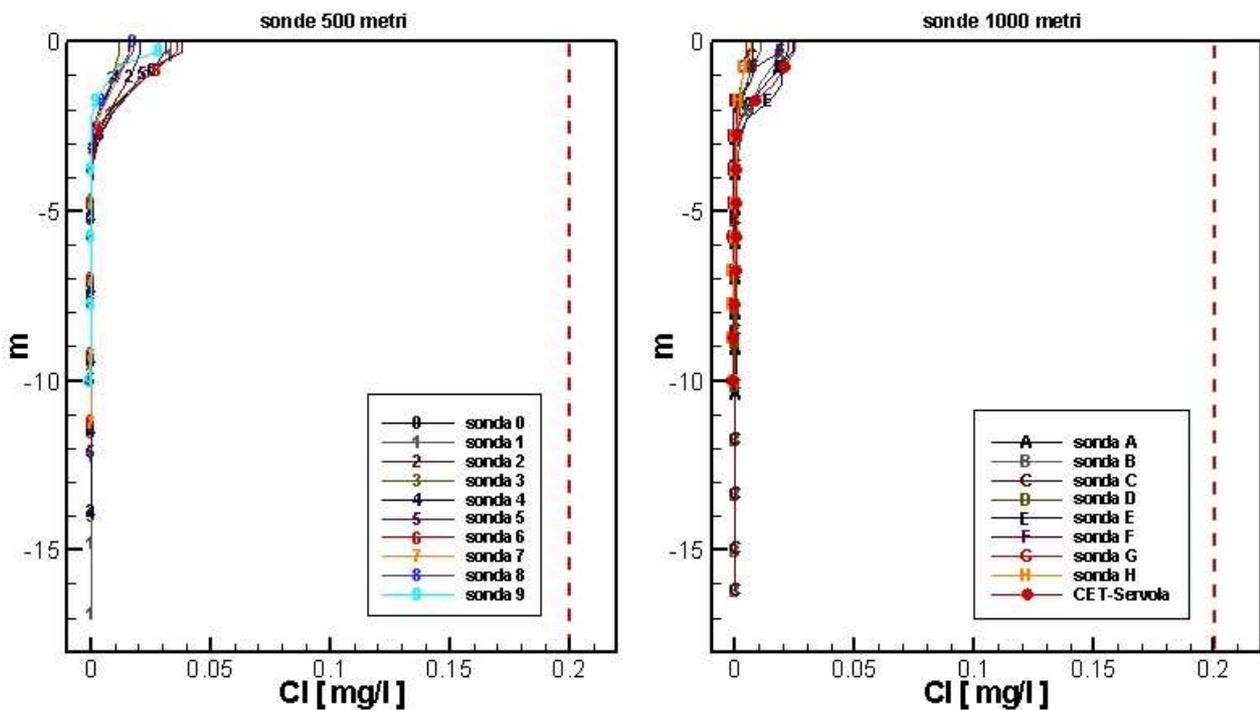


Figura 26: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento, decadimento per il Cloro. Profili verticali della concentrazione di Cloro in corrispondenza delle sonde al tempo di 24 ore dall'inizio dell'emissione.

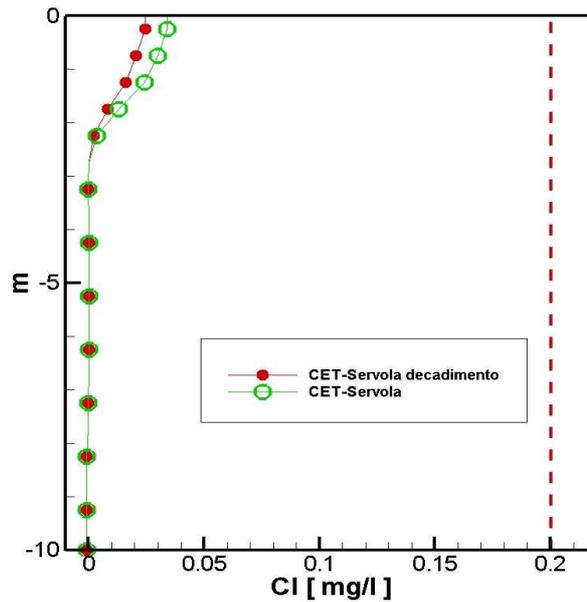


Figura 27: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento. Confronto tra i profili verticali della concentrazione di Cloro attivo libero in corrispondenza della sezione di scarico della centrale CET-Servola con e senza cinetica di decadimento dopo 24 ore dall'inizio dell'emissione.

