



eni s.p.a.
divisione e&p

Doc. 000196_DV_CD.HSE.0175.000_00
Integrazioni allo
Studio di Impatto Ambientale
OFFSHORE IBLEO

Appendice 15
Pagina 1 di 29

Appendice 15

**Simulazione di dispersione termica degli scarichi
delle acque di raffreddamento presso la piattaforma
Prezioso K**



eni s.p.a.
divisione e&p

Doc. 000196_DV_CD.HSE.0175.000_00
Integrazioni allo
Studio di Impatto Ambientale
OFFSHORE IBLEO

Appendice 15
Pagina 2 di 29



INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
2	DESCRIZIONE AREA DI STUDIO	6
3	DESCRIZIONE DELLO SCARICO A MARE	7
4	DATI METEO MARINI	8
5	DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO UM3 IN VISUAL PLUMES	11
6	SCENARI DI SIMULAZIONE	13
7	RISULTATI.....	14
8	CONCLUSIONI	28
	BIBLIOGRAFIA	29



INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Caratteristiche del rilascio termico in condizioni di picco	7
Tabella 2: Profili verticali di velocità delle correnti marine	8
Tabella 3: Profilo verticale di temperatura ambiente (acqua di mare)	9
Tabella 4: Profilo verticale di salinità (acqua di mare)	10

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Localizzazione Piattaforma Prezioso K	6
Figura 2 – Profili Verticali di Velocità della corrente marina	9
Figura 3 – Profili Verticali di Temperatura acqua marina	10
Figura 4 – Andamento del fattore di Diluizione in funzione della velocità della corrente	12
Figura 5 – Andamento della Temperatura del plume termico in funzione della profondità (in corrispondenza al punto di scarico) per gli scenari considerati	16
Figura 6 – Andamento della Temperatura del plume termico in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati	17
Figura 7 – Andamento del differenziale tra Temperatura del plume e temperatura ambiente in funzione della profondità (in corrispondenza al punto di scarico) per gli scenari considerati	18
Figura 8 – Andamento del differenziale tra Temperatura del plume e temperatura ambiente in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati	19
Figura 9 – Andamento della Diluizione del plume in funzione della profondità per gli scenari considerati	20
Figura 10 – Andamento della Diluizione del plume in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati	21
Figura 11 – Andamento del diametro del plume in funzione della profondità per gli scenari considerati.....	22
Figura 12 – Andamento del diametro del plume in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati	23
Figura 13 – Andamento della velocità del plume in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati	24
Figura 14 – Andamento della velocità del plume in funzione della profondità per gli scenari considerati.....	25
Figura 15 – Traiettoria del plume termico in una sezione verticale – SA(rosso), SB(blu), SC(verde).....	26
Figura 16 – Traiettoria del plume termico in una sezione verticale – SD(verde), SE(blu), SF(rosso).....	27

 <p>eni s.p.a. divisione e&p</p>	<p>Doc. 000196_DV_CD.HSE.0175.000_00 Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale OFFSHORE IBLEO</p>	<p>Appendice 15 Pagina 5 di 29</p>
--	--	---

1 INTRODUZIONE

Il presente rapporto descrive le attività di modellistica numerica svolte al fine di valutare l'impatto sulla qualità delle acque determinato da uno scarico termico sommerso in mare aperto associato al sistema di raffreddamento del gas in uscita dai turbocompressori installati a bordo della piattaforma offshore denominata Prezioso K.

La piattaforma è localizzata a circa 10 km dalla costa al largo della città di Gela con coordinate geografiche 37° 00' N, 14° 02'E.

L'obiettivo dello studio modellistico è quello di valutare l'andamento spazio-temporale del plume termico determinato dallo scarico sommerso in mare al fine di verificare il rispetto dei limiti normativi che prevedono, secondo quanto indicato dal D.Lgs.152/06 - Tab.3 Allegato V alla Parte III, che l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3 °C oltre i 1000 metri di distanza dal punto di immissione.

Lo studio modellistico è svolto, secondo ipotesi conservative descritte in seguito, attraverso l'utilizzo del codice di calcolo Visual Plumes (Frick et al 2002; Frick 2004) sviluppato da USEPA e reso disponibile sul sito web del CEAM (Center for Exposure Assessment Modeling).

Lo studio viene svolto secondo le seguenti fasi:

1. Caratterizzazione area di studio
2. Descrizione dello scarico termico sommerso
3. Caratterizzazione meteo marina del sito
4. Descrizione del modello e delle ipotesi modellistiche adottate
5. Analisi degli scenari di simulazione
6. Risultati delle simulazioni e confronto con i limiti normativi



2 DESCRIZIONE AREA DI STUDIO

Il sito in cui è prevista l'installazione della Piattaforma Prezioso K è situato al largo della costa siciliana sud-orientale, e precisamente nel tratto di mare compreso tra le località di Gela e Licata (Fig. 1). La distanza dalla costa del futuro sito di piattaforma è pari a circa 10 km.

L'area di studio si trova all'interno della piattaforma continentale siciliana dove il fondale degrada lentamente verso Sud con batimetriche comprese tra 40 e 60 m parallele alla linea di costa e pendenze pari a circa 2 %.

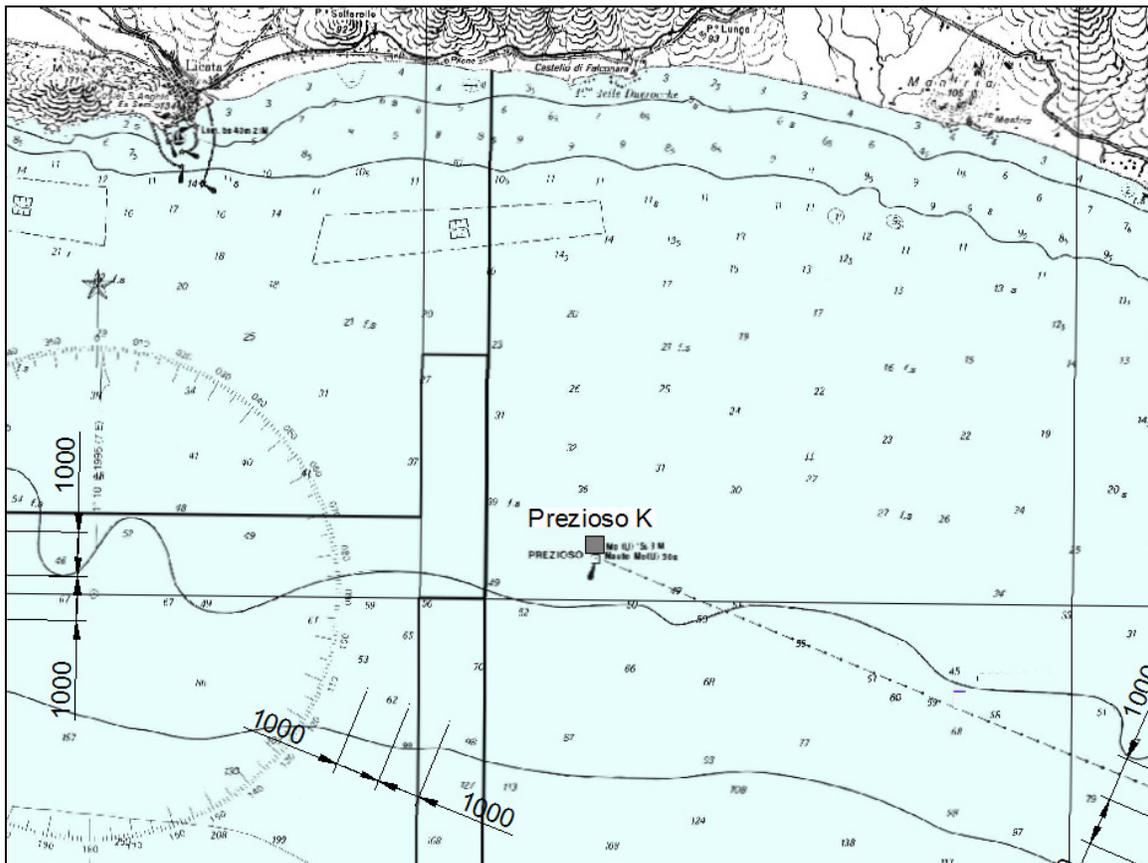


Figura 1: Localizzazione Piattaforma Prezioso K



3 DESCRIZIONE DELLO SCARICO A MARE

Lo scarico a mare della piattaforma Prezioso K oggetto della simulazione consiste in un singolo punto di rilascio (single port) attraverso un cassone del diametro interno di 24 inches localizzato alla profondità di 20 m rispetto al livello del medio mare. Nello scarico sono convogliate le seguenti acque reflue termiche:

- 1) acqua marina di raffreddamento del gas in uscita dai turbocompressori con portata di picco (incluso 20% di overdesign): 515 m³/h alla temperatura di 33°C ;
- 2) acqua di strato in uscita dall'unità di rigenerazione MEG con portata di picco: 50 m³/giorno, alla temperatura di 33°C;
- 3) acqua marina di raffreddamento dell'acqua di strato con portata di picco: 450 m³/giorno alla temperatura di 33°C.

La somma dei tre scarichi termici determinano uno scarico marino in condizioni di massimo rilascio con le caratteristiche descritte nella tabella che segue.

Diametro interno [m]	0,610
Profondità dello scarico [m]	-20
Orientazione dello scarico	90 verticale verso il basso
Portata max. del rilascio termico [mc/h]	533
Velocità del rilascio [m/sec]	0.506
Temperatura del rilascio [C]	33

Tabella 1: Caratteristiche del rilascio termico in condizioni di picco

Ai fini delle simulazioni modellistiche di dispersione termica in mare lo scarico viene considerato in regime continuo.



