

STUDIO DELL'IMPATTO TERMICO  
PER SCARICHI A MARE

presso la Raffineria Saras di Sarroch

Committente: FOSTER WHEELER ITALIANA

FILE	COMMESSA	ELABORATO	REV	DATA	ELAB	APPROV
9308-RT1	P93.08	P93.08-RT-001	1	Gen. 94	LES	MAZ



## INDICE

1. INTRODUZIONE
  2. DESCRIZIONE DEL MODELLO
  3. CARATTERISTICHE DEGLI EFFLUENTI SCARICATI
    - 3.1 Scarico TAS/TAZ/TORRI
    - 3.2 Scarico dissalatori
  4. CARATTERISTICHE DEL CORPO RECIPIENTE
  5. CONDIZIONI ESAMINATE
    - 5.1 Considerazioni generali
    - 5.2 Casi studiati per lo scarico TAS/TAZ/TORRI
    - 5.3 Casi studiati per lo scarico dei dissalatori
  6. CONCLUSIONI
- 
- |            |   |
|------------|---|
| ALLEGATO A | Descrizione dettagliata del modello matematico PENNEL                     |
| ALLEGATO B | Output dei casi analizzati  |
| ALLEGATO C | Planimetrie dei pennacchi termici nelle tre diverse situazioni analizzate |

## INDICE DELLE TABELLE

- Tab. 1      Temperature medie mensili del mare nel Golfo di Cagliari
- Tab. 2      Scarico TAS/TAZ/TORRI - Risultati del modello per lo studio di impatto termico
- Tab. 3      Scarico Dissalatori - Risultati del modello per lo studio di impatto termico

## INDICE DELLE FIGURE

- Fig. 1 Definizione delle coordinate di riferimento utilizzate dal modello matematico
- Fig. 2 Distribuzioni di velocità e temperatura all'interno del pennacchio utilizzate dal modello matematico
- Fig. 3 Sezioni del canale di scarico TAS/TAZ/TORRI
- Fig. 4 Planim. del canale di scarico TAS/TAZ/TORRI
- Fig. 5 Sezione del manufatto per lo scarico di un dissalatore
- Fig. 6 Planimetria della zona antistante gli scarichi dei dissalatori
- Fig. 7 Scarico TAS/TAZ/TORRI - Distribuzione della temperatura lungo l'asse del pennacchio
- Fig. 8 Scarico TAS/TAZ/TORRI - Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio in condizioni invernali
- Fig. 9 Scarico TAS/TAZ/TORRI - Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio in condizioni di media stagione
- Fig. 10 Scarico TAS/TAZ/TORRI - Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio in condizioni estive
- Fig. 11 Scarico Dissalatore - Distribuzione della temperatura lungo l'asse del pennacchio
- Fig. 12 Scarico Dissalatore - Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio in condizioni invernali
- Fig. 13 Scarico Dissalatore - Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio in condizioni di media stagione

Fig. 14 Scarico Dissalatore - Distribuzione delle  
velocità del getto lungo l'asse del pennac-  
chio in condizioni estive

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra lo studio svolto per valutare la diffusione termica relativa agli scarichi in mare degli effluenti derivanti dall'integrazione degli impianti della Raffineria SARAS di Sarroch con il complesso di gasificazione di idrocarburi pesanti e produzione di energia elettrica con ciclo combinato (IGCC).

Gli scarichi considerati comprendono le acque reflue restituite dagli impianti di trattamento degli effluenti del complesso e delle acque di zavorra navi, dalle torri di raffreddamento e dai dissalatori, nelle condizioni di esercizio della Raffineria successive all'avviamento del complesso IGCC.

Vengono nel seguito esaminati gli scarichi costituiti da:

- effluente combinato degli impianti di trattamento acque reflue di raffineria e di trattamento acque reflue dell' IGCC (TAS) e di trattamento acque di zavorra (TAZ) insieme con l'effluente dall'impianto delle torri di raffreddamento acqua mare dell'IGCC
- effluenti di due dissalatori da due punti di scarico distinti e limitrofi

Scopo dello studio è valutare la diffusione termica in mare degli scarichi citati per verificare il rispetto della normativa vigente in materia, segnatamente la legge n. 319 del 10 maggio 1976 "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento" (G.U. n. 141 del 29 maggio 1976) che impone un incremento di temperatura del corpo recipiente non superiore ai 3°C a oltre 1000 m di distanza dal punto di immissione dell'effluente.

Ai fini dello studio ed allo scopo di valutare la massima interferenza ambientale possibile, è stata considerata una temperatura massima, costante lungo l'arco dell'anno, pari a 34° C per gli scarichi degli impianti di trattamento e dei dissalatori ed a 28° C per lo scarico delle torri di raffreddamento.

La diffusione termica indotta in un corpo recipiente da un effluente caldo è determinata dalle caratteristiche della sezione di scarico e dal processo locale di trasferimento del calore nell'ambiente.

Nelle vicinanze del punto di scarico la quantità di moto dell'effluente caldo dà luogo al mescolamento dello scarico con l'acqua del corpo ricevente (pennacchio): in questa regione la temperatura e la velocità dello scarico diminuiscono per effetto della diluizione con l'acqua "intrappolata" dal getto. Il mescolamento è tanto maggiore quanto maggiore è la quantità di moto dell'effluente e minore il gradiente termico rispetto al corpo recipiente.

Al di là di questa regione, la velocità dello scarico e la turbolenza sono dello stesso ordine di grandezza di quelle ambiente, cessa il trattenimento dell'acqua ricevente nel getto e la distribuzione delle temperature è governata dalla diffusione e dalla convezione naturali; il calore residuo viene disperso attraverso la superficie del corpo ricevente con processi estremamente variabili e dipendenti dalle condizioni ambientali (vento, correnti, condizioni metereologiche, ecc.). La dispersione e la distribuzione delle temperature tendono a dipendere più dalla quantità scaricata che dalle caratteristiche dello scarico e i processi diffusivi e convettivi che si instaurano sono decisamente meno efficienti di quelli instaurati dal mescolamento e dalla turbolenza del getto.

Risulta pertanto conveniente ottenere la massima dispersione nelle vicinanze dello scarico attraverso la scelta di una sezione ottimale di efflusso.

Il presente studio esamina gli scarichi in oggetto utilizzando un modello matematico che descrive il pennacchio formato dall'effluente con l'acqua del corpo recipiente.

Nel caso del canale di scarico per TAS, TAZ e torri si individuano le dimensioni opportune della sezione di uscita per cui si ha la formazione del pennacchio e si può garantire la dispersione termica attraverso lo stesso.

Nel caso dei dissalatori si considera un solo scarico e si valuta l'importanza delle eventuali interferenze tra due scarichi adiacenti.

I risultati dell'analisi sono illustrati in relazione e attraverso i seguenti grafici:

- distribuzione di temperatura lungo l'asse del pennacchio

- distribuzione della velocità del getto lungo l'asse del pennacchio
- rappresentazione delle isoterme sulla superficie del corpo ricevente e sulla sezione verticale lungo l'asse dello scarico.

## 2. DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il modello considera uno scarico superficiale, avente portata  $Q$  ad una data temperatura e densità, in un corpo ricevente, avente densità superiore e temperatura inferiore costanti nello spazio e nel tempo, la cui superficie si estenda oltre la zona di influenza dello scarico e il cui fondo non interferisca con il getto.

Lo scarico avviene attraverso una sezione geometrica (definita dall'altezza, dalla semilarghezza e da un fattore di forma) e può essere inclinato rispetto alla linea di costa.

Se richiesto, il modello considera anche la presenza, nel mezzo ricevente, di una corrente  $V$  parallela alla linea di costa (la corrente può essere non uniforme lungo la perpendicolare alla linea di costa) e il trasferimento di calore attraverso la superficie del mezzo ricevente, in funzione del coefficiente di scambio termico superficiale  $k$  tra il mezzo stesso e l'ambiente.

I parametri dimensionali che definiscono il problema sono illustrati nella Figura 1.

La soluzione del problema è ottenuta attraverso la soluzione delle equazioni di conservazione della massa, della quantità di moto e del calore del flusso immesso, con le seguenti assunzioni:

- . moto stazionario
- . viscosità trascurabile (alto numero di Reynolds)
- . approssimazione di Boussinesq (gradienti di densità importanti solo in termini di pressione)
- . pressione idrostatica in funzione della profondità e della densità
- . assenza di moto indotto dal getto a grandi profondità
- . piccole differenze di densità tra l'effluente e il ricevente
- . lievi inclinazioni del getto per effetto della corrente (velocità della corrente/velocità del getto all'uscita  $< 1$ )

- assunzioni sulla struttura della velocità e della temperatura all'interno del getto (Figura 2) e sulle condizioni al contorno

Le equazioni del moto sono integrate (metodo del quarto ordine di Runge Kutta modificato) sulla sezione trasversale del getto e conducono ad un sistema di equazioni differenziali in  $x$  (coordinata lungo l'asse del getto) risolte utilizzando i seguenti parametri adimensionali: numero di Froude (IF), fattore di forma della sezione di efflusso (A), parametro di scambio superficiale ( $k/u_0$ ) e di corrente ( $V/u_0$ ).

I dati di ingresso del programma sono:

IF numero di Froude

$$IF = u_0 / [h_0 * g * (r_{o_{mar}} - r_{o_{eff}}) / r_{o_{mar}}]^{1/2}$$

dove:

$u_0$  velocità dell'effluente alla bocca di scarico

$h_0$  profondità del canale di scarico

$r_{o_{eff}}$  densità dell'effluente

$r_{o_{mar}}$  densità del ricevente

$g$  accelerazione di gravità

A fattore di forma

$$A = h_0 / b_0$$

dove

$h_0$  profondità del canale di scarico

$b_0$  semilarghezza della sezione di scarico

per una sezione non rettangolare:

$h_0$  massima profondità del canale

$b_0 = \text{area del canale} / 2 * h_0$

Theta<sub>0</sub> angolo tra l'asse del getto e la linea di costa

k/u<sub>0</sub> parametro di scambio superficiale

V<sub>i</sub>/u<sub>0</sub> parametri per la definizione della corrente V

Altri parametri sono richiesti per la dimensionalizzazione dei risultati e precisamente:

$u_0$ ,  $h_0$ ,  $b_0$  e la differenza tra la temperatura dell'effluente e del recipiente.

Alcuni parametri di controllo per il programma, quale il passo di integrazione, completano i dati di ingresso.

I risultati sono costituiti da tabelle numeriche e grafici.

