

## **D. 7**

**Identificazione e quantificazione degli  
effetti delle emissioni in acqua e  
confronto con SQA per la proposta  
impiantistica per la quale si richiede  
l'autorizzazione**

# 1 Premessa alla relazione del CESI del 21/06/2005

Nella sezione D il Gestore è chiamato a identificare e quantificare gli effetti ambientali associati alle emissioni e ai consumi dell'impianto ai fini di consentire all'Autorità Competente un confronto con i requisiti del decreto e più in generale di stabilire l'accettabilità della proposta.

In particolare nella scheda D.3.2 viene richiesto al Gestore di verificare la propria proposta impiantistica confrontandola con un elenco di criteri di soddisfazione che sintetizzano i tre elementi chiave dell'IPPC: approccio integrato, migliori tecniche disponibili, rispetto delle condizioni ambientali locali.

Quindi per ogni criterio di soddisfazione indicato viene chiesto, tramite specifiche relazioni tecniche, di dimostrare i risultati del proprio lavoro di autovalutazione.

A tal proposito le "Linee guida alla compilazione della domanda di AIA" edite nel febbraio 2006 dal Ministero dell'Ambiente, fanno riferimento in particolare a tre relazioni da allegare alla domanda, identificate con le sigle D.6, D.7 e D.8 che devono descrivere le metodologie e gli algoritmi utilizzati che hanno portato alla determinazione dell'accettabilità, rispettivamente per gli aspetti emissioni in aria, in acqua e acustiche.

Per quanto riguarda il comparto acqua si intendono giustificare i livelli di soddisfazione formulati nella scheda D.3.2 (frutto del lavoro di auto-valutazione svolto per la soluzione impiantistica da sottoporre ad autorizzazione) allegando lo studio realizzato dal CESI nel giugno del 2005.

Lo studio venne realizzato nell'ambito più generale di una serie di modifiche progettuali che riguardavano il porto di Vado Ligure, previste nell'ambito del Nuovo Piano Regolatore Portuale dell'Autorità Portuale di Savona. Il progetto prevedeva infatti la modifica di strutture esistenti e la creazione di nuove strutture di attracco in grado di interferire con la dispersione a mare delle acque di raffreddamento della centrale.

In particolare lo studio considera tra i vari scenari, anche la presenza del ciclo combinato, motivo per il quale si è ritenuto opportuno utilizzarlo ai presenti fini. Nello specifico infatti le due configurazioni di esercizio considerate sono state:

1. "assetto attuale dei gruppi" che considera le unità VL3 e VL4 (nel documento chiamate Vado 3 e Vado 4) e la nuova unità VL5 a ciclo combinato (nel documento definita Vado 1) in esercizio a pieno carico;
2. "assetto futuro dei gruppi", che considera in esercizio a pieno carico anche l'unità VL2 (nel documento definita Vado2) attualmente non in funzione e in fase di smantellamento.

L'analisi della dispersione termica svolta nello studio del CESI è stata di fatto condotta allo scopo di verificare il rispetto dei limiti di legge relativi agli scarichi termici in mare e in particolare ha analizzato i limiti termici sull'arco a 1000 m e i limiti di sopralzo termico alla presa.

Ciò considerato, si può affermare che l'analisi, in accordo con quanto previsto dalla "Guida alla compilazione della domanda di AIA", consente di valutare il rispetto del requisito di qualità ambientale SQA sia da parte dell'impianto (contributo  $C_A$ ), sia verso il livello finale d'inquinamento dell'area  $L_F$ .

Di seguito si anticipa che i criteri di soddisfazione previsti dall'IPPC, ovvero che:

$$C_A \ll SQA$$

$$L_F < SQA$$

possono considerarsi rispettati in quanto la relazione che si allega di seguito conclude dicendo che le modifiche progettuali prese in considerazione nello studio, e pertanto anche quelle che prevedono il funzionamento a pieno carico dell'assetto impiantistico per il quale si richiede l'autorizzazione, non modificano significativamente, le condizioni di dispersione termica attualmente presenti in rada, sia in termini di incremento termico sull'arco a 1000 m che di sovrizzo termico alla presa.

<b>Cliente</b>	<b>Tirreno Power SpA</b>
<b>Oggetto</b>	<b>Centrale di Vado Ligure. Valutazione Modellistica della Dispersione Termica a Mare delle Acque di Raffreddamento nelle condizioni previste dal nuovo Piano Regolatore Portuale</b>
<b>Ordine</b>	OdA chiuso Servizi n. 3000007163, prot. n. 2518 del 28/04/2005
<b>Note</b>	Prima emissione

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

<b>N. pagine</b>	148	<b>N. pagine fuori testo</b>	0
<b>Data</b>	21/06/2005		
<b>Elaborato</b>	G. Agate, R. Guandalini (STA)		
<b>Verificato</b>	L. Nigro (STA)		
<b>Approvato</b>	A. Negri (STA)		



*Indice*

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>7</b>
1.1	Scopo dello studio .....	7
1.2	Breve sommario della attività svolta .....	7
1.3	Documenti di riferimento .....	8
<b>2</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANALISI.....</b>	<b>11</b>
2.1	Considerazioni generali .....	11
2.2	Dati geometrici di impianto.....	11
2.2.1	Localizzazione della centrale di Vado Ligure .....	11
2.2.2	Caratteristiche dell'opera di scarico .....	11
2.2.3	Caratteristiche dell'opera di presa .....	15
2.3	Caratteristiche delle nuove opere previste dal Piano Regolatore Portuale .....	20
2.4	Definizione delle caratteristiche tipiche di una nave all'ormeggio .....	25
2.5	Dati di configurazione costiera.....	25
2.6	Dati batimetrici.....	29
2.7	Dati mareografici.....	29
2.7.1	Andamento della corrente marina .....	29
2.7.2	Moto ondoso.....	33
2.7.3	Gradiente di densità.....	33
2.7.4	Livello marino .....	36
2.7.5	Temperatura e salinità del mare .....	37
2.8	Dati meteorologici.....	44
2.8.1	Dati dalla campagna 1997-1998.....	44
2.8.2	Dati provenienti dalla banca di osservazioni meteorologiche ENELAM.....	45
2.8.3	Condizioni di ventosità utilizzati nello studio .....	46
2.9	Dati di esercizio.....	54
2.10	Dati di riferimento provenienti da misure .....	55
<b>3</b>	<b>MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE .....</b>	<b>63</b>
3.1	Definizione del modello numerico .....	63
3.1.1	Le condizioni di analisi .....	63
3.1.2	Il reticolo di calcolo.....	65
3.1.3	Condizioni iniziali e condizioni al contorno .....	76
<b>4</b>	<b>ANALISI DEI RISULTATI .....</b>	<b>78</b>
4.1	Considerazioni generali.....	78
4.2	La valutazione del sovrizzo termico a 1000 m.....	78
4.3	Caso test. Situazione al 30 giugno 2004.....	79
4.4	Caso 1 porto attuale.....	86
4.5	Caso 1 porto futuro.....	96
4.6	Caso 2 porto attuale.....	103
4.7	Caso 2 porto futuro.....	110
4.8	Caso 3 porto attuale.....	116
4.9	Caso 3 porto futuro.....	123
4.10	Caso 4 porto futuro con 4 gruppi.....	130
4.11	Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. ....	138
4.12	Analisi del ricircolo alla presa.....	145
<b>5</b>	<b>CONSIDERAZIONI FINALI .....</b>	<b>146</b>

*Indice delle figure*

fig. 2.1 - Localizzazione della centrale termoelettrica .....	13
fig. 2.2 - Opera di scarico della centrale. Planimetria .....	14
fig. 2.3 - Opera di scarico. Vista aerea.....	15
fig. 2.4 - Opera di scarico. Modifiche apportate ed attuale sezione longitudinale .....	16
fig. 2.5 - Passaggio delle acque di raffreddamento sotto il ponte della SS 1 Aurelia.....	17
fig. 2.6 - Tratto terminale della foce del torrente Quiliano (dal ponte della SS 1 Aurelia) .....	17
fig. 2.7 - Opera di presa. Sezione longitudinale .....	18
fig. 2.8 - Opera di presa. Pianta .....	19
fig. 2.9 - Assetto attuale del bacino di Vado Ligure.....	21
fig. 2.10 - Vista attuale del bacino di Vado Ligure.....	22
fig. 2.11 - Assetto futuro del bacino di Vado Ligure previsto dal Piano regolatore Portuale .....	23
fig. 2.12 - Pianta della piattaforma multipurpose con disposizione della palificazione .....	24
fig. 2.13 - Andamento del tratto di costa tra Capo di vado e Savona .....	27
fig. 2.14 - Carta Tecnica Regionale della Liguria. Foglio .....	28
fig. 2.15 - Isobate digitalizzate per il modello.....	31
fig. 2.16 - Localizzazione dei correntometri nell'area di campagna.....	32
fig. 2.17 - Andamento tipico estivo della corrente nella rada di Vado Ligure.....	34
fig. 2.18 - Andamento tipico invernale della corrente nella rada di Vado Ligure.....	34
fig. 2.19 - Andamento tipico primaverile della corrente nella rada di Vado Ligure .....	35
fig. 2.20 - Campagne oceanografiche. Profilo verticale di temperatura.....	35
fig. 2.21 - Campagne oceanografiche. Profilo verticale di salinità .....	36
fig. 2.22 - Stazione di Genova. Andamento mareale da WXTide32 con le diverse fasi lunari .....	38
fig. 2.23 - Andamento medio della temperatura del mare in superficie (periodo estivo).....	39
fig. 2.24 - Andamento medio della temperatura del mare in superficie (periodo invernale) .....	39
fig. 2.25 - Misure anemometriche nell'area di centrale 1997-1998. Andamento medio estivo.....	47
fig. 2.26 - Misure anemometriche nell'area di centrale 1997-1998. Andamento medio autunnale .....	47
fig. 2.27 - Misure anemometriche nell'area di centrale 1997-1998. Andamento medio invernale .....	48
fig. 2.28 - Misure anemometriche nell'area di centrale 1997-1998. Andamento medio primaverile .....	48
fig. 2.29 - Misure anemometriche nell'area di centrale 1997-1998. Andamento medio annuale .....	49
fig. 2.30 - EnelAM. Stazione di Albenga. Frequenze medie stagionali del vento (1952-89).....	50
fig. 2.31 - EnelAM. Stazione di Albenga. Frequenze medie annuali del vento (1952-89).....	51
fig. 2.32 - EnelAM. Stazione di Genova Sestri. Frequenze medie stagionali del vento (1963-91).....	52
fig. 2.33 - EnelAM. Stazione di Genova Sestri. Frequenze medie annuali del vento (1963-91).....	53
fig. 2.34 - Andamento del coefficiente di scambio termico con la temperatura del mare e la velocità del vento .....	53
fig. 2.35 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 1).....	57
fig. 2.36 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 2).....	58
fig. 2.37 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 3).....	59
fig. 2.38 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 4).....	60
fig. 2.39 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 5).....	61
fig. 2.40 - Punti di misura per la determinazione della temperatura sull'arco a 1000 m.....	62
fig. 3.1 - Configurazione portuale attuale. Vista prospettica del reticolo di calcolo .....	68
fig. 3.2 - Configurazione portuale attuale. Batimetria del fondale considerata nel modello di simulazione.....	69
fig. 3.3 - Configurazione portuale attuale. Reticolo di calcolo sul piano orizzontale.....	70
fig. 3.4 - Configurazione portuale attuale. Reticolo di calcolo nell'area di scarico (particolare).....	71
fig. 3.5 - Configurazione portuale futura. Vista prospettica del reticolo di calcolo.....	72
fig. 3.6 - Configurazione portuale futura. Particolare del porto con le nuove strutture.....	73
fig. 3.7 - Configurazione portuale con petroliera ancorata al campo boe. Vista prospettica del reticolo di calcolo .....	74

fig. 3.8 - Configurazione portuale con petroliera ancorata al campo boe. Particolare del reticolo di calcolo.....	75
fig. 4.1 - Caso test. Posizione delle opere di presa e scarico e delle stazioni di misura sull'arco a 1000 m .....	82
fig. 4.2 – Caso test con vento da NE. Incremento termico nello strato superficiale.....	82
fig. 4.3 – Caso test con vento da NE. Incremento termico nella sezione di presa.....	83
fig. 4.4 – Caso test con vento da NW ore 9. Incremento termico nello strato superficiale .....	83
fig. 4.5 – Caso test con vento da NW ore 9. Incremento termico nella sezione di presa .....	85
fig. 4.6 – Caso test con vento da NW ore 10. Incremento termico nello strato superficiale .....	85
fig. 4.7 – Caso test con vento da NW ore 10. Incremento termico nella sezione di presa .....	86
fig. 4.8 – Caso 1 porto attuale. Incremento termico nello strato superficiale.....	90
fig. 4.9 - Caso 1 porto attuale. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	91
fig. 4.10 - Caso 1 porto attuale. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .....	92
fig. 4.11 - Caso 1 porto attuale. Andamento del campo di moto nella foce del Quiliano .....	93
fig. 4.12 - Caso 1 porto attuale. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	94
fig. 4.13 – Caso 1 porto futuro. Incremento termico nello strato superficiale.....	98
fig. 4.14 - Caso 1 porto futuro. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	99
fig. 4.15 - Caso 1 porto futuro. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .....	100
fig. 4.16 - Caso 1 porto futuro. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	101
fig. 4.17 – Caso 2 porto attuale. Incremento termico nello strato superficiale.....	105
fig. 4.18 - Caso 2 porto attuale. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	106
fig. 4.19 - Caso 2 porto attuale. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .....	107
fig. 4.20 - Caso 2 porto attuale. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	108
fig. 4.21 – Caso 2 porto futuro. Incremento termico nello strato superficiale.....	111
fig. 4.22 - Caso 2 porto futuro. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	112
fig. 4.23 - Caso 2 porto futuro. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .....	113
fig. 4.24 - Caso 2 porto futuro. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	114
fig. 4.25 – Caso 3 porto attuale. Incremento termico nello strato superficiale.....	118
fig. 4.26 - Caso 3 porto attuale. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	119
fig. 4.27 - Caso 3 porto attuale. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .....	120
fig. 4.28 - Caso 3 porto attuale. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	121
fig. 4.29 – Caso 3 porto futuro. Incremento termico nello strato superficiale.....	125
fig. 4.30 - Caso 3 porto futuro. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	126
fig. 4.31 - Caso 3 porto futuro. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .....	127
fig. 4.32 - Caso 3 porto futuro. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	128
fig. 4.33 – Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Incremento termico nello strato superficiale .....	132
fig. 4.34 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	133
fig. 4.35 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .	134
fig. 4.36 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Andamento del campo di moto nella zona della foce del Quiliano .....	135
fig. 4.37 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	136
fig. 4.38 – Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Incremento termico nello strato superficiale .....	139
fig. 4.39 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Incremento termico nella sezione verticale di presa.....	140
fig. 4.40 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Andamento del campo di moto nello strato superficiale .....	141
fig. 4.41 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Andamento del campo di moto nell'intorno della petroliera .....	142
fig. 4.42 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Incremento termico medio nello strato di 3 m.....	143

*Indice delle tabelle*

tab. 2.1 - Dati caratteristici della sezione di efflusso allo scarico .....	12
tab. 2.2 – Dati caratteristici dell’opera di presa.....	15
tab. 2.3 – Temperatura alla presa. Valori giornalieri e media mensile nel periodo estivo (2002).....	40
tab. 2.4 - Temperatura alla presa. Valori giornalieri e media mensile nel periodo estivo (2003) .....	41
tab. 2.5 - Temperatura alla presa. Valori giornalieri e media mensile nel periodo estivo (2004) .....	42
tab. 2.6 - Temperatura alla presa. Valori medi mensili calcolati per il periodo 2002-2004 .....	43
tab. 2.7 - Caratteristiche delle pompe AC e salto termico al condensatore .....	55
tab. 2.8 – Condizioni di esercizio nelle diverse configurazioni.....	55
tab. 3.1 - Dati caratteristici delle opere di presa e di scarico per i diversi scenari.....	66
tab. 3.2 - Caratteristiche degli strati verticali del modello .....	67
tab. 3.3 –Valori assegnati ai parametri ambientali .....	76
tab. 3.4 - Valori dei parametri fisici imposti nei modelli .....	77
tab. 3.5 – Sintesi delle condizioni al contorno.....	77
tab. 4.1 – Sovralzo termico sull’arco a 1000 m misurato il 30 giugno 2004.....	81
tab. 4.2 – Caso test con vento da NE. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	84
tab. 4.3 – Caso test con vento da NW ore 9. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m .....	88
tab. 4.4 – Caso test con vento da NW ore 10. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m .....	89
tab. 4.5 – Caso 1 porto attuale. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	95
tab. 4.6 – Caso 1 porto futuro. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	102
tab. 4.7 – Caso 2 porto attuale. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	109
tab. 4.8 – Caso 2 porto futuro. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	115
tab. 4.9 – Caso 3 porto attuale. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	122
tab. 4.10 – Caso 3 porto futuro. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	129
tab. 4.11 – Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m.....	137
tab. 4.12 – Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m .....	144
tab. 4.13 - Valori del ricircolo termico alla presa.....	145

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	21/06/2005	A5028907	Prima emissione

**Sommario - Abstract**

Il presente documento contiene la descrizione della attività di simulazione numerica eseguite allo scopo di valutare la dispersione termica delle acque di raffreddamento della centrale di Vado Ligure nelle condizioni previste dall'attuale progetto di modifica della struttura portuale. Tale progetto, inquadrato nel Nuovo Piano Regolatore Portuale dell'Autorità Portuale di Savona, prevede infatti la modifica di strutture esistenti e la creazione di nuove strutture di attracco in grado di interferire con la dispersione a mare delle acque di raffreddamento della centrale, anche a causa della conseguente presenza di navi di grossa stazza. Lo studio si pone quindi come principale obiettivo la verifica del rispetto dei limiti di legge e la verifica della presenza di eventuale ricircolo termico alla presa in presenza delle nuove strutture e nelle condizioni ambientali e di attracco più critiche.