4 DATI METEO MARINI

Le simulazioni modellistiche relative alla dispersione dello scarico termico in mare sono condotte ipotizzando specifiche condizioni meteo-marine rappresentative del sito in oggetto. Esse sono state dedotte dalle analisi dei dati meteo-oceanografici riportate nel documento di riferimento denominato Meteocean Study Sealine (rif. 00081900BSRV80522CDFE - Saipem Energy Service – Doc. LA-E-71500 del 28/06/2010).

La batimetria del sito che ospita lo scarico termico riporta un livello del fondo marino pari a -41 m rispetto al livello del medio mare.

Analizzando i dati meteo oceanografici si sono individuati i seguenti profili verticali di velocità della corrente, temperatura e salinità da cui sono stati generati i diversi scenari di simulazione.

Per quanto riguarda il profilo verticale (in funzione della profondità del mare) della velocità delle correnti marine si identificano due condizioni rappresentative come riportato nella tabella che segue. La prima fa riferimento ad un profilo di basse velocità della corrente mentre la seconda ad un regime di correnti elevate.

Profilo V1 – Bassa Velocità	
Profondità [m]	Velocità [cm/sec]
0	0.15
13.75	0.10
25.7	0.06
41	0.00

Profilo V2 – Alte Velocità	
Profondità [m]	Velocità [cm/sec]
0	0.30
13.75	0.20
25.7	0.11
41	0.00

Tabella 2: Profili verticali di velocità delle correnti marine

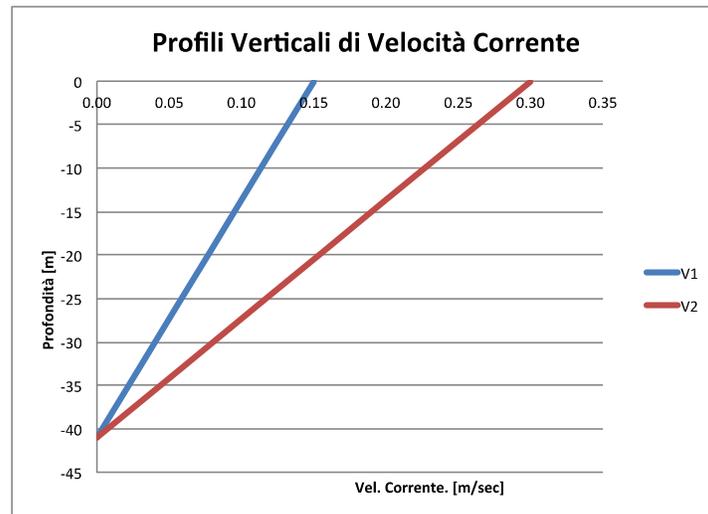


Figura 2 – Profili Verticali di Velocità della corrente marina

I profili verticali di temperatura ritenuti rappresentativi per le simulazioni in oggetto sono descritti nella tabella che segue. Essi fanno riferimento a tre condizioni, la prima al periodo invernale con acqua alla temperatura di 15°C per tutta la profondità, la seconda al periodo estivo e la terza al periodo autunnale. Si osserva come la condizione invernale sia quella maggiormente conservativa nella quantificazione dell'impatto dello scarico termico in oggetto, in quanto determinerà un plume termico di massima estensione rispetto agli altri scenari in oggetto.

Profilo T1 Gennaio		Profilo T2 Agosto		Profilo T3 Novembre	
Profondità [m]	Temp [C]	Profondità [m]	Temp [C]	Profondità [m]	Temp [C]
0	15.00	0	24.20	0	18.90
13.75	15.00	13.75	21.32	13.75	17.73
25.7	15.00	25.7	18.81	25.7	16.71
41	15.00	41	15.60	41	15.40

Tabella 3: Profilo verticale di temperatura ambiente (acqua di mare)

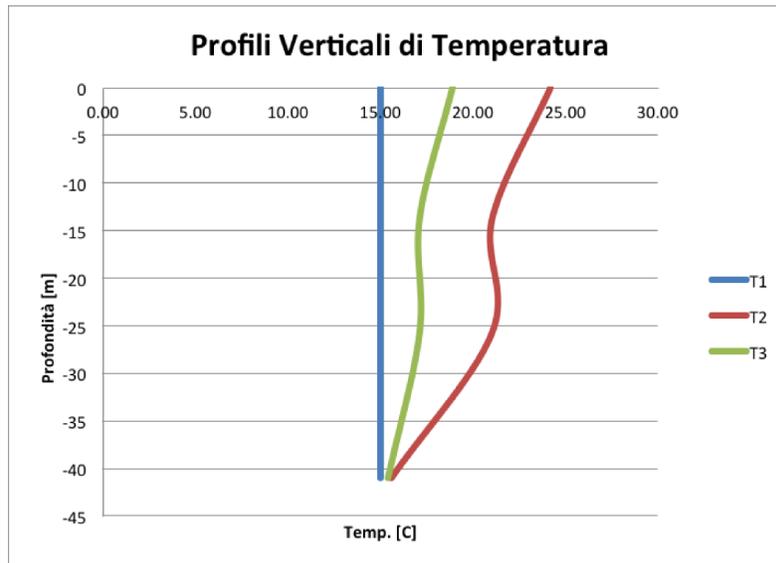


Figura 3 – Profili Verticali di Temperatura acqua marina

Per quanto concerne la salinità si ipotizza un profilo verticale medio come descritto in tabella.

Si osserva come lo scarico termico consista essenzialmente in acqua di mare prelevata in sito. Non sono da attendersi quindi fenomeni significativi di buoyancy (galleggiamento) dello scarico per differenze di densità determinate da gradienti di salinità tra lo scarico e l'acqua di mare.

Profilo S1 medio	
Profondità [m]	PSU
0	37.8
13.75	38
25.7	38.2
41	38.5

Tabella 4: Profilo verticale di salinità (acqua di mare)

 <p>eni s.p.a. divisione e&p</p>	<p>Doc. 000196_DV_CD.HSE.0175.000_00 Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale OFFSHORE IBLEO</p>	<p>Appendice 15 Pagina 11 di 29</p>
--	--	--

5 DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO UM3 IN VISUAL PLUMES

La simulazione modellistica della dispersione e miscelazione nel near-field del rilascio termico in mare della piattaforma Prezioso K viene ottenuta mediante il modello Updated Merge (UM3).

Il modello UM3 è di tipo 3D in grado di simulare il pennacchio termico di rilasci sommersi a singola o multipla porta, esso è stato sviluppato da US Environmental Protection Agency ed è integrato nell'interfaccia Visual Plumes (VP) (Frick et al 2002; Frick 2004; Frick et al. 2000).

UM3 è stato selezionato in quanto sono disponibili diversi studi di test condotti su diverse tipologie di rilasci che hanno evidenziato una migliore corrispondenza con i dati rilevati (Roberts and Tian, 2004) rispetto ad altri modelli simili (near-field) come RSB e CORMIX.

UM3 è un modello di tipo lagrangiano, dove le equazioni di conservazione della massa, del momento e dell'energia sono risolte attraverso una soluzione numerica utilizzando le ipotesi di Taylor per l'entrainment (es. il flusso di acqua nel plume è proporzionale alla velocità longitudinale dell'acqua) dell'acqua attorno al plume (Fisher, H.B. et al 1979). L'entrainment determina una miscelazione tra l'acqua marina e l'acqua del plume che determina una miscelazione e dispersione del plume nell'ambiente acquatico. La miscelazione determina inoltre la riduzione del differenziale tra la temperatura del plume e dell'acqua ambiente che si riflette in una diminuzione del galleggiamento ed un aumento del diametro del plume termico.

La spinta di galleggiamento insieme alla quantità di moto associata al jet termico determinano la traiettoria del plume, il modello fornisce ad ogni time-step i parametri di diluizione e la traiettoria del pennacchio.

UM3 è stato utilizzato in diversi studi relativi al rilascio di scarichi termici in ambiente marino offshore (Collins, M.A et al 2004).

Gli output del modello consistono nella descrizione delle caratteristiche del plume in termini di temperature e concentrazione (nel caso di un rilascio con inquinanti), diluizione lungo la center-line, larghezza, diametro del plume, parametri di galleggiamento

La diluizione è riportata come "effective dilution", ovvero il rapporto tra la concentrazione (temperature) iniziale rispetto alla concentrazione del plume in un punto nello spazio 3D secondo Baumgartner *et al.* (1994). Il fattore di diluizione, come riportato in Baumgartner (1993) dipende strettamente dalla velocità delle correnti marine presenti, in particolare esso aumenta al crescere con la velocità della corrente per poi in corrispondenza di un valore limite di corrente marina inizia a decrescere (cfr. Figura 4).

