



TERMINALE GALLEGGIANTE DI RIGASSIFICAZIONE FSRU - TOSCANA



ALLEGATO D7

***Identificazione e Quantificazione degli Effetti
delle Emissioni in Acqua e confronto con SQA per
la Proposta Impiantistica per la quale si richiede
l'Autorizzazione***

Agosto 2010



INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. UBICAZIONE DEL TERMINALE..... | 4 |
| 3. SCENARI EMISSIVI E DATI METEO-MARINI CONSIDERATI NELLE SIMULAZIONI | 6 |
| 4. MODELLO NUMERICO..... | 10 |
| 5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI | 11 |
| 5.1. Campi idrodinamici nei quattro scenari di simulazione | 11 |
| 5.2. Campi della temperatura nei quattro scenari di simulazione..... | 16 |
| 6. CONCLUSIONI..... | 21 |
| 6.1. Sintesi dei risultati inerenti il campo idrodinamico | 21 |
| 6.2. Sintesi dei risultati inerenti il campo della temperatura..... | 21 |

1. PREMESSA

Il presente studio è stato sviluppato al fine di valutare la dispersione in mare della corrente fredda delle acque impiegate per il processo di rigassificazione del terminale GNL (FSRU) di proprietà della società OLT Offshore LNG Toscana ubicato al largo delle coste italiane.

Lo studio, effettuato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze mediante modellistica numerica 3D, evidenzierà l'assenza di interferenze significative con la componente ambiente idrico, nonché con gli organismi pelagici, nectonici, bentonici e planctonici presenti nell'area.

2. UBICAZIONE DEL TERMINALE

Il terminale per la rigassificazione di gas naturale liquido "FSRU Toscana" sarà situato al largo del litorale tra Livorno e Marina di Pisa (circoscrizione territoriale marittima della Capitaneria di Porto di Livorno) in uno specchio di mare a Nord-Ovest del porto di Livorno, a 12 miglia nautiche al largo delle coste, coordinate 43° 38' 40" N e 9° 59' 20" E (WGS 84).

Nella Figura 1 si riporta l'ubicazione dell'impianto.

Per quanto concerne l'idrodinamica caratterizzante il sito in esame, nell'Arcipelago Toscano le correnti forzate dai gradienti termici tra il basso e l'alto Mediterraneo sono quasi sempre dirette dal Mar Tirreno verso il Mar Ligure, con un'intensità variabile con le stagioni e con la profondità. Il fenomeno tende ad accentuarsi in inverno mentre durante l'estate, a causa del minor gradiente termico, le correnti sono più deboli.

A tali correnti si possono associare quelle dovute al vento locale che agisce sulla parte più superficiale della colonna d'acqua dove può determinare anche un'inversione del profilo di velocità. In considerazione dell'elevata profondità del mare nell'area (circa 120 m), il moto ondoso generato dal vento non determina correnti ma contribuisce all'agitazione della colonna d'acqua, per effetto del moto orbitale indotto entro una profondità pari a circa metà della lunghezza d'onda (per esempio un'onda di un metro con periodo di 4 secondi agisce fino ad una profondità di circa 12 m).

La temperatura del mare Toscano, durante il periodo invernale-primaverile oscilla intorno ai 13-14°C lungo tutta la colonna d'acqua. Con l'avanzare della primavera, per effetto dell'irraggiamento solare, comincia a formarsi un gradiente termico nello strato superficiale, fino all'instaurarsi, durante la stagione estiva, di un netto termoclino compreso tra 10 e 50 m, che fa passare la temperatura da 26°C in superficie fino a 13-14°C a 100 m di profondità, con una netta stratificazione della colonna d'acqua.

La salinità risulta relativamente costante durante tutto l'anno e anche la sua distribuzione con la profondità è caratterizzata da valori sostanzialmente stabili e pari a circa 38 ppu.

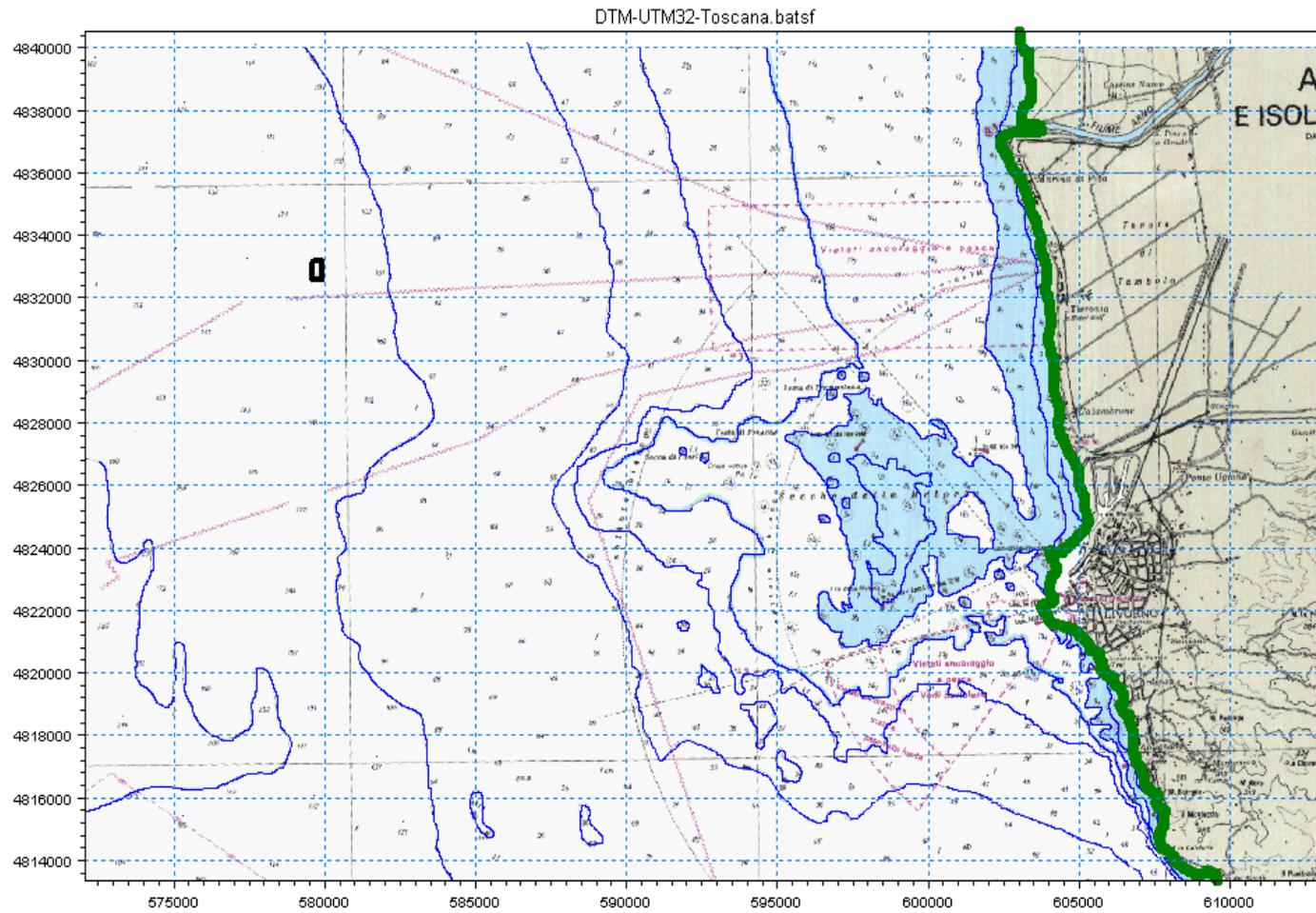


Figura 1 - Location map dell'impianto LNG in esame (evidenziato dal rettangolo con linea nera)

3. SCENARI EMISSIVI E DATI METEO-MARINI CONSIDERATI NELLE SIMULAZIONI

I dati emissivi impiegati nello studio sono:

- sistema di dispersione in mare delle portate fredde, operante per gravità attraverso una condotta verticale a sezione circolare di diametro 1,9 m;
- porta dell'effluente localizzata a -12,3 m sul l.m.m e costituita da un semplice taglio orizzontale della condotta: il flusso allo sbocco ha asse verticale ed è diretto verso il fondale;
- portata effluente di intensità pari a 10.800 m³/h;
- differenza di temperatura della portata rilasciata rispetto a quella del mare pari a -5,3°C.