Tale studio è stato caratterizzato da tre fasi distinte, e precisamente:

1. caratterizzazione ambientale del sito e dello scarico termico della centrale di Vado Ligure, ed acquisizione dei dati afferenti le nuove strutture portuali sulla base delle informazioni contenute nel Nuovo Piano Regolatore Portuale;
2. definizione di un modello di simulazione tridimensionale che tiene conto della conformazione delle opere portuali e di quelle relative alle opere di scarico e presa della centrale, e della zona di mare antistante la rada stessa per una estensione sufficiente a garantire l'instaurarsi di condizioni di equilibrio;
3. valutazione del rispetto dei limiti termici di legge e del valore del ricircolo termico alla presa in presenza ed in assenza di navi attraccate, con riferimento alla situazione attuale.

Lo studio è stato condotto considerando l'attuale assetto dei gruppi della centrale, utilizzando il codice tridimensionale TRIMDI 3.01. Dall'analisi dei risultati ottenuti è emerso che le modifiche progettuali previste, pur alterando la dislocazione del pennacchio termico in particolari situazioni meteomarine, non modificano significativamente, a parità di condizioni ambientali e di esercizio, le condizioni di dispersione termica attualmente presenti in rada, sia in termini di incremento termico sull'arco a 1000 m che di sovrizzo termico alla presa.

This report includes the description of the numerical simulation work carried with the aim of characterizing the thermal diffusion of the Vado Ligure thermal power plant cooling water, in the conditions forecast by the current design of the harbor. This design, included in the New Harbor Regulatory Plan of the Harbor Authority of Savona, includes in fact the modification of existent structures and the realization of new docks that might cause problems to the thermal diffusion into the sea of the plant cooling water, also caused by the presence of ships having large DWT. Therefore the study has the main goal of verifying the law limits and the possible thermal recirculation at the intake accounting for the new structures in the more critical environmental and docking conditions.

This study has been characterized by three different tasks:

1. definition of the environmental characteristics of the site and of the thermal discharge of the Vado Ligure power plant, and definition of the new structure data based on the New Harbor Regulatory Plan information;
2. definition of a three dimensional numerical simulation model accounting for the harbor shape, for the civil and plant structures existent in it, and for the sea region in front of the harbor itself with a dimension sufficient for guarantee the equilibrium condition;
3. evaluation of the law limits and of the thermal recirculation amount at the intake with and without ships at the berthing structure, with reference to the current conditions.

The study has been carried out considering the current plant configuration, by means of the three-dimensional Trimdi 3.01 code. Analyzing the results obtained it is worthwhile noting that the changes of the structures, even if they change the location of the thermal plume in some environmental conditions, do not modify significantly, at the same operating and environmental conditions, the current thermal dilution in the bay, both from the thermal limits and the intake thermal increase points of view.

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Scopo dello studio

La considerazione di una serie di modifiche progettuali che riguardano il porto di Vado Ligure, previste nell'ambito del Nuovo Piano Regolatore Portuale dell'Autorità Portuale di Savona [1], prevede infatti la modifica di strutture esistenti e la creazione di nuove strutture di attracco in grado di interferire con la dispersione a mare delle acque di raffreddamento della centrale, anche a causa della conseguente presenza di navi di grossa stazza. Lo studio si pone quindi come principale obiettivo la verifica del rispetto dei limiti di legge secondo la normativa prevista dal D.Lgs. 152/99 e successive modifiche (D.Lgs. 258/00)[2],[3] e la verifica della presenza di eventuale ricircolo termico alla presa in presenza delle nuove strutture e nelle condizioni ambientali e di attracco più critiche.

In particolare, tra le nuove opere è prevista la cosiddetta piattaforma multipurpose VL, la quale si colloca in prossimità della zona di mare in cui sono collocate sia le opere di scarico che di presa della centrale; essa è stata progettata su un impalcato, ma la presenza costante di navi anche di notevole stazza può costituire una barriera alla dispersione termica ed alterare le condizioni di presa. Inoltre, il progetto di modifica del porto prevede anche l'estensione della diga frangiflutti a mare, con una conseguente modifica della dinamica delle correnti costiere che è in grado di influenzare la dislocazione del pennacchio termico.

A ciò si aggiunge il fatto che per la centrale di Vado Ligure è prevista la modifica dell'assetto dei gruppi, con il possibile esercizio, accanto agli attuali gruppi Vado3 e Vado4 a carbone ed al gruppo Vado2 a ciclo combinato, del gruppo Vado1; ciò comporta anche la conseguente modifica delle condizioni di scarico, tali da alterare i campi di moto ed il campo termico rispetto alla situazione attuale.

Scopo dello studio è quindi la valutazione dell'impatto delle nuove opere nelle attuali e future condizioni di assetto dell'impianto, effettuata utilizzando un apposito modello di simulazione numerica, in grado di determinare la nuova configurazione, estensione e profondità del pennacchio termico, con particolare attenzione al rispetto della normativa ambientale vigente ed alla eventuale presenza di condizioni di ricircolo termico.

### 1.2 Breve sommario della attività svolta

Sulla base degli obiettivi definiti al paragrafo precedente, lo studio è stato caratterizzato da tre fasi distinte, e precisamente:

1. reperimento e verifica dei dati relativi alla caratterizzazione ambientale del sito e dello scarico termico della centrale di Vado Ligure. Il problema dello scarico termico infatti è particolarmente sentito in quanto esso avviene attraverso la foce del torrente Quiliano direttamente in prossimità delle strutture portuali; a partire da tali dati, sono stati definiti i valori dei parametri ambientali che risultano più critici rispetto alla diffusione termica;
2. definizione di un modello di simulazione tridimensionale che tiene conto della conformazione della rada, della presenza delle nuove opere portuali e di quelle relative allo scarico ed alla presa della centrale, e della zona di mare antistante per una estensione sufficiente a garantire l'instaurarsi di condizioni di equilibrio. Tale modello è stato poi validato per confronto con i risultati di recenti misure di campo termico condotte in condizioni note di esercizio;

3. esecuzione delle simulazioni numeriche sia nella configurazione attuale, assunta come riferimento che nella configurazione prevista dal progetto di modifica, quest'ultima valutata sia in assenza che in presenza di navi attraccate alle nuove banchina ed alle boe di ormeggio. La configurazione più critica è stata poi valutata nell'ipotesi di un assetto futuro a quattro gruppi della centrale.

Poiché le condizioni sopra descritte sono tali da poter alterare in maniera significativa il campo di moto ed il campo termico rispetto alle condizioni attuali di esercizio, l'analisi dei risultati delle simulazioni è stata condotta con particolare riguardo ai seguenti aspetti:

- a) determinare la nuova configurazione, estensione e profondità del campo termico conseguente allo scarico delle acque di raffreddamento della centrale, supposta in esercizio a pieno carico nell'assetto a tre gruppi, con particolare attenzione al rispetto della normativa ambientale vigente;
- b) valutare l'instaurarsi di condizioni di ricircolo termico, in particolare causate dalla presenza della nuova piattaforma polifunzionale;
- c) valutare l'effetto della presenza di navi attraccate alla nuova piattaforma e/o alle boe di ormeggio.

Lo studio in oggetto è perciò volto ad analizzare la dispersione termica della centrale nelle condizioni meteomarine e di ventosità caratteristiche del sito e ritenute le più limitanti rispetto alle condizioni sopra elencate, ed è stato condotto, data la tipologia dello scarico e la natura del problema, con il codice tridimensionale idrostatico TRIMDI 3.01 [4],[5], usualmente impiegato per analisi di questo tipo.

La tipologia dello scarico e della presa, unitamente alla topografia della costa ed alla conformazione delle opere portuali esistenti ed in progetto, sono stati considerati con un dettaglio sufficiente agli scopi dello studio.

### 1.3 Documenti di riferimento

- [1] Autorità Portuale di Savona – *Piano Regolatore Portuale ex Articolo 5 Legge 84/94* – [Delibera del Comitato Portuale N. 33 del 10/04/2002](#) (Aprile 2002)
- [2] Testo Unico sulle Acque. D.L. 11 maggio 1999 n. 152 e D.L. 18 agosto 2000 n. 258
- [3] Notiziario IRSA – *Metodi analitici per le acque: Metodologie per la determinazione dell'incremento di temperatura nelle acque marine a seguito di sversamenti di scarichi termici* – n. 4, Ottobre - Dicembre 1993
- [4] AA.VV. – *Codice di calcolo TRIMDI. Manuale di Utenza.* – Relazione ENEL/CRIS 3109 (Aprile 1993). Revisione 1996
- [5] G. Agate, R. Guandalini – *Manuale d'uso del codice TRIMDI versione 3.01* – Relazione CESI in corso di pubblicazione (2004)
- [6] Enel Divisione Produzione – *Centrale Termoelettrica di Vado Ligure. Canale di Scarico. Arretramento della soglia terminale del canale di scarico acque di raffreddamento. Mappa, Planimetria e Sezioni di progetto*" Dis. n. CIV.VLO.43.98083 Scala 1:100, 1:200, 1:1000 (Luglio 1998)
- [7] Enel Divisione Produzione – *Centrale Termoelettrica di Vado Ligure. Canale di Scarico. Arretramento della soglia terminale del canale di scarico acque di raffreddamento. Stato di fatto. Pianta e sezioni*" Dis. n. CIV.VLO.00.98002 Scala varie (Gennaio 1998)
- [8] Interpower SpA – *Centrale Termoelettrica di Vado Ligure. Rinnovo concessione demaniale per adduzione e scarico della centrale. Opere di scarico. Planimetria nuova sistemazione*" Dis. n. CIV.VLO.40.00082 Scala 1:500 (Novembre 2000)

- [9] Interpower SpA– *Centrale Termoelettrica di Vado Ligure. Rinnovo concessione demaniale per adduzione e scarico della centrale. Allegato alla relazione tecnica asseverata. Planimetria catastale aggiornata*" Dis. n. CIV.VLO.40.02055 Scala 1:1000 (Ottobre 2002)
- [10] Enel Divisione Produzione – *Centrale Termoelettrica di Vado Ligure. . Rinnovo concessione demaniale per adduzione e scarico della centrale. Opere di adduzione. Pianta e sezione trasversale del pontile*" Dis. n. CIV.VLO.40.00084 Scala 1:50, 1:200 (Novembre 2000)
- [11] Autorità Portuale di Savona – [www.porto.sv.it/Il-Porto/Operatori-/Terminalis/Rinfuse-ll1/sarpom.htm\\_cvt.htm](http://www.porto.sv.it/Il-Porto/Operatori-/Terminalis/Rinfuse-ll1/sarpom.htm_cvt.htm)
- [12] SARPOM Quiliano Marine Terminal – Capt. Capt.Adriano Gambetta (Terminal Manager) – Comunicazione via e-mail del 29 maggio 2005
- [13] Marinetaalk. A Division of Scientia Technologies Co. – *Hyundai Heavy Industries Innovative Very Large Crude Oil Carrier for Concordia Maritime*. [www.marinetalk.com](http://www.marinetalk.com) (2001)
- [14] Carta Nautica I.I.M. n. 104 - *Litorale di Savona* – Scala 1:30000 (Ed. 1991)
- [15] Pagine Azzurre. *Il Portolano dei Mari d'Italia*. –Anno XII, Pagine Azzurre Srl Editrice, pag 97, (1996)
- [16] M. Hopper – *The WXTide32 version 2.6 tide simulator* – [www.wxtide32.com](http://www.wxtide32.com) (2002)
- [17] US Navy. Metereological and Oceanographic Detachment - *The Global Marine Climatic Atlas (GMCA)* - <http://navy.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/gmca.pl>
- [18] Carl A. Thoresen – *Port Design. Guidelines and Recommendations* – Tapir Publishers. Trondheim (Norway) (1990)
- [19] Kai Levander – *New Challenges in Cruise Ship Desig.Optimizing the Panamax Size Ship* – Seatrade Cruise Shipping Convention (2001)
- [20] Oshima Shipbuilding Co. Ltd – *Index of:Panamax B.C.* – <http://www.osy.co.jp>
- [21] The Website for the Cruise and Ship Industry – *Mol Encore Panamax Containership* – [www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com)
- [22] R. Guandalini – *Utilities, Tools and Binary Converters for the 2D and 3D Fluid Dynamic Codes* – Personal WorkNote 038/2 (June 2004)
- [23] P. Maggi, M.Vergata – *SIA: Sistema Informativo Ambientale. Manuale d'Uso del Sistema Informativo Territoriale* - Rapporto CISE-SMA-97-4 (Dicembre 1997).
- [24] C. Caruso, G. Pedroni – *Informatizzazione dei Dati di Campagne Oceanografiche dell'Enel* - Rapporto CISE-SAT-94-31 (Dicembre 1994).
- [25] Regione Liguria. *Carta Tecnica Regionale. Sezione n° 229100 "Vado ligure"* – Scala 1:10000
- [26] Autorità Portuale di Savona - *Piano regolatore Portuale. Bacino Portuale di Vado Ligure – Bergeggi – Tav. n. 4.1. Destinazioni d'uso*" – Scala 1:5000 (Aprile 2002)
- [27] Tirreno Power SpA. *C.le di Vado Ligure. - Piattaforma Multipurpose . Bacino di Vado Ligure. Scheda Tecnica* – Comunicazione riservata
- [28] AA.VV – *Caratteristiche Diffusive dell'Atmosfera. Criteri Generali del lavoro e Guida alla sua Utilizzazione.* – Servizio Meteorologico Aeronautica Militare. ENEL (1991)
- [29] HR Wallingford – *Analysis of wind and wave data extracted from the United Kingdom Meteorological Office European Wave Model* (June 2000)
- [30] Tirreno Power. *Centrale di Vado Ligure. Reparto Impiantistica e controlli chimici. Procedura n. 4. Misura incremento termico a mare. Rev. 1* (Febbraio 2003)
- [31] G. Agate, R. Guandalini – *Manuale d'uso del codice TRIMDI versione 3.01* – Relazione CESI in corso di pubblicazione (2005)



- [32] G. Agate, R. Guandalini – *Centrale di Genova. Valutazione modellistica della dispersione termica a mare delle acque di raffreddamento nelle condizioni previste dall'attuale progetto di riempimento della calata Concenter* – Rapporto CESI A4/512861 rev.0 (Settembre 2004)
- [33] G. Agate, R. Guandalini – *Centrale di Torrevadalinga Nord. Progetto di trasformazione a carbone. Valutazione modellistica della dispersione termica a mare in assenza della darsena Energetico-Grandi masse (DEGM) ed in presenza delle nuove banchine Enel* – Rapporto CESI A4/010779 rev.0 (Aprile 2004)
- [34] G. Agate, R. Guandalini – *Centrale di La Spezia. Studio numerico dell'idrodinamica della rada per l'analisi di possibili soluzioni al problema di presenza di meduse nella zona della presa* – Rapporto CESI A4/518616 rev.0 (Ottobre 2004)
- [35] Enel DPI Laboratorio di Piacenza – *Misure dei parametri meteorologici con stazione rilocabile nella postazione di pompe AC di Vado Ligure. 10 luglio 1997-18 settembre 1997* – Rapporto di prova n° 700E200009 (Ottobre 1997)
- [36] Enel DPI Laboratorio di Piacenza – *Misure dei parametri meteorologici con stazione rilocabile nella postazione di pompe AC di Vado Ligure. 18settembre 1997 -13 gennaio 1998* – Rapporto di prova n° 700E200021 (Aprile 1998)
- [37] Enel DPI Laboratorio di Piacenza – *Misure dei parametri meteorologici con stazione rilocabile nella postazione di pompe AC di Vado Ligure. 13 gennaio 1998 – 26 marzo 1998*– Rapporto di prova n° 700E200025 (Aprile 1998)
- [38] Enel DPI Laboratorio di Piacenza – *Misure dei parametri meteorologici con stazione rilocabile nella postazione di pompe AC di Vado Ligure. 26 marzo 1998-30 giugno 1998* – Rapporto di prova n° 700E200056 (Dicembre 1998)
- [39] Enel DPI Laboratorio di Piacenza – *Misure dei parametri meteorologici con stazione rilocabile nella postazione di pompe AC di Vado Ligure. 13 luglio 1998-2 dicembre 1998* – Rapporto di prova n° 700E200057 (Dicembre 1998).

## 2 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANALISI

### 2.1 Considerazioni generali

La simulazione del campo di moto nelle condizioni tipiche della rada di Vado Ligure, in presenza della centrale, è un problema complesso a causa dei molteplici effetti che lo influenzano. Diviene perciò essenziale effettuare una accurata analisi dei parametri meteomarini caratteristici e delle condizioni di scarico, attraverso la raccolta e l'analisi dei dati a disposizione. Più precisamente, la raccolta dei dati fa riferimento alle seguenti tipologie:

- a) dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico e di presa;
- b) dati relativi alla configurazione portuale attuale e futura;
- c) dati relativi alla configurazione costiera ed alla batimetria del fondale;
- d) dati marini relativi a temperatura, corrente ambientale e livello del mare;
- e) dati meteorologici, con riferimento particolare alla direzione ed intensità del vento;
- f) dati di esercizio della centrale, quali potenza e modalità di scarico dei circuiti di raffreddamento.