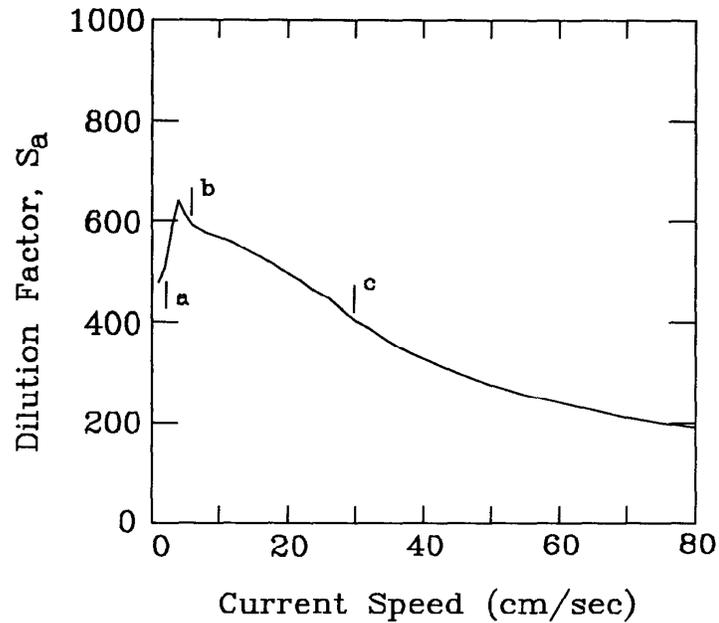


Figura 4 – Andamento del fattore di Diluizione in funzione della velocità della corrente

Per maggiori dettagli circa le ipotesi del modello UM3 e le equazioni si rimanda al manuale USEPA "Dilution Model for Effluent Discharge" – Third Edition (D.J. Baumgartner, W.E. Frick, and P.J.W. Roberts).



6 SCENARI DI SIMULAZIONE

In base alle condizioni meteo-marine analizzate in precedenza, si procede nella identificazioni degli scenari di simulazione ritenuti maggiormente rappresentativi per lo scarico termico in oggetto. In base alle diverse condizioni di temperatura e velocità della corrente si identificano 6 scenari di simulazione per lo scarico termico sommerso della piattaforma offshore Prezioso K. Tutti gli scenari considerati ipotizzano un rilascio termico in condizioni di picco e con regime continuo avente le caratteristiche descritte nel **Capitolo 3**.

Scenario A

- Direzione Prevalente Corrente= 120 gradi
- Profilo Verticale Velocità= Tipo V1
- Profilo Verticale Temperatura= Tipo T1 Gennaio
- Salinità = Tipo S1

Scenario B

- Direzione Prevalente Corrente= 120 gradi
- Profilo Verticale Velocità= Tipo V1
- Profilo Verticale Temperatura= Tipo T2 Agosto
- Salinità = Tipo S1

Scenario C

- Direzione Prevalente Corrente= 120 gradi
- Profilo Verticale Velocità= Tipo V1
- Profilo Verticale Temperatura= Tipo T3 Novembre
- Salinità = Tipo S1

Scenario D

- Direzione Prevalente Corrente= 120 gradi
- Profilo Verticale Velocità= Tipo V2
- Profilo Verticale Temperatura= Tipo T1 Gennaio
- Salinità = Tipo S1

Scenario E

- Direzione Prevalente Corrente= 120 gradi
- Profilo Verticale Velocità= Tipo V2
- Profilo Verticale Temperatura= Tipo T2 Agosto
- Salinità = Tipo S1

Scenario F

- Direzione Prevalente Corrente= 120 gradi
- Profilo Verticale Velocità= Tipo V2
- Profilo Verticale Temperatura= Tipo T3 Novembre;
- Salinità=Tipo S1

 <p>eni s.p.a. divisione e&p</p>	<p>Doc. 000196_DV_CD.HSE.0175.000_00 Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale OFFSHORE IBLEO</p>	<p>Appendice 15 Pagina 14 di 29</p>
--	--	--

7 RISULTATI

I risultati delle simulazioni modellistiche, nei 6 scenari considerati, sono riportati graficamente nelle figure che seguono attraverso la rappresentazione delle principali grandezze di interesse del plume generato dal rilascio termico in mare dalla piattaforma Prezioso K, a partire dal punto di scarico.

Nella Figura 5 è riportato il profilo verticale (in funzione della profondità rispetto al livello del medio mare) di temperatura in seguito allo scarico termico continuo localizzato alla profondità di -20 m (21 m rispetto al fondo marino che è localizzato a -41 m). Analizzando il profilo di temperatura si osserva come la moderata velocità del flusso in uscita dallo scarico (0,506 m/sec) determina bassi valori della quantità di moto associati al jet, di conseguenza il plume termico si propaga in profondità sino alla quota di -21,5 m e pertanto non è in grado di determinare variazioni di temperatura negli strati marini più profondi. In queste condizioni immediatamente a valle del rilascio la dispersione e miscelazione termica è principalmente guidata dai fenomeni di galleggiamento (buoyancy) per effetto della diversa densità (gradiente di temperatura).

Il plume termico a valle del punto di rilascio dopo essersi propagato per 1-2 m in profondità tende a risalire e miscelarsi con velocità diverse a seconda degli scenari di temperatura e velocità delle correnti marine considerati. Lo scenario maggiormente conservativo ovvero quello che ipotizza una temperatura uniforme a 15°C del mare evidenzia la presenza di un pennacchio termico che risale sino alla profondità di -9 m mentre per gli altri si rimane intorno ai -13/-17 m di profondità. Anche la velocità della corrente marina influisce direttamente sulla quota di innalzamento verticale del pennacchio (rise) infatti si osserva come gli scenari a bassa velocità (SA, SB, SC) hanno un rise del pennacchio più alto rispetto a quelli con velocità delle correnti marine più alte (SD, SE, SF). Riferimento alla Figura 6.

I grafici della Figura 7 riportano invece i differenziali calcolati tra la temperatura del plume termico e la temperatura del mare entrambi ad una specifica profondità. Anche in questo caso si evidenzia come lo scenario più conservativo ovvero quello che determina la maggiore estensione verticale del differenziale termico e quindi del pennacchio sia lo scenario SA caratterizzato da temperatura uniforme lungo la verticale pari a 15°C e profilo della velocità V1 con basse velocità delle correnti marine.

Considerazioni analoghe si evidenziano se si riporta l'andamento della temperatura del pennacchio in funzione della distanza radiale dal punto di rilascio. La Figura 8 evidenzia come lo scenario SD con un profilo di temperatura del mare T1 (15°C) ed velocità con profili V2 (velocità corrente medio-alte) determina un'estensione radiale massima del plume termico che arriva a circa 23 m dal punto di rilascio.

In generale le figure 5-8 evidenziano un'estensione della perturbazione termica generata dallo scarico della piattaforma Prezioso K che si estende, nelle condizioni più critiche, lungo la verticale (profondità) al massimo per 1,5 m (da -20 sino a -21,5 m) e per circa 23 m lungo la distanza radiale misurata nella direzione della corrente marina (direzione prevalente 120 ° Nord).

Si tratta di una perturbazione estremamente limitata dal punto di vista spaziale che coinvolge al massimo un volume di 2491 mc (cilindro raggio 23 m e profondità 1,5 m).

La Figura 9 riporta l'andamento della diluizione come "effective dilution" (Baumgartner *et al.* (1994)) in funzione della profondità.

Si osserva come fattore di diluizione per lo scarico termico in oggetto, sia caratterizzato da un andamento diverso a seconda del regime di velocità delle correnti marine ipotizzate. Nel caso di correnti lente il fattore di diluizione

 <p>eni s.p.a. divisione e&p</p>	<p>Doc. 000196_DV_CD.HSE.0175.000_00 Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale OFFSHORE IBLEO</p>	<p>Appendice 15 Pagina 15 di 29</p>
--	--	--

crece più rapidamente con la distanza verticale dal rilascio rispetto al caso di correnti veloci. La curva di crescita è inoltre differente e coerente con la Figura 4 discussa in precedenza.

La Figura 10 evidenzia l'andamento della Diluizione con la distanza radiale dal punto dello scarico termico anche in questo caso si rileva un andamento analogo.

Le figure 12-13 riportano invece il diametro e la velocità del plume termico in funzione della distanza radiale dal punto di scarico. Il diametro del plume risente nei primi 2 m della quantità di moto del Jet termico che genera una zona di miscelazione turbolenta che confina l'estensione del plume immediatamente al di sotto dello scarico, oltre i 2 m di distanza il plume inizia il galleggiamento verso l'alto miscelandosi con l'acqua marina ed il diametro cresce linearmente con la distanza dal punto di scarico. Anche la velocità di avanzamento del plume risente nei primi 2 m della velocità del Jet termico che determina una zona in cui la massa di acqua calda rimane intrappolata al di sotto del jet verticale, a distanze superiori ai 2 m entrano in gioco i fenomeni di galleggiamento per cui il plume termico si sposta con velocità pari a quelle delle correnti marine.

Analoghe considerazioni si possono fare per le figure 11 e 14 che rappresentano l'andamento del diametro e della velocità del plume in funzione della profondità.

La figura 15 si riferisce alla videata del codice Visual Plumes per gli scenari SA (rosso), SB (blu) e SC(verde), essa grafica l'andamento della centerline e dei confini del plume termico in una sezione verticale, si rileva come il plume si spinge per 1-2 m al di sotto della profondità dello scarico per poi risalire verso la superficie ed attestarsi alla quota massima di -9 m a brevi distanze (circa 10 m) radiali dal punto di rilascio.

La figura 16 è analoga alla figura 15 per gli scenari SD (verde), SE (blu) e SF (rosso).