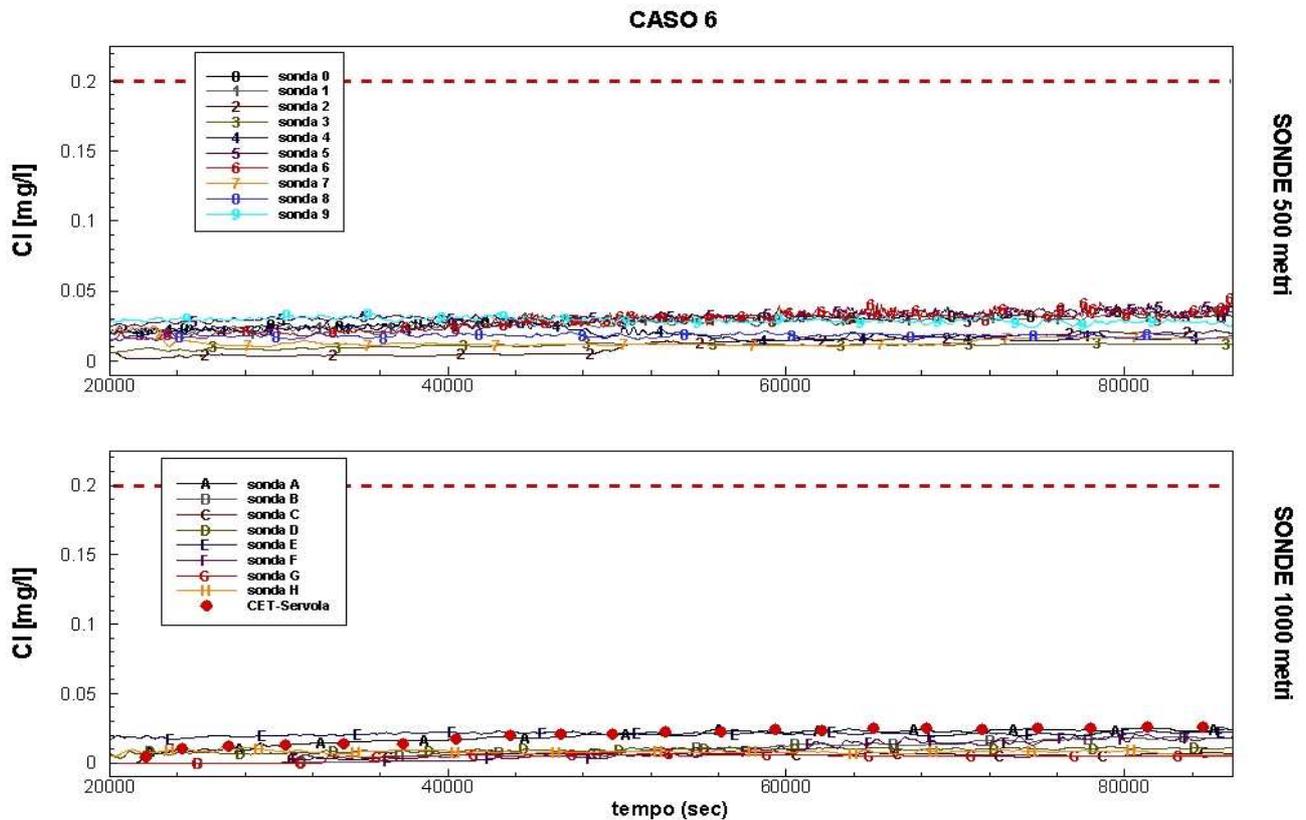


Figura 28: Caso 6, condizione estiva, assenza di vento, decadimento per il Cloro. Andamento temporale della concentrazione di Cloro attivo libero registrato dalle sonde numeriche durante le 24 ore di emissione: pannello superiore, sonde a 500 metri dall'emissione; pannello inferiore, sonde a 1000 metri dall'emissione. I grafici riportano in linea tratteggiata rossa il limite di normativa pari a 0.2 mg/l al punto di emissione.