Per quanto concerne le caratteristiche meteo-marine utilizzate nelle simulazioni, in mancanza di misure di velocità e di temperatura sito-specifiche, gli scenari di simulazione assunti all'interno dello studio sono stati definiti mediante la revisione di studi e progetti di ricerca basati su simulazioni numeriche, a partire dai quali sono state approfondite le caratteristiche del sito in esame, in merito all'intensità delle correnti, alla temperatura del mare e alla densità.

Si sono definiti 4 scenari ambientali ritenuti sufficienti per una rappresentazione esauriente della principali condizioni tipiche per il sito in esame.

In tutti gli scenari è stata considerata una densità del mare costante nella colonna d'acqua di oltre 100 m. La distribuzione della velocità è stata considerata variabile secondo la seguente legge empirica proposta da Soulsby nel 1990:

$$U(z) = \left(\frac{z}{0.32h} \right)^{1/7} \bar{U} \quad \text{per } 0 < z < 0.5h$$
$$U(z) = 1.07\bar{U} \quad \text{per } 0.5h < z < h$$

dove \bar{U} è la velocità media della corrente e h è la profondità dell'acqua.

Per la velocità media sono stati considerati tre valori rispettivamente pari a 0,2 m/s; 0,1m/s e 0,02 m/s che rappresentano una percentuale estremamente significativa delle correnti nel sito in esame.

La temperatura è stata considerata sia costante nella profondità (condizione tipica dei mesi invernali), sia variabile a causa di un netto termoclino presente tra i 15 m e i 25 m di profondità (condizione rappresentativa dei mesi estivi).

In sintesi, i 4 scenari ambientali definiti per lo studio sono i seguenti:

1. **primo scenario:** velocità media della corrente pari a 0,2m/s, distribuita sulla profondità con legge empirica di Soulsby (1990), vedi figura 2; profilo di temperatura costante;
2. **secondo scenario:** velocità media della corrente pari a 0,1m/s, distribuita sulla profondità con legge empirica di Soulsby (1990), vedi figura 3; profilo di temperatura costante;

3. **terzo scenario:** velocità media della corrente pari a 0,02m/s, distribuita sulla profondità con legge empirica di Soulsby (1990), vedi figura 4; profilo di temperatura costante;
4. **quarto scenario:** velocità media della corrente pari a 0,02m/s, distribuita sulla profondità con legge empirica di Soulsby (1990), vedi figura 4; profilo di temperatura variabile con le seguenti caratteristiche: costantemente pari a 25°C dalla superficie a -15 m, decrescente linearmente da -15 m a -25 m dove passa da 25°C a 15°C e costantemente pari a 15°C dai 25 m di profondità fino ai 120 m, vedi figura 5.

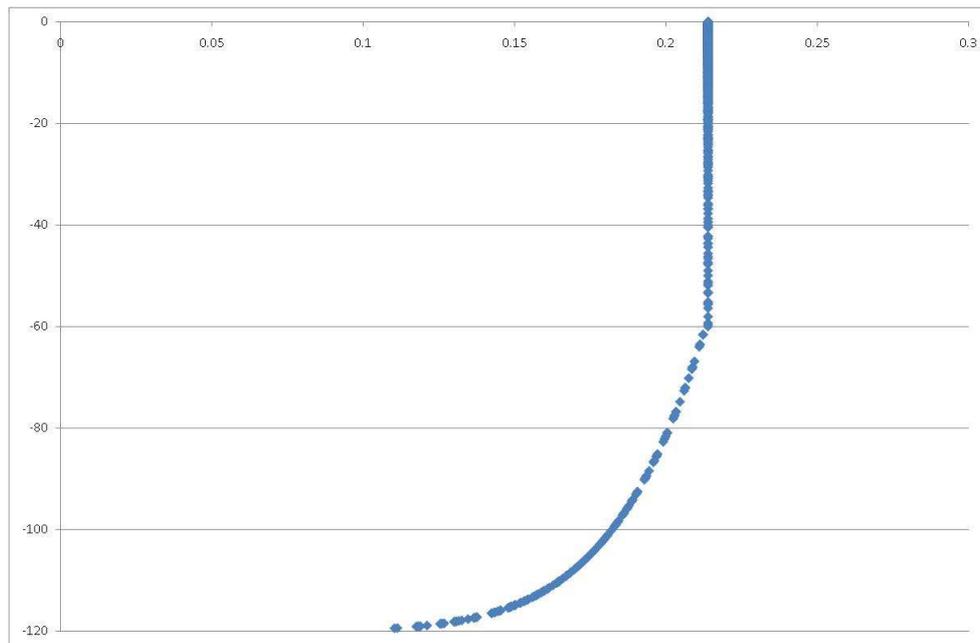


Figura 2: profilo della velocità assunto per il primo scenario ambientale, secondo Soulsby (1990); nell'asse delle ascisse è riportata la velocità in m/s e nell'asse delle ordinate la profondità d'acqua espressa in m.

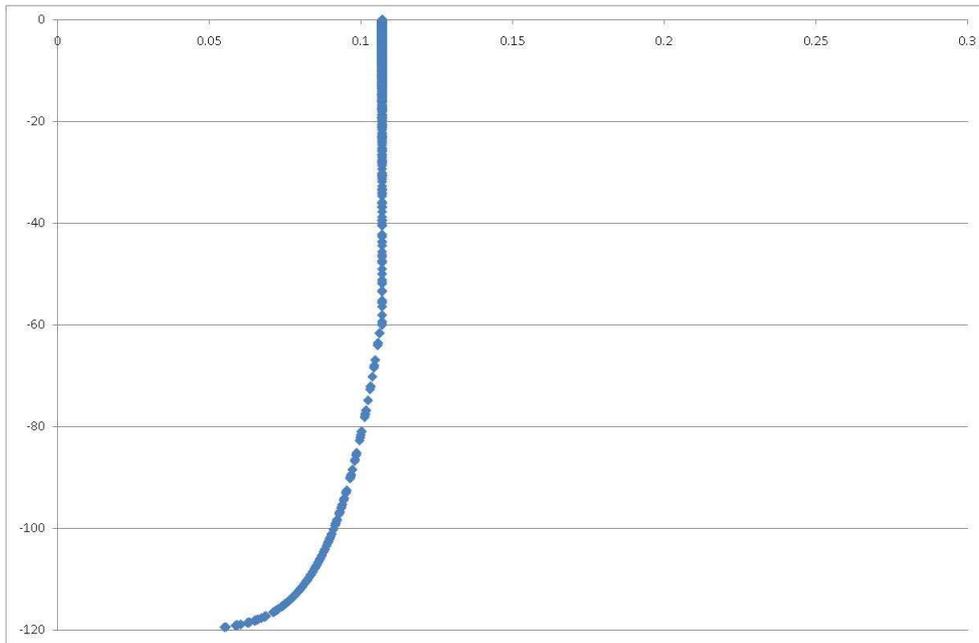


Figura 3: profilo della velocità assunto per il secondo scenario ambientale, secondo Soulsby (1990); nell'asse delle ascisse è riportata la velocità in m/s e nell'asse delle ordinate la profondità d'acqua espressa in m.