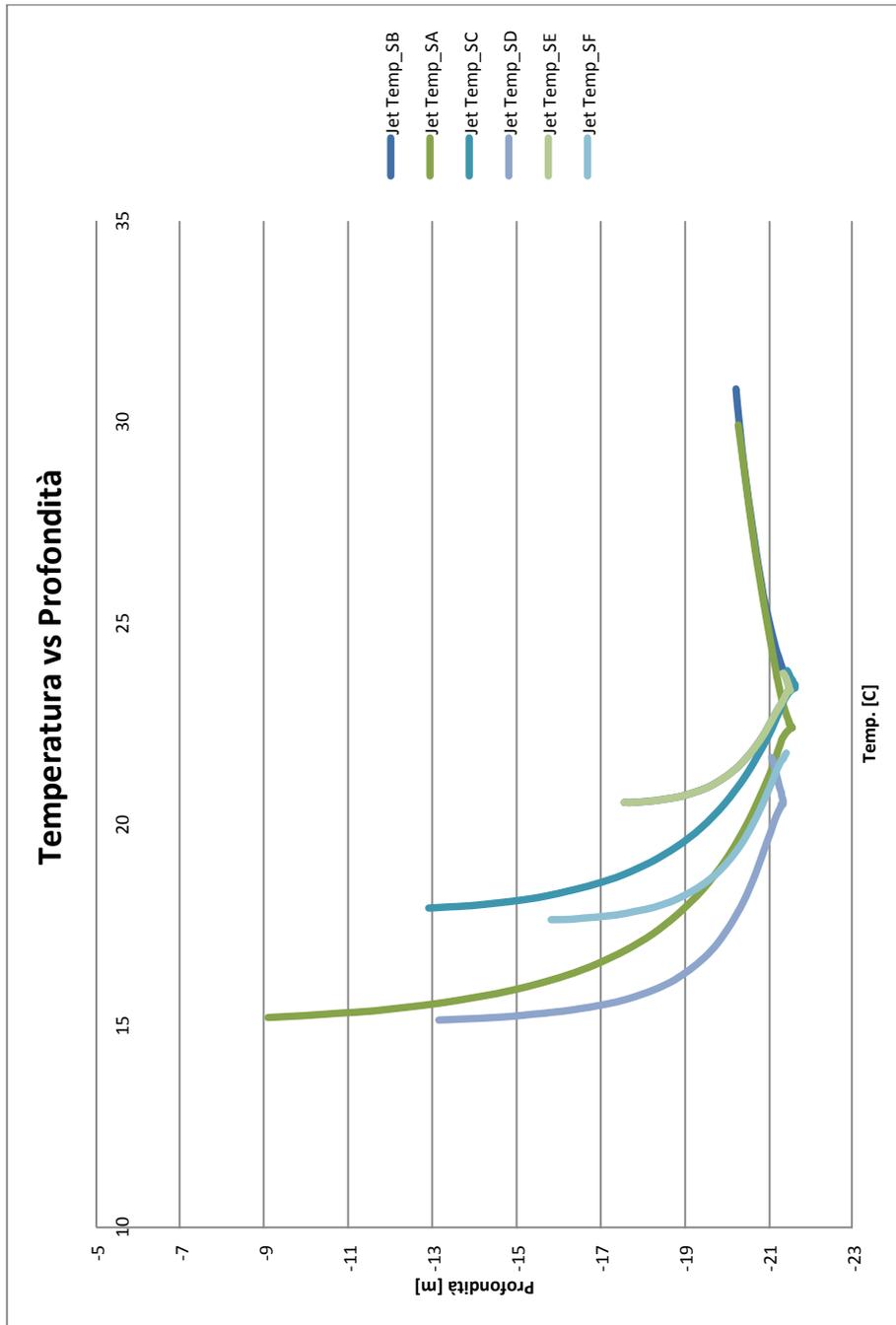


Figura 5 – Andamento della Temperatura del plume termico in funzione della profondità (in corrispondenza al punto di scarico) per gli scenari considerati

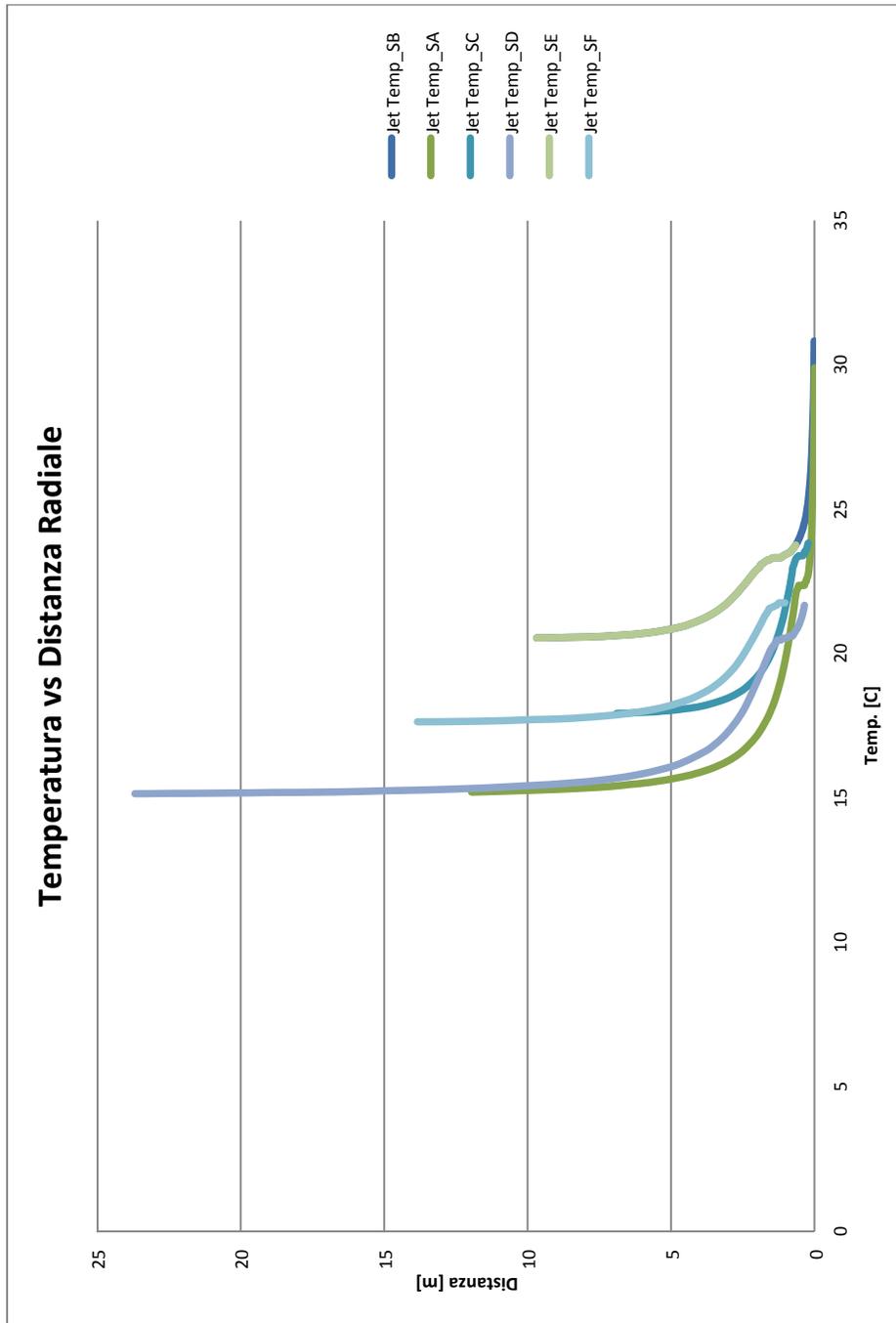


Figura 6 – Andamento della Temperatura del plume termico in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati

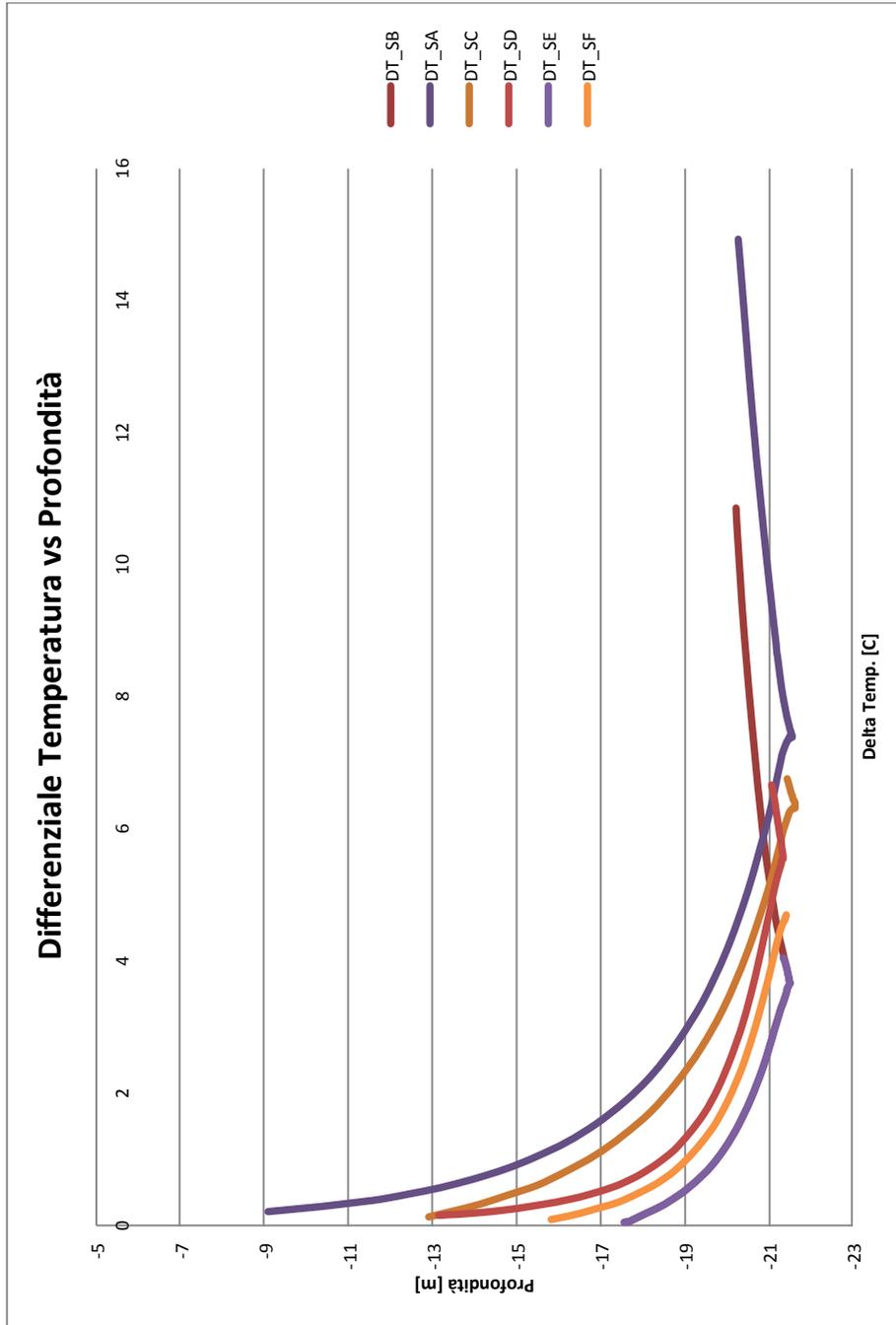


Figura 7 – Andamento del differenziale tra Temperatura del plume e temperatura ambiente in funzione della profondità (in corrispondenza al punto di scarico) per gli scenari considerati

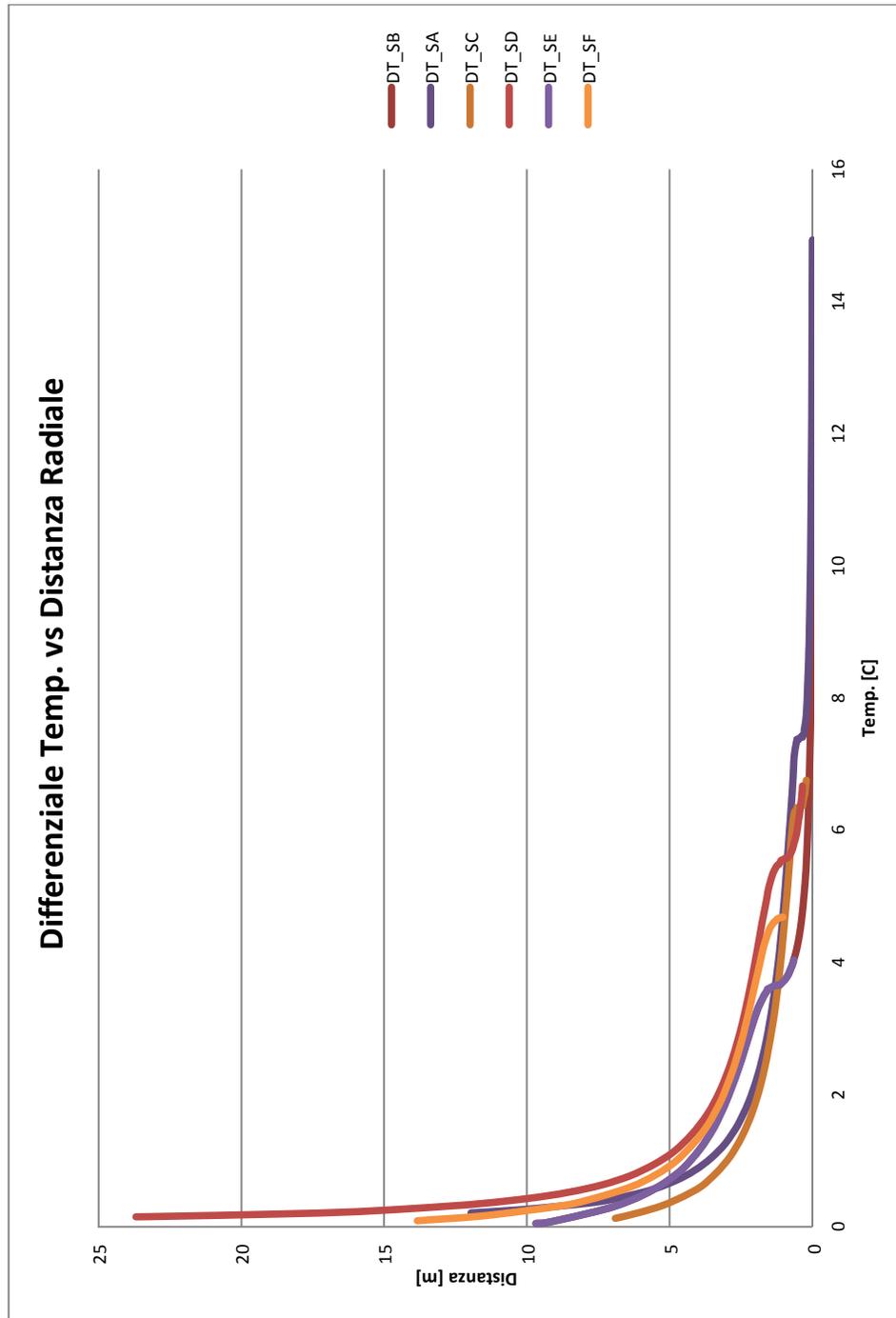


Figura 8 – Andamento del differenziale tra Temperatura del plume e temperatura ambiente in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati

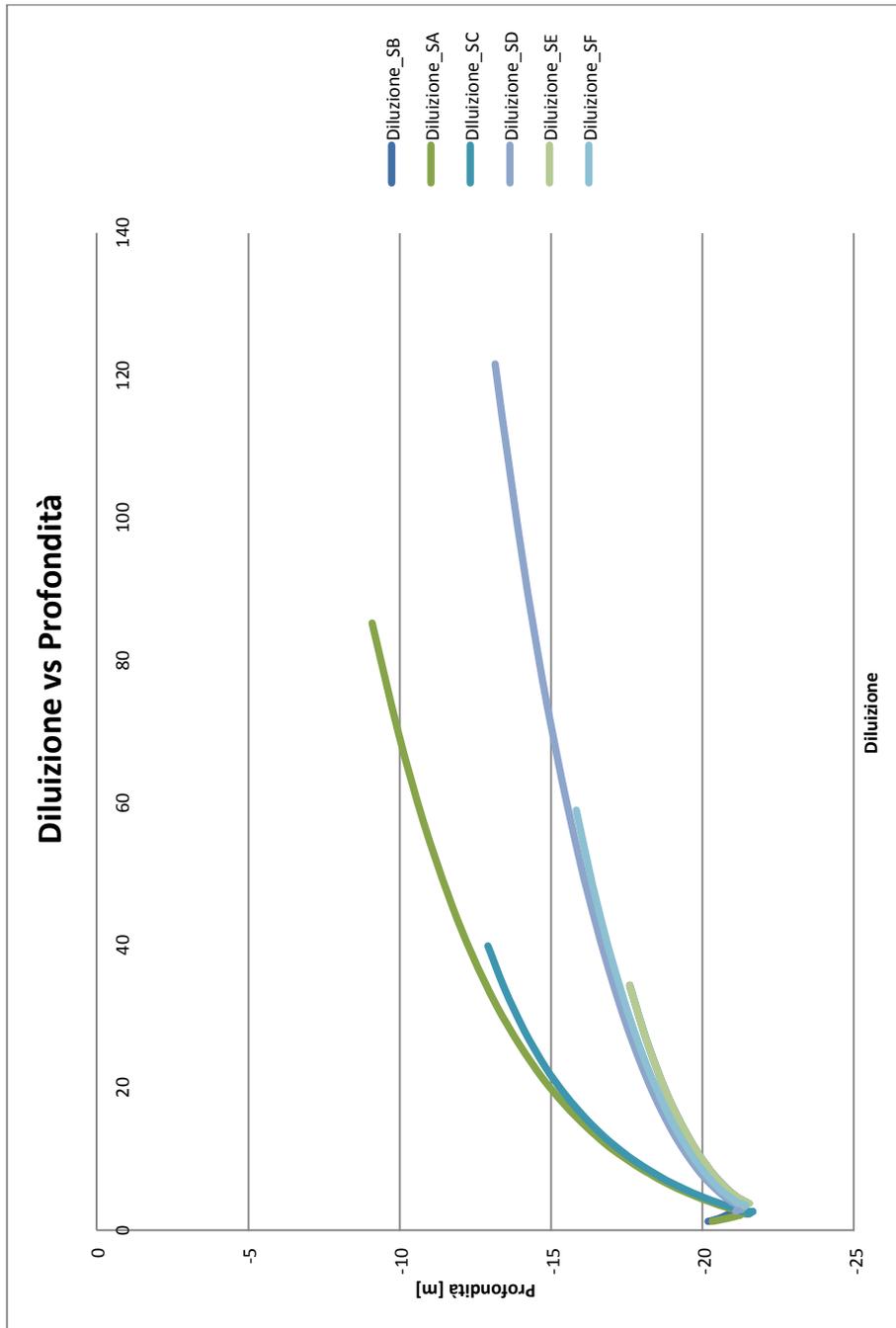


Figura 9 – Andamento della Diluizione del plume in funzione della profondità per gli scenari considerati