Per ciascuna tipologia di dati verranno nel seguito elencate le caratteristiche, la quantità ed il dettaglio delle informazioni raccolte, la valutazione sulla loro coerenza e completezza con l'indicazione della fonte di riferimento.

### 2.2 Dati geometrici di impianto

I dati geometrici che interessano ai fini della analisi del campo termico e di moto nel tratto di mare interessato dallo studio sono essenzialmente quelli afferenti le opere di presa e di scarico a mare. A tale scopo è stata contattata la centrale di Vado Ligure che ha fornito i relativi disegni costruttivi ed altre informazioni relative ai dati geometrici, come documentato in [6],[7],[8],[9],[10].

Inoltre, poiché per l'assetto in esercizio della centrale, considerato sempre a pieno carico, sono previste configurazioni a tre o quattro gruppi, si è ritenuto opportuno richiamare nella presente sezione le caratteristiche strutturali e di esercizio dell'impianto che hanno influenza sulla modellistica della diffusione termica.

#### 2.2.1 Localizzazione della centrale di Vado Ligure

La centrale termoelettrica di Vado Ligure, di proprietà Tirreno Power SpA, è situata in località Valleggia di Quiliano, nel comune di Vado Ligure, in prossimità del confine con il comune di Savona, ad una distanza di circa 3 km dal mare, alle coordinate geografiche 44° 17' 01" N – 08° 25' 40" E, come riportato nella mappa di fig. 2.1.

#### 2.2.2 Caratteristiche dell'opera di scarico

L'opera di scarico della centrale di Vado Ligure è realizzata con un diffusore a pelo libero che scarica in corrispondenza della foce del torrente Quiliano a monte del ponte sulla SS n.1 Aurelia, come indicato nella planimetria di fig. 2.2 e come evidenziato nella vista aerea di fig. 2.3.

Come indicato nella successiva

fig. 2.4, lo scarico a mare delle acque di raffreddamento avviene mediante un canale di scarico a pelo libero, la cui sezione originale di efflusso è stata arretrata fino in corrispondenza della sezione indicata come AA, con una larghezza superficiale di 39.15 m ed una profondità alla sezione di efflusso pari a 0.5 m. A valle della sezione di efflusso, l'acqua di raffreddamento segue il corso del tratto di foce del torrente Quiliano, normalmente in secca o con una portata trascurabile rispetto a quella della centrale. La zona dell'alveo interessata dallo scarico è separata idraulicamente dal tratto a monte del torrente da uno stramazzo, ed è stata interessata da un dragaggio effettuato contestualmente alle opere di arretramento della sezione di efflusso, che ha portato la profondità media a 0.5 m.

L'acqua di raffreddamento, con una deviazione di circa  $42^\circ$  rispetto all'asse dello scarico che orienta il flusso in direzione SE, giunge poi al mare passando sotto il ponte della SS n.1 Aurelia, con un percorso di circa 200 m. L'esatta definizione della batimetria di questo tratto e la corretta considerazione degli ostacoli al flusso rappresentati dalla presenza dei piloni del ponte sono importanti ai fini della esatta determinazione della velocità con cui l'acqua di raffreddamento giunge al mare, in quanto ciò concorre a determinare la diffusione del pennacchio termico in mare; in fig. 2.5 e fig. 2.6 sono mostrate alcune viste significative di tale tratto.

Poiché i riferimenti documentali per quanto riguarda questo tratto si sono rivelati imprecisi, si è provveduto alla determinazione delle caratteristiche necessarie alla sua modellazione mediante un sopralluogo.

Le caratteristiche geometriche della sezione di efflusso dell'opera di scarico sono riassunte in tab. 2.1, e sono stati ricavati dalla documentazione citata in precedenza.

**tab. 2.1 - Dati caratteristici della sezione di efflusso allo scarico**

<i>Caratteristica</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	39.15	m
Altezza	0.5	m
Sezione efficace di scarico	19.58	m <sup>2</sup>
Quota superiore di scarico	0	m
Quota inferiore di scarico	-0.5	m
Quota media di scarico	-0.25	m
Velocità allo scarico (assetto a 3 gruppi)	1.76	m/s
Velocità allo scarico (assetto a 4 gruppi)	2.298	m/s

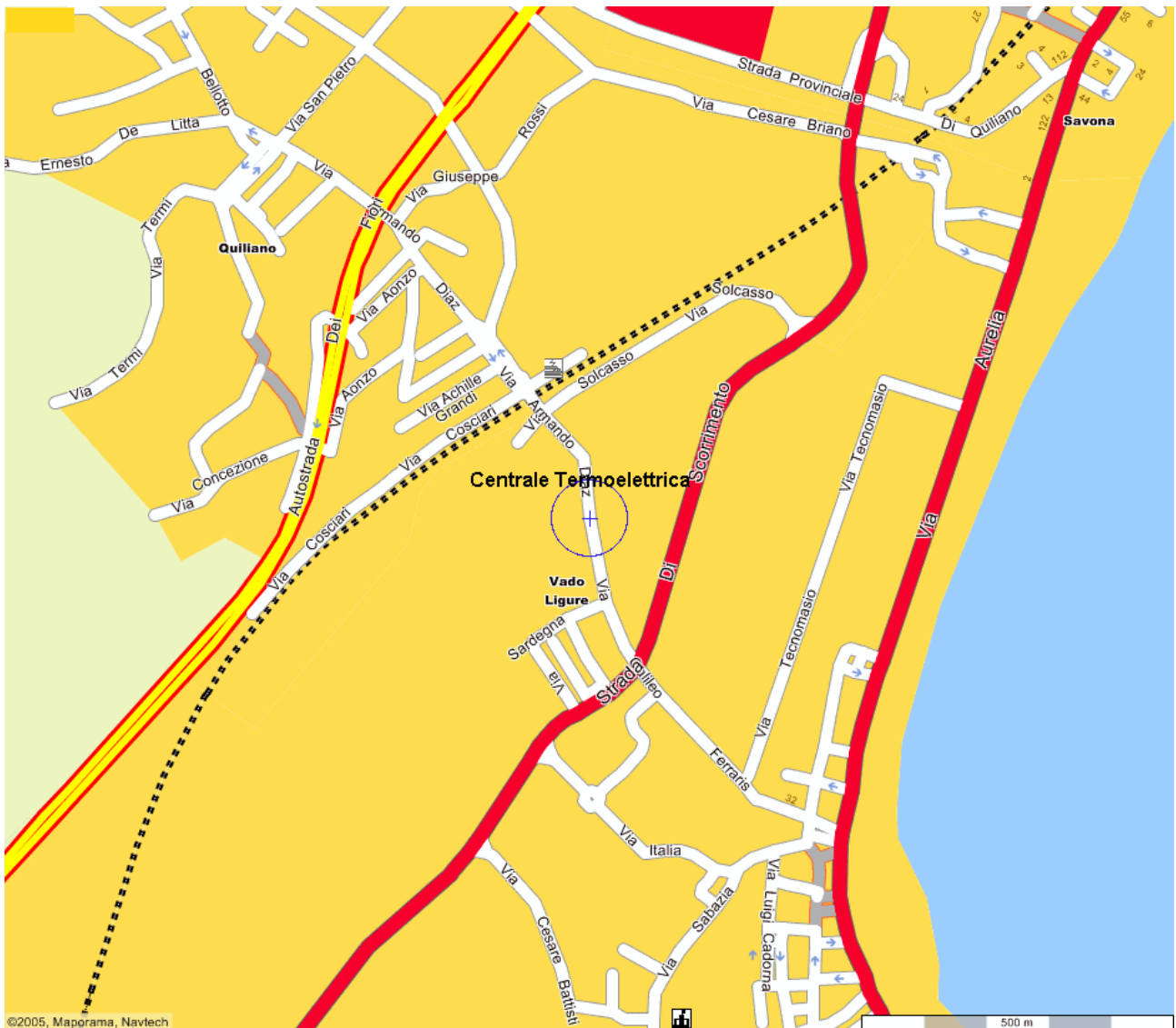


fig. 2.1 - Localizzazione della centrale termoelettrica

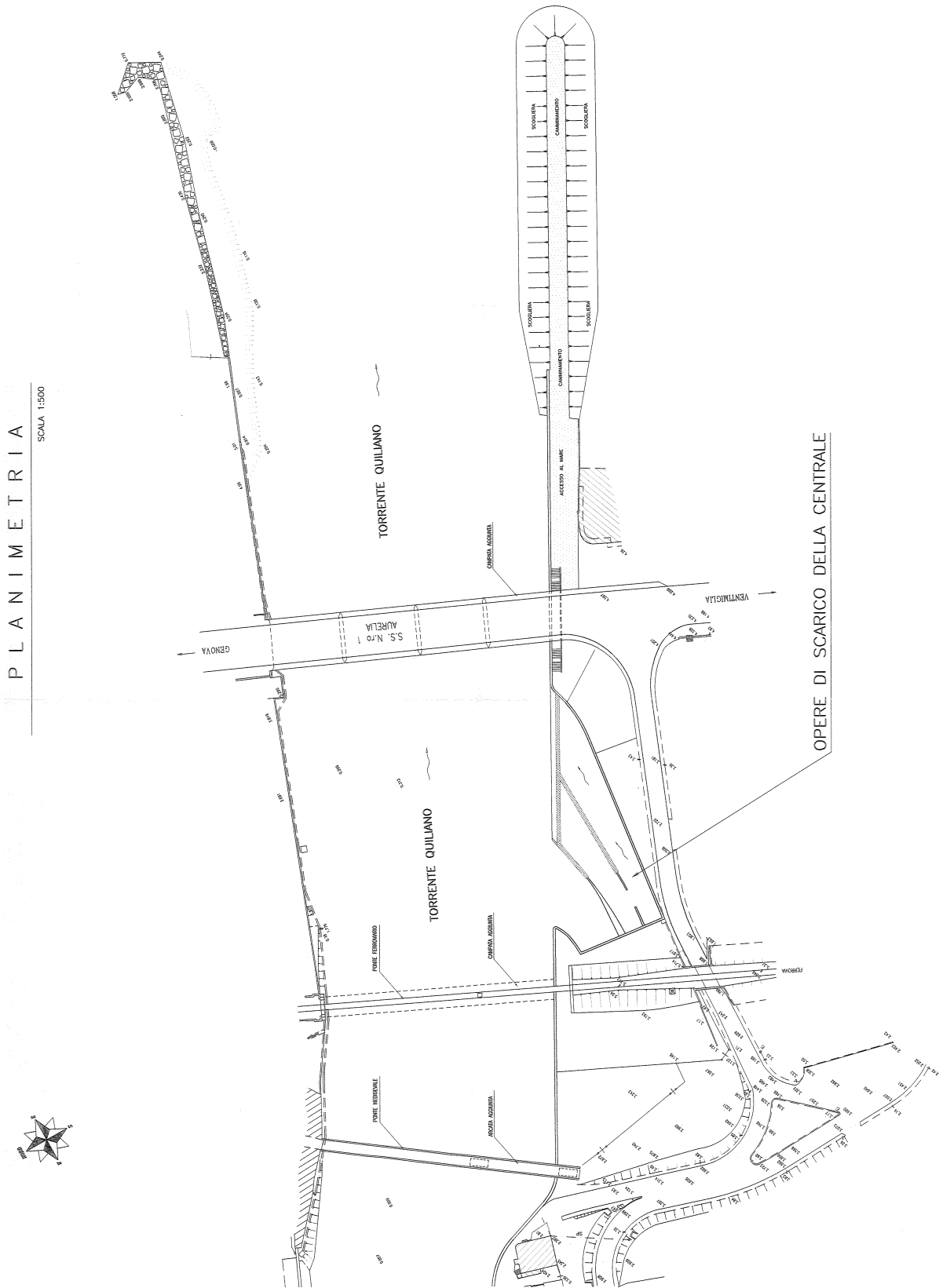


fig. 2.2 - Opera di scarico della centrale. Planimetria



fig. 2.3 – Opera di scarico. Vista aerea

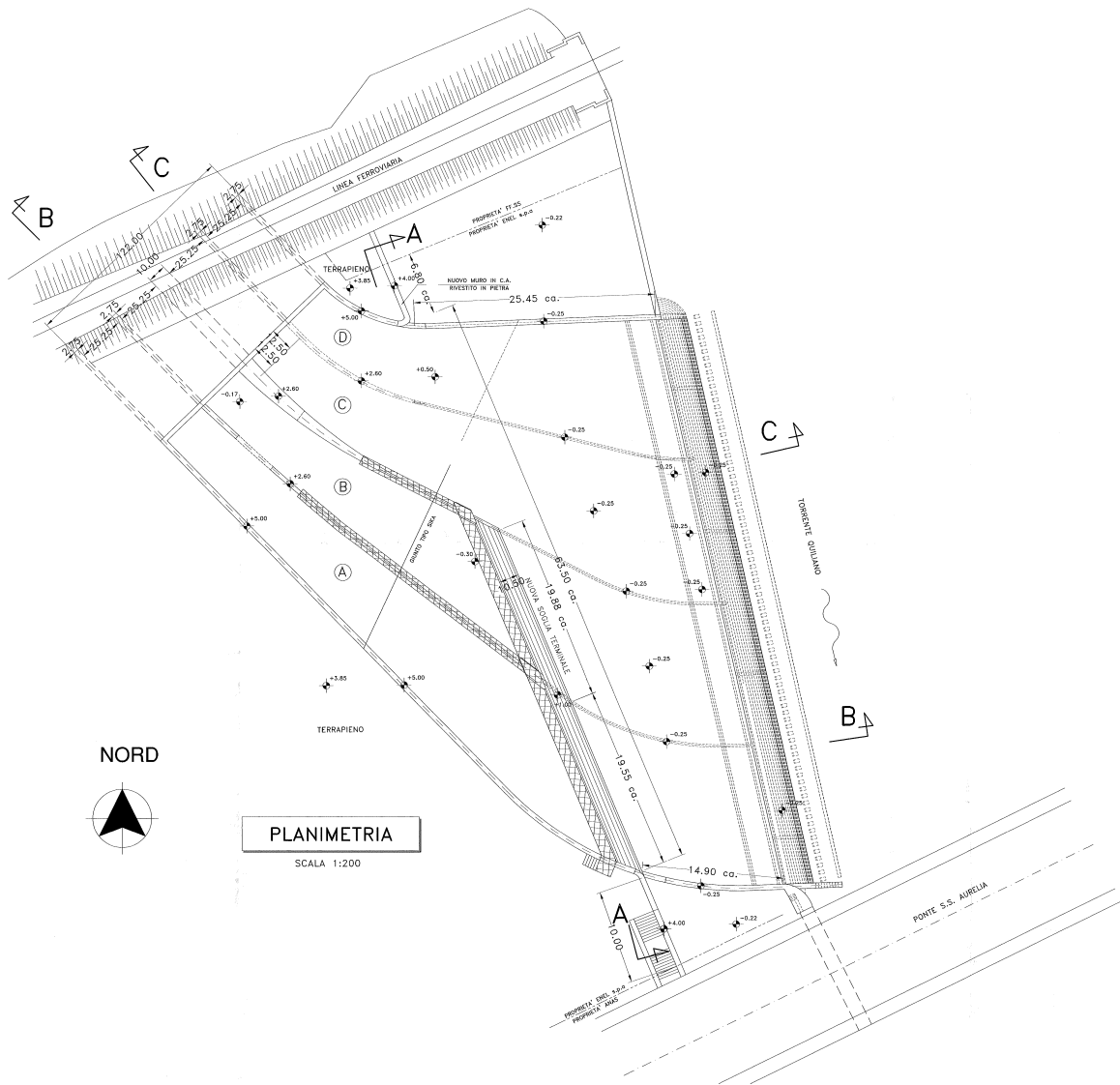
### 2.2.3 Caratteristiche dell'opera di presa

L'opera di presa della centrale è del tipo sommerso, posto nel tratto di mare innanzi al litorale di Vado Ligure, nell'area del porto. In particolare, essa è costituita da una struttura posta sul fondo ad una distanza di circa 400 m dalla riva, le cui quattro bocche di aspirazione sono collocate ad una profondità compresa tra -4 m e -8 m, orientate verso il mare aperto, per una larghezza totale di 20.7 m. Le rispettive condotte di adduzione dell'acqua di raffreddamento, lunghe 628 m e del diametro di 2.2 m, sono posate sul fondo del mare, e l'opera di presa è raggiungibile mediante una apposita passerella di accesso, posta sul percorso delle condotte stesse.