Tan e Liu 2003 [6] hanno usato un modello al primo ordine con $k=0.6931$ (h^{-1}) per simulare lo scarico in mare di una Centrale.

Wang et al. 2008 [7] per temperature di $25^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$ hanno usato costanti di decadimento pari rispettivamente a 0.3595 (h^{-1}) e 0.4262 (h^{-1}). Sebbene tali costanti siano state usate per analisi sui circuiti interni ad una centrale le prove di laboratorio rimangono valide anche per il decadimento legato all'emissione in mare (comunicazione personale con l'autore).

Nel caso in esame per essere comunque altamente conservativi sul decadimento del Cloro attivo libero si è scelto di usare una costante di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quelle mostrate sopra, ovvero 0.035 , valore vicino a quelli considerati da Coughlan e Davis 1983 [9].

Le figure 24 e 25 mostrano rispettivamente valori istantanei della concentrazione del Cloro attivo libero alla superficie e ad una sezione verticale in corrispondenza del punto di emissione, la simulazione è stata fatta evolvere nel tempo con una funzione di decadimento come esposta sopra. I valori di concentrazione appaiono ridotti rispetto al caso senza decadimento di una percentuale di circa il 30%. Ciò risulta anche più evidente nell'osservare i profili verticali di concentrazione riportati in figura 26. In particolare si può osservare la differenza dei profili per la sonda in prossimità dello scarico della centrale CET-Servola in figura 27 dove ad un valore di concentrazione alla superficie di 0.035 mg/l corrisponde una concentrazione di 0.025 mg/l nel caso si consideri il decadimento.

Infine, nella figura 28 si riporta l'andamento temporale, nell'arco di 24 ore, delle concentrazioni del biocida registrato in corrispondenza delle sonde. Dal confronto con la figura 23, si osserva chiaramente come la simulazione più realistica, che considera il decadimento del biocida durante il processo di diffusione, produca valori di concentrazione di circa un ordine di grandezza inferiori al valore nominale di emissione già a 500 metri dalla sezione di scarico.

4. CONSIDERAZIONI SU POSSIBILI EFFETTI CUMULATIVI

Per valutare l'eventuale effetto di accumulo, consistente nella sovrapposizione del Cloro attivo libero emesso dalla Centrale Lucchini con quello emesso dalla centrale CET-Servola, in corrispondenza dello scarico a mare di quest'ultima è stata posta una ulteriore sonda numerica. Dall'analisi dei profili verticali (figura 26) e delle sonde (figura 28) si osserva che in prossimità di tale zona la concentrazione stimata in arrivo dalla centrale Lucchini assume valori intorno a 0.025 mg/l alla superficie, ridotto di circa un ordine di grandezza rispetto al valore di partenza, assunto pari al massimo ammissibile da normativa vigente.

L'effetto cumulativo risulta pertanto trascurabile, tenendo anche conto delle seguenti considerazioni:

- 1) Si dovrebbe considerare l'effetto di diluizione causato dal ricambio d'acqua nella baia dovuto alla circolazione del nord adriatico che qui non è stata considerata. Inoltre andrebbe considerato anche l'apporto mareale: sebbene questa componente si limiti sostanzialmente a

spostare in avanti e indietro di qualche centinaio di metri la massa d'acqua, le correnti residue possono giocare un ruolo rilevante su tempi lunghi. Ciò risulta evidente dalla letteratura in materia. Nella ricerca di Princi et al. 1980 [3], sulla base di rilievi sperimentali effettuati in loco nel periodo 1980, è stata calcolata con modelli matematici la presenza di correnti mareali residue permanenti dell'ordine di 0.5 cm/s in direzione nord – sud che producono un ricambio d'acqua alle bocche della baia stimato in 6×10^6 m³/giorno. Come riportato dagli Autori, tale ricambio *assicurerebbe un ricambio potenziale di tutta l'acqua della Baia e del Vallone di Muggia in circa un mese* [3].