Due tabelle iniziali riportano, la prima in forma adimensionale e la seconda in forma dimensionale, i principali valori delle variabili calcolate lungo l'asse del getto:

- H, B, R, S  
descrivono la struttura del getto e corrispondono alle grandezze  $h$ ,  $b$ ,  $r$ ,  $s$  della Figura 2
- FL numero di Froude locale
- Q rapporto tra il getto in quel punto dell'asse di sviluppo e il getto iniziale, ne rappresenta la diluizione
- M quantità di moto
- U velocità (componente lungo l'asse del getto)
- T temperatura del getto
- HT diminuzione della temperatura del getto per effetto della dispersione termica superficiale
- V velocità della corrente
- XP, YP  
coordinate dell'asse del getto rispetto al sistema di riferimento fisso (asse Y lungo la linea di costa e asse X ortogonale verso mare)
- THD angolo tra l'asse del getto e la linea di costa
- TM tempo di propagazione del getto

Una tabella riporta le coordinate assolute XP e YP del getto, insieme con la profondità raggiunta dal getto e la temperatura in superficie lungo l'asse del getto.

Le successive due tabelle descrivono l'estensione superficiale del getto e quella del suo nucleo, riferite alle coordinate locali X e Y del getto stesso.

Il nucleo (core region) è la regione immediatamente a valle dello scarico, in cui la velocità lungo l'asse è costante, la temperatura diminuisce molto lentamente, la diluizione e il numero di Froude variano poco.

Le successive tabelle descrivono le isoterme, che rappresentano il gradiente di temperatura tra il getto e il corpo ricevente, in superficie e sulla sezione verticale lungo l'asse del getto ed inoltre forniscono il dato relativo alla superficie racchiusa all'interno di ogni singola isoterma: l'insieme di tali dati è utilizzato per la restituzione grafica che comprende infatti lo sviluppo delle isoterme, per ogni grado di differenza tra effluente e recipiente, sulla superficie orizzontale del corpo recipiente e lo sviluppo delle stesse isoterme nel piano verticale contenente l'asse del getto.

Va infine sottolineato che le assunzioni del modello sulla struttura del getto ne consentono l'applicazione ai casi in cui effettivamente si ha la formazione di un pennacchio, cioè per portate di efflusso dotate di una certa velocità: all'attenuazione delle caratteristiche specifiche del getto, per effetto della diluizione o nel caso di scarichi di scarsa rilevanza, i risultati diventano meno precisi e stabili e il fenomeno evolve con un comportamento differente, legato più alla diffusione e convezione che non alle caratteristiche dinamiche dell'effluente.

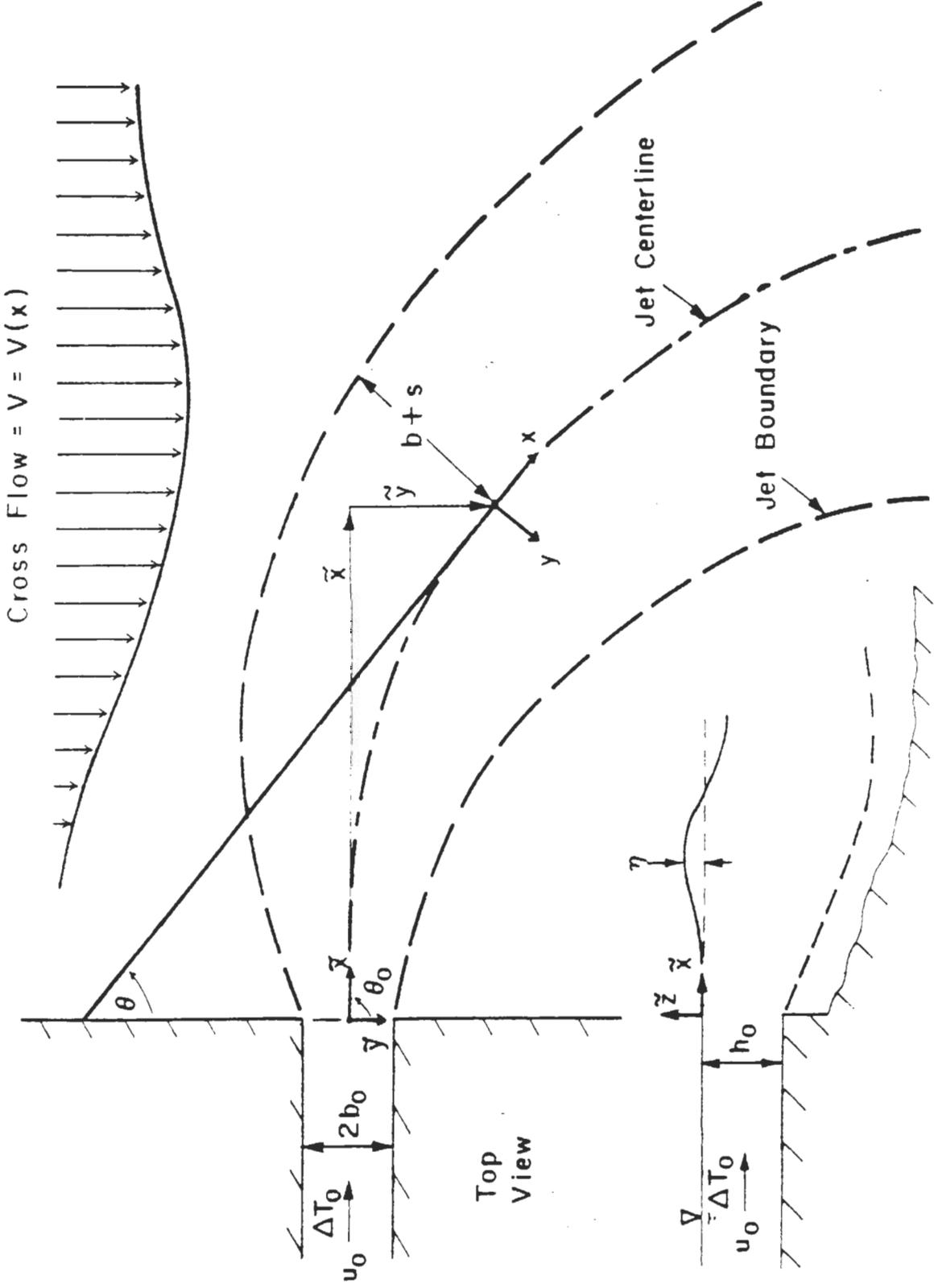


Fig. 1 Coordinate Definitions

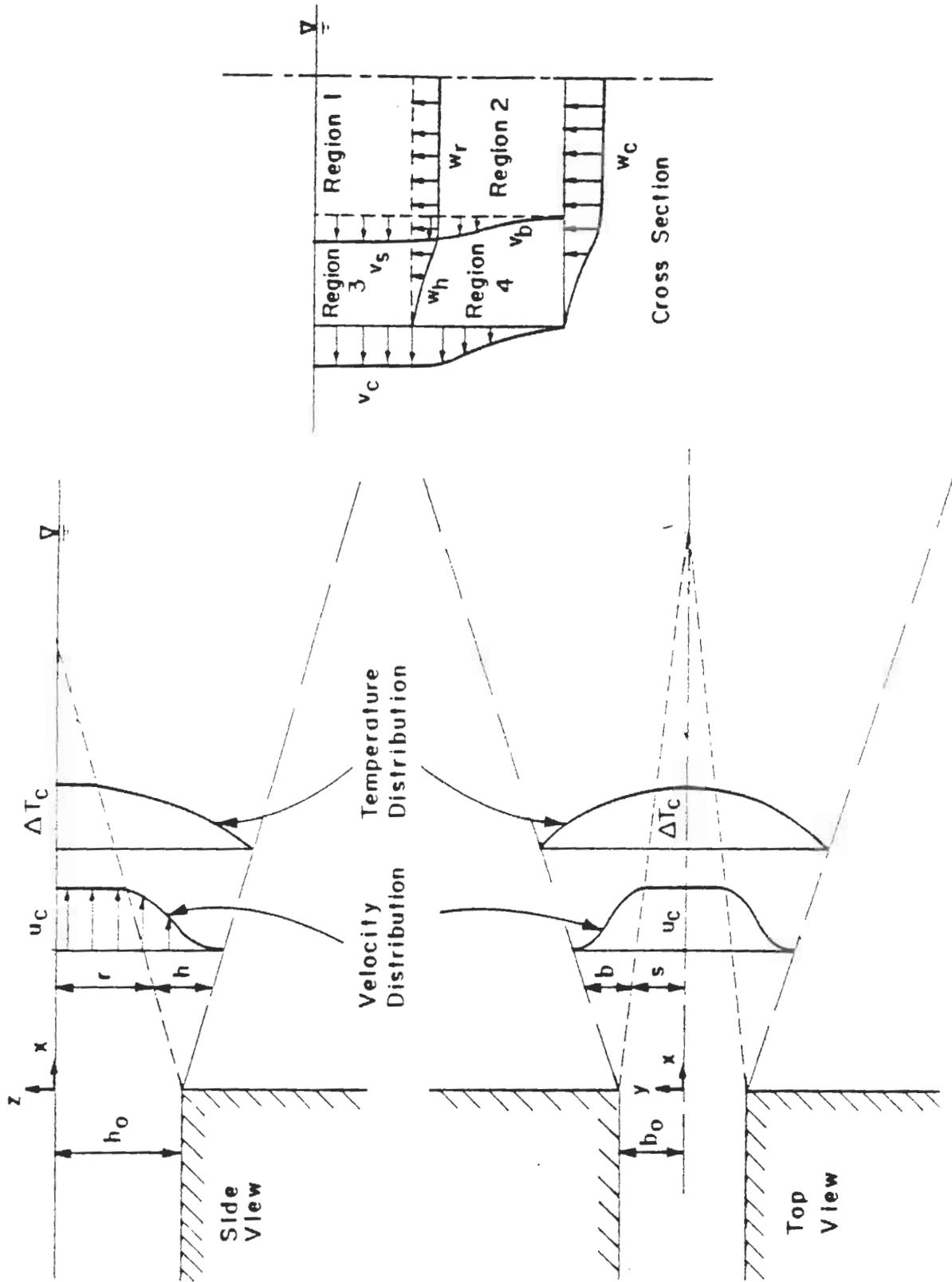


Fig. 2 Discharge Structure

### 3. CARATTERISTICHE DEGLI EFFLUENTI SCARICATI

#### 3.1 Scarico TAS/TAZ/TORRI

Lo scarico raccoglie l'effluente combinato costituito da:

- acque reflue dagli impianti di trattamento della raffineria: effluenti dell'impianto di trattamento acque della Raffineria esistente (TAS) e trattamento delle acque di zavorra (TAZ);
- acqua restituita dalle torri di raffreddamento dell'impianto IGCC;
- acque reflue dell'impianto di trattamento acque IGCC (TAS)

Il canale di scarico previsto è un cunicolo di calcestruzzo avente sezione rettangolare di passaggio, con larghezza 4.00 m, altezza variabile tra 1.20 m e 1.60 m (1.80 m nel tratto terminale lato mare a valle del pozzetto) e pendenza del fondo 0.32 %, come illustrato in Figura 3, dimensionato per una portata idraulica pari a 30.000 mc/ora corrispondente alla portata di picco (di emergenza) delle acque meteoriche raccolte sulla area superficiale Sud-Ovest del complesso industriale SARAS.