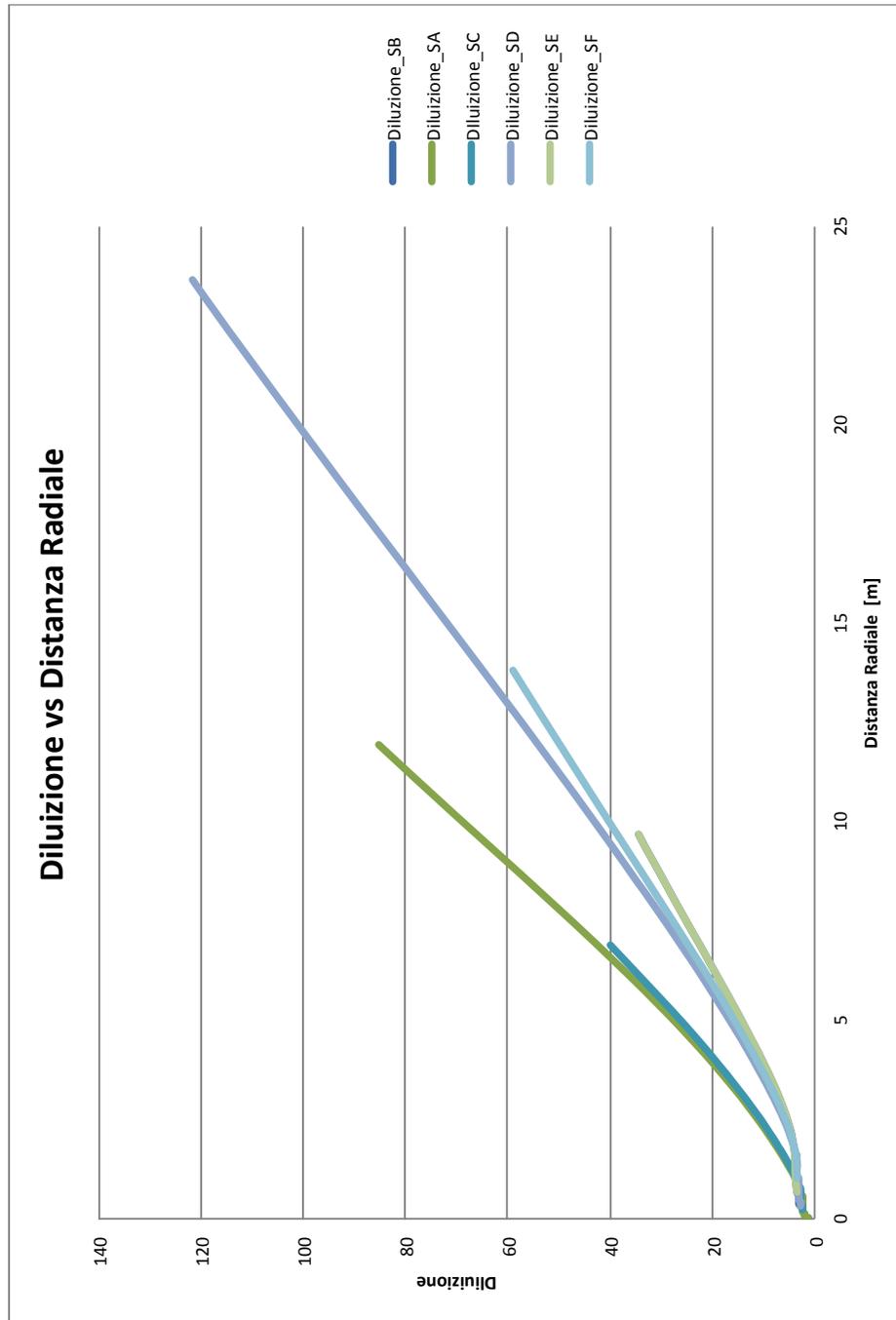


Figura 10 – Andamento della Diluizione del plume in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati

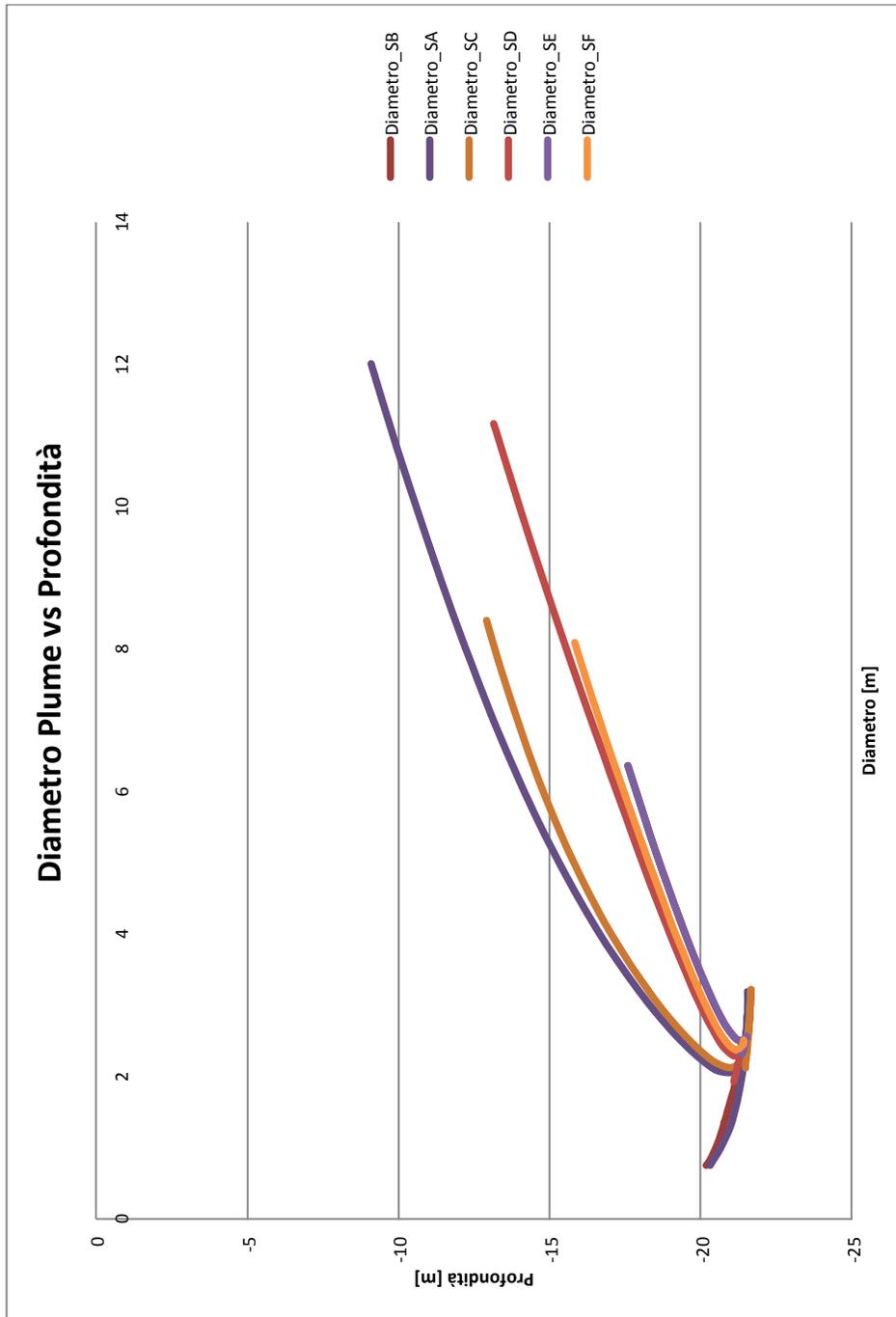


Figura 11 – Andamento del diametro del plume in funzione della profondità per gli scenari considerati