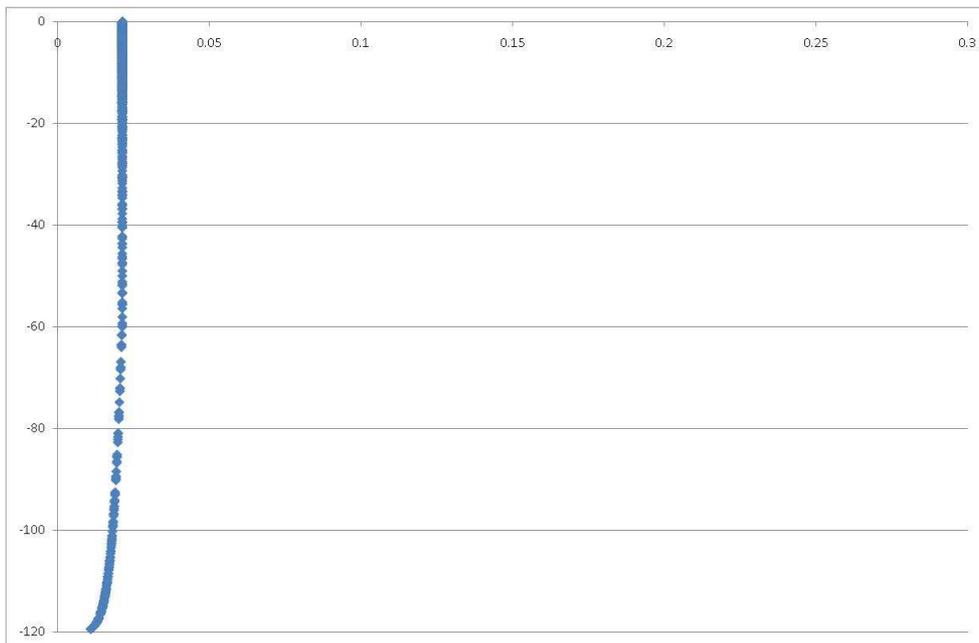


Figura 4: profilo della velocità assunto per il terzo scenario ambientale, secondo Soulsby (1990); nell'asse delle ascisse è riportata la velocità in m/s e nell'asse delle ordinate la profondità d'acqua espressa in m.

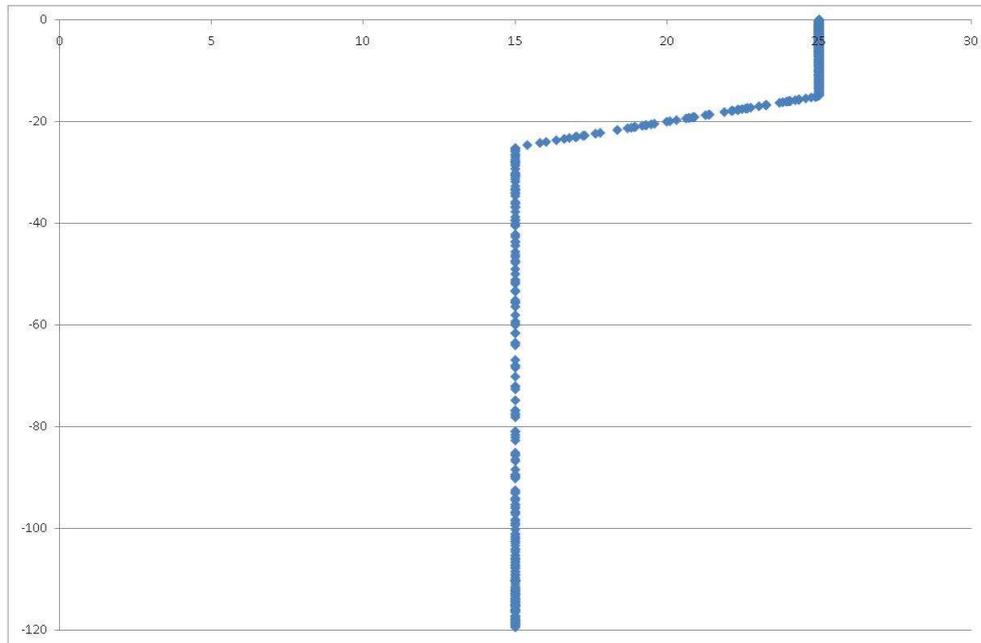


Figura 5: profilo della temperatura assunto per il quarto scenario ambientale; nell'asse delle ascisse è riportata la temperatura in °C e nell'asse delle ordinate la profondità d'acqua espressa in m.

4. MODELLO NUMERICO

La scelta del modello è stata condotta al fine di poter simulare in maniera adeguata i fenomeni che avvengono sia in regioni di spazio di dimensioni ridotte (il nearfield) sia in regioni relativamente grandi (il farfield).

Per lo studio, sono stati inizialmente confrontati 3 modelli numerici che differiscono per il grado di complessità nella simulazione della parte idrodinamica e termica:

- VISUAL PLUME, un modello sviluppato e fornito dalla United States Environmental Protection Agency (EPA), basato su equazioni fenomenologiche di natura empirica;
- ROMS, modello numerico in fase di sviluppo da parte della comunità scientifica internazionale coordinata dalla Rutgers University (USA), basato sulle equazioni cardinali della meccanica dei fluidi, opportunamente semplificate;
- FLUENT, modello complesso basato sulle equazioni cardinali della meccanica dei fluidi.

I suddetti modelli sono stati inizialmente "confrontati" mediante ricorso a "run" di simulazione idrodinamica e termica (relativa ad uno scenario caratterizzato da un valore di corrente non nullo sulla verticale), con riferimento a:

- Campo idrodinamico, in cui sono stati analizzati i tre modelli di cui sopra. Le simulazioni hanno evidenziato nei tre casi un comportamento omogeneo, caratterizzato da una corrente che trascina il getto lungo la sua direzione di propagazione riuscendo a deviarlo, con conseguente estensione piuttosto limitata del campo di moto indotto dal getto;
- Campo della temperatura, in cui sono stati confrontati i modelli VISUAL PLUME e FLUENT. Considerando come limite di interesse una riduzione della temperatura rispetto all'ambiente di 1°C, si è osservato che i risultati del modello FLUENT sono risultati maggiormente cautelativi in quanto tale riduzione termica si ha fino a 20 m dalla porta effluente

In base ai risultati ottenuti, le simulazioni sono state condotte con il modello FLUENT in quanto i risultati ottenuti con l'applicazione di tale modello sono risultati maggiormente cautelativi.

FLUENT è un complesso software di simulazione, basato sulle equazioni cardinali della meccanica dei fluidi, particolarmente idoneo ad applicazioni in cui i fenomeni fondamentali avvengono in 3D e in regioni spaziali relativamente piccole (per esempio il nearfield).

Questo modello può essere applicato utilizzando una griglia numerica di dimensioni variabili, che lo rende idoneo, entro un certo limite dovuto principalmente all'onere computazionale, anche alla simulazione dei fenomeni caratteristici del farfield. Per lo studio in esame è stato implementato utilizzando una griglia computazione a passo variabile che permette una risoluzione dell'ordine di 10 cm.

5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

5.1. CAMPI IDRODINAMICI NEI QUATTRO SCENARI DI SIMULAZIONE

I risultati delle simulazioni numeriche inerenti al campo di circolazione indotto della portata effluente in oggetto, nell'ipotesi dei 4 scenari ambientali considerati, sono riportati nelle figure 6, 7, 8 e 9.

Le correnti marine di intensità media pari a 0,2 m/s e 0,1 m/s, simulate rispettivamente nello scenario 1 e 2 delle simulazioni, interagiscono con le portate effluenti caratterizzate da una velocità allo sbocco di circa 1 m/s determinando un trascinamento che piega il getto nella direzione della corrente in misura maggiore nel primo scenario e minore nel secondo (vedi figure 6 e 7).