- 2) Se si considerano le azioni del vento il meccanismo di ricambio d'acqua assume dimensioni molto più importanti, in casi di venti occidentali (sempre secondo Princi et al. 1980 [3]), data una circolazione a due strati di direzione opposta lungo la verticale, è stata stimata una portata entrante o uscente di 90×10^6 m³/giorno ripartito tra gli sbocchi a nord della baia e quelli a sud per ogni strato. Seppure queste siano stime di ordini di grandezza, esse permettono di avere un'idea dell'entità del ricambio di acqua nella baia. Si fa notare che una portata di 32000 m³/ora, come quella dello scarico della Centrale, equivale a circa $0,77 \times 10^6$ m³/giorno e quindi comunque notevolmente inferiore al ricambio d'acqua nella baia dovuto alla sola componente mareale.
- 3) La simulazione ha tenuto conto del decadimento del Cloro attivo libero con un coefficiente di decadimento molto conservativo. Valori di tale coefficiente meno conservativi ed allo stesso tempo pienamente realistici (si veda [9]) come avviene per reazioni con componenti organiche ed inorganiche presenti in acqua di mare, produrrebbero concentrazioni di Cloro attivo libero ulteriormente inferiori rispetto a quanto ottenuto nelle simulazioni.
- 4) La stima dell'effetto cumulativo tra il Cloro attivo libero proveniente dalla Centrale Lucchini con quello emesso dalla Centrale ELETTRA dovrebbe considerare l'interazione idrodinamica tra i due fronti di massa di acqua che trasportano l'eccesso di temperatura e la concentrazione del biocida, provenienti da due direzioni opposte. Nello specifico, la discussione sopra, relativa al trasporto di una concentrazione di Cloro attivo libero in corrispondenza della sezione di scarico della Centrale ELETTRA si riferisce al caso in cui si consideri il fronte d'onda termico e di concentrazione clorina proveniente dalla Centrale Lucchini in assenza di emissione da parte della Centrale ELETTRA. In realtà ai fini della quantificazione dell'effetto di accumulo del biocida, bisognerebbe considerare la presenza contemporanea delle emissioni e quindi dei fronti di propagazione di massa provenienti da direzioni opposte come schematizzato in figura 29. Ciò è particolarmente vero anche a causa del fatto che i due getti hanno caratteristiche termo-fluidodinamiche molto simili, sono cioè entrambi caratterizzati da un eccesso di temperatura che provoca la rapida risalita e la dispersione in corrispondenza degli strati più superficiali delle chiazze termiche e di concentrazione del biocida.