La sezione di uscita del canale (Figura 3) è ubicata lungo il fronte mare del terrapieno di nuova costruzione, tra la radice del pontile e la foce del Rio Is Cannas, e l'asse del canale è in direzione Est-Ovest (approssimativamente), con un'inclinazione di 60 gradi circa rispetto al filo del terrapieno (Figura 4).

Il fondo canale nella sezione di uscita si trova a quota -0.40 m sul l.m.m.; il fondale antistante si trova a quota -2.50 m circa sul l.m.m.

Le caratteristiche dei singoli effluenti sono:

Effluente	Portata (m <sup>3</sup> /ora)	Temp. Max (gradi Cent.)	Salinità (g/l)
TAS (1)	750	34	trasc.
TAZ	1300	34	38.0
TORRI	2350	28	49.4

(1) Scarico Raffineria	:	635 m <sup>3</sup> /ora
Scarico IGCC	:	115 m <sup>3</sup> /ora
		-----
TOTALE	:	750 m <sup>3</sup> /ora

La salinità è espressa in grammi di massa salina disciolta per litro d'acqua e deriva dall'utilizzo dell'acqua di mare come zavorra, cui corrisponde il valore indicato.

Date le caratteristiche di ogni singolo effluente riportate alla pagina precedente le caratteristiche dell'effluente combinato sono:

---

Effluente	Portata (m <sup>3</sup> /ora)	Temperatura (gradi Cent.)	Salinità (g/l)
TAS/TAZ/TORRI	4400	30.8	37.6

---

Data la sproporzione tra la portata di scarico normale operativa ed il valore di dimensionamento idraulico del canale la sezione terminale viene opportunamente sagomata per realizzare una adeguata sezione di passaggio per la diffusione termica in mare.

Tale sezione risulta corrispondente, per le condizioni di portata normale operativa su indicate, ad una larghezza alla bocca di scarico di 1 metro.

La sagomatura del canale, limitata come detto alla sezione terminale, non interferisce con la capacità massima di scarico dello stesso.

La densità dell'effluente è funzione della salinità  $S$  e della temperatura e viene calcolata utilizzando il metodo di Fischer per il calcolo della densità in funzione della salinità e della temperatura (Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press Inc., pp 443-449).

Tale metodo, partendo dai dati relativi allo scarico congiunto TAS/TAZ/TORRI fornisce una densità allo scarico pari a 1020.497 kg/m<sup>3</sup>.

Il livello del mare varia, a seconda delle condizioni di marea, tra i seguenti valori:

alta marea	+0.30 m sul l.m.m.
bassa marea	-0.20 m sul l.m.m.

Esso comporta un'altezza massima del tirante alla bocca di 70 cm (da quota -0.40 m a quota +0.30 m sul l.m.m.).

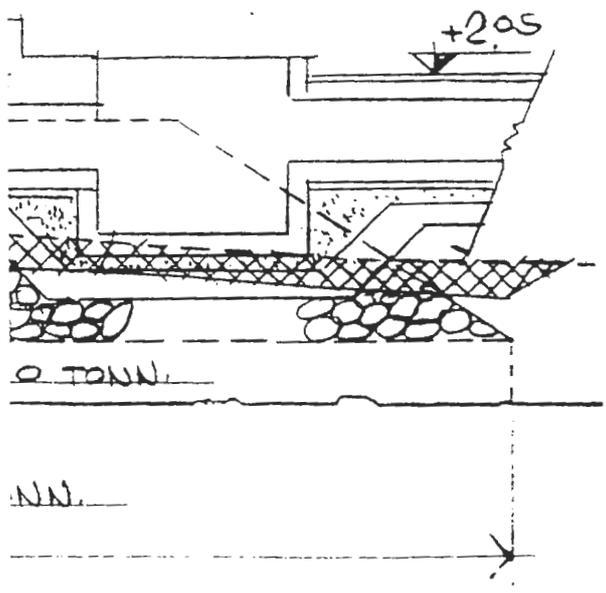
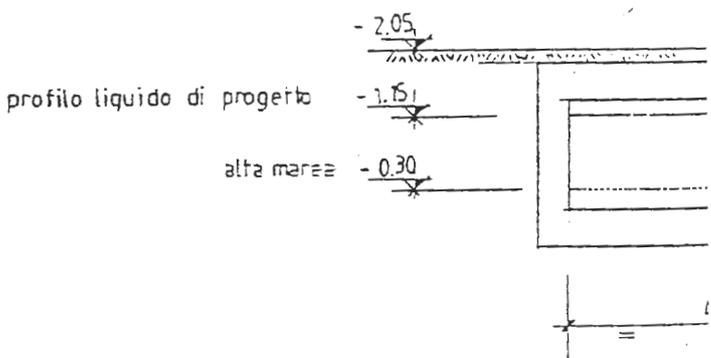
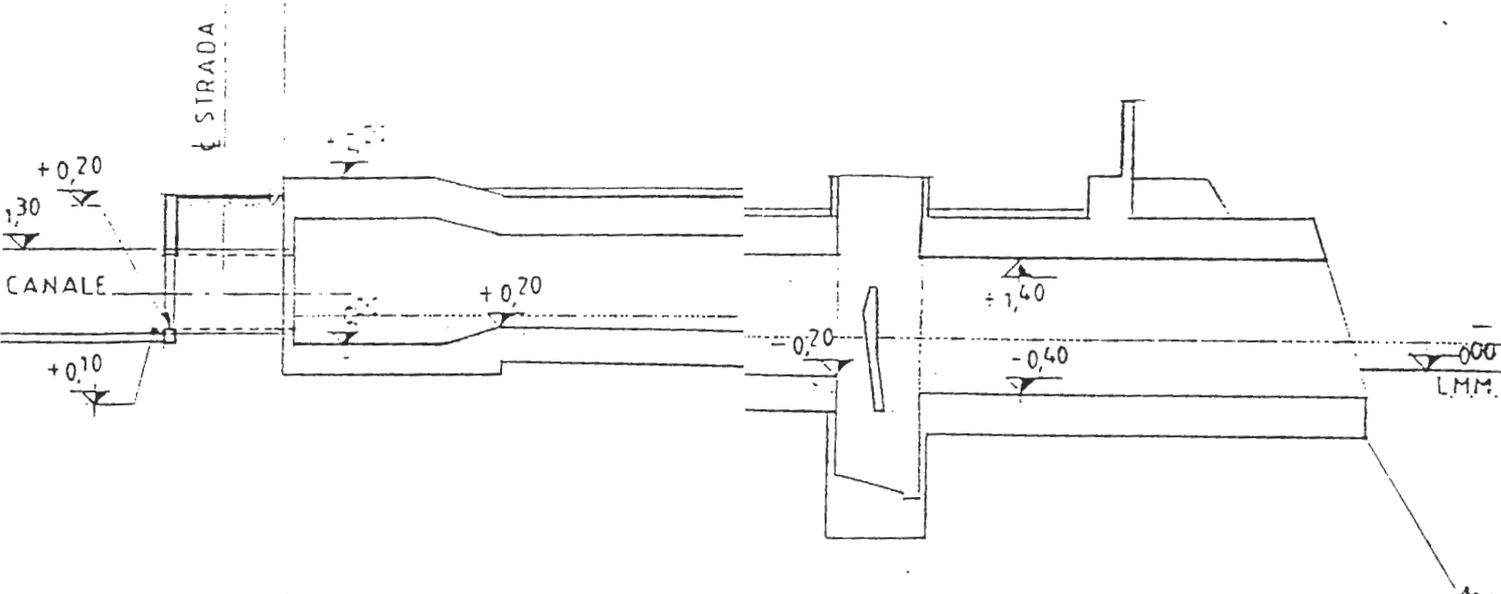


Figura 3



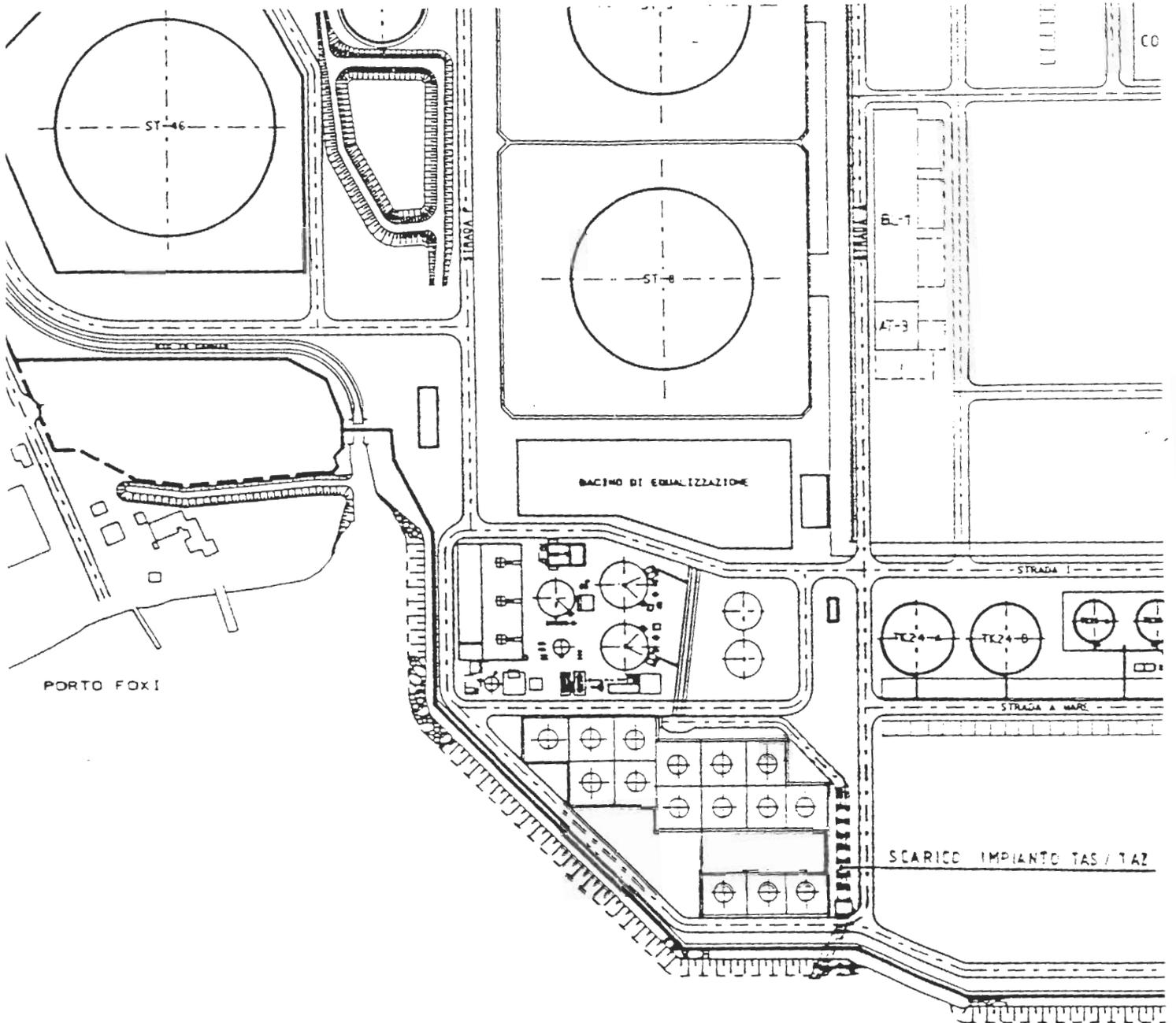


Figura 4

### 3.2 Scarico dissalatori

Nella situazione di riferimento della raffineria è previsto un impianto di dissalazione ubicato alla sinistra della radice del pontile; nell'ambito del progetto IGCC verrà realizzato un altro impianto simile nella stessa zona, ed è previsto l'utilizzo contemporaneo dei due dissalatori.