Nel primo caso il getto si mantiene coerente con valori di velocità nettamente differenti rispetto alla locale corrente ambientale entro una profondità di circa 14 m dallo sbocco e circa 10 metri in direzione orizzontale; nel secondo caso, a causa del minor trascinamento orizzontale operato dalla corrente di intensità minore, il getto rimane evidente fino alla profondità di circa 16 m dallo sbocco e circa 6 metri in direzione orizzontale.

Gli scenari 3 e 4 delle simulazioni sono caratterizzati da una corrente con la stessa intensità media pari a 0,02 m/s ma, a differenza dello scenario 3, caratterizzato da una distribuzione di temperatura costante con la profondità, nello scenario 4 è stato simulato anche il termoclino tra i 15 e i 25 m (all'interno del quale la temperatura passa da 25°C a 15°C).

La differenza nella distribuzione di temperatura locale non porta a modifiche sostanziali, come atteso, al campo idrodinamico simulato per gli scenari 3 e 4; rispetto agli scenari 1 e 2 in questo caso la minore corrente ambientale determina solo un modesto effetto di trascinamento del getto che, quindi, rimane evidente fino ad una profondità dallo sbocco di circa 85 m e orizzontalmente fino ad una distanza di circa 35 m (vedi figure 8 e 9).

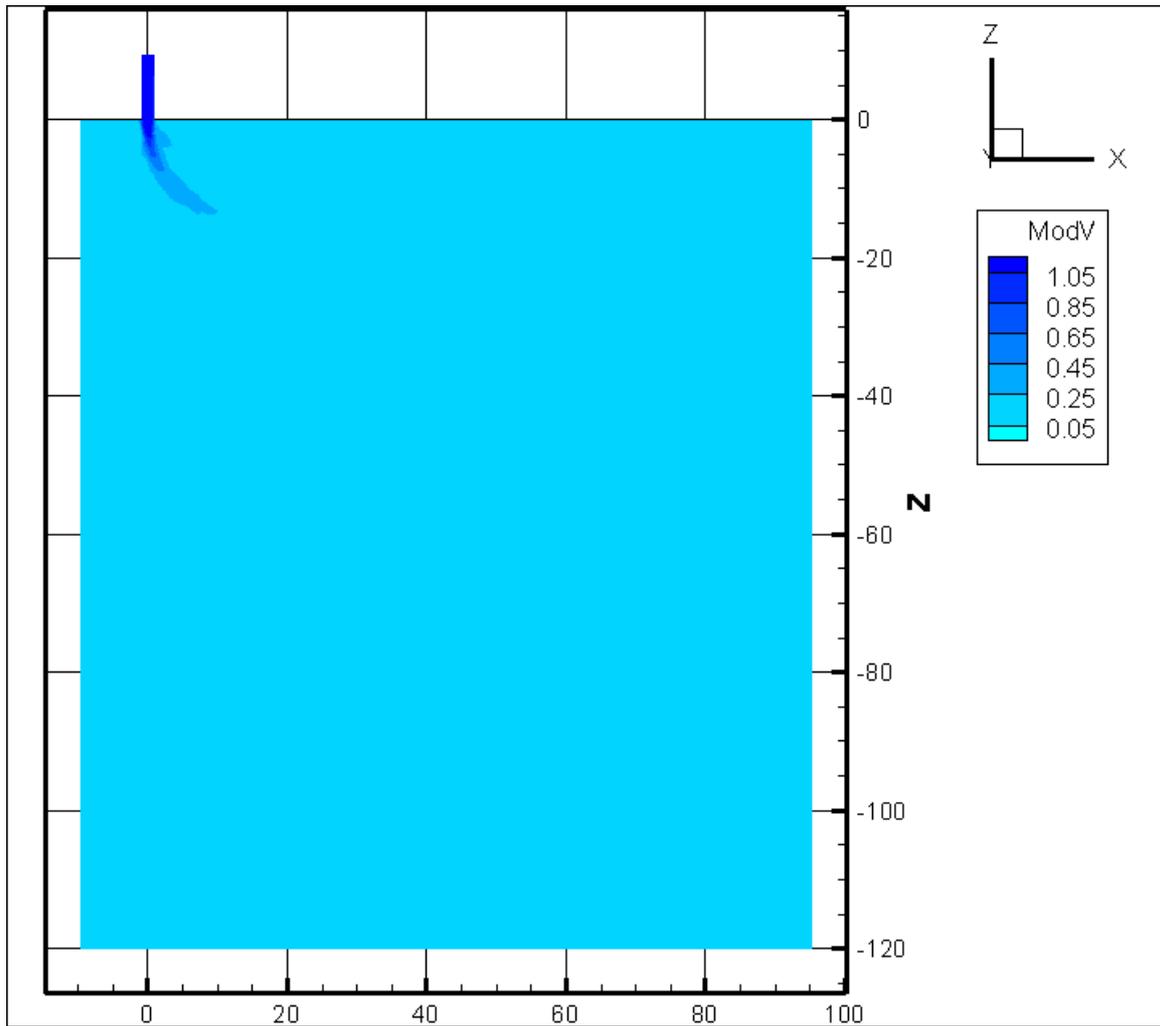


Figura 6: campo idrodinamico indotto dell'effluente in esame nel caso del primo scenario ambientale. Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata verticale in m, i contorni di colore sono i valori delle velocità espresse in m/s.