La sezione longitudinale dell'opera di presa è riportata in fig. 2.7, mentre in fig. 2.8 è mostrata la pianta che evidenzia le bocche di aspirazione. Le caratteristiche geometriche della sezione di aspirazione dell'opera di presa sono riportate in tab. 2.2.

tab. 2.2 – Dati caratteristici dell'opera di presa

Caratteristica	Valore	u.d.m.
Larghezza	20.7	m
Altezza	4	m
Sezione di presa	82.8	m <sup>2</sup>
Quota superiore di aspirazione	-4	m
Quota inferiore di aspirazione	-8	m
Quota media di aspirazione	-6	m
Velocità alla presa (assetto a 3 gruppi)	0.416	m/s
Velocità alla presa (assetto a 4 gruppi)	0.543	m/s



SEZIONE A-A  
SCALA 1:100

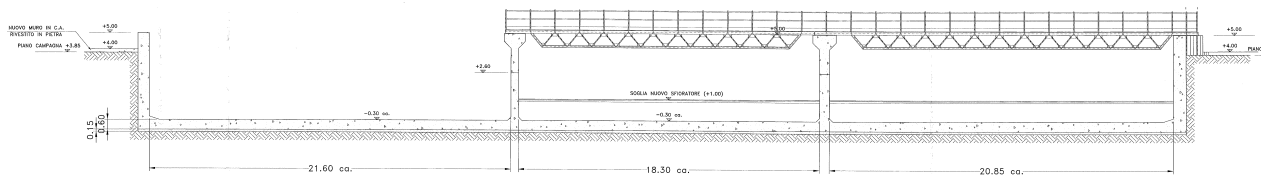


fig. 2.4 - Opera di scarico. Modifiche apportate ed attuale sezione longitudinale





**fig. 2.5 – Passaggio delle acque di raffreddamento sotto il ponte della SS 1 Aurelia**



**fig. 2.6 – Tratto terminale della foce del torrente Quiliano (dal ponte della SS 1 Aurelia)**



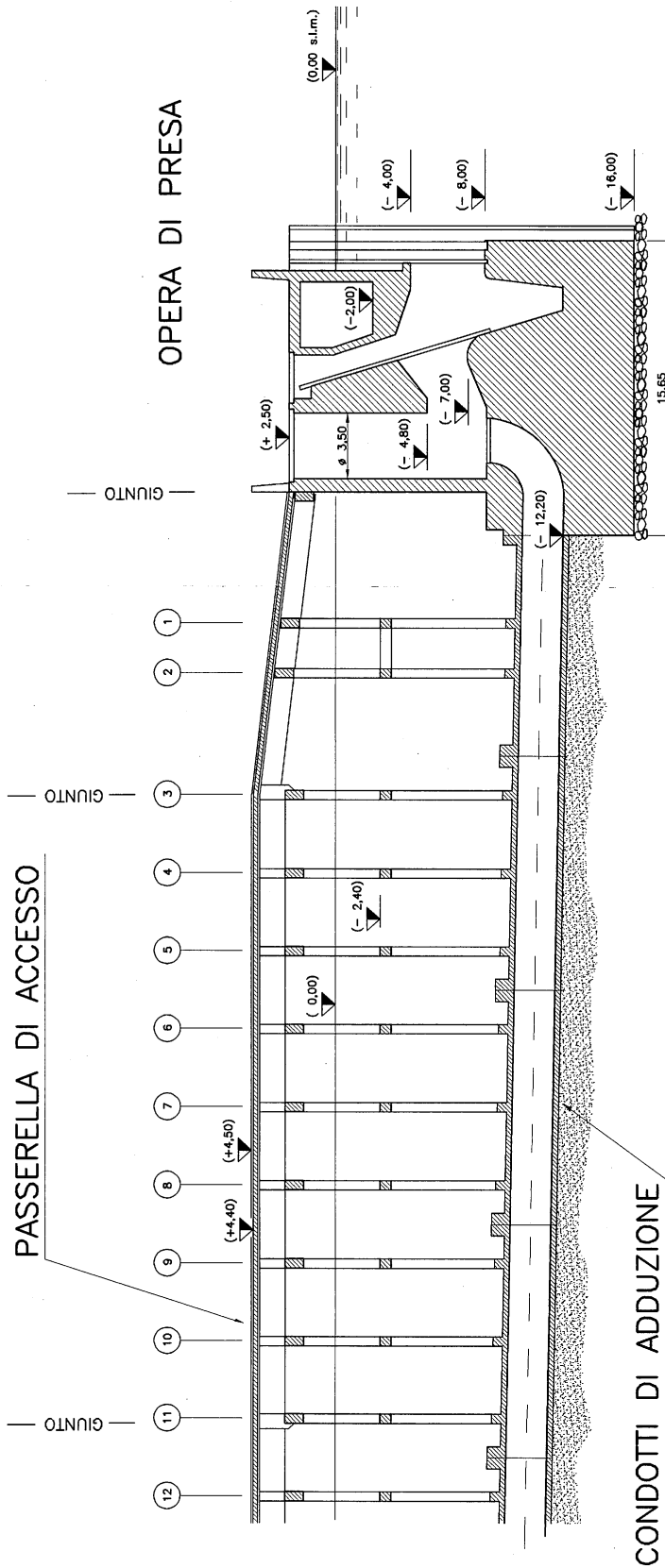


fig. 2.7 - Opera di presa. Sezione longitudinale

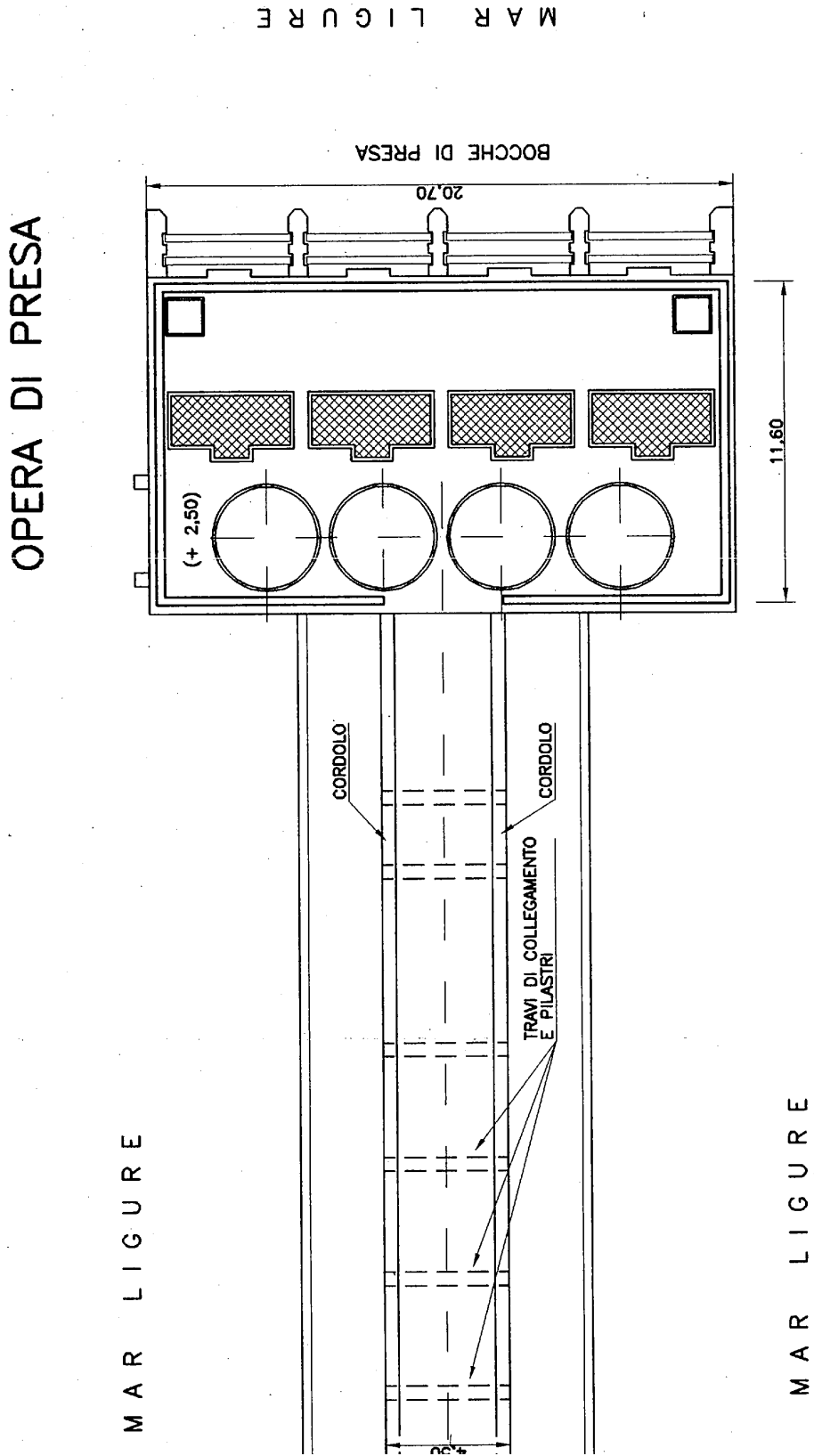


fig. 2.8 - Opera di presa. Pianta

### 2.3 Caratteristiche delle nuove opere previste dal Piano Regolatore Portuale

Il potenziamento del porto di Vado Ligure, unitamente a quello di Savona cui è strettamente collegato e la sistemazione del litorale di Berteggi rientrano nel progetto di sviluppo incluso nel Piano Regolatore Portuale presentato dalla Autorità Portuale di Savona, attualmente in corso di approvazione [1]. Tale piano affronta tutte le tematiche collegate alle strutture portuali, dalla sistemazione del litorale ai collegamenti stradali e ferroviari; l'aspetto comunque che verrà considerato nel seguito riguarda essenzialmente le modifiche previste per le strutture portuali ed il loro potenziale impatto sulla dispersione termica delle acque di raffreddamento della centrale di Vado Ligure.

L'attuale assetto portuale è illustrato in fig. 2.9; in tale figura sono ben visibili le attuali strutture, costituite da una serie di pontili di attracco sostanzialmente perpendicolari alla linea di costa (pontile Petrolig, pontile Esso, terminal Rinfuse), da una recente struttura di attracco che caratterizza la cosiddetta Calata Nord e dalla calata Sud chiusa a mare dal molo di sopraflutto a ridosso di capo Vado. Sostanzialmente, il porto si presenta attualmente come nella foto di

fig. 2.10, ed è evidente come le opere di presa e soprattutto di scarico sono collocate in modo da non subire interferenze dalla presenza delle strutture portuali attuali.

Nella fig. 2.9 è inoltre evidenziata la posizione del campo boe SARPOM, che pur non essendo strutture fisse, possono interferire con la diffusione termica quando ad esse siano attraccate navi di grosso tonnellaggio, come sarà discusso nel successivo paragrafo.

Il nuovo Piano Regolatore Portuale prevede una serie di modifiche assai rilevanti, che risultano essere, come evidenziato in fig. 2.11:

1. *realizzazione di una nuova piattaforma multifunzionale*, che prevede accosti petroliferi e rinfuse nella zona occupata dagli attuali pontili;
2. *parziale demolizione del tratto terminale della diga foranea* e suo spostamento a mare per assicurare adeguati spazi nautici di manovra in presenza della piattaforma multipurpose;
3. *nuovo accosto Ro-Ro*, sfruttando gli spazi conseguenti allo spostamento della diga foranea;
4. *recupero a funzioni urbane di tutta l'area costiera a mare dell'Aurelia*, che però non ha alcun interesse ai fini del presente studio;
5. *realizzazione di un porto turistico all'esistente foce del torrente Segno*, con polo peschereccio ed aree per la cantieristica e l'artigianato nautico;
6. *ricostruzione del promontorio all'estremità di ponente del porto*.

La piattaforma multifunzionale, la cui pianta è riportata in fig. 2.12, costituisce una struttura di circa 225000 m<sup>2</sup> da destinare principalmente al traffico dei contenitori, ed è collocata in posizione tale da sfruttare al massimo la profondità naturale della rada per l'accosto e lo scarico di navi anche di notevole tonnellaggio. Essa poggia su un impalcato di pali del diametro di 1.6 m ciascuno, posati con una maglia di dimensioni 10x10 m, che sostengono una banchina a quota +2.5 m s.l.m.m.. Ai fini dello studio in oggetto, una maglia così fitta, con la considerazione di un certo numero di navi attraccate, si comporta di fatto come un molo in grado di interferire con la dispersione del pennacchio della centrale.

La realizzazione del porto turistico alla foce del torrente Segno si presenta anch'essa come una struttura in grado di alterare le condizioni di circolazione e di dispersione, soprattutto in prossimità della presa. Di fatto, viene realizzata una nuova foce artificiale, compresa esattamente tra la piattaforma multifunzionale ed il nuovo porto turistico, mediante un diffusore progettato in modo da ridurre le perdite di carico e favorire la dispersione degli inquinanti.

Per quanto riguarda le opere di presa e di scarico della centrale, esse non risultano interessate direttamente dalle modifiche progettuali sopra descritte, mantenendo la struttura e la localizzazione attuali, e non sono state citate nel piano stesso.

Infine si è posto il problema del campo boe SARPOM presente nell'area di mare antistante lo scarico a circa 0.7 miglia dalla costa, non citato anch'esso nel Piano Regolatore Portuale.

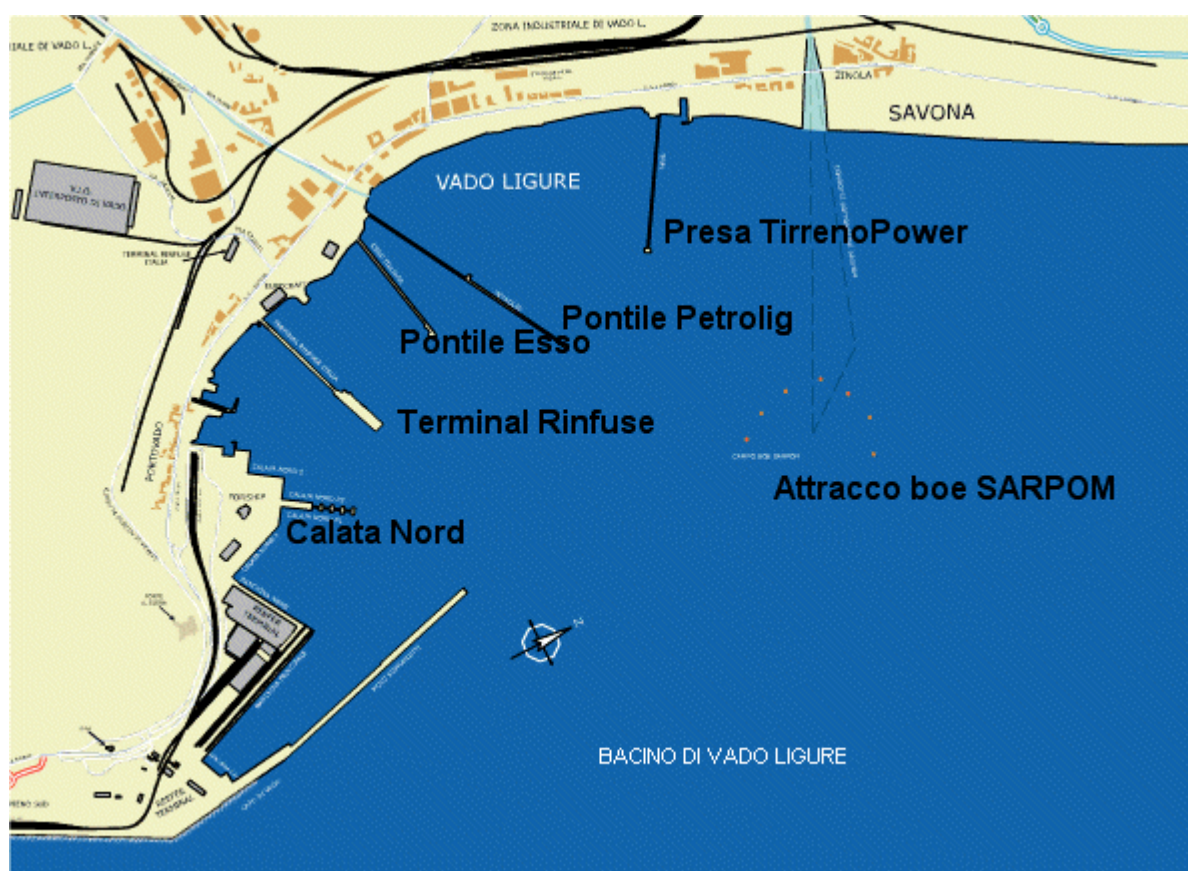
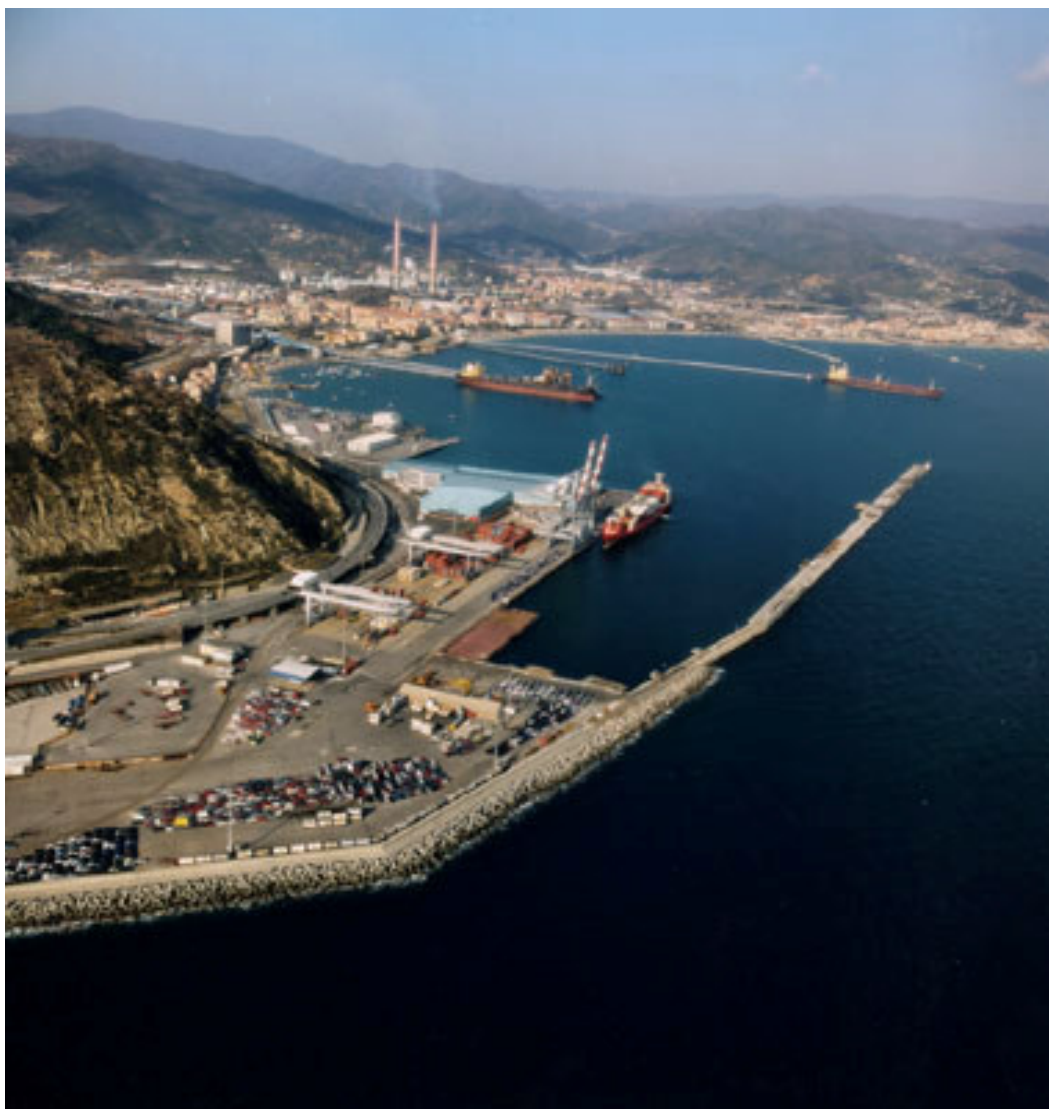