Lo scarico di ogni dissalatore è costituito da un tubo del diametro di 1.00 m, la cui bocca si apre a filo banchina e ha quota di fondo a circa -1.10 m sul l.m.m., come illustrato in Figura 5.

Gli scarichi dei dissalatori distano l'uno dall'altro circa 32 m (Figura 6).

Il fondale antistante, come risulta dalle indagini batimetriche, è digradante da quota -3.00 m sul l.m.m. a filo banchina fino a circa -6.00 m a 150 m dalla costa; si osserva inoltre che l'area antistante gli scarichi è delimitata dalle opere foranee del porticciolo, la cui diga si trova a distanza di circa 120 m di fronte ai dissalatori. L'area è infine caratterizzata dalla presenza delle due opere di presa a mare, ubicate rispettivamente a circa 200 m e 250 m dal filo della costa.

Le caratteristiche dell'effluente da ogni dissalatore sono date dalla combinazione dello scarico dell'acqua di raffreddamento, costituita da acqua di mare, e dalla salamoia risultante dal trattamento, che ha una concentrazione massima pari a circa 1,6 la concentrazione dell'acqua di mare utilizzata in ingresso:

Effluente	Portata (mc/ora)	Temperatura (gradi Cent.)	Salinità (g/l)
raffreddamento	2300	34	38.0
salamoia	500	34	64.6
<b>Totale</b>	<b>2800</b>	<b>34</b>	<b>42.1</b>

La densità dell'effluente risulta in questo caso pari a 1025.612 kg/m<sup>3</sup>.

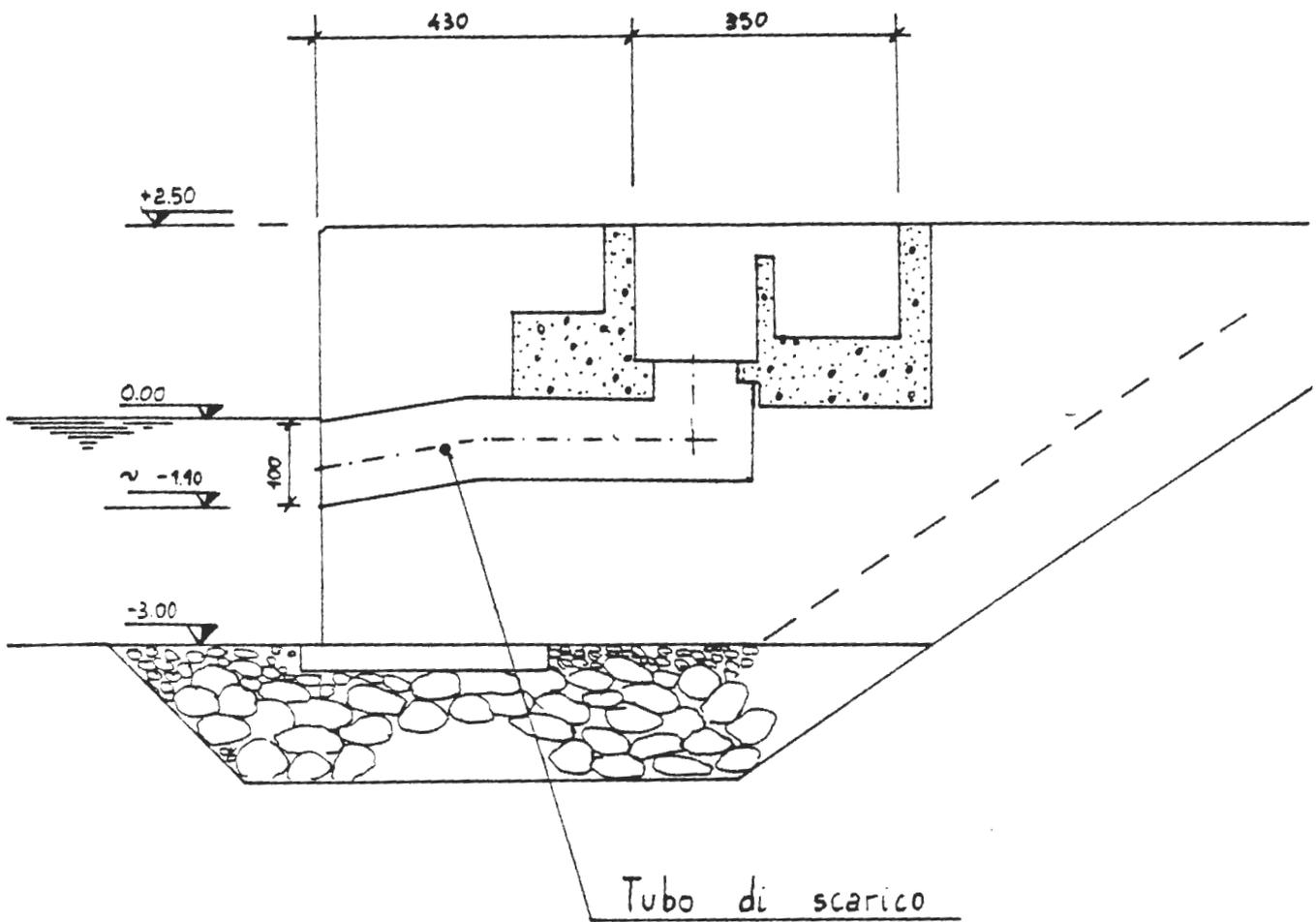


Figura 5

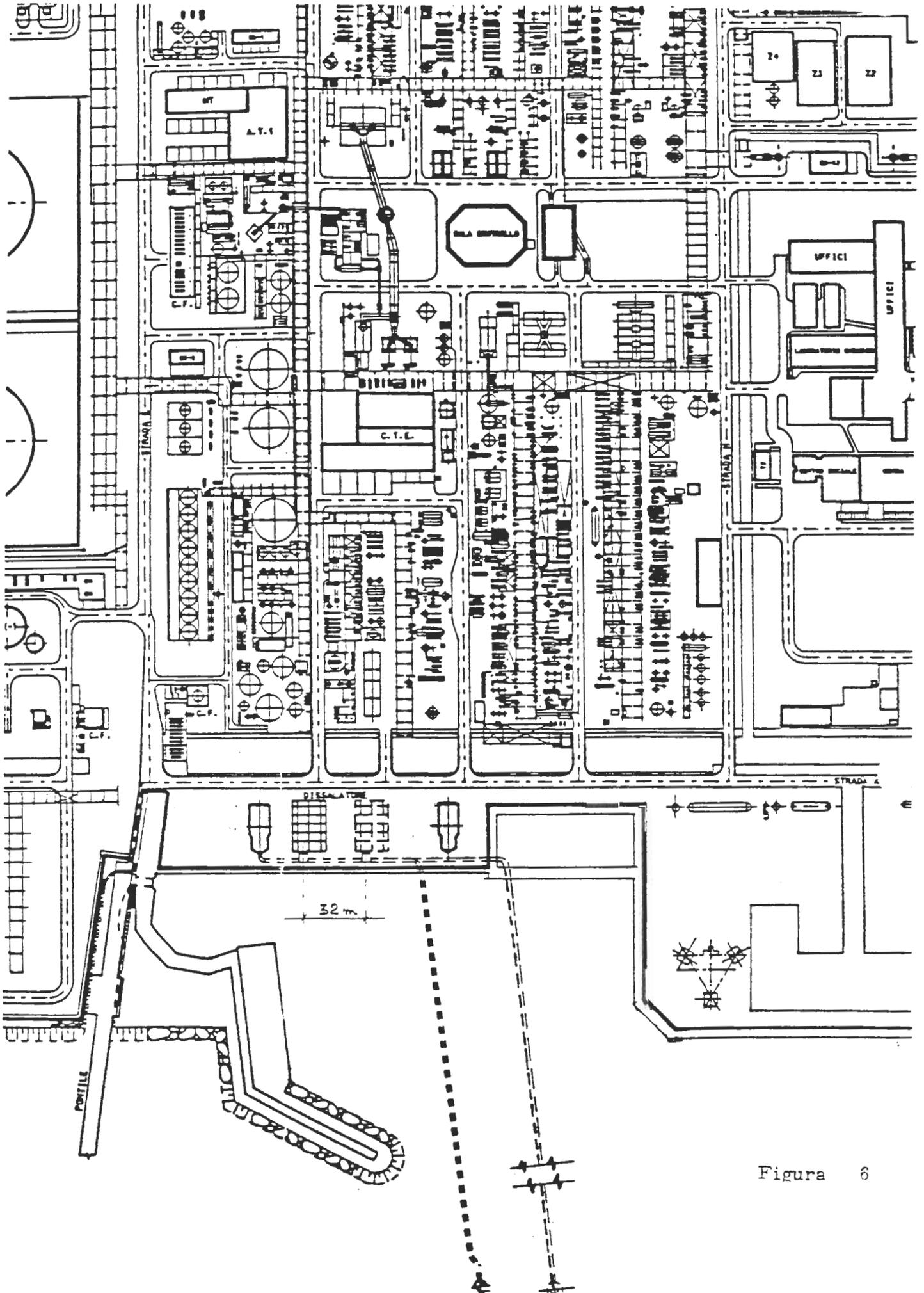


Figura 6



## 4. CARATTERISTICHE DEL CORPO RECIPIENTE

Il corpo recipiente è costituito dal mare per il quale sono valutate le seguenti caratteristiche:

Salinità 38.0 grammi per litro

Temperatura temperature medie mensili come da Tabella 1 (fonte E.N.E.A.)