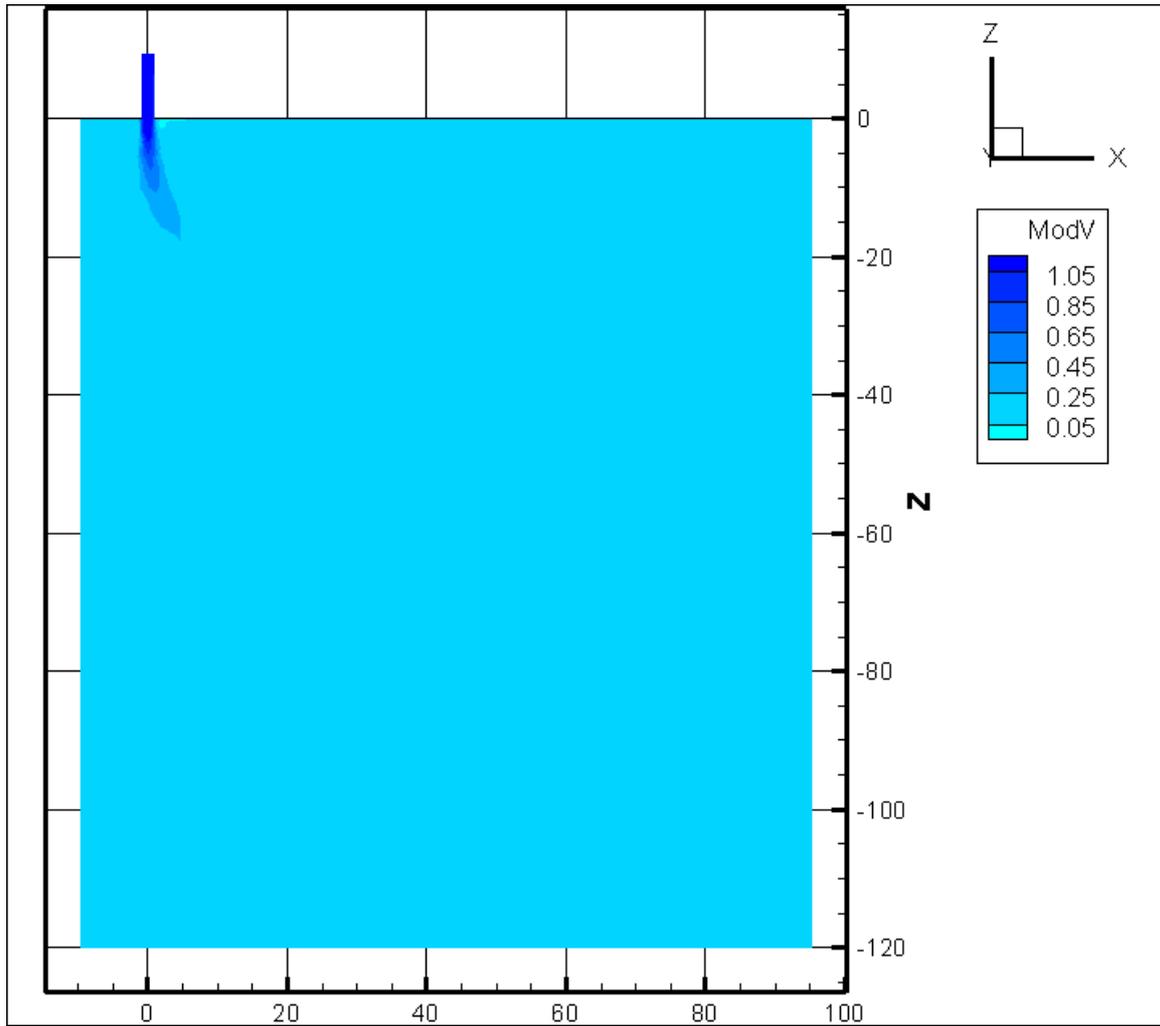


Figura 7: campo idrodinamico indotto dell'effluente in esame nel caso del secondo scenario ambientale.
 Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata
 verticale in m, i contorni di colore sono i valori delle velocità espresse in m/s.

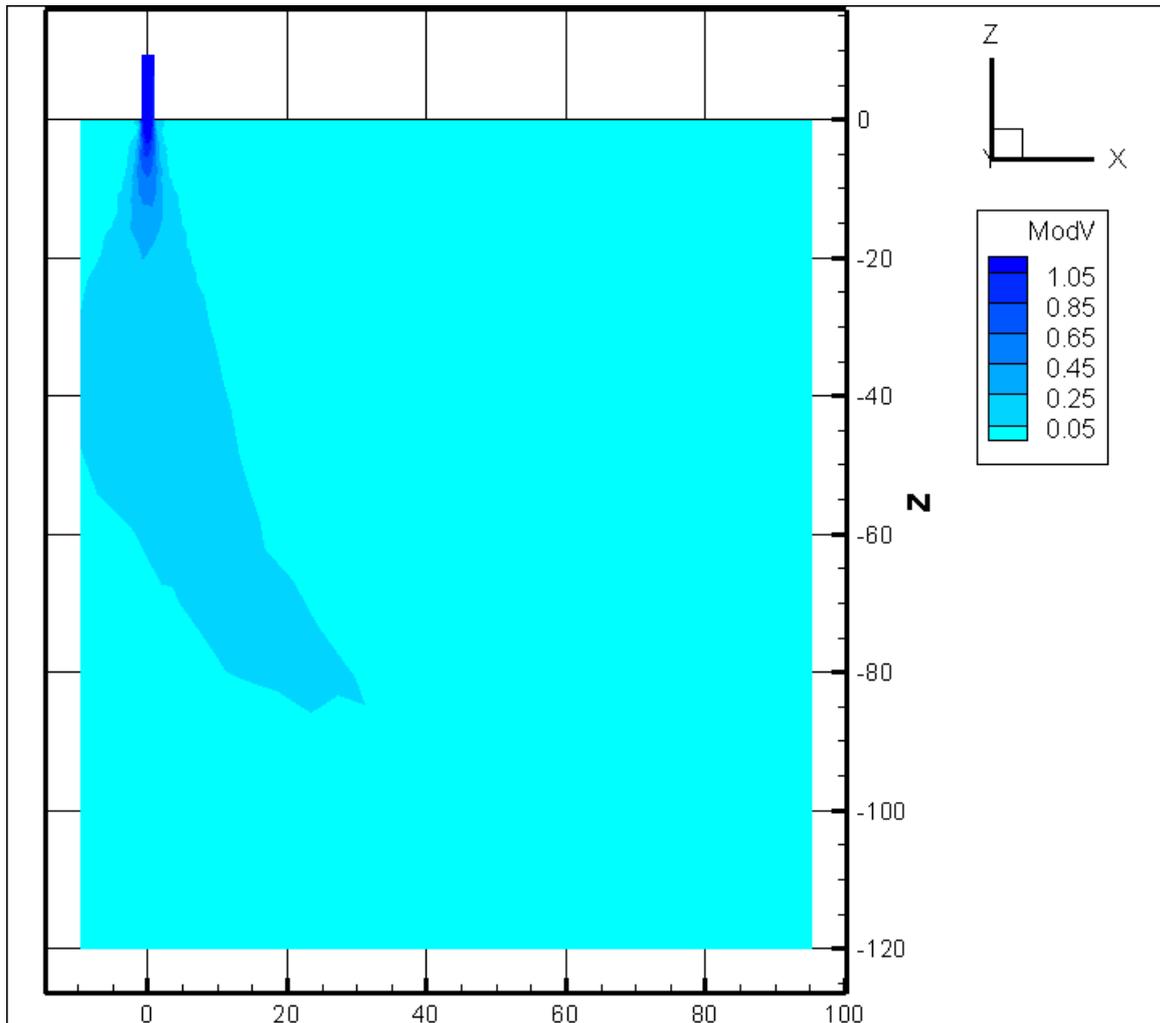


Figura 8: campo idrodinamico indotto dell'effluente in esame nel caso del terzo scenario ambientale. Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata verticale in m, i contorni di colore sono i valori delle velocità espresse in m/s.