fig. 2.9 - Assetto attuale del bacino di Vado Ligure



**fig. 2.10 – Vista attuale del bacino di Vado Ligure**



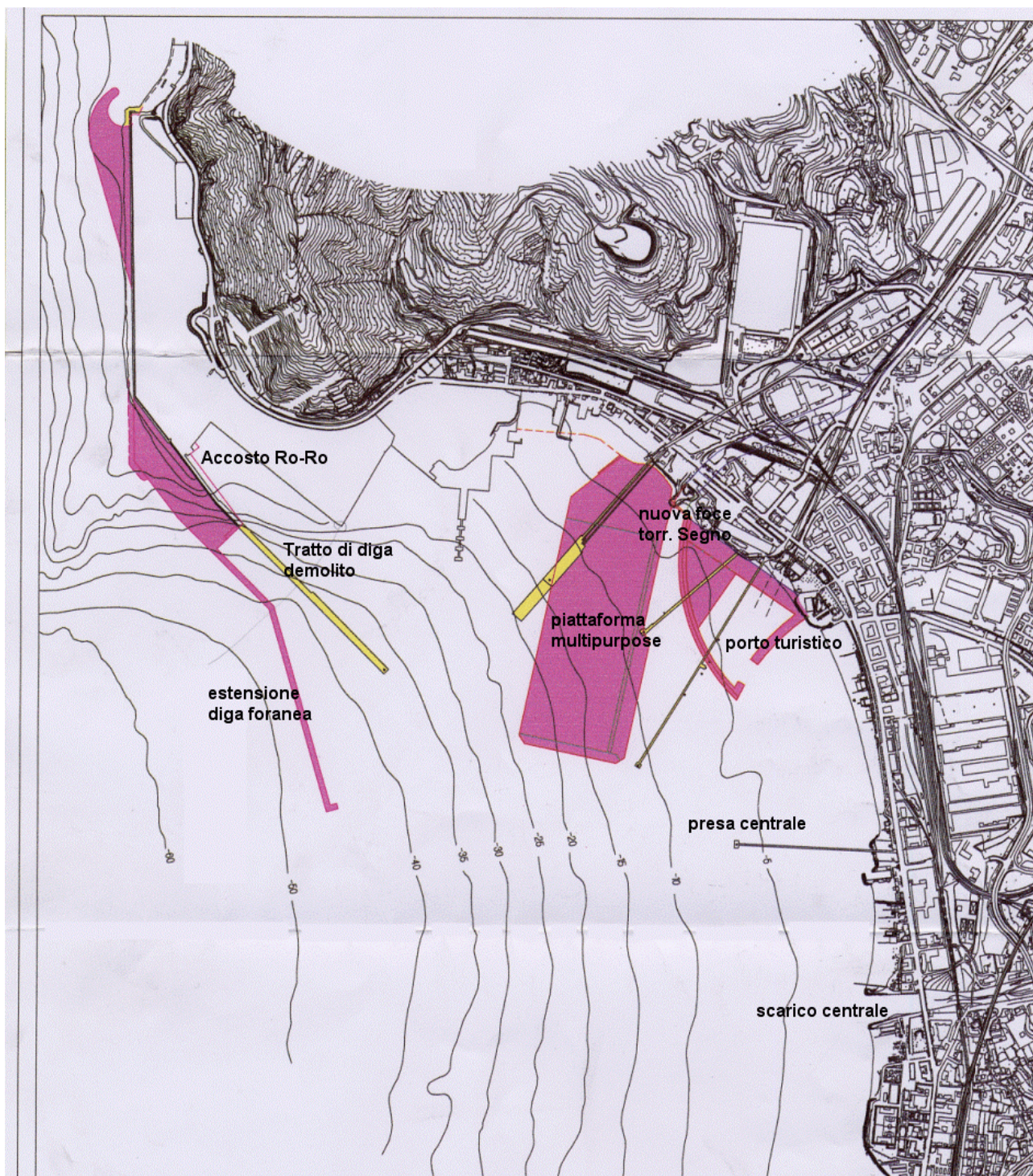


fig. 2.11 - Assetto futuro del bacino di Vado Ligure previsto dal Piano regolatore Portuale

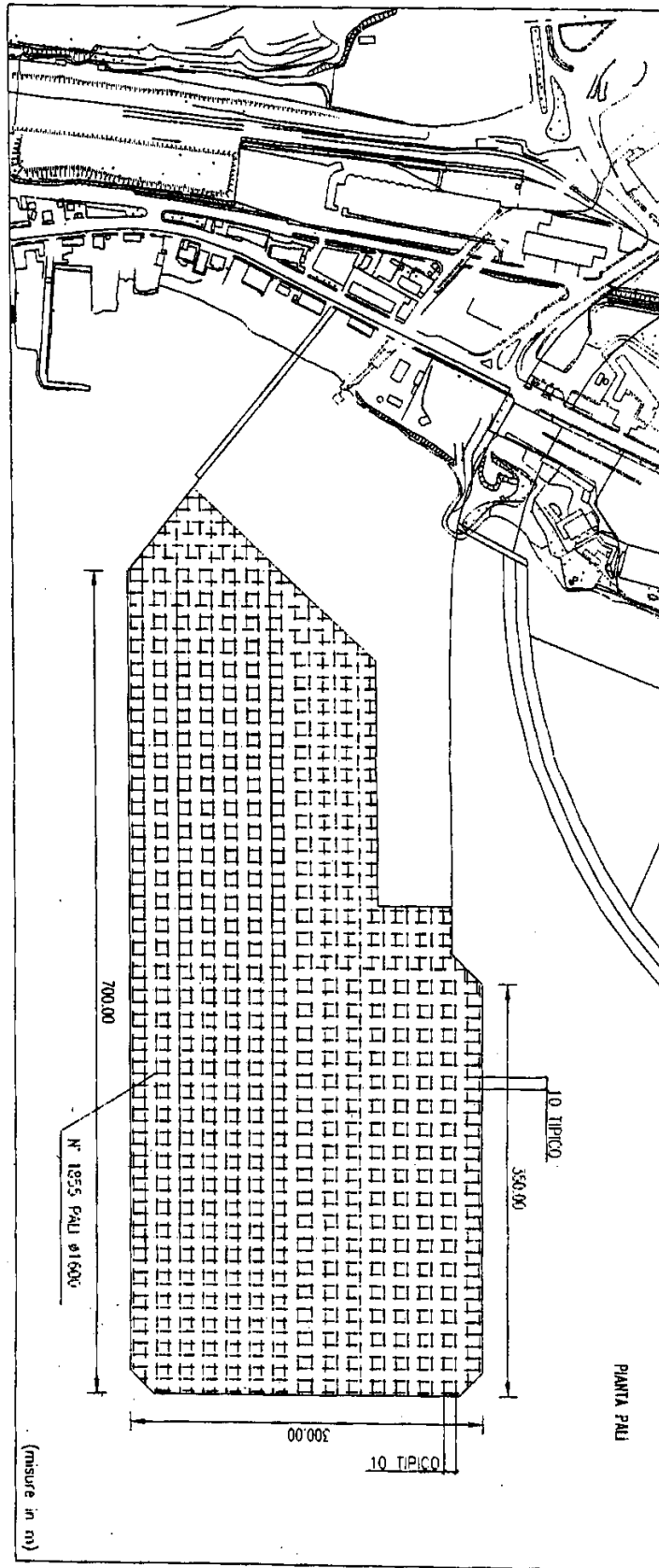


fig. 2.12 - Pianta della piattaforma multipurpose con disposizione della palificazione



## 2.4 Definizione delle caratteristiche tipiche di una nave all'ormeggio

Le modifiche previste porteranno alla creazione, nell'area del bacino portuale di Vado Ligure, di diverse strutture di ormeggio, la principale delle quali è rappresentata dalla nuova piattaforma polifunzionale, idonee all'attracco di navi di grosse dimensioni, tipicamente fino alla classe Panamax. Poiché la presenza di queste navi, tenuto anche conto dell'incremento di traffico portuale previsto dal Piano Regolatore Portuale, può costituire un impedimento che può modificare sensibilmente le caratteristiche idrodinamiche e di diffusione termica del pennacchio, nel presente studio sono stati anche considerati scenari di diffusione termica in presenza di navi attraccate alla nuova piattaforma.

Un ulteriore elemento che deve essere tenuto in considerazione è la possibile presenza di petroliere attraccate al campo boe SARPOM posto a circa 0.7 miglia dalla costa, nell'area di mare antistante lo scarico avente una profondità media del fondale di -38 m [11]. Tale terminal è in grado di ricevere navi da 50000 a 316000 tonnellate, con una potenzialità di scarico di 13000 m<sup>3</sup>/h ed una media annuale di oltre 80 navi; tenuto conto dei tempi di manovra e di ormeggio, la media annuale di presenza di una nave di fronte allo scarico è dell'ordine di 30÷60 giorni/anno. Poiché nel Piano Regolatore Portuale non si fa cenno a modifiche relative al campo boe, è stato verificato direttamente con la società SARPOM che gestisce il terminal l'assetto futuro del campo boe, ottenendo l'informazione che l'integrità e la piena attuale funzionalità del terminal sono garantite anche per il futuro assetto portuale [12].

Di conseguenza, si è reso necessario valutare l'ingombro e la posizione di una nave all'ormeggio, per poterne poi inserire il modello nello schema di calcolo. In primo luogo si è ipotizzata la presenza di navi di classe Panamax alla piattaforma multifunzionale, per la quale sono stati reperiti da diverse fonti [18],[19],[20],[21] i dati di ingombro e pescaggio; considerando la sola parte sommersa della chiglia, che è quella che interessa ai nostri fini, tali navi, nella loro dimensione standard, presentano un ingombro pari a 216 m in lunghezza, 32.26 m in larghezza con un pescaggio a pieno carico di circa 13.9 m. In ogni caso, considerare navi leggermente più corte o più lunghe, con differenze dell'ordine del 10%, non porterebbe a sostanziali modifiche del loro impatto sul pennacchio, in quanto l'intera luce della banchina è comunque coperta dalla nave. Infine, sempre dal documento [18] risulta che una nave di questo tipo posta all'ormeggio, tenendo conto dei parabordi, si colloca mediamente ad una distanza di circa 6-7 m dalla banchina.

Analogamente, si è presa in considerazione la situazione di una petroliera ormeggiata al campo boe; nel caso peggiore di una nave da oltre 300000 tonnellate. Una tipica nave di questo tipo per il trasporto del greggio è lunga fino a 336 m, larga fino a 60 m ed ha un pescaggio a pieno carico di circa 22 m.

## 2.5 Dati di configurazione costiera

I dati di configurazione costiera hanno lo scopo di fornire tutte le informazioni atte a definire la morfologia della zona antistante l'impianto. Da essi verranno ricavate principalmente le informazioni atte a costruire la discretizzazione spaziale per le simulazioni numeriche, e la posizione esatta dell'impianto nel dominio di calcolo.

Il bacino di Vado Ligure, appartenente al comprensorio della Riviera di Ponente, si estende da Capo di Vado ad occidente fino a Savona ad oriente, ed è caratterizzato da una linea di costa ampia, con ampi tratti sabbiosi ed il rimanente attrezzato a porto commerciale e turistico.



I dati raccolti allo scopo di caratterizzare la configurazione costiera sono stati tratti dalle seguenti fonti:

1. *Porto di Vado Ligure*. Alcuni dati sono stati estratti dal “Portolano dei mari d’Italia – Pagine Azzurre” [15], ma non contengono, ai nostri fini, indicazioni particolarmente utili. Il porto di Vado Ligure è situato a 44°16’ N e 08°27’E, è costituito attualmente da un molo di sopraflutto a gomito che ha la sua radice alla punta di Capo di Vado, è lungo circa 1.100 m ed è orientato per NNW; nel suo interno è costituito da tre ampie banchine di riva (Sud, principale e Nord) e da una calata Nord. In particolare sono segnalati:
  - fondo marino sabbioso, a tratti fangoso, con fondali tra i 3 e i 30 m
  - vento prevalente da Nord (tramontana), con traversia di levante e ridosso di libeccio.
2. *Andamento di costa nell’area di Savona-Vado Ligure-Bergeggi*. Le informazioni relative all’andamento della costa nell’area interessata possono esser tratte, per la zona da Vado Ligure a Savona dal riferimento [14], come riportato nella fig. 2.13. Le informazioni contenute in tale riferimento sono utili anche alla determinazione della batimetria della zona di mare interessata, come illustrato nel paragrafo successivo.
3. *Dettagli relativi alla linea di costa ed alle foci dei torrenti Quiliano e Segno*. La centrale scarica direttamente nel tratto di foce del torrente Quiliano, mentre nel tratto di costa interessata si ha la presenza significativa del torrente Segno. E’ quindi importante definire esattamente la topografia del tratto di litorale interessato con un notevole dettaglio, ed ha questo scopo è stata utilizzata la Carta Tecnica Regionale della Liguria [25], il cui dettaglio per i particolari di interesse è mostrato in fig. 2.14.

La morfologia costiera estratta dai documenti citati ai precedenti punti è stata poi confrontata con quella utilizzata nel SIA allegato al Piano Regolatore Portuale[26] e con quella definita nel documento [27]. Le opere attuali sono anche state verificate sulla base di dati presenti sul sito della Autorità Portuale di Savona [11]. Da questo lavoro sono stati ricavati i profili della costa e delle opere portuali sia nella situazione attuale che in quella progettuale prevista. Si sono rilevate diverse discrepanze, rispetto alle quali sono state privilegiate di volta in volta le informazioni più recenti.