T media mensile minima invernale 14.0°C  
 T di media stagione 16.5°C  
 T media mensile massima estiva 24.0°C

Densità funzione della salinità e della temperatura

Per l'intervallo di temperature di interesse:

T (°C)	$\rho_{\text{mar}}$ (kg/mc)
14	1028.518
16.5	1027.949
24	1025.927

Correnti costituiscono base di riferimento i rilievi delle correnti effettuati dal 1990 al 1992 nell'area antistante l'Isola I1/I2 (Elaborato PH P92.04-RG-001 del Novembre 1992): i risultati delle indagini indicano valori massimi misurati alla quota -6.00 m di 14 cm/sec.

A filo costa, su fondali di 3 m circa di profondità, i valori di corrente sono sicuramente inferiori: si considera pertanto un valore massimo non superiore a 5 cm/sec per il tratto di mare antistante il canale.

Per gli scarichi dei dissalatori non è stata considerata la presenza di corrente in quanto si trovano in area protetta, all'interno della darsena tra il molo e il terrapieno delle torce.

## TABELLA 1

Temperature medie mensili  
nel Golfo di Cagliari

(FONTE: E.N.E.A.)

MESE	T °C
Gennaio	14.5
Febbraio	14.0
Marzo	14.0
Aprile	14.0
Maggio	15.0
Giugno	20.0
Luglio	24.0
Agosto	24.0
Settembre	24.0
Ottobre	22.5
Novembre	19.0
Dicembre	17.5
media annuale	18.5



## 5. CONDIZIONI ESAMINATE

### 5.1 Considerazioni generali

Il pennacchio caldo che si forma all'immissione di un effluente in un corpo recipiente a temperatura inferiore ha dimensioni e caratteristiche dipendenti principalmente dai seguenti parametri:

- . portata dell'effluente
- . gradiente termico tra effluente e recipiente
- . velocità di efflusso e caratteristiche della sezione di uscita
- . densità e temperature dell'effluente e del recipiente
- . presenza di correnti
- . condizioni superficiali (scambio termico e venti)

A parità delle altre condizioni, il pennacchio caldo risulta:

- . tanto più esteso quanto maggiore è la portata
- . tanto più esteso quanto maggiore è il gradiente termico
- . tanto più allungato quanto maggiore è la velocità di uscita (e quindi, a parità di portata, quanto minore la sezione di uscita)
- . tanto più esteso quanto minore è la differenza tra le densità
- . ridotto in ampiezza ma allungato per effetto del trascinarsi dovuto alle componenti lungo l'asse dello scarico della corrente eventualmente presente, anche se tale effetto è piuttosto limitato
- . tanto più ridotto quanto maggiore è il gradiente termico tra l'atmosfera e il corpo recipiente, aumentato dalla presenza di venti, poiché aumenta la dispersione termica.

Le caratteristiche degli scarichi studiati sono fissate per quanto riguarda le portate, la salinità e le temperature di uscita degli effluenti, per le quali non si prevedono variazioni significative. Le sezioni di uscita sono geometricamente definite.

I parametri variabili per lo studio del comportamento degli scarichi sono quindi la temperatura del corpo recipiente (mare), variabile tra 14°C e 24°C, e le correnti, per il solo scarico da canale.

A favore di sicurezza si trascurano gli effetti dello scambio termico tra la superficie del mare e l'atmosfera.

## 5.2 Casi studiati per lo scarico TAS/TAZ/TORRI

I parametri di ingresso per tutti i casi sono riferiti ad una sezione di uscita di larghezza 1 metro che garantisce la formazione del pennacchio:

Q portata	4400 m <sup>3</sup> /ora = 1.22 m <sup>3</sup> /sec
a sezione di uscita	0.70 m <sup>2</sup>
u <sub>0</sub> velocità di efflusso	1.75 m/sec
h <sub>0</sub> altezza sezione uscita	0.70 m
b <sub>0</sub> larghezza equiv. L/2	0.50 m
A fattore di forma = 70/50	1.4
ρ <sub>eff</sub> densità dell'effluente	1020.5 kg/m <sup>3</sup>

La presenza di una corrente trasversale lungo la linea di costa tende ad inclinare ed allungare il pennacchio e quindi in tutte le simulazioni effettuate si è tenuto conto, a favore di sicurezza, della sua presenza.

I casi analizzati sono stati i seguenti:

- a) massimo gradiente termico 16.8° C (situazione invernale con temperatura del mare pari a 14°C) e corrente trasversale con velocità di 5 cm/sec

- b) gradiente termico pari a  $14.3^{\circ}$  C (situazione di media stagione con temperatura del mare pari a  $16.5^{\circ}$ C) e corrente trasversale con velocità 5 cm/sec
- c) minimo gradiente termico  $6.8^{\circ}$  C (situazione estiva con temperatura del mare pari a  $24^{\circ}$ C) e corrente trasversale con velocità di 5 cm/sec

Dall'analisi dei dati di output del programma, riportati in Allegato B, si deduce quanto segue:

- si evidenzia la forte riduzione del pennacchio per effetto della diminuzione del gradiente termico proporzionalmente più accentuata per le isoterme più basse
- la distanza massima raggiunta dall'isoterma  $+3^{\circ}$  C rispetto al punto di scarico, caso a), è di circa 42.5 m, essa si riduce rispettivamente a 33.4 e 13.9 m nei casi b) e c)
- le distanze massime raggiunte dalle isoterme  $+2^{\circ}$  C e  $+1^{\circ}$  C sono pari rispettivamente a circa 76.5 m e 333 m
- le profondità massime raggiunte dal getto nei tre casi sono pari rispettivamente a -1.97, -2.04 e -4.75 m rispetto al l.m.m., esse vengono raggiunte ad una distanza dallo scarico variante tra i 25 ed i 30 m e quindi, essendo la profondità minima del fondale, in corrispondenza dello scarico, di -2.5 m e degradando lo stesso verso il largo l'interferenza con il fondale marino è molto ridotta
- le distribuzioni delle velocità e delle temperature al di sotto dell'asse del pennacchio, riportate nei grafici alle pagine successive, illustrano come entrambe le caratteristiche del getto subiscono una forte diminuzione entro poche decine di metri dallo scarico per poi raggiungere via via un andamento che presenta un basso gradiente di diminuzione

Un riassunto dei dati relativi al caso TAS/TAZ/TORRI è riportato nella seguente Tabella 2 mentre nell'Allegato C sono riportati i pennacchi termici relativi alle tre situazioni analizzate.

TABELLA 2 -- SCARICO TAS/TAZ/TORRI RAFFINERIA SARAS DI SARROCH  
 RISULTATI DEL MODELLO PER LO STUDIO DI IMPATTO TERMICO

Caso studiato	Velocita' di efflusso allo scarico (m/s)	Distanze di decadim. a < 0.3 m/s (m)	Delta T (eff-rec) (°C)	Profondita'		Punti di massima espansione delle isoterme						
				Profondita' getto (h+r) Z (m)	Profondita' isoterma 1°C X (m)	Z (m)	Isoterma 3° C		Isoterma 2° C		Isoterma 1° C X (m)	Y (m)
							X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
caso a	1.75	45	16.8	1.97	23.5	1.41	42.1	-5.5	74.5	-17.7	265	-202
caso b	1.75	45	14.3	2.04	22	1.56	33.2	-3.4	59.6	-11.6	183	-104
caso c	1.75	55	6.8	4.75	15	1.17	139	-0.4	22.6	-1.3	53.9	-8.5

RAFFINERIA SARAS DI SARROCH - SCARICO TAS/TAZ/TORRI  
 Distribuzione della temperatura lungo l'asse del pennacchio