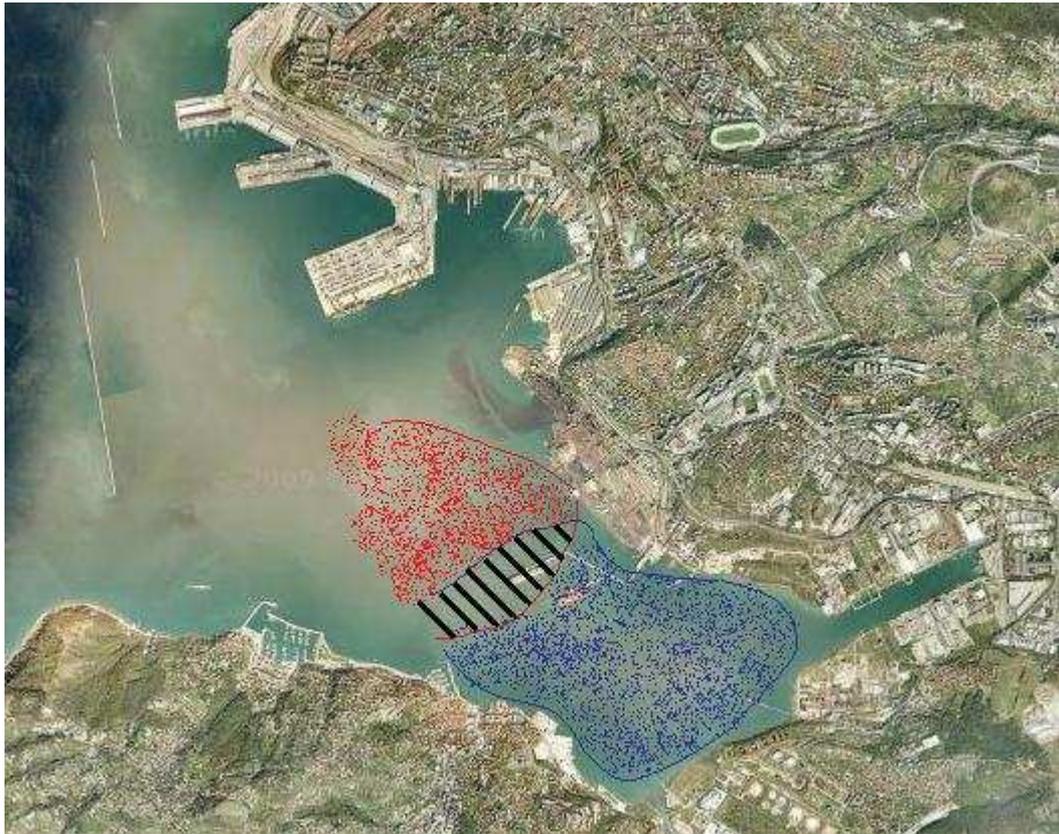


Figura 29: esempio di possibile interazione tra lo scarico in mare della centrale CET-Servola (rosso) e quello della centrale Lucchini (blu). Le zone rosse e blu indicano possibili aree di influenze e non valori di concentrazione.

La presenza contemporanea dei due getti produrrà due zone distinte: una prima zona posta in prossimità dello scarico della Centrale Lucchini ed influenzata esclusivamente dal getto emesso da quest'ultima; una posta in prossimità dello scarico della Centrale ELETTRA, influenzata esclusivamente dall'emissione del getto di quest'ultima. I fronti di massa provenienti dalle chiazze superficiali emesse dalle due sezioni di scarico si incontreranno ed eventualmente tenderanno a sovrapporsi in una zona molto lontana da entrambe le sezioni di scarico, dove le concentrazioni di Cloro attivo libero si sono già ridotte di circa un ordine di grandezza. A partire da questa zona di interazione, si genererà una corrente superficiale secondaria residua che tenderà a spostare la macchia in direzione perpendicolare alla linea passante per le due sezioni di scarico. La posizione e l'effettiva direzione di propagazione di questa corrente varierà a seconda della direzione del vento e sarà influenzata dalla forza di Coriolis, e comunque tenderà sempre a tenersi distante dalle sezioni di scarico dominate dalla rispettive correnti principali dovute ai getti.

Come risultato di tale interazione idrodinamica tra i due getti si deve ritenere assente un effetto di accumulo del biocida in corrispondenza delle sezioni di scarico, regioni dove le concentrazioni del biocida assumono valori più elevati, e considerare la formazione di una corrente residua dove valori molto bassi (circa un ordine di grandezza inferiore al valore di emissione) tenderanno a sovrapporsi.

- 5) Infine, come ulteriore testimonianza delle ipotesi conservative con le quali è stata stimata la diffusione allo scarico della Centrale Lucchini, è utile sottolineare che dalle misure di concentrazione di Cloro attivo libero eseguite allo scarico della Centrale-CET Servola [8], si evince che la concentrazione massima misurata a regime si mantiene sempre al di sotto di 0.14 mg/l, con cloratore al massimo della sua capacità produttiva. Nel documento [8] si riporta infatti che “(...). *Tale valore rappresenta pertanto il limite fisico raggiungibile nell’assetto di marcia in normale esercizio dell’impianto. (...)*”.
- 6) Le simulazioni hanno considerato una emissione continua su 24 ore, mentre questa sarà operativa per un tempo pari a 16 ore al giorno. Le simulazioni sovrastimano quindi notevolmente i flussi termici e la quantità di cloro immesso nel bacino nell’arco della giornata.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato di integrazione alla relazione di data 22 aprile 2009, si inserisce nell’ambito della documentazione tecnica di supporto allo Studio di Impatto Ambientale della centrale a ciclo combinato di potenza pari a 400 MW da ubicarsi nell’area del Porto industriale di Trieste, proposta dalla Lucchini Energia nel quadro delle iniziative promosse per la riconversione produttiva dello stabilimento siderurgico esistente (“Ferriera di Servola”).