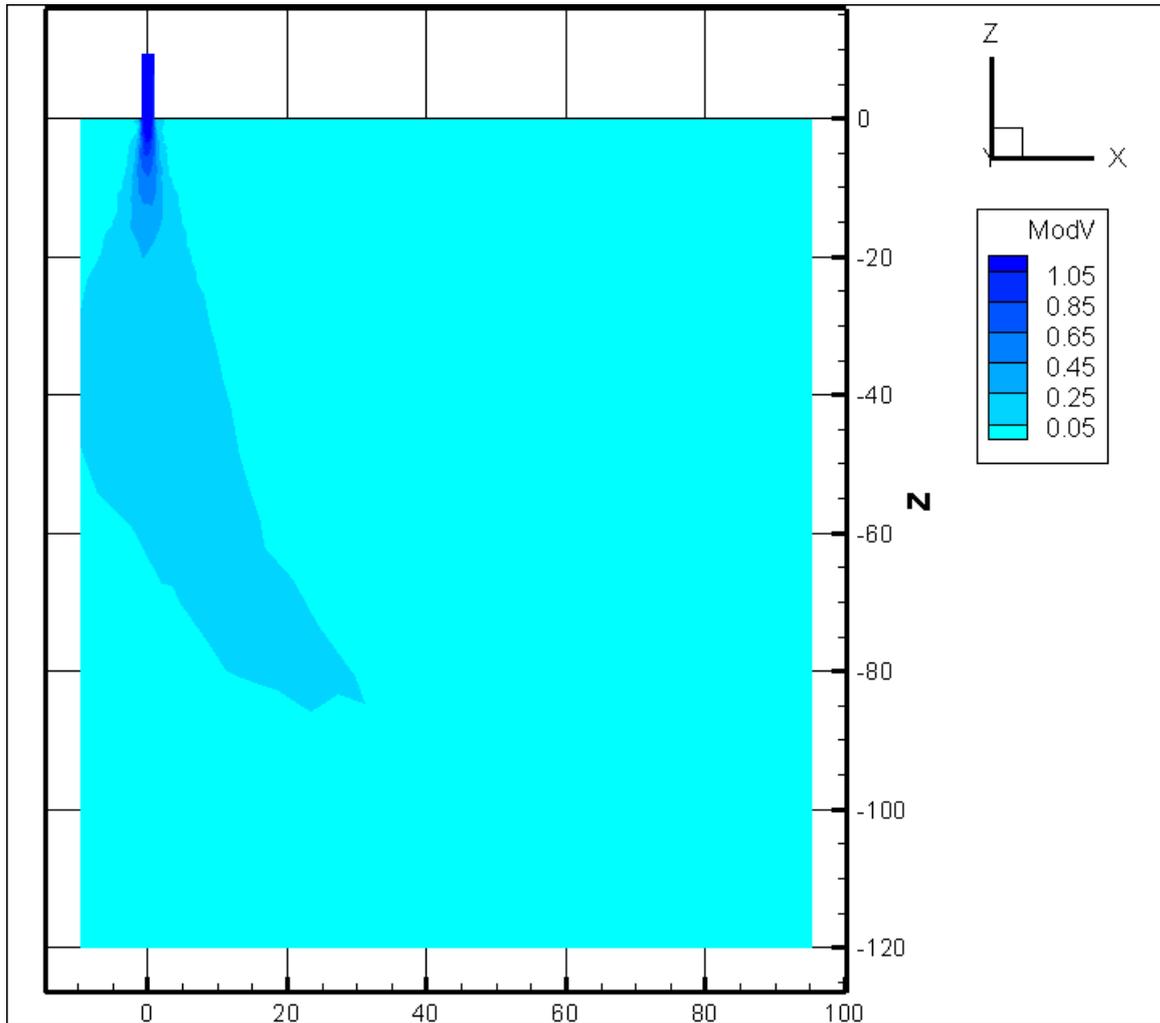


Figura 9: campo idrodinamico indotto dell'effluente in esame nel caso del quarto scenario ambientale. Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata verticale in m, i contorni di colore sono i valori delle velocità espresse in m/s.

5.2. CAMPI DELLA TEMPERATURA NEI QUATTRO SCENARI DI SIMULAZIONE

I risultati delle nuove simulazioni numeriche inerenti alla variazione di temperatura indotta della portata relativamente fredda dell'effluente in oggetto, nell'ipotesi dei 4 scenari ambientali considerati, sono riportati nelle figure 10, 11, 12 e 13.

Nel caso degli scenari ambientali 1, 2 e 3 caratterizzati da differenti velocità medie della corrente ambiente (rispettivamente pari a 0,2 m/s, 0,1 m/s e 0,02 m/s) e da una temperatura ambiente costante sulla profondità, la minima variazione di temperatura ritenuta significativa (ossia quella pari a 1°C) rimane confinata entro una profondità dallo sbocco rispettivamente pari a circa 15 m, 20 m e 25 m ed entro una distanza orizzontale rispettivamente pari a circa 14 m, 10 m e 5 m (vedi figure 10, 11 e 12).

Nel caso del quarto scenario caratterizzato da una debole corrente ambiente, di intensità media pari a 0,02 m/s, e da una distribuzione di temperatura caratterizzata da un termoclino tra i 15 m e i 25 m di profondità entro il quale la temperatura passa da 25°C a 15°C, si evidenzia che il getto allo sbocco ha una temperatura pari a 19,7°C quindi determina una locale diminuzione della temperatura ambiente di circa -5,3°.

Questa diminuzione della temperatura va rapidamente annullandosi durante la propagazione del getto verso il basso, avvantaggiandosi del fatto che la stessa temperatura ambiente diminuisce per effetto del termoclino, tanto che alla distanza di circa 8 m dalla porta effluente il getto ha la temperatura pari a quella locale.

Successivamente il fenomeno si inverte perché il getto, che continua a propagarsi verso fondali caratterizzati da temperatura ambiente sempre più fredda (pari a 15°C al di sotto dei 25 m di profondità), risulta più caldo del fluido circostante, sia per la propria temperatura sia per il trascinarsi del fluido soprastante (caratterizzato da temperature maggiori) e determina quindi un lieve riscaldamento delle acque oltre i fondali di 25 m dallo sbocco che tende ad annullarsi a profondità maggiori di 30 m dalla porta effluente.

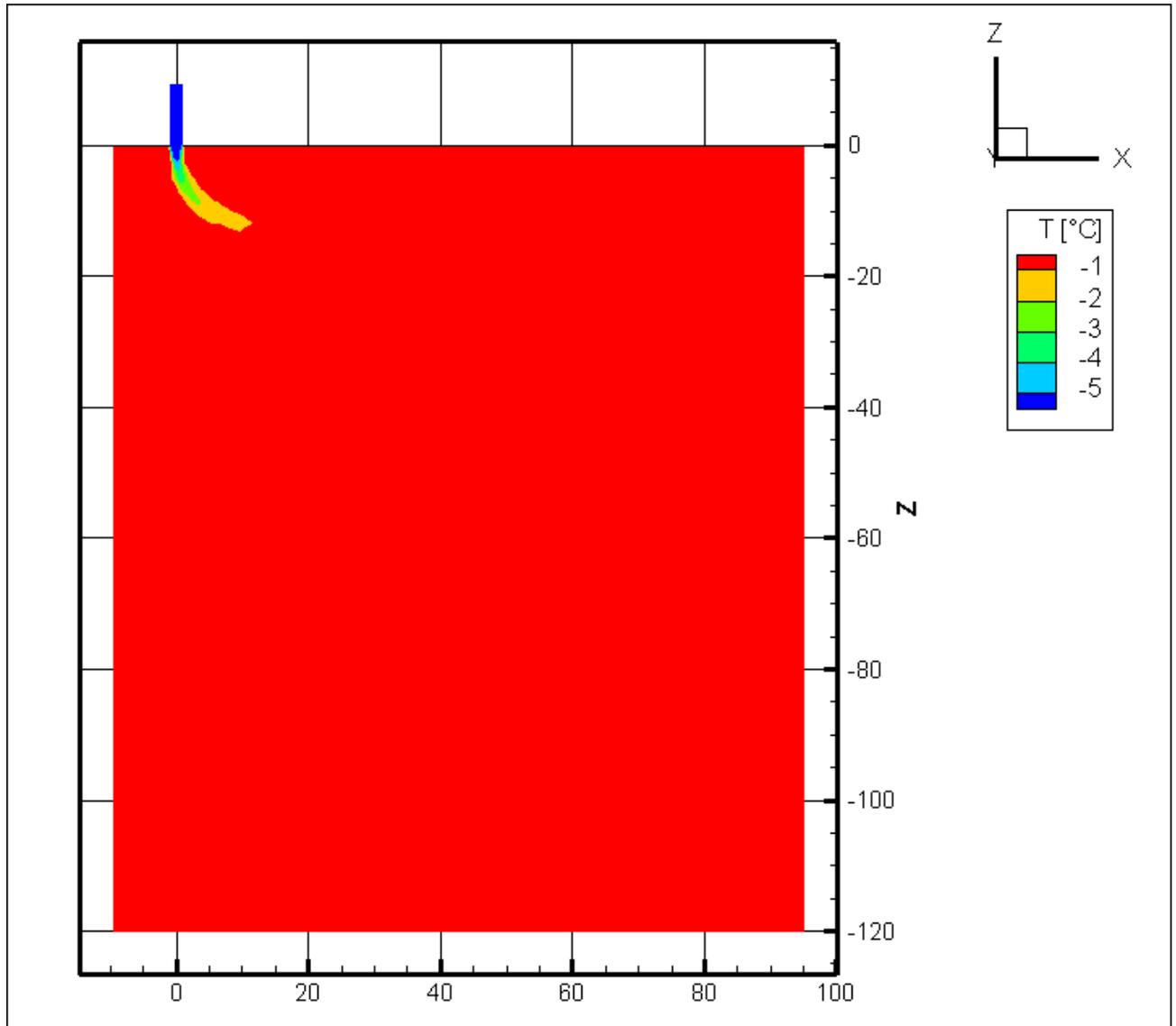


Figura 10: variazione di temperatura rispetto a quella ambiente, indotta dell'effluente in esame nel caso del primo scenario ambientale. Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata verticale in m, i contorni di colore sono i valori della variazione di temperatura espressi in °C.