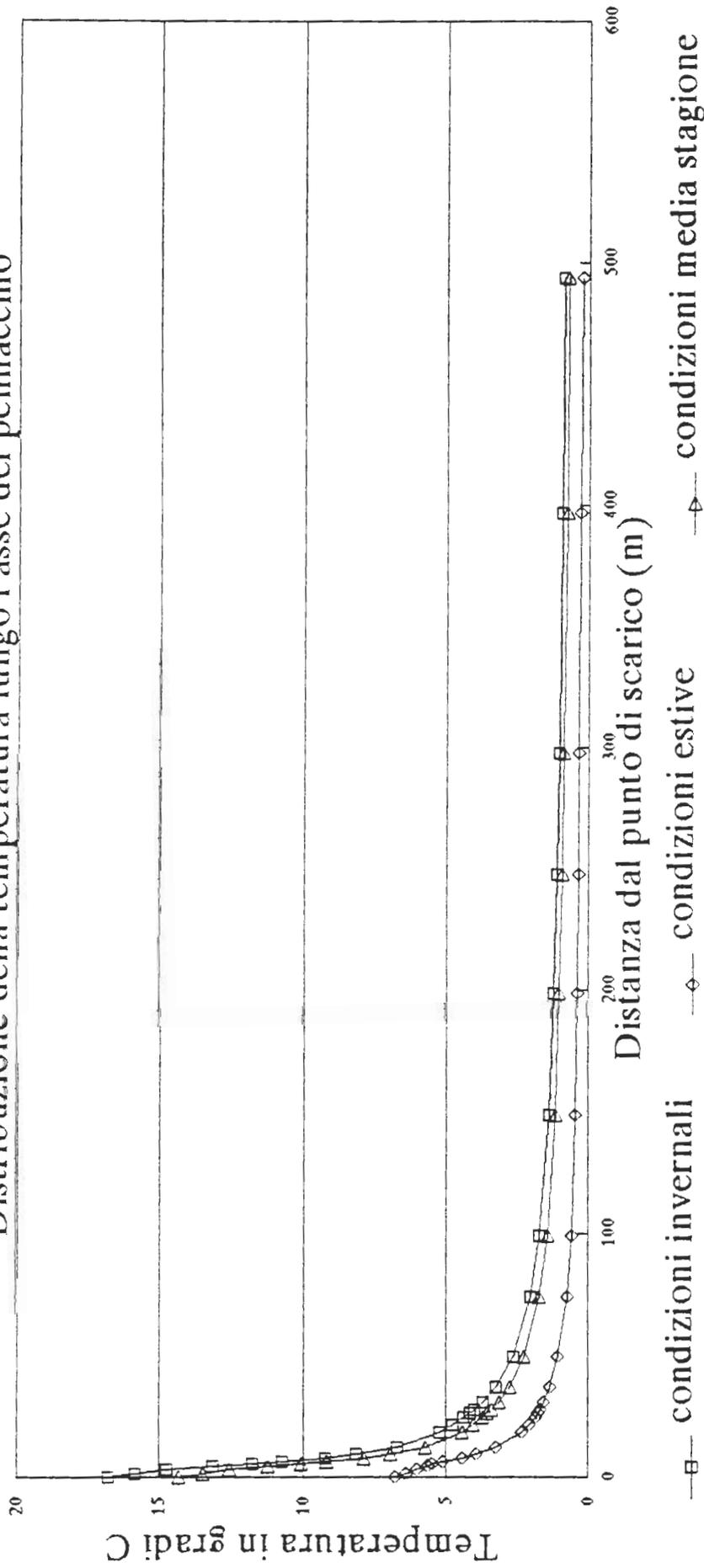


FIGURA 7

# RAFFINERIA SARAS DI SARROCII - SCARICO TAS/TAZ/TORRI

## Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio

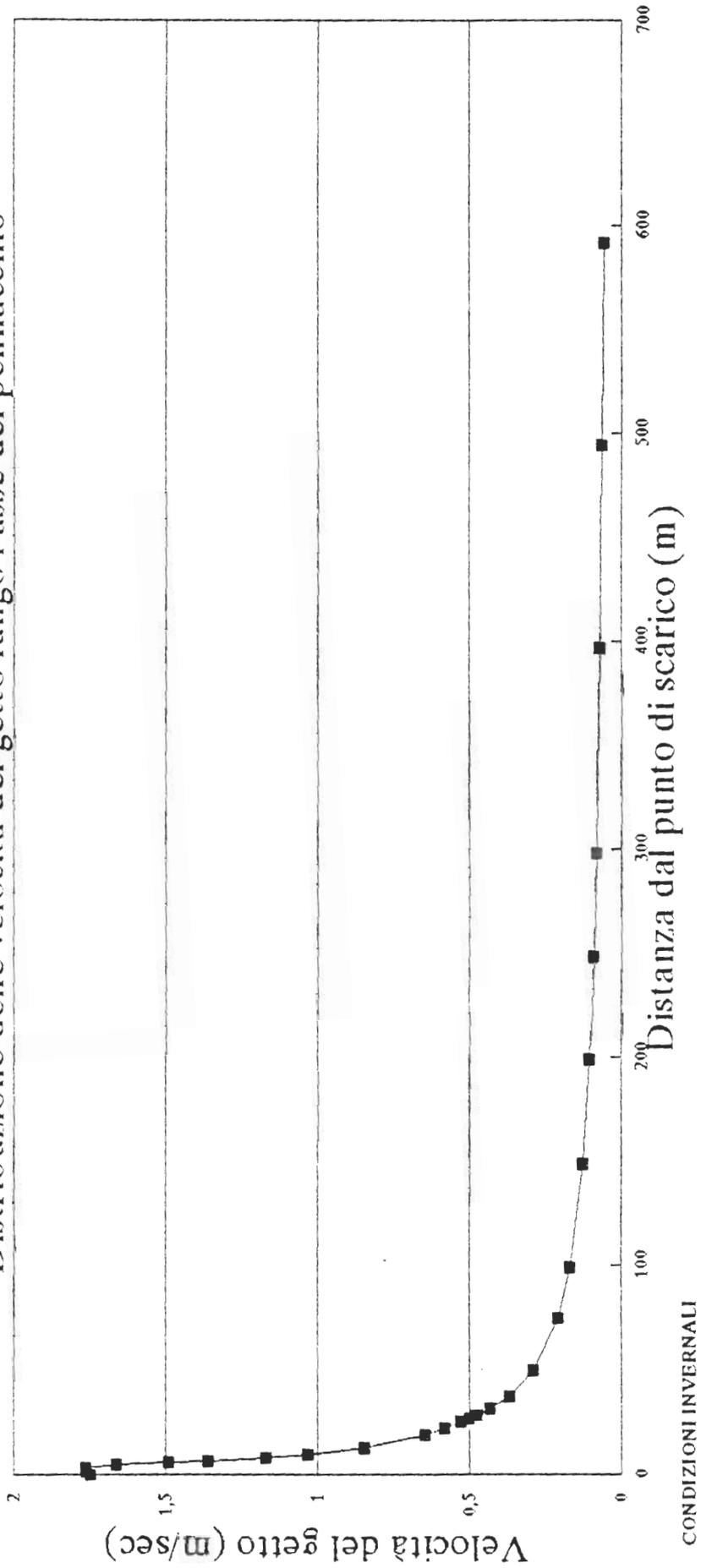


FIGURA 8

# RAFFINERIA SARAS DI SARROCH - SCARICO TAS/TAZ/TORRI

Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio

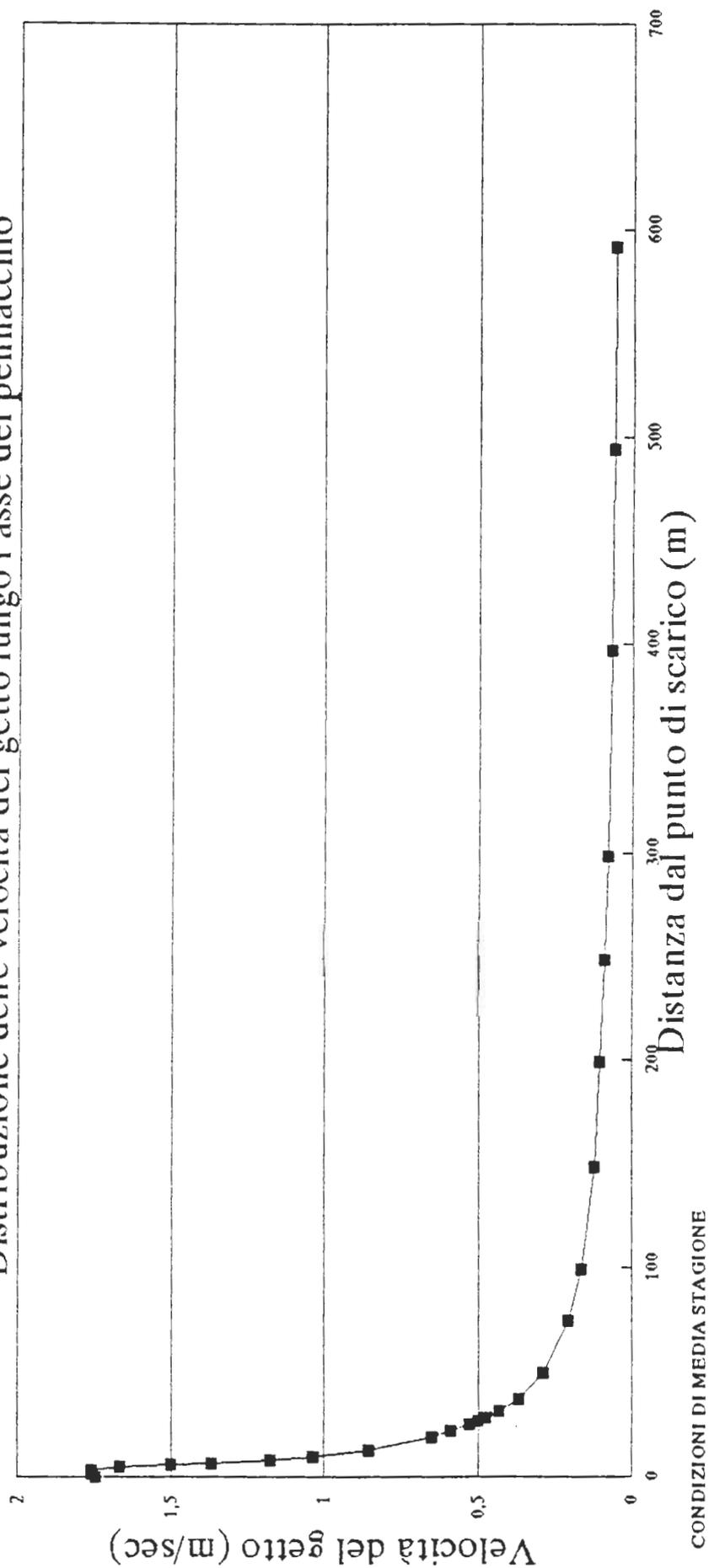


FIGURA 9

RAFFINERIA SARAS DI SARROCH – SCARICO TAS/TAZ/TORRI  
 Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio

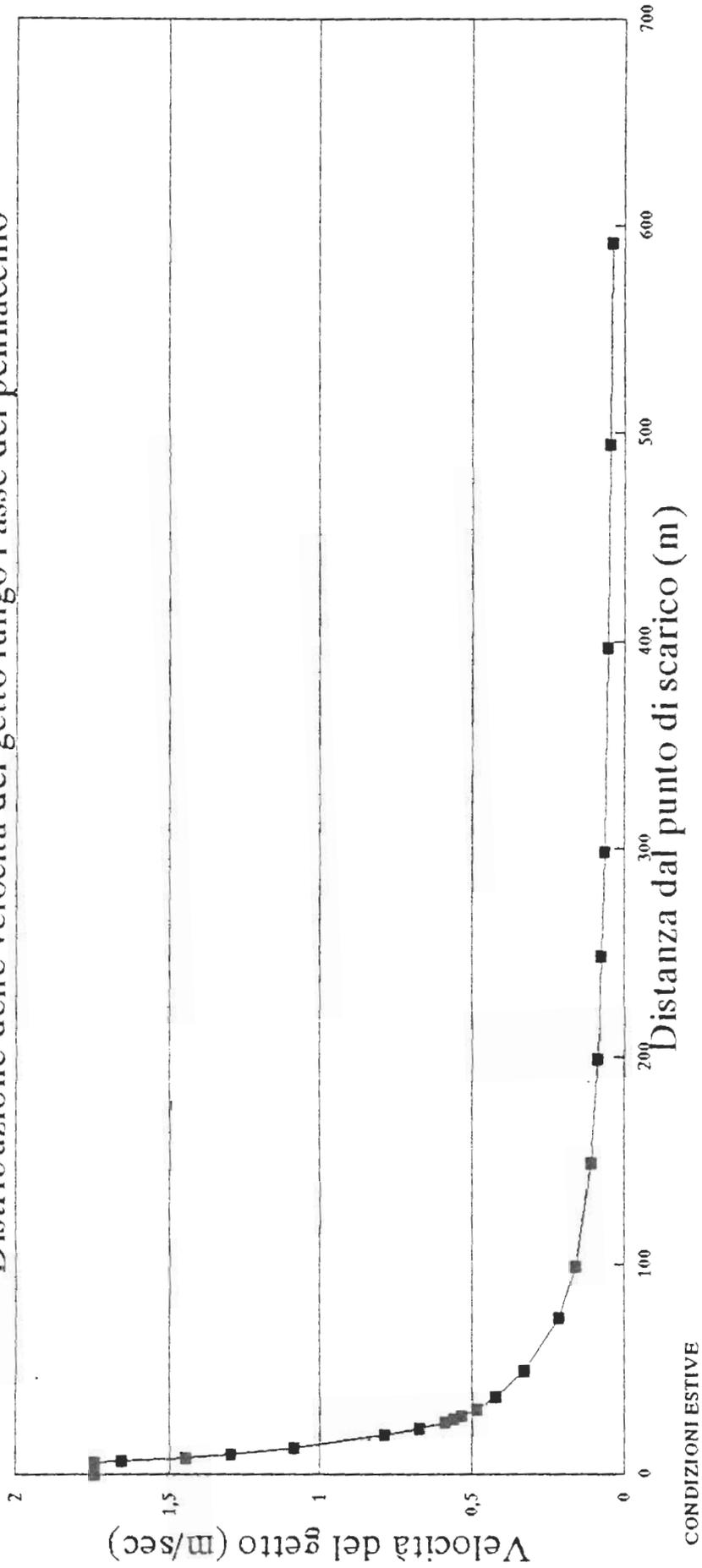


FIGURA 10

### 5.3 Casi studiati per i dissalatori

E' stato studiato lo scarico superficiale di un dissalatore, attraverso una tubazione di un metro di diametro.