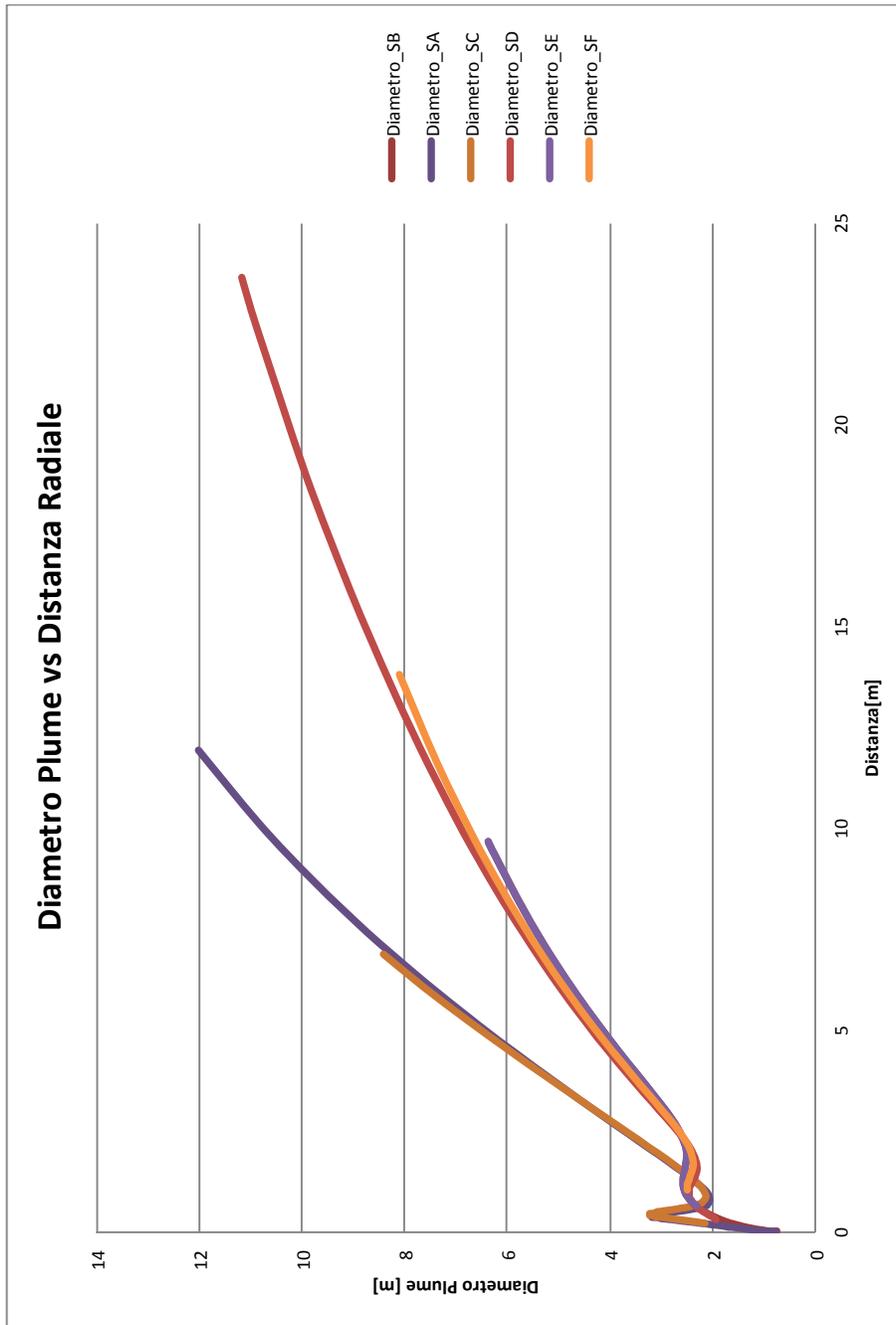


Figura 12 – Andamento del diametro del plume in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati

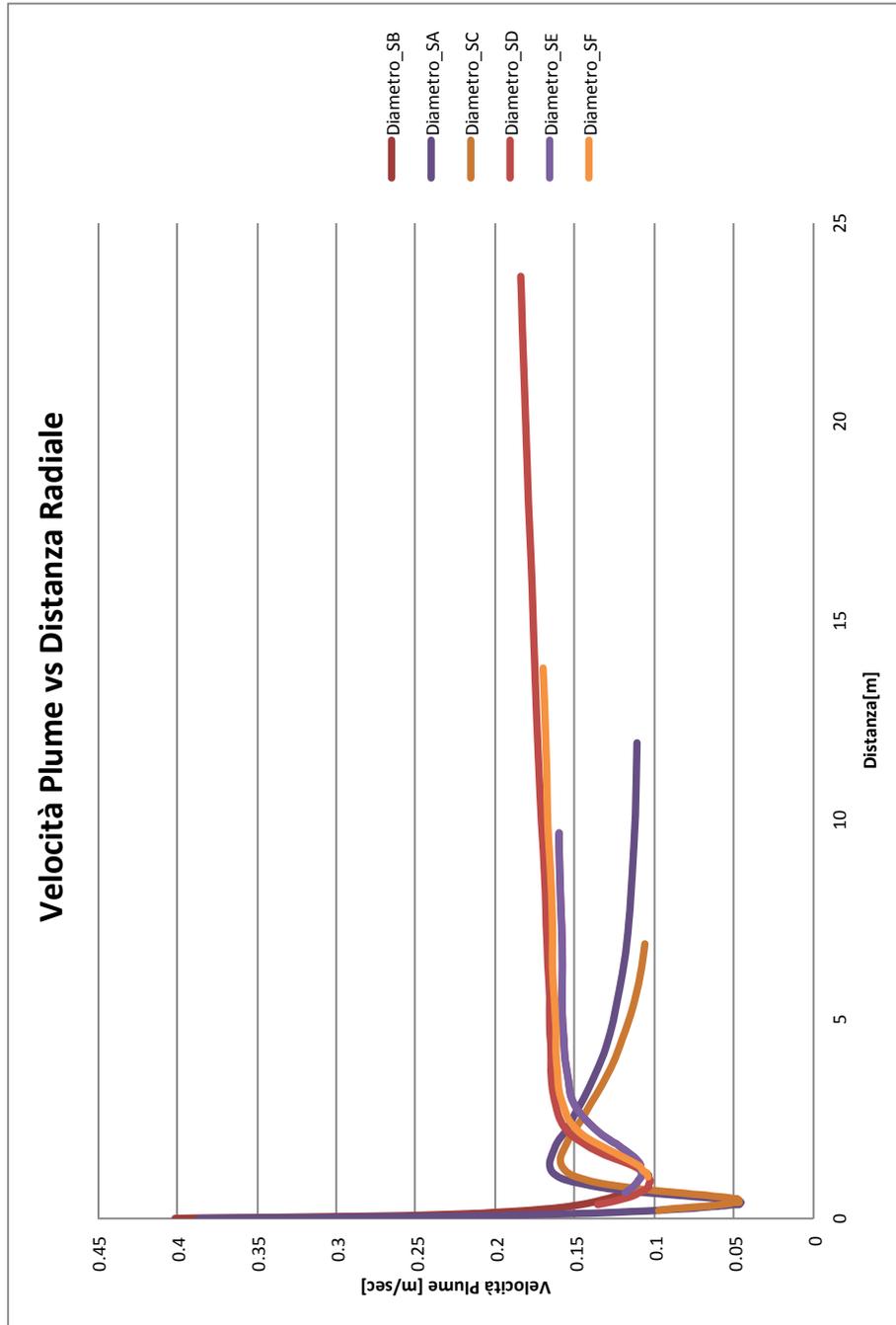


Figura 13 – Andamento della velocità del plume in funzione della distanza radiale dal punto di scarico per gli scenari considerati

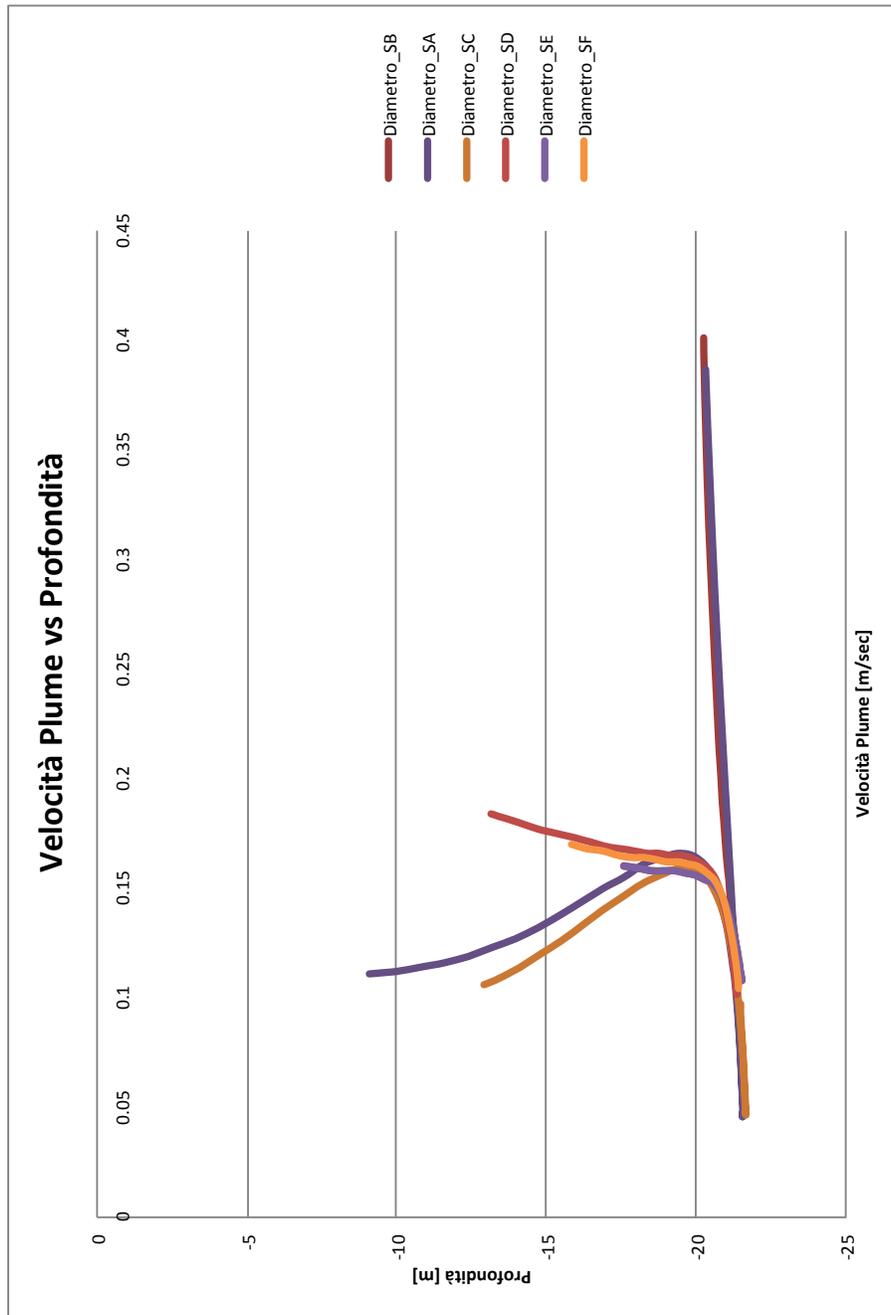


Figura 14 – Andamento della velocità del plume in funzione della profondità per gli scenari considerati