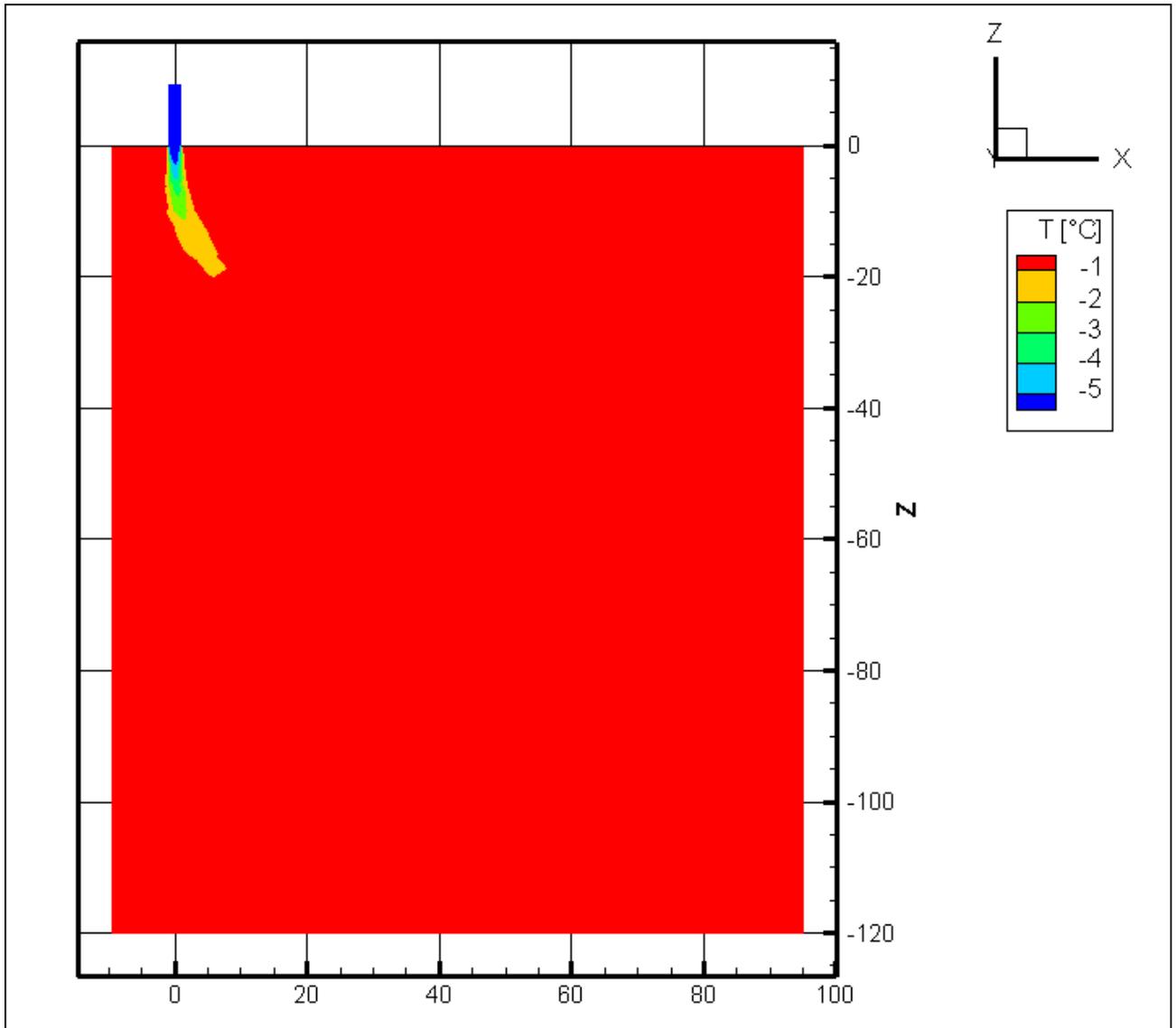


Figura 11: variazione di temperatura rispetto a quella ambiente, indotta dell'effluente in esame nel caso del secondo scenario ambientale. Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata verticale in m, i contorni di colore sono i valori della variazione di temperatura espressi in °C.

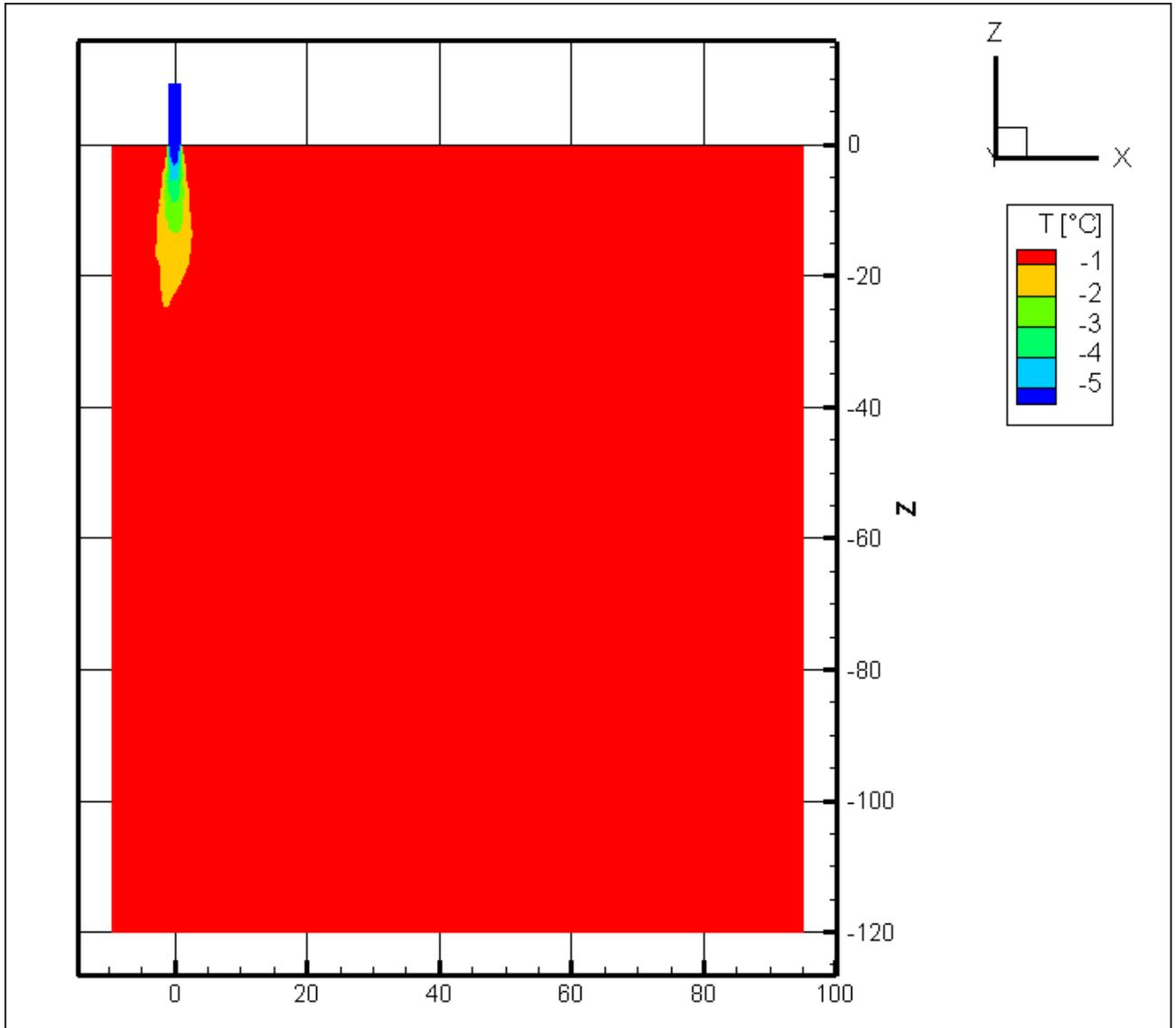


Figura 12: variazione di temperatura rispetto a quella ambiente, indotta dall'effluente in esame nel caso del terzo scenario ambientale. Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata verticale in m, i contorni di colore sono i valori della variazione di temperatura espressi in °C.