I parametri di ingresso per la sezione di uscita sono:

Q portata	2800 m <sup>3</sup> /ora = 0.778 m <sup>3</sup> /sec
a sezione di uscita	0.785 m <sup>2</sup>
u <sub>0</sub> velocità di efflusso	0.99 m/sec
h <sub>0</sub> altezza sezione uscita	1.00 m
b <sub>0</sub> larghezza equiv. = A/(2*h <sub>0</sub> )	0.39 m
A fattore di forma = 8/3.14	2.55
ρ <sub>eff</sub> densità dell'effluente	1025.612 kg/m <sup>3</sup>

Come già specificato al Capitolo 4, in questo caso non è stata considerata la presenza di corrente.

I casi analizzati sono stati i seguenti:

- massimo gradiente termico 20° C (situazione invernale con temperatura del mare pari a 14°C)
- gradiente termico pari a 17.5° C (situazione di media stagione con temperatura del mare pari a 16.5°C)
- minimo gradiente termico 10° C (situazione estiva con temperatura del mare pari a 24°C)

Dall'analisi dei dati di output del programma, riportati in Allegato B, si deduce quanto segue:

- nei casi a) e b) lo scarico non mantiene le caratteristiche specifiche di getto fino al completo decadimento termico e per questo le isoterme +2° e +3° C risultano divergenti

- si evidenzia, come per lo scarico TAS/TAZ/TORRI, la forte riduzione del pennacchio per effetto della diminuzione del gradiente termico
- la distanza massima raggiunta dall'isoterma  $+3^{\circ}$  C rispetto al punto di scarico, caso a), è di 56.8 m, essa si riduce rispettivamente a 45.3 e 22.0 m nei casi b) e c)
- le profondità massime raggiunte dal getto nei tre casi sono pari rispettivamente a -1.97, -2.25 e -3.23 m rispetto al l.m.m., esse vengono raggiunte ad una distanza dallo scarico variante tra i 25 ed i 50 m. Data la scarsa profondità del fondale antistante lo scarico vi è interferenza tra il fondale ed il getto che tenderà ad allargarsi, ma non di molto, rispetto a quello previsto
- le distribuzioni delle velocità e delle temperature al di sotto dell'asse del pennacchio, riportate nei grafici alle pagine successive, illustrano come entrambe le caratteristiche del getto subiscono una forte diminuzione entro poche decine di metri dallo scarico per poi raggiungere via via un andamento che presenta un basso gradiente di diminuzione

Un possibile andamento delle isoterme  $+1^{\circ}$  e  $+2^{\circ}$  C relativamente ai casi a) e b) è stato riportato in linea tratteggiata sui grafici corrispondenti definendo le lunghezze e le larghezze massime di espansione del pennacchio in funzione sia dell'andamento delle isoterme stesse vicino allo scarico che dell'incremento progressivo di tali distanze ottenuto per le altre isoterme. Questo ha portato a determinare distanze massime per la  $+2^{\circ}$  C di circa 150 m e 80 m e per la  $+1^{\circ}$  C di circa 390 m ed 250 m rispettivamente nei due casi a) e b).

Considerando lo scarico contemporaneo dei due dissalatori vi è da dire che si registra, nei casi a) e b), la sovrapposizione delle isoterme  $+1^{\circ}$  e  $+2^{\circ}$  C mentre, per quanto riguarda il caso c), si ha solo una ridottissima sovrapposizione della isoterma  $+1^{\circ}$  C. Tuttavia essendo le isoterme che si sovrappongono alla stessa temperatura ciò non modifica in maniera apprezzabile i risultati ottenuti.

La presenza della diga foranea del porticciolo interferisce con le isoterme  $+1^{\circ}$  C nei casi a) e b) tuttavia sia l'inclinazione della diga e la sua ridotta lunghezza che la forte diluizione del getto a quella distanza

dal punto di scarico permettono di considerare tale interferenza trascurabile in termini di diffusione termica per lo sviluppo della parte centrale del pennacchio (fino all'isoterma +3° C).

Un riassunto dei dati relativi al caso del dissalatore è riportato nella seguente Tabella 3 mentre nell'Allegato C sono riportati i pennacchi termici relativi alle tre situazioni analizzate.

TABELLA 3 – SCARICO DISSALATORI RAFFINERIA SARAS DI SARROCH  
RISULTATI DEL MODELLO PER LO STUDIO DI IMPATTO TERMICO

Caso studiato	Velocita' di efflusso allo scarico (m/s)	Distanze di decadim. a < 0.3 m/s (m)	Delta T (eff-rec) (°C)	Profondita'		Punti di massima espansione delle isoterme						
				Profondita' getto (h+r) Z (m)	Profondita' isoterma 1°C X (m) Z (m)	Isoterma 3° C		Isoterma 2° C		Isoterma 1° C		
caso a	0.99	25	20	1.97	22	1.73	56.8	0.0	(148)	0.0	(390)	0.0
caso b	0.99	25	17.5	2.25	21	1.78	45.3	0.0	(94)	0.0	(245)	0.0
caso c	0.99	27	10	3.23	25	2.11	22.0	0.0	34.4	0.0	80.5	0.0

NOTA: I valori riportati tra parentesi sono da considerarsi del tutto indicativi

RAFFINERIA SARAS DI SARROCH - SCARICO DISSALATORE  
 Distribuzione della temperatura lungo l'asse del pennacchio

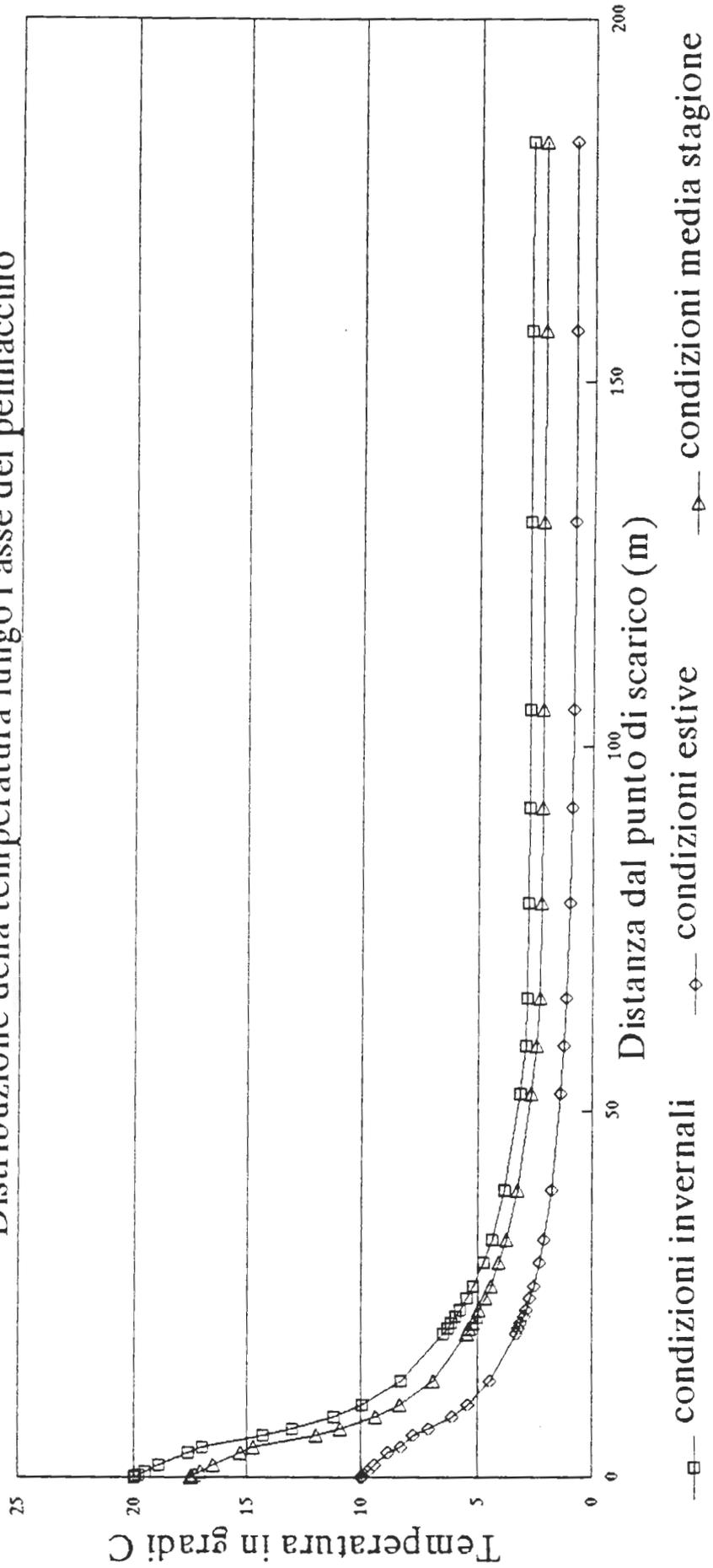


FIGURA 11

RAFFINERIA SARAS DI SARROCH – SCARICO DISSALATORE  
 Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio