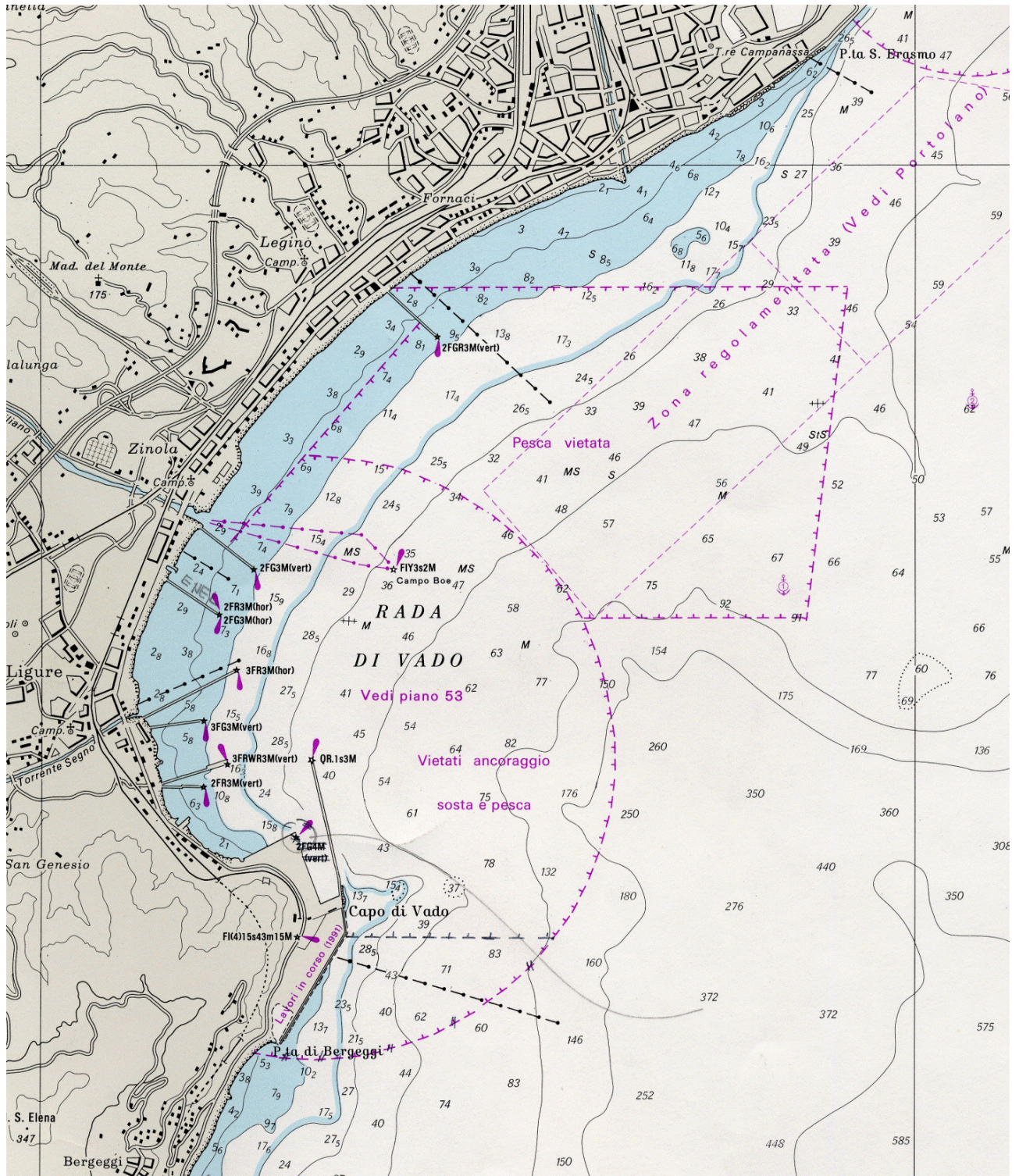


fig. 2.13 – Andamento del tratto di costa tra Capo di vado e Savona



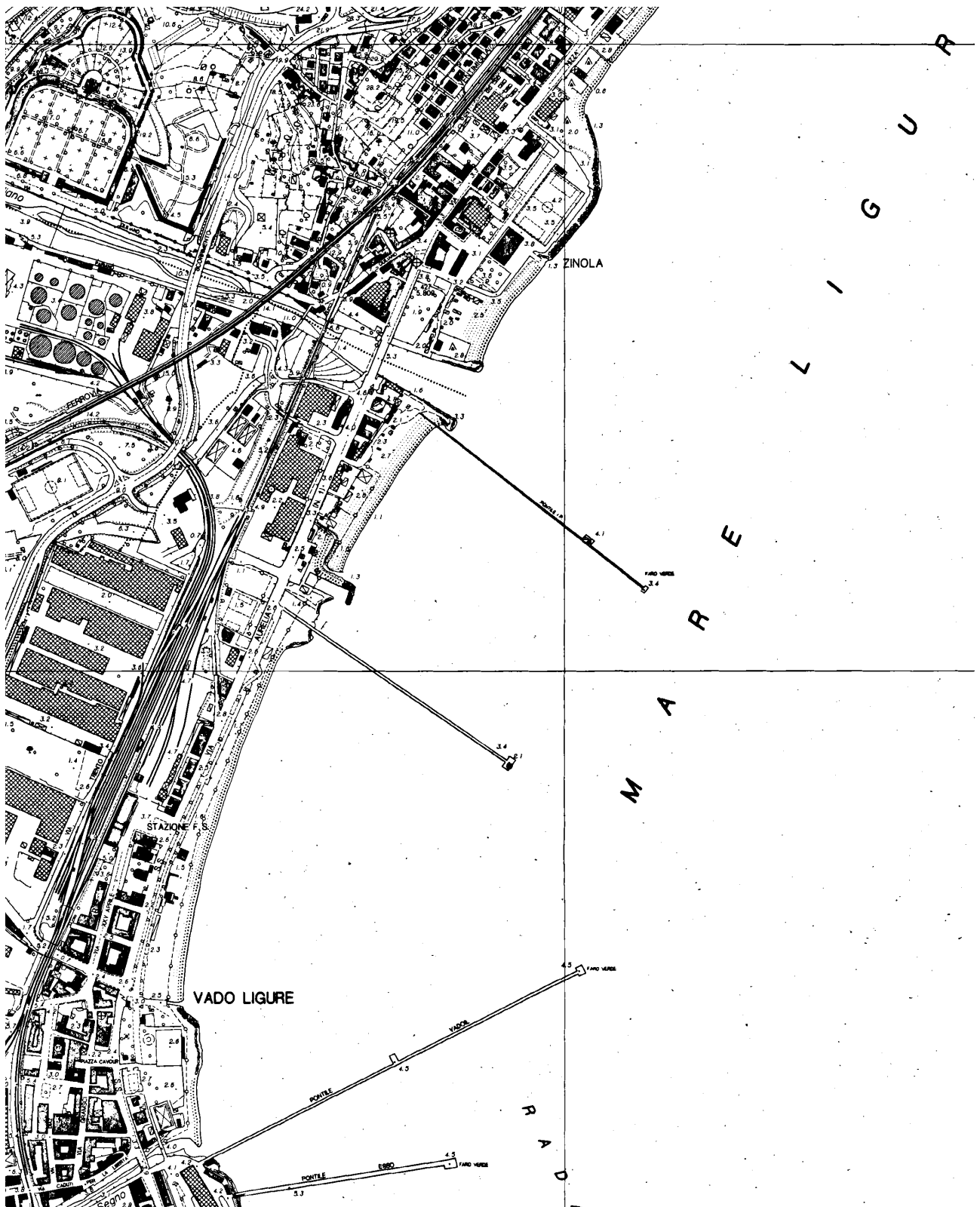


fig. 2.14 – Carta Tecnica Regionale della Liguria. Foglio

## 2.6 Dati batimetrici

La conformazione del fondale e la sua batimetria, sia relativamente alla rada che alla zona di mare antistante la diga foranea, sono essenziali per una modellazione tridimensionale accurata del campo di moto.

La ricostruzione delle quote di fondale è stata realizzata a partire dalle principali isobate di fig. 2.15, ricavate mediante digitalizzazione numerica dalla carta nautica I.I.M. n. 104; le quote dei fondali sono definite in metri rispetto al livello medio delle basse maree sizigiali ( $z_0 = 0.15$  m).

Per quanto riguarda la rada, alle quote corrispondenti al fondale naturale, mediamente compreso tra -3 e -50 m non si sovrappone la presenza di zone dragate, ad esempio allo scopo di consentire il movimento delle navi, per cui esse sono state utilizzate per la ricostruzione della superficie del fondale in tutta la zona prospiciente il litorale di Vado inclusa nell'area portuale.

Per quanto riguarda la zona di mare immediatamente al di fuori della diga foranea e nella zona più al largo, sono state considerate le isobate principali, avendo il fondale un andamento assai regolare e comunque già con profondità tali da non alterare la circolazione negli strati interessati dalla dispersione termica.

L'insieme delle informazioni raccolte ha consentito di poter ricostruire con una buona approssimazione l'intero fondale sia all'interno della rada che nella zona di mare più al largo.

## 2.7 Dati mareografici

I dati mareografici hanno lo scopo di fornire tutte le informazioni atte a definire il comportamento nel tempo del tratto di mare antistante l'impianto. Da essi verranno ricavate principalmente le informazioni relative all'andamento del livello medio del mare per i diversi periodi dell'anno, l'andamento delle maree, l'intensità e la direzione delle correnti, la temperatura del corpo idrico sia superficiale che profonda ed infine il comportamento del moto ondoso.

### 2.7.1 Andamento della corrente marina

La fonte principale di dati utilizzati per la determinazione dell'andamento delle correnti marine è costituita da tre campagne oceanografiche condotte in diversi periodi stagionali tra il 1973 ed il 1974 esattamente nel tratto di mare antistante il litorale di Vado Ligure, con un assetto portuale identico all'attuale salvo per la presenza di alcune strutture della calata nord, più recenti, che comunque sono collocate abbastanza lontano dai punti di misura utilizzati; più precisamente, le campagne riguardano il periodo maggio-giugno 1973, dicembre 1973 e febbraio-marzo 1974, quindi con caratteristiche rispettivamente estive, invernali e primaverili.

Tutti i dati misurati e successivamente elaborati sono stati organizzati nell'ambito della banca dati SIA (Sistema Informativo Ambientale) [23],[24] gestita attualmente da CESI, che tipicamente contiene una serie di informazioni sul territorio con particolare riferimento ai siti in cui sono ubicati impianti di produzione di energia. Le informazioni possono essere ottenute tramite una serie di elaborazioni grafiche e testuali che riguardano tra l'altro:

- a) posizione dei punti di misura nel reticolo idrografico;
- b) posizione delle catene correntometriche;
- c) batimetria del fondale rilevata nei punti di misura;

- d) andamento delle correnti e rosa delle correnti;
- e) mappe di isovalori di temperatura e salinità;
- f) andamento delle crociere di corrente.

I parametri fisici ed i valori di corrente sono stati rilevati nei punti indicati in fig. 2.16; in tale figura sono anche riportate le posizioni delle catene correntometriche e dei correntometri utilizzati, tutti in corrispondenza della batimetrica a -10 m, in prossimità della costa. Nella fattispecie, il correntometro C1 è localizzato a 44°17' N 8° 29' E, in corrispondenza della località Fornaci, presso Savona, il correntometro C2 è localizzato a 44° 16' N 8° 27' E in località Quiliano (molto vicino alla posizione dello scarico) ed infine il correntometro C3 è localizzato a 44°14' N 8° 27' E, in corrispondenza della attuale calata Nord del porto di Vado. Di conseguenza, i dati riportati coprono esattamente la zona di mare oggetto dello studio; nel periodo di tempo intercorso inoltre, come si può rilevare dallo studio [26], non sono intervenute modifiche significative del fondale tali da alterare i valori a suo tempo misurati.

La corrente marina nel tratto di mare prossimo alla costa considerato è fortemente influenzata da tre fattori, quali la circolazione generale nel mar Ligure, la corrente superficiale indotta dal vento e quella indotta dal moto ondoso. Per quanto riguarda la circolazione generale, la corrente marina è sempre tipicamente orientata parallelamente alla costa, prevalentemente orientata da SE a NW; infatti la corrente principale di superficie proviene nel mar Ligure dallo stretto di Gibilterra, lambisce le coste africane risale lungo il Tirreno, e si getta in questo bacino attraversando le isole dell'Arcipelago toscano e formando quindi nel Mar Ligure una circolazione ciclonica. L'intensità è compresa tra valori di 0.02 e 0.1 m/s, con una maggior frequenza (intorno all'80%) sul valore minimo di 0.02 m/s. Tali dati, reperibili anche in [26], hanno però un evidente carattere di generalità, per cui è stata fatta una analisi più approfondita degli andamenti di corrente misurati nelle campagne oceanografiche dai tre correntometri, allo scopo di individuare meglio le componenti di corrente in prossimità della costa ed evidenziare eventuali influenze stagionali.

L'analisi dei dati presenti sul Sistema Informativo Ambientale ha permesso di estrarre le distribuzioni di intensità e direzione di corrente misurate dai correntometri nei periodi estivo, invernale e primaverile, riportate in fig. 2.17, fig. 2.18 e fig. 2.19 rispettivamente. Da tale analisi si possono trarre le seguenti considerazioni:

1. esiste una direzione prevalente, sostanzialmente indipendente dalla stagione, centrata attorno ai 200° N (pressoché coincidente con la direzione SSW) per cui la corrente si muove da Savona verso il capo Vado parallelamente alla costa;
2. esiste una direzione opposta alla precedente che si manifesta con durata significativa soltanto nella stagione estiva, ma con intensità molto basse e con una notevole variabilità in direzione attorno ai 45 °N;
3. l'intensità è in generale compresa tra 0.01 e 0.2 m/s, con una decisa prevalenza di valori inferiori a 0.1 m/s nel periodo estivo e valori un po' più elevati (0.15÷0.2 m/s) nei periodi invernale e primaverile.



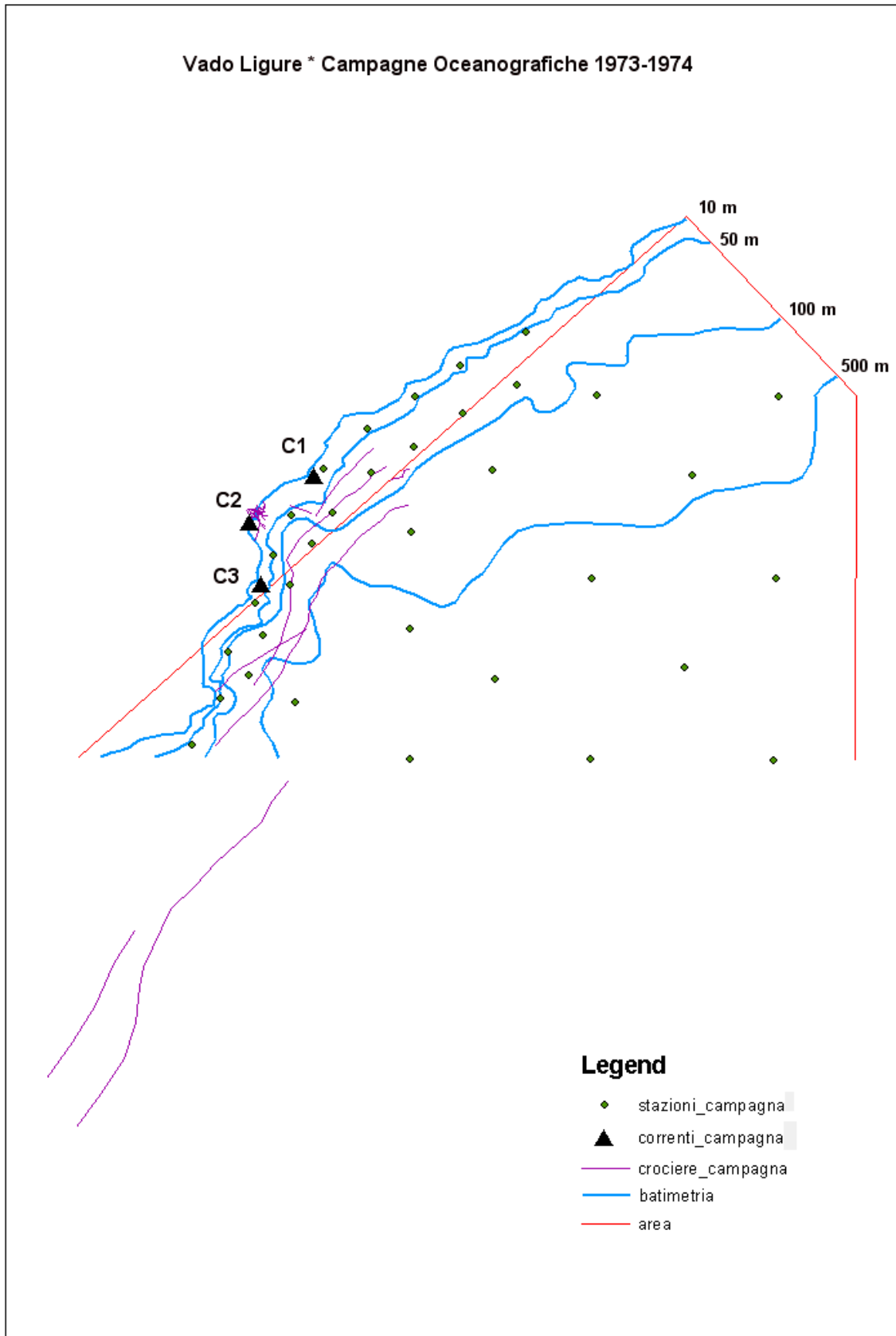


fig. 2.16 – Localizzazione dei correntometri nell’area di campagna

Di conseguenza, si ritiene che la situazione tipica presente nel bacino di Vado Ligure sia quella di una corrente di intensità pari a 0.1 m/s diretta verso SSW. Va considerato che la misura dei correntometri tiene conto di tutte le componenti che concorrono alla determinazione dell'andamento della corrente marina, per cui si può pensare che il valore di intensità mediamente più elevato rispetto a quello attribuibile alla sola componente di circolazione generale sia dovuto alla componente indotta dal vento e dal moto ondoso. Ciò è confermato dall'analisi dei dati contenuti in [26], che riportano i risultati della simulazione dell'andamento della corrente in porto legato proprio a queste due componenti.

### **2.7.2 Moto ondoso**

I dati relativi al moto ondoso non rivestono in questo caso, per lo studio di diffusione termica, una particolare rilevanza, in quanto la presenza di un forte moto ondoso causato da un forte vento non rappresenta una situazione critica in quanto la dispersione viene favorita in queste condizioni. Condizioni più critiche dal punto di vista della dispersione fanno riferimento a venti di intensità moderata o a situazioni di calme di vento, che però corrispondono in generale ad un moto ondoso non particolarmente sviluppato. Per quanto riguarda poi l'effetto sulla corrente marina, esso è tenuto in conto nel termine di corrente discusso al paragrafo precedente.

### **2.7.3 Gradiente di densità**

L'eventuale presenza di un gradiente verticale di densità nel tratto di mare interessato dalla dispersione termica, dipendente tipicamente da temperatura e salinità, può influenzare il galleggiamento del pennacchio termico ove interessasse anche gli strati superficiali della massa d'acqua. Per verificare l'eventuale esistenza di un gradiente di questo tipo nella rada di Vado, sono stati analizzati i dati provenienti dalle campagne di misura già utilizzate per la definizione della corrente marina.

In particolare il profilo verticale di temperatura è riportato in fig. 2.20 mentre quello di salinità è riportato in fig. 2.21. Ciascun grafico riporta poi tre distinte curve, che fanno riferimento ai diversi periodi, estivo (campagna 1), invernale (campagna 2) e primaverile (campagna 3) rispettivamente.

Dall'esame del profilo di temperatura, si osserva la presenza di un gradiente verticale significativo solo nel periodo estivo, mentre per la salinità si ha una variabilità significativa nel periodo primaverile, probabilmente a causa dell'apporto di acque dolci di natura piovana nel bacino, con l'eccezione di un punto di misura per l'andamento estivo, chiaramente errato.