Scopo principale del lavoro è stato quello di verificare la compatibilità del possibile utilizzo dell’acqua di mare per il raffreddamento dell’impianto con i limiti imposti dalla normativa di settore nel caso in cui la centrale in oggetto lavori in integrazione con il termovalorizzatore. Tale impatto ambientale è stato valutato sia sul versante dei sovralti termici che su quello della dispersione del Cloro attivo libero.

Le simulazioni effettuate, ad integrazione delle precedenti esposte nella relazione di data 22 aprile 2010 riguardano una portata di 32000 m³/h con un sovralto termico di 6.25°C ed una concentrazione iniziale di cloro allo scarico pari a 0.2 mg/l.

Sono stati considerati 2 casi ovvero:

- condizione invernale, assenza di vento;
- condizione estiva, assenza di vento.

Le simulazioni sono state eseguite per un tempo di emissione pari a 24 ore, tempo al quale i campi termici e di concentrazione hanno mostrato avere raggiunto condizioni di stazionarietà. In realtà è presumibile un decadimento maggiore del plume termico e del Cloro attivo libero a causa del fatto

che il tempo di emissione considerato è notevolmente superiore a quello effettivo di utilizzo dell'acqua di mare (16 ore).

In generale gli scenari meteo marini considerati sono stati scelti sulla base di un criterio di conservatività piuttosto che di rappresentatività. Ai fini di operare in condizioni conservative, nel modello numerico non sono stati considerati tutti quegli effetti presenti nella realtà, difficili da quantificare e che tendono a mitigare l'incremento della temperatura e a diluire le concentrazioni di biocidi negli strati superficiali del bacino. In particolare:

- non è stato considerato l'apporto di acqua dolce dal Rio Ospo e dal torrente Rosandra apporto che tenderebbe a mitigare il sopralzo termico in corrispondenza della superficie marina e a diluire ulteriormente la concentrazione di Cloro attivo libero;
- non è stato considerato l'effetto di diluzione associato alla presenza delle maree all'interno della baia, effetto che diventa rilevante in simulazioni a lungo termine;
- i valori di salto termico considerati nel presente studio alla sezione di emissione sono stimati per eccesso, in quanto durante il trasferimento lungo i 500 metri di condotta, dalla linea di costa alla sezione di emissione, fenomeni di scambio termico tenderebbero a disperdere parte del salto termico lungo la condotta prima dell'emissione. Ciò è particolarmente vero nel caso estivo, nel quale il salto di temperatura in corrispondenza del fondo del mare è notevolmente superiore a quello del caso invernale;
- le simulazioni non hanno considerato l'ulteriore raffreddamento delle acque superficiali dovute a fenomeni di scambio termico tra la superficie marina e l'atmosfera;
- le simulazioni hanno considerato una profondità di emissione pari a 12 metri, come dalle carte batimetriche fornite dagli Uffici Tecnici dell'Autorità Portuale di Trieste. Nel caso in cui la sezione di emissione fosse posta ad una profondità superiore, come riportato in [1] la maggiore profondità permetterebbe al getto termico di perdere ulteriore carico termico durante la risalita lungo la colonna d'acqua e una maggiore diluzione del biocida.

Riassumiamo qui di seguito i risultati principali ottenuti dalle simulazioni eseguite:

- la dinamica del getto sia nel caso invernale che in quello estivo è tale che esso risale rapidamente in superficie e ivi tende a disperdere rapidamente il carico termico e la concentrazione del Cloro attivo libero durante la propria evoluzione spaziale (principalmente lungo i piani orizzontali);
- Il trasporto di temperatura e del biocida in corrispondenza della superficie non presenta una simmetria assiale, a causa della circolazione che si instaura nella baia a causa delle correnti indotte dal getto stesso e della morfologia della baia;