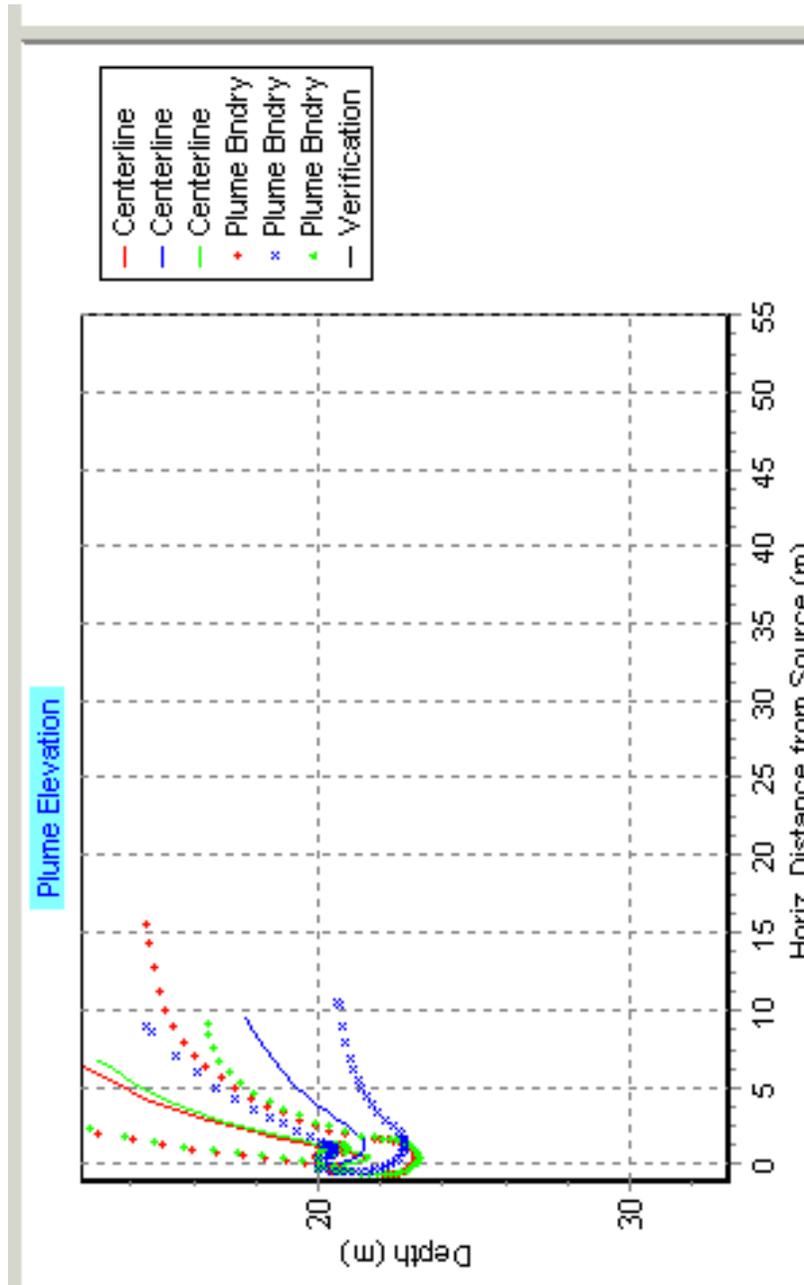


Figura 15 – Traiettorie del plume termico in una sezione verticale – SA(rosso), SB(blu), SC(verde)

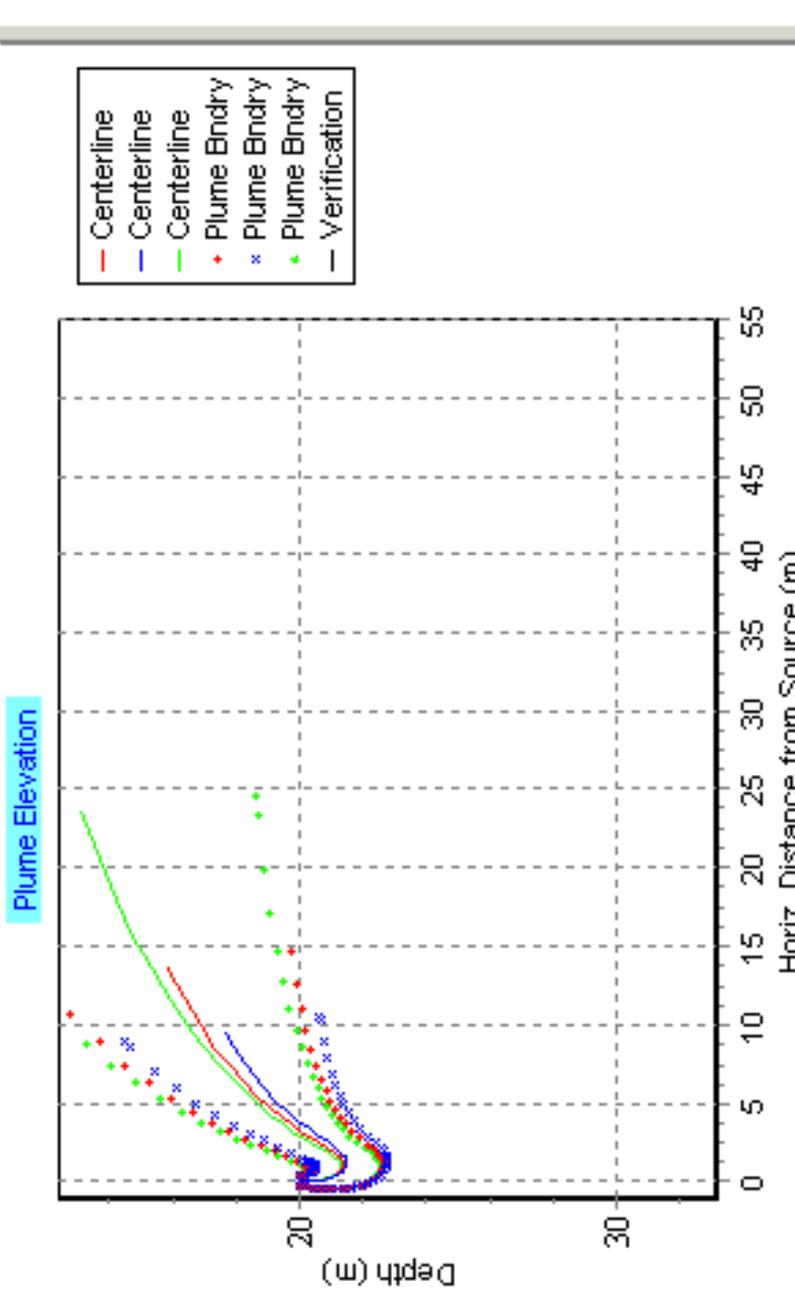


Figura 16 – Traiettorie del plume termico in una sezione verticale – SD(verde), SE(blù), SF(rosso)

 <p>eni s.p.a. divisione e&p</p>	<p>Doc. 000196_DV_CD.HSE.0175.000_00 Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale OFFSHORE IBLEO</p>	<p>Appendice 15 Pagina 28 di 29</p>
--	--	--

8 CONCLUSIONI

Le simulazioni sono state condotte in condizioni altamente conservative ipotizzando un rilascio termico in regime continuo e nelle condizioni di picco ovvero di massimo esercizio per la piattaforma Prezioso K.

Le condizioni maggiormente critiche sono rappresentate dal periodo invernale dove il differenziale tra la temperatura ambiente e quello dello scarico termico determina plume che hanno una estensione massima sia nel verticale (1,5 m) che lungo la direzione della corrente (18 m).

Tuttavia anche in queste condizioni maggiormente critiche si osserva un impatto decisamente limitato ed inferiore ai limiti normativi vigenti che fissano un differenziale termico di 3 gradi per una distanza massima di 1000 m (D.lgs 152/06 e s.m.i.)



BIBLIOGRAFIA

- Baumgartner, D., Frick, W. and Roberts, P. 1994. *Dilution models for Effluent Discharges*. 3rd Ed. EPA/600/R-94/086. U.S. Environment Protection Agency, Pacific Ecosystems Branch, Newport, Oregon.
- Collins M.A and Borey R.B, "Thermal Discharge Recovery for offshore Lng Port Pelican Terminal", Offshore Technology Conference Huston Texas 3-6 May, 2004
- Frick, W.E.1984. Non-empirical closure of the plume equations. *Atmospheric Environment* 18, No. 4: 653-662.
- Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J., Baumgartner, D.J. and George, K.P. 2002. *Dilution Models for Effluent Discharges (Visual Plumes)*. 4th Ed, Ecosystems Research Division, NERL, ORD, USEPA
- King, B. and McAllister, F.A. 1997. *Modeling the Dispersion of Produced Water Discharge in Australia 1 & 2*. Australian Institute of Marine Science report to the APPEA and ERDC.
- King, B. and McAllister, F.A. 1998. Modelling the dispersion of produced water discharges. *APPEA Journal*: 681-691.
- Koh, R.C.Y. and Chang, Y.C. 1973. *Mathematical model for barged ocean disposal of waste*. *Environmental Protection Technology Series* EPA 660/2-73-029, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi.
- Roberts, P. and Tian, X. 2004. New experimental techniques for validation of marine discharge models. *Environmental Modelling and Software* 19: 691-699.
- Walter E. Frick Visual Plumes mixing zone modeling software Environmental Modelling & Software, Volume 19, Issues 7-8, July-August 2004, Pages 645-654*
- US EPA., 2006. Technical Evaluation: Physical Characteristics of Discharge. US EPA document, 40 CFR 125.62 (a).