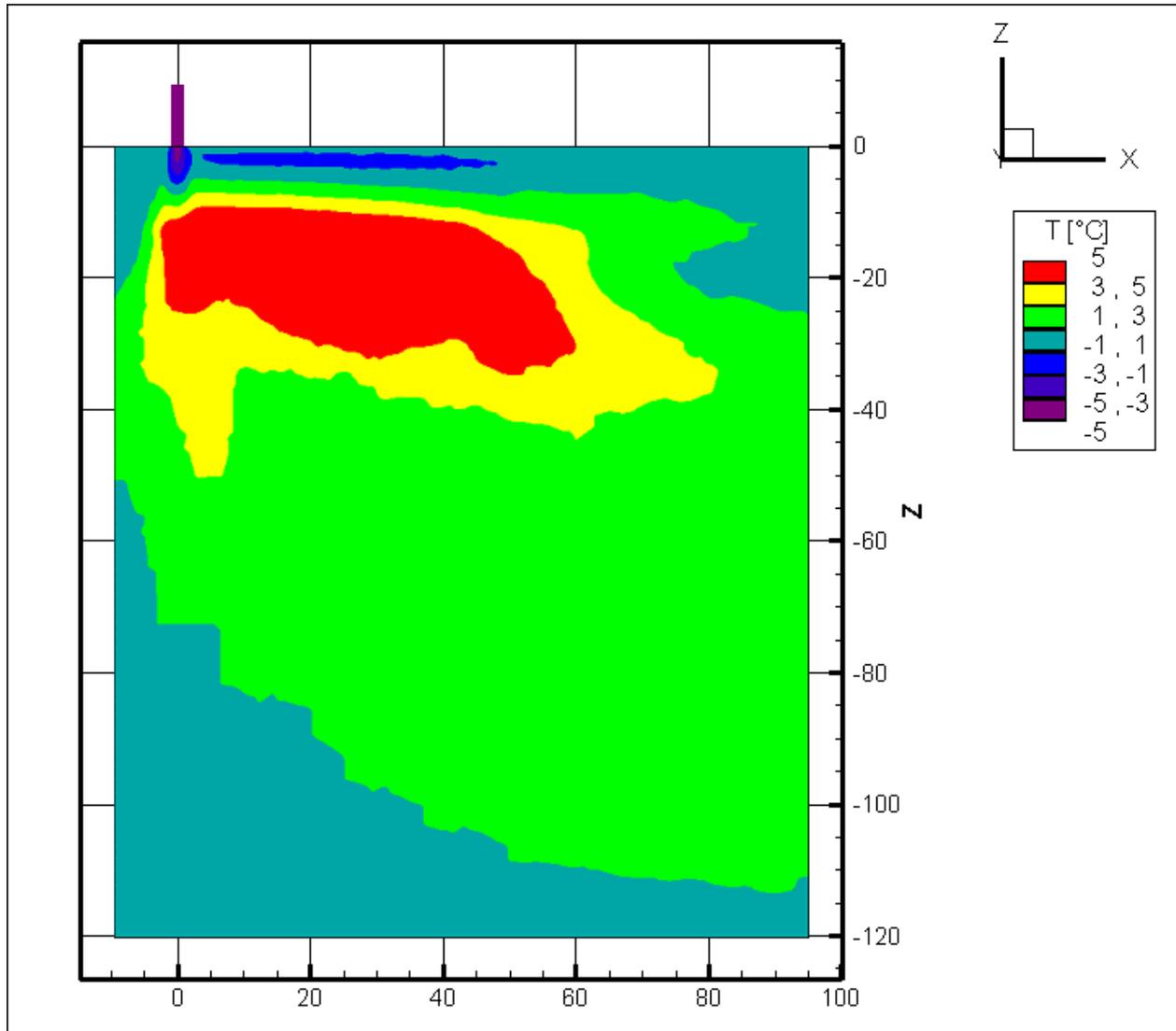


Figura 13: variazione di temperatura rispetto a quella ambiente, indotta dell'effluente in esame nel caso del quarto scenario ambientale. Nell'asse della ascisse è riportata la coordinata orizzontale in m, nell'asse delle ordinate è riportata la coordinata verticale in m, i contorni di colore sono i valori della variazione di temperatura espressi in °C.

6. CONCLUSIONI

6.1. SINTESI DEI RISULTATI INERENTI IL CAMPO IDRODINAMICO

Le simulazioni numeriche finalizzate alla ricostruzione della circolazione indotta dal getto nei 4 scenari ambientali hanno evidenziato che in ogni caso il getto determina incrementi, apprezzabili ai valori locali di velocità ambiente, entro una zona limitata a 85 m di profondità rispetto alla porta effluente e una distanza orizzontale pari a circa 35 m (scenari 3 e 4 caratterizzati da una debole corrente ambiente).

Nel caso degli scenari 1 e 2, la presenza di una corrente ambiente di intensità maggiore (rispettivamente pari a 0,2 m/s e 0,1 m/s) determina un forte trascinamento del getto in orizzontale che quindi penetra molto meno in profondità (rispettivamente fino a 14 m e 16 m dalla porta effluente).

6.2. SINTESI DEI RISULTATI INERENTI IL CAMPO DELLA TEMPERATURA

In merito alla variazione della temperatura ambiente indotta dal getto nei quattro scenari, i risultati delle simulazioni dimostrano che nei primi tre, ossia quelli caratterizzati da una temperatura costante sulla profondità (scenari che approssimano i mesi invernali) il getto determina un raffreddamento dell'acqua non inferiore a 1°C al massimo entro una profondità di 25 m rispetto alla porta effluente (scenario 3).

Per gli scenari 1 e 2, il trascinamento orizzontale del getto, operato dalla corrente ambiente, fa sì che la zona in cui si registrano variazioni della temperatura non inferiore a 1°C sia limitata rispettivamente a 15 m e 20 m di profondità rispetto allo sbocco e ad una distanza orizzontale rispettivamente pari a circa 14 m e 10 m.

Nel caso del quarto scenario, caratterizzato da una debole corrente ambiente di intensità media pari a 0,02 m/s e da una distribuzione di temperatura caratterizzata da un termoclino tra i 15 m e i 25 m di profondità (all'interno del quale la temperatura ambiente passa da 25°C a 15°C), si evidenzia che il getto allo sbocco ha una temperatura pari a 19,7°C quindi determina una locale diminuzione della temperatura ambiente di circa -5,3°C.

Questa diminuzione della temperatura va rapidamente annullandosi durante la propagazione del getto verso il basso, avvantaggiandosi del fatto che la stessa temperatura ambiente diminuisce per effetto del termoclino, tanto che alla distanza di circa 8 m dalla porta effluente il getto ha la temperatura pari a quella locale. Successivamente il fenomeno si inverte perché il getto, che continua a propagarsi verso fondali caratterizzati da temperatura ambiente sempre più fredda (pari a 15°C al di sotto dei 25 m di profondità), risulta più caldo del fluido circostante, sia per la propria temperatura sia per il trascinamento del fluido soprastante (caratterizzato da temperature maggiori) e determina quindi un lieve riscaldamento delle acque oltre i fondali di 25 m dallo sbocco che tende ad annullarsi a profondità maggiori di 30 m dalla porta effluente.

I risultati ottenuti dall'analisi sopradescritta permettono di concludere che le alterazioni ambientali generate dal terminale non risultano significative in quanto limitate in entità. Inoltre non si prevedono interferenze significative con gli organismi pelagici, nectonici, bentonici e planctonici.