Per quanto riguarda l'andamento della densità, quindi, si può concludere che si hanno variazioni significative solo nel periodo estivo e pre estivo; tuttavia le variazioni sono sensibili solo a profondità superiori ai 10 m, e quindi non hanno influenza significativa sulla dispersione termica che invece è un fenomeno che riguarda lo strato più superficiale del mare.



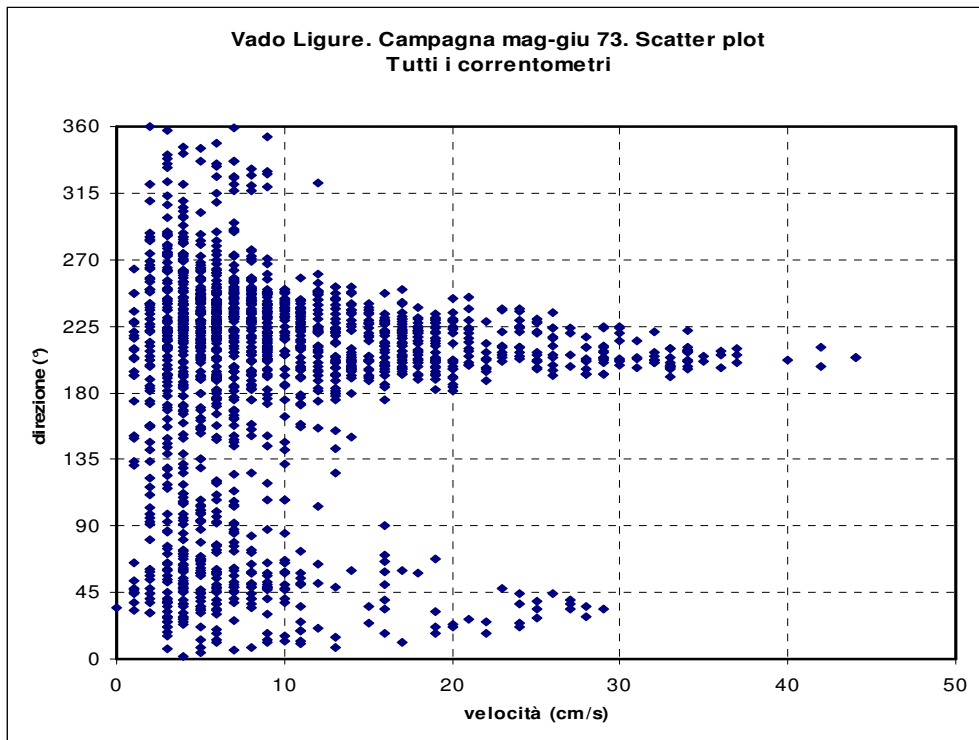


fig. 2.17 – Andamento tipico estivo della corrente nella rada di Vado Ligure

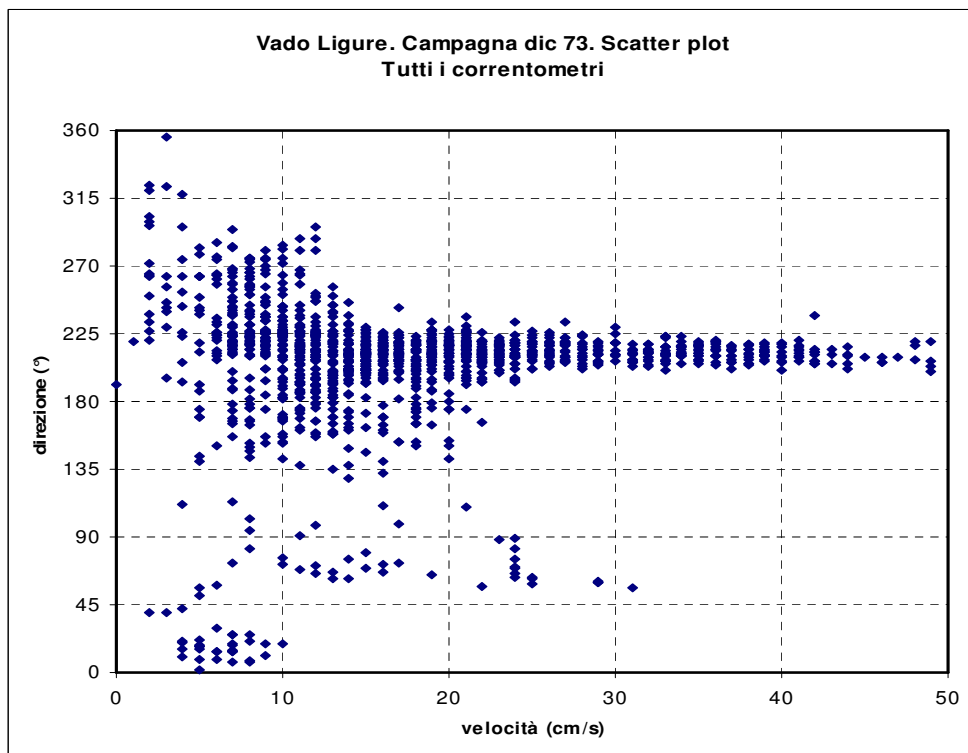


fig. 2.18 - Andamento tipico invernale della corrente nella rada di Vado Ligure

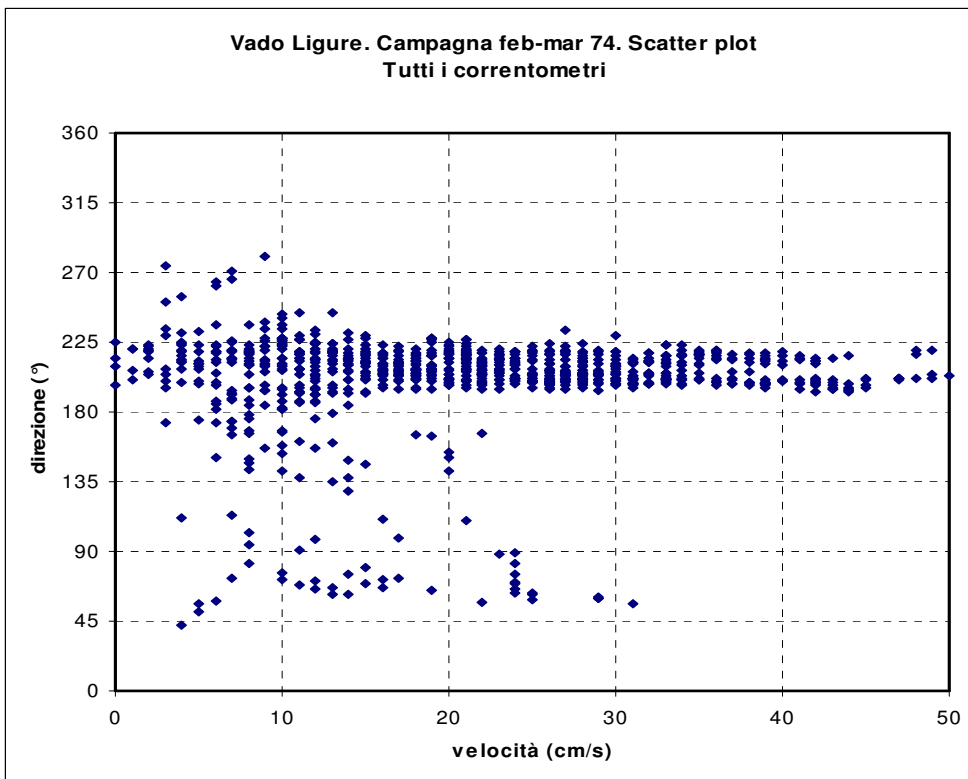


fig. 2.19 - Andamento tipico primaverile della corrente nella rada di Vado Ligure

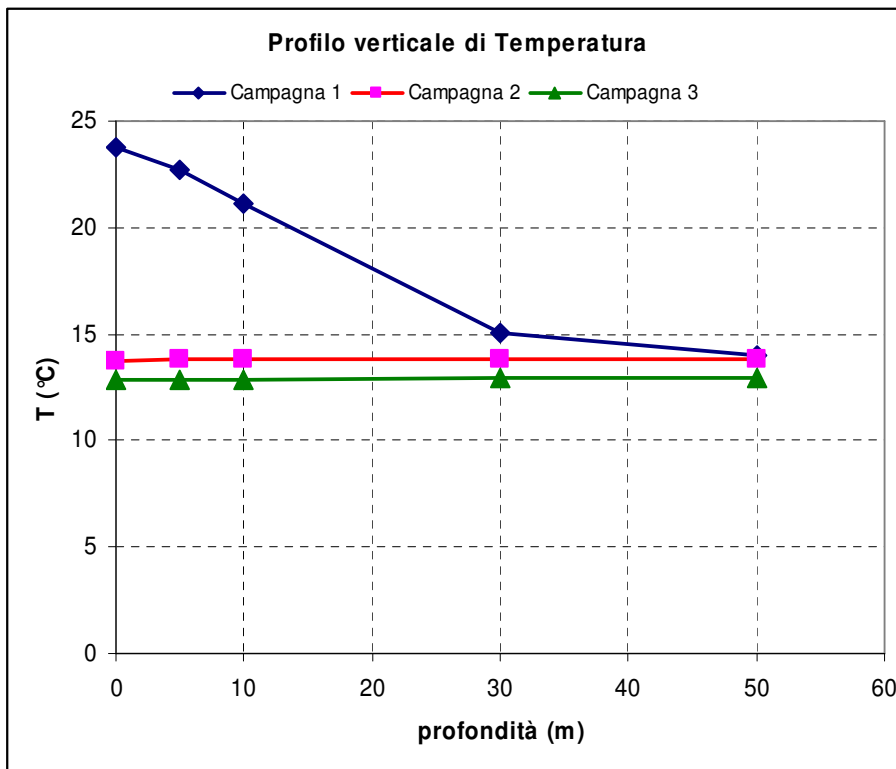
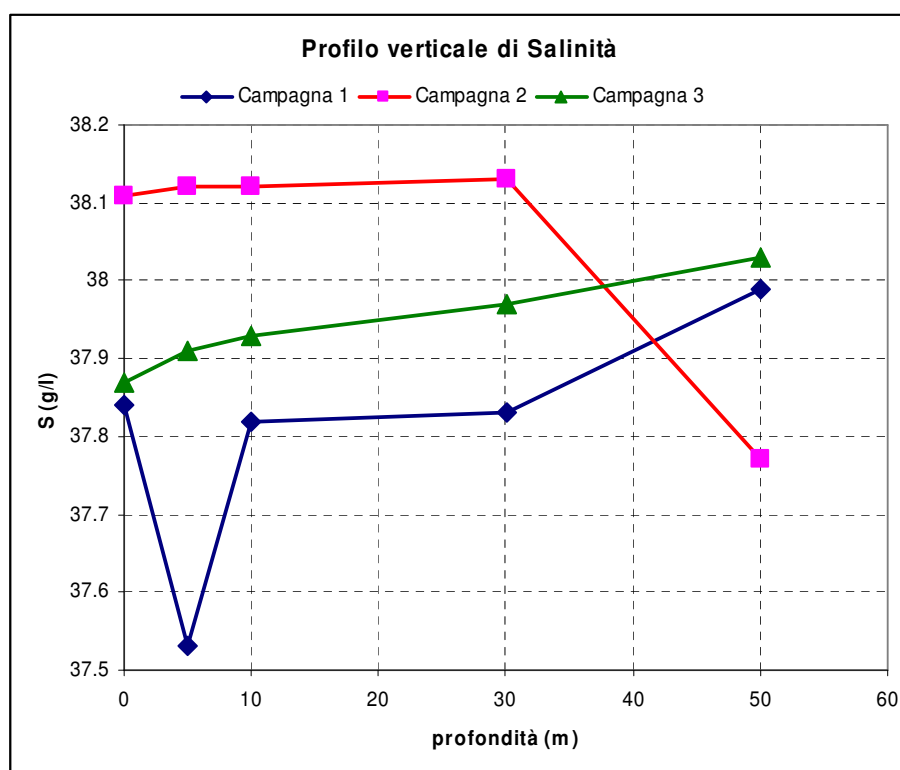


fig. 2.20 - Campagne oceanografiche. Profilo verticale di temperatura



**fig. 2.21 - Campagne oceanografiche. Profilo verticale di salinità**

#### 2.7.4 Livello marino

Il livello marino in rada è fondamentalmente determinato dalla marea. Dati relativi a valori di livello marino sono già contenuti nei dati relativi alle campagne oceanografiche considerate per la valutazione della corrente marina; tali informazioni però, anche se dettagliate, sono relative ai soli periodi in cui sono state effettuate le misure, e comunque non avendo a disposizione i dati grezzi originali non sono utilizzabili per trarne una funzione di carattere generale capace di fornire il valore del livello marino per ogni situazione di modellazione.

Per ovviare a ciò, anche sulla base di precedenti esperienze, è stato utilizzato il simulatore di marea WXTIDE32 [16], che è in grado di ricostruire il valore di marea ed il livello per ogni località marina sulla base delle coordinate geografiche.

Nel caso della rada di Vado Ligure, con coordinate geografiche  $8^{\circ} 27.0' E$ ,  $44^{\circ} 16' N$ , l'andamento mareale tipico è quello riportato in fig. 2.22, in cui vengono riprodotte situazioni tipiche di marea sia alle sizigie che alle quadrature; le aree bianche e grigie rappresentano l'alternanza giorno/notte, le aree blu e rosse rappresentano i periodi di marea crescente a decrescente rispettivamente, la linea verde il valore medio di livello marino ed infine la linea scura il valore medio di bassa marea (media dei minimi). Va inoltre tenuto presente, nell'analisi della figura, che essa è riferita alla stazione mareografica più vicina (Genova,  $44^{\circ} 24' N$   $8^{\circ} 54' E$ ) e che a Vado Ligure il livello indicato si presenta con un ritardo di circa 15 minuti.

Tipicamente, per il parametro livello di marea si hanno i seguenti valori:

- a) *luna nuova*: l'escursione di livello è dell'ordine di 41 cm;
- b) *primo quarto*: l'escursione di livello è dell'ordine di 9 cm;
- c) *luna piena*: l'escursione di livello è dell'ordine di 38 cm;
- d) *ultimo quarto*: l'escursione di livello è dell'ordine di 11 cm.

Il livello medio mare a sua volta presenta uno spostamento di + 0.15 m rispetto al livello marino minimo. Tenendo presente che la variazione di livello rispetto al livello di medio mare è comunque in media non superiore a 20 cm alle sizigie e che la variazione di livello con la marea presenta un periodo di circa 6 ore, ai fini della simulazione di dispersione verrà considerato un livello medio di riferimento pari al livello di medio mare.

### 2.7.5 *Temperatura e salinità del mare*

La temperatura del mare è caratterizzata da una grande variabilità stagionale, rappresentata in media, per lo strato superficiale, da due valori stagionali, l'uno pari a 22.6 °C tipico della condizione estivo/autunnale, con punte nei mesi di luglio ed agosto di circa 24 °C e l'altro pari a 12.4 °C tipico della stagione invernale/primaverile; gli andamenti di temperatura rilevati da [17], come medie stagionali sugli ultimi 10 anni sono riportati in fig. 2.23 e fig. 2.24 rispettivamente.

Una ulteriore fonte di informazione è rappresentata ancora una volta dai dati ottenuti nel corso delle campagne oceanografiche già citate a proposito della corrente marina e già discussi al precedente paragrafo 2.7.3.

Per le condizioni in cui avviene il prelievo e lo scarico dell'acqua di raffreddamento, la situazione estiva è da considerarsi la più critica ai fini della diffusione termica e viene qui assunta come condizione di riferimento per l'analisi.

Per quanto riguarda il valore di temperatura del mare, però, è necessario fare riferimento più che ad un valore medio calcolato sulla base di osservazioni di carattere meteorologico a valori più localizzati e che hanno un impatto diretto sulla dispersione. Si è perciò fatto diretto riferimento ai dati misurati alla presa dalla centrale per il periodo 2002-2004, di cui nelle tabelle dalla tab. 2.3 alla tab. 2.5 sono riportati i valori giornalieri e medi mensili per i rispettivi periodi estivi; nella tab. 2.6, infine, sono state riportate le medie mensili sull'intero periodo, e le medie stagionali. Si può notare come il valore medio estivo risultante sia pari a 24.1 °C, che da un lato è in buon accordo con il dato massimo di fig. 2.23 (si tenga presente che il 2003, non incluso nelle elaborazioni della fig. 2.23, è stato un anno con temperature decisamente sopra le medie stagionali), e dall'altro rappresenta il valore limite ammissibile a fronte di un incremento termico allo scarico a pieno carico di 10.5 °C per poter rispettare il limite di legge di 35 °C allo scarico stesso; temperature del mare superiori obbligherebbero comunque a ridurre il carico, e quindi a disperdere una minore quantità di calore. Per lo studio sarà quindi assunto un valore di temperatura naturale del mare di 24.1 °C.