- l'incremento massimo di temperatura registrato dalle sonde numeriche a 24 ore è pari a 1.4°C a 500 metri di distanza dalla sezione di emissione e non superiore a 1°C a 1000 metri dalla sezione di emissione per il caso invernale; nel caso estivo i sovralti termici sono inferiori a causa del maggior scambio termico durante la risalita del getto;
- il sovralti termico rimane confinato nei primi metri al di sotto della superficie marina. L'effetto è praticamente assente ad una profondità superiore ai 5 metri per il caso invernale e circa 3 metri per quello estivo;
- non si osservano significativi incrementi di temperatura dell'acqua in corrispondenza della sezione di ingresso del canale navigabile;
- le concentrazioni di Cloro attivo libero risultano molto ridotte appena ci si allontana dal punto di emissione. Anche nella zona della centrale CET-Servola considerando le emissioni di questa infrastruttura l'effetto di accumulo non è tale da superare i limiti di normativa. I valori massimi registrati alla superficie sono dell'ordine di 0.025 mg/l a circa 1000 metri dal punto di emissione, di circa un ordine di grandezza inferiore al valore di emissione. L'ordine di grandezza della concentrazione di biocida ottenuta nel bacino è consistente con valori di letteratura [1] relativi a impianti industriali simili. In particolare in [10] si fa riferimento a centrali con dosaggio interno di Cl₂ dell'ordine di 0.5-1.5 mg/l e un residuo ossidante di 0.1-0.2 mg/l, come nel caso in oggetto.
- Effetti di accumulo del biocida tali da superare i limiti di normativa sono da escludere, in quanto le dinamiche dei due getti provenienti rispettivamente dallo scarico della Centrale Lucchini e dallo scarico di ELETTRA sono tali che i fronti dell'onde di propagazione si incontreranno e tenderanno a sovrapporsi in una regione lontana dalle zone di scarico, regione dove le concentrazioni di biocidi sono di circa un ordine di grandezza inferiori al valore di emissione.

BIBLIOGRAFIA

[1] DHI, Water & Environment, Studio di diffusione dello scarico dell'acqua di mare dal terminale di rigassificazione di Zaule. Febbraio 2008 (scaricabile dal sito <http://www.gasnaturalitalia.com/magnoliaPublic/GNIItalia/home/leftMenu/gasnaturale/DocumentiSIA.html>)

[2] Roman, F., Stipcich, G., Armenio, V., Inghilesi, R., Corsini, S., Large Eddy Simulation of Mixing in coastal areas. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2010 in stampa.

[3] Princi, M., Stravisi, F., Specchi, M., Osservazioni morfologiche fisiche e chimiche sulla baia di Muggia (golfo di Trieste - alto Adriatico). Mem. Biol. Marina e Oceanogr., suppl. X, 275-284, 1980.

- [4] Clark, R. "Chlorine demand and TTHM formation kinetics: a second-order model". Journal of Environmental Engineering, 1998, vol. 124, 16-24.
- [5] Cooper, W.J., Jones, A.C., Whitehead, R.F., Zika, R.G. "Sunlight-induced photochemical decay of oxidants in natural waters: implications in ballast water treatment". Environ. Sci. Technol., 2007, vol. 41, 3728-3733.
- [6] Tan, H., Liu, L. "An assessment method for environmental impacts of the residue chlorine in the cooling water effluent of thermal (nuclear) power plant". International Conference on Estuaries and Coasts, 2003, Hanzhou, China.
- [7] Wang, J.T., Chen, M.H., Lee, H.J., Chang, W.B., Chen, C.C., Pai, S.C., Meng, P.J. "A model to predict total chlorine residue in the cooling seawater of a power plant using iodine colorimetric method". Int. J. Mol. Sci., 2008, vol. 9, 542-553.
- [8] ELETTRA GLT – TRIESTE – Trasmissione informazione sistema clorazione acqua di raffreddamento CET-Servola. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente, Dip. Trieste, 1-10-2003, Prot. N. 4677/03/TS.
- [9] Langford, T.E. Ecological Effects of Thermal Discharges, Elsevier Applied Science, 1990.
- [10] Jenner, H.A. , Taylor, C.J.L., van Donk, M., Khalanski M. "Chlorination By-products in chlorinated cooling water of some European Coastal Power stations". Marine Environmental Research, 1997, vol.43, 279-293.



Prof. Ing. Vincenzo Armenio