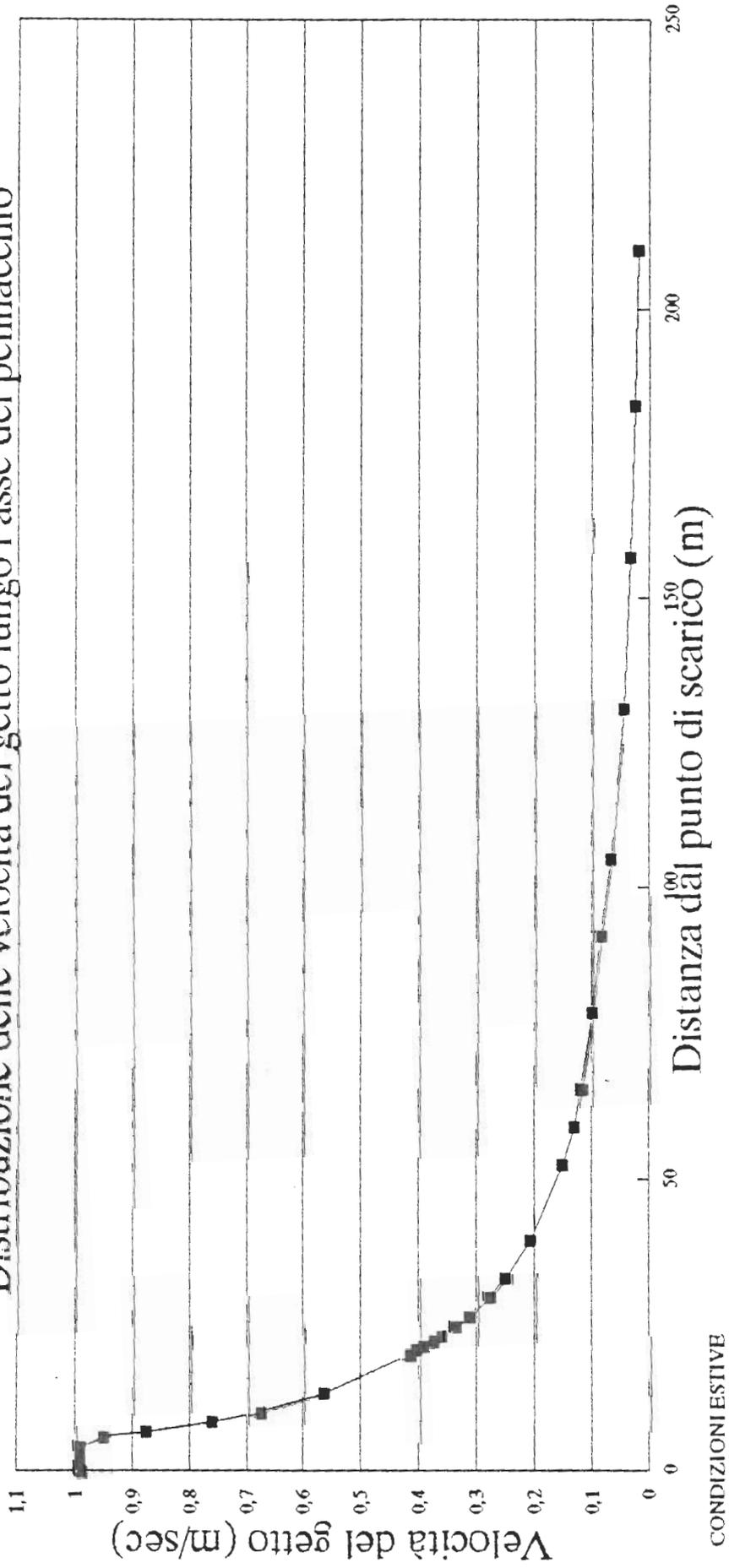


FIGURA 12

# RAFFINERIA SARAS DI SARROCH – SCARICO DISSALATORE

Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio

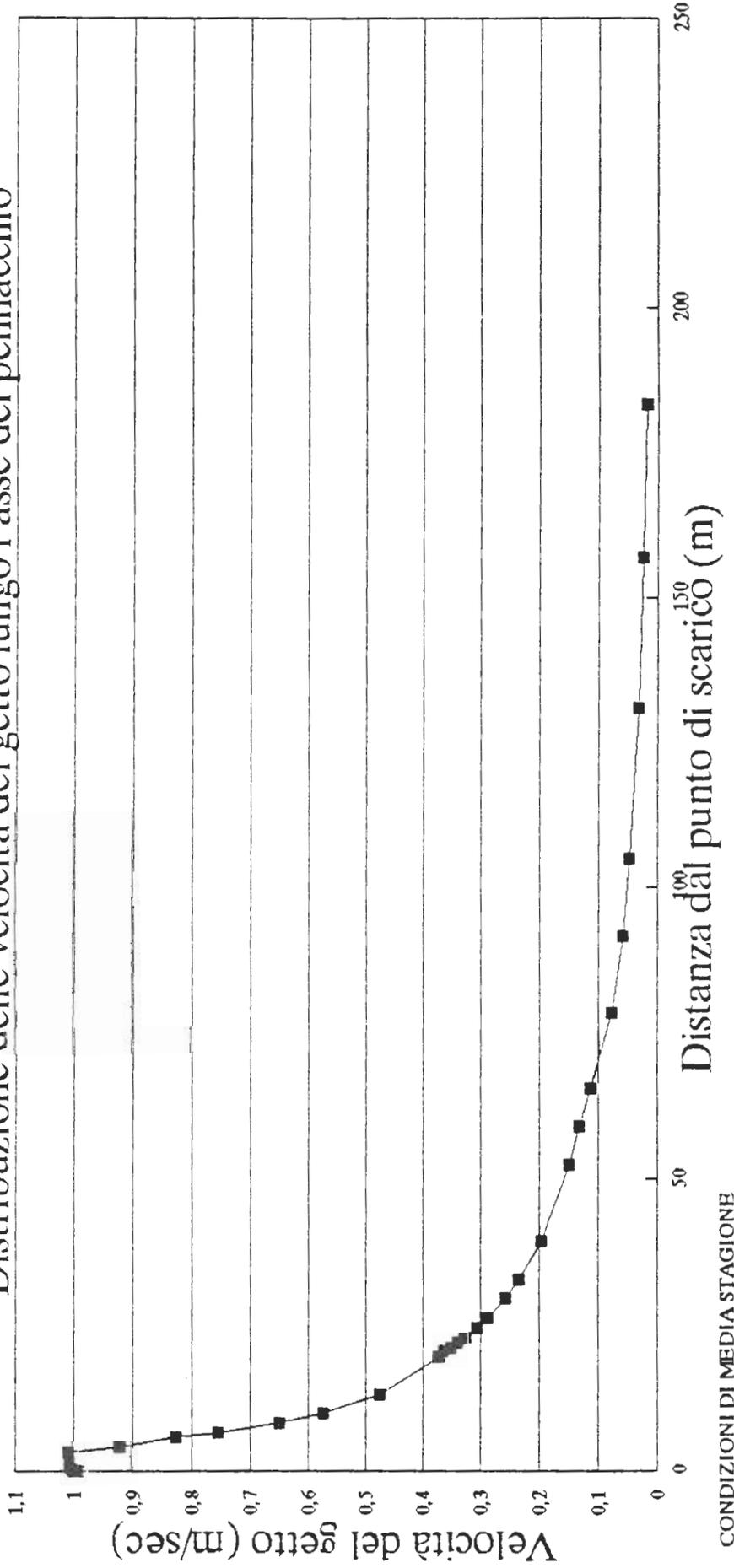


FIGURA 13

# RAFFINERIA SARAS DI SARROCH - SCARICO DISSALATORE

Distribuzione delle velocità del getto lungo l'asse del pennacchio

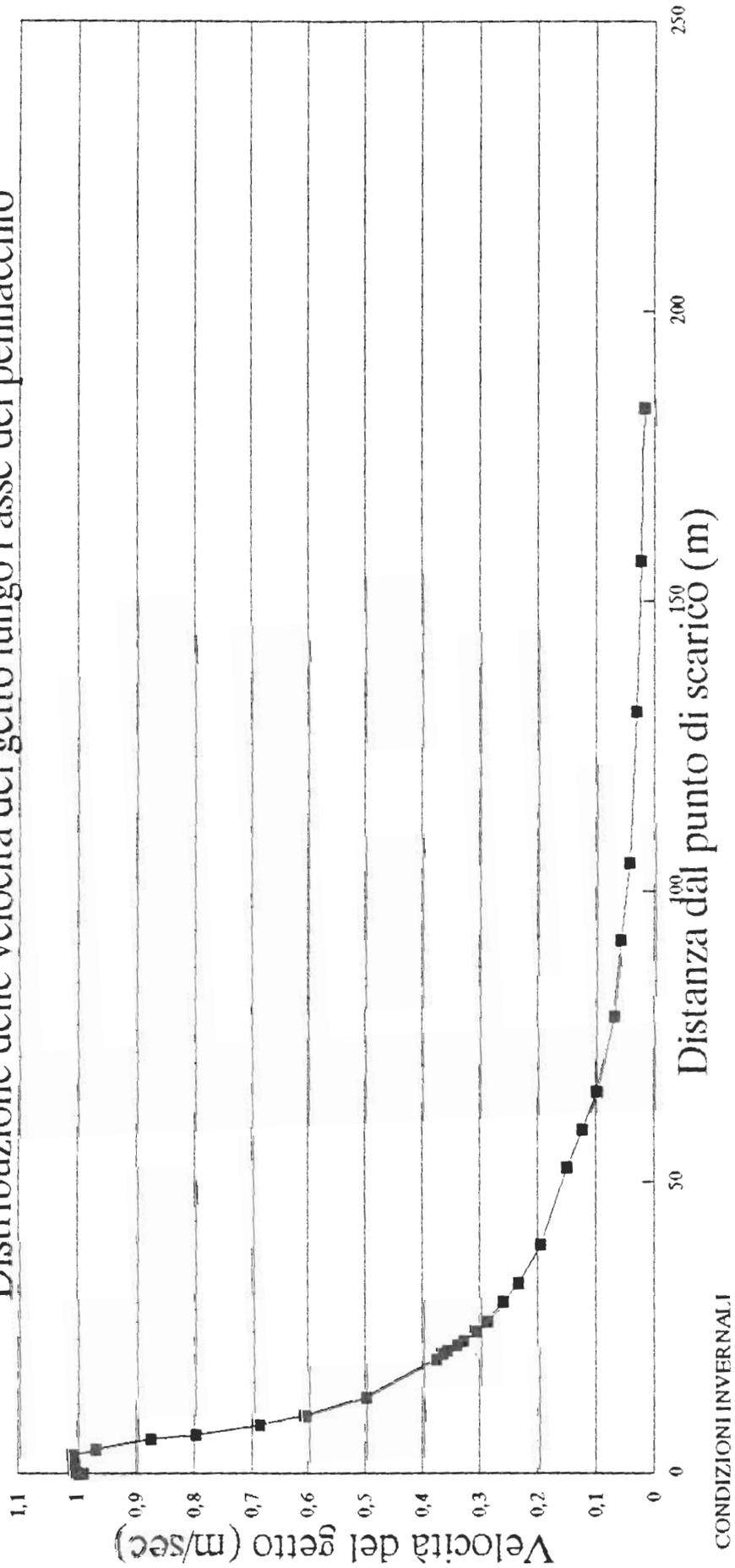


FIGURA 14

## 6. CONCLUSIONI

Lo studio di diffusione termica in mare degli effluenti del complesso SARAS, svolto per l'operatività congiunta Raffineria/IGCC, mostra come l'incremento di temperatura del corpo idrico ricettore rientri ampiamente entro i limiti prescritti dalla normativa vigente.

Di fatto il modello matematico utilizzato permette di valutare in circa 57 m (Dissalatore) e 42 m (TAS/TAZ/TORRI) le distanze massime dai punti di scarico dell'isoterma dei 3° C di incremento di temperatura, rispetto ai 1000 metri previsti dalla Legge 319/76.

La diffusione termica così valutata deriva dalla definizione di calcolo di opportune sezioni di scarico per gli effluenti considerati, sezioni che sono effettivamente realizzabili attraverso una sagomatura della sezione terminale della canalizzazione di scarico.