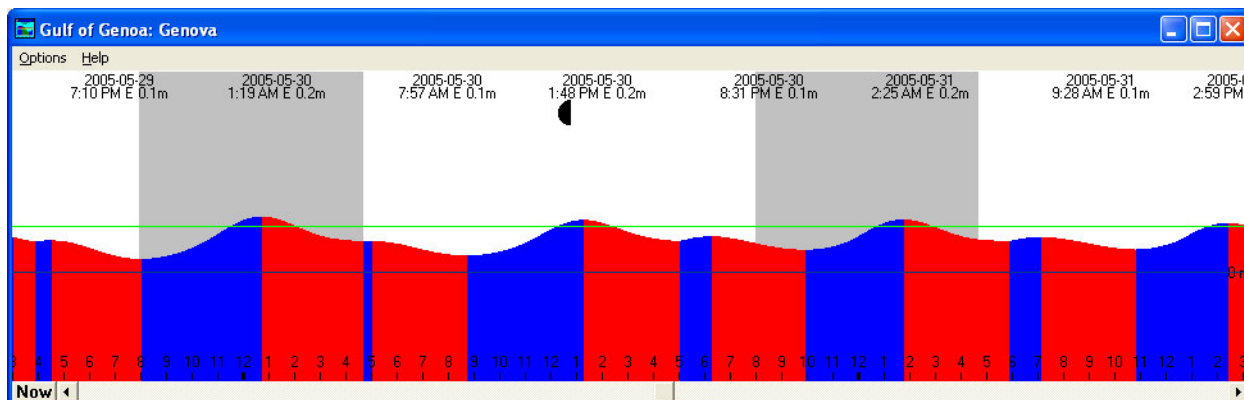
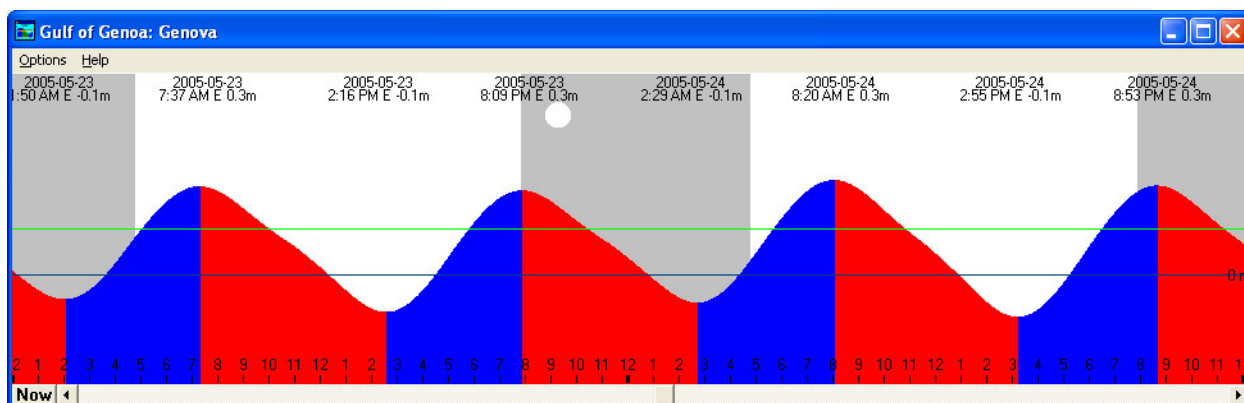
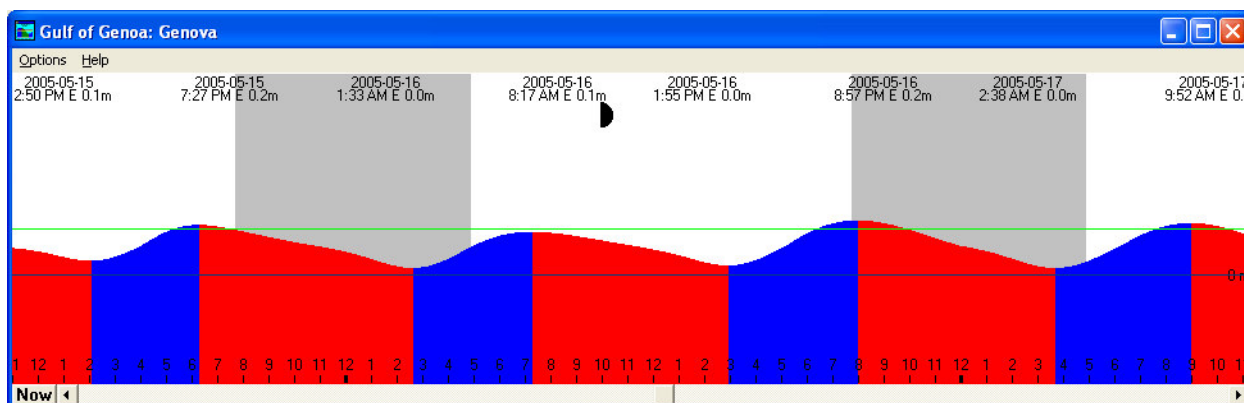
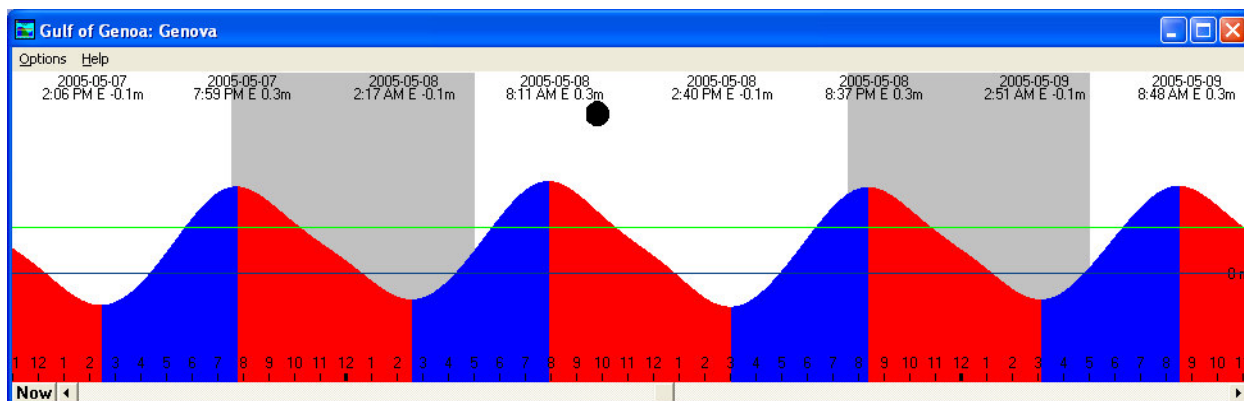


fig. 2.22 – Stazione di Genova. Andamento mareale da WXTide32 con le diverse fasi lunari

## Sea Surface Temp.

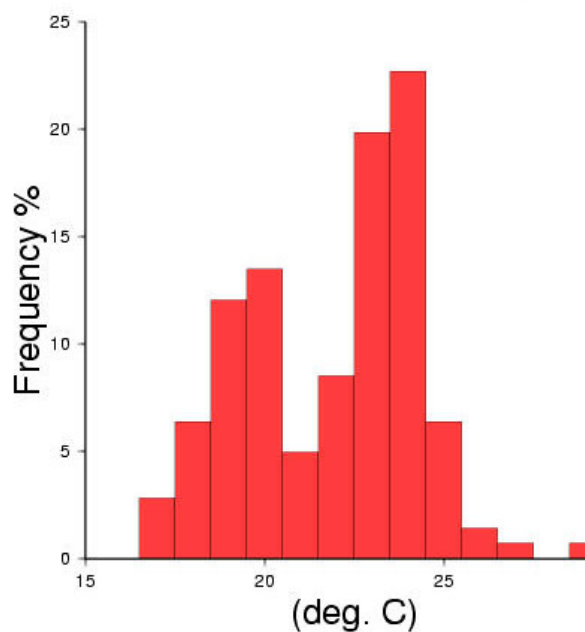


fig. 2.23 - Andamento medio della temperatura del mare in superficie (periodo estivo)

## Sea Surface Temp.

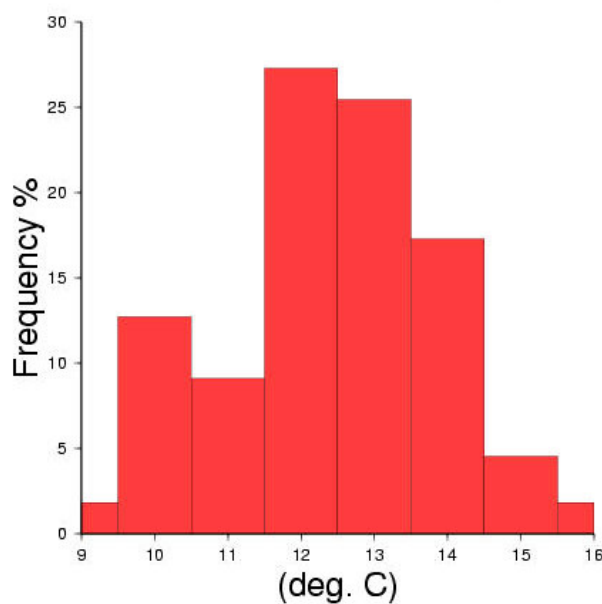


fig. 2.24 - Andamento medio della temperatura del mare in superficie (periodo invernale)



Temperature acqua condensatrice mese di GIUGNO	
Giorno	°C
1	19
2	19.2
3	19.2
4	20
5	20
6	20.3
7	20
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	20.4
15	20.4
16	20.6
17	20.6
18	20.6
19	20.7
20	21.2
21	22.2
22	21.9
23	22.3
24	21
25	21.8
26	21.8
27	22.1
28	22.6
29	19.9
30	20.3
<b>MEDIA</b>	<b>20.8</b>

Temperature acqua condensatrice mese di LUGLIO	
Giorno	°C
1	21.6
2	22.1
3	23
4	
5	
6	
7	23.5
8	23.4
9	23.4
10	23.6
11	24
12	24.5
13	24.8
14	23.7
15	23.6
16	23.6
17	23.2
18	23.4
19	23
20	23.4
21	23.3
22	24.2
23	23.9
24	
25	24
26	24
27	23.8
28	23.6
29	24
30	24.2
31	24.2
<b>MEDIA</b>	<b>23.6</b>

Temperature acqua condensatrice mese di AGOSTO	
Giorno	°C
1	24.6
2	24.6
3	24.9
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	23.5
15	23.9
16	23.8
17	23.6
18	24
19	23.9
20	23.9
21	24.2
22	24.9
23	24
24	23.8
25	23.5
26	23.5
27	23.9
28	23.9
29	23.6
30	23.8
31	23.8
<b>MEDIA</b>	<b>24.0</b>

Temperature acqua condensatrice mese di SETTEMBRE	
Giorno	°C
1	23.8
2	23.3
3	
4	23.4
5	23
6	23
7	23
8	23.3
9	23.2
10	23
11	23
12	23.2
13	22.9
14	22.4
15	22.6
16	22.8
17	22.7
18	22.8
19	23
20	22.8
21	23
22	23.4
23	23
24	22.5
25	22.5
26	22.4
27	22
28	21.7
29	21.4
30	21.2
<b>MEDIA</b>	<b>22.8</b>

tab. 2.3 – Temperatura alla presa. Valori giornalieri e media mensile nel periodo estivo (2002)



Temperature acqua condensatrice mese di GIUGNO	
Giorno	°C
1	20
2	19.6
3	17.6
4	20
5	19.3
6	21.7
7	22.3
8	22.9
9	23
10	21.3
11	22.2
12	23
13	22
14	22.8
15	23
16	20
17	21.8
18	22.6
19	22.6
20	24.3
21	26
22	24.7
23	25.5
24	26
25	26.6
26	26.4
27	26.8
28	27.1
29	26.4
30	27.1
<b>MEDIA</b>	<b>23.2</b>

Temperature acqua condensatrice mese di LUGLIO	
Giorno	°C
1	27.1
2	26.6
3	27.4
4	26
5	25
6	25.3
7	25
8	25
9	25
10	25.2
11	25.6
12	25.2
13	25.7
14	26
15	26.6
16	26.8
17	26.7
18	26.1
19	25.7
20	26.6
21	27
22	26.9
23	28.1
24	26.8
25	26.9
26	27
27	27.6
28	27.4
29	27.2
30	27
31	26.5
<b>MEDIA</b>	<b>26.4</b>

Temperature acqua condensatrice mese di AGOSTO	
Giorno	°C
1	26.6
2	26
3	26.8
4	26.3
5	26.6
6	26.9
7	26.2
8	26.4
9	26.3
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	28.4
19	28.3
20	28.1
21	27.9
22	28
23	28.5
24	28.6
25	28
26	27.6
27	28
28	28
29	28
30	27.6
31	27.2
<b>MEDIA</b>	<b>27.4</b>

Temperature acqua condensatrice mese di SETTEMBRE	
Giorno	°C
1	26.7
2	26.2
3	25.9
4	25.2
5	25
6	25
7	24.8
8	25
9	24.6
10	24.6
11	24.6
12	24.5
13	24
14	23.8
15	23.7
16	23.3
17	23.4
18	23.5
19	23
20	23.5
21	23.5
22	23.6
23	23
24	23
25	23.1
26	22.7
27	22.7
28	22.5
29	22
30	23
<b>MEDIA</b>	<b>24.0</b>

tab. 2.4 - Temperatura alla presa. Valori giornalieri e media mensile nel periodo estivo (2003)





Temperature acqua condensatrice mese di GIUGNO	
Giorno	°C
1	19
2	20
3	20
4	19.5
5	19.6
6	20
7	19.5
8	20.5
9	20.4
10	21.1
11	23
12	23
13	21.7
14	22
15	21.2
16	21.5
17	20.9
18	21.7
19	22.5
20	22.3
21	21.8
22	22.4
23	22.6
24	22.4
25	22
26	22
27	23
28	23.3
29	24.2
30	23
<b>MEDIA</b>	<b>21.5</b>

Temperature acqua condensatrice mese di LUGLIO	
Giorno	°C
1	22.5
2	24.8
3	23.5
4	24.5
5	24.8
6	24.7
7	24.8
8	24
9	24
10	24.7
11	24.3
12	25
13	23.7
14	23.9
15	23.8
16	24.2
17	23.5
18	24
19	24
20	24.1
21	24.7
22	24.4
23	24.7
24	25.5
25	25.1
26	24.5
27	24.2
28	24.4
29	24.5
30	24.5
31	24
<b>MEDIA</b>	<b>24.3</b>

Temperature acqua condensatrice mese di AGOSTO	
Giorno	°C
1	
2	
3	25.5
4	25.7
5	24.5
6	24.7
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	26
18	26.5
19	25.4
20	25.9
21	25.2
22	25
23	25
24	25.1
25	25.3
26	24.7
27	24.7
28	25.2
29	25.4
30	25.6
31	25.1
<b>MEDIA</b>	<b>25.3</b>

Temperature acqua condensatrice mese di SETTEMBRE	
Giorno	°C
1	24.7
2	24.6
3	24.8
4	25.1
5	24.6
6	24.9
7	24.7
8	24.6
9	24.5
10	24.5
11	24.3
12	24.7
13	24.9
14	24.5
15	24.3
16	24
17	23.6
18	23.5
19	23.4
20	23.5
21	23.9
22	23.9
23	24.1
24	24
25	23.4
26	23
27	22.9
28	22.8
29	22.3
30	22.7
<b>MEDIA</b>	<b>24.0</b>

tab. 2.5 - Temperatura alla presa. Valori giornalieri e media mensile nel periodo estivo (2004)

## Dati acqua condensatrice da centrale (°C)

	2002	2003	2004	medie
gen	13.8	14.2	14.7	14.2
feb	13.2	13.3	13	13.2
mar	13.5	13.7	13	13.4
apr	14.3	17	14.4	15.2
mag	17.9	18.8	17.8	18.2
giu	20.8	23.2	21.5	21.8
lug	23.6	26.4	24.3	24.8
ago	24	27.4	25.3	25.6
sett	22.8	24	24	23.6
ott	20.7	20.6	21.6	21.0
nov	17.9	17.8		17.9
dic	15.9	16.2		16.1
<i>primavera</i>		15.6		
<i>estate</i>		24.1		
<i>autunno</i>		20.8		
<i>inverno</i>		14.5		

tab. 2.6 - Temperatura alla presa. Valori medi mensili calcolati per il periodo 2002-2004

## 2.8 Dati meteorologici

I dati meteorologici necessari al modello fanno riferimento in particolare alle condizioni di temperatura e di vento nei bassi strati dell'atmosfera, in prossimità del sito della centrale. Infatti, essi vengono scelti allo scopo di valutare correttamente lo scambio termico con l'atmosfera e l'eventuale correlazione presente con l'andamento delle correnti, nelle varie stagioni e condizioni climatiche.

La direzione del vento nella rada di Vado Ligure è fondamentalmente condizionata dalle caratteristiche morfologiche del bacino, assai ampio e con alture di altezza limitata in prossimità della costa. La determinazione del regime dei venti è stata effettuata sulla base di due distinte fonti:

1. campagna di misura condotta nell'area di centrale nel periodo 1997-1998 [35],[36],[37],[38];
2. dati provenienti dalla banca di osservazioni meteorologiche ENELAM [28].

### 2.8.1 Dati dalla campagna 1997-1998

I dati cui ci si riferisce sono stati rilevati nel corso di una campagna di misura estesa al periodo 1997-1998, da una stazione di rilevamento di intensità e direzione di vento collocata nel perimetro della centrale, e quindi ad una quota prossima al livello del mare. I dati, rilevati su base oraria dal luglio 1997 al dicembre 1998, sono stati poi opportunamente aggregati per ottenere la dispersione dei valori di intensità con la direzione medi stagionali ed annuali, come riportato nelle figure dalla fig. 2.25 alla fig. 2.29, nelle condizioni medie stagionali e come media annuale.

L'esame dei dati osservati porta a concludere che:

1. *nel periodo estivo* sono prevalenti due direzioni, la prima intorno ai  $315^\circ$  corrispondenti alla direzione da NW (maestrale), ben collimata e con intensità massime intorno agli 8 nodi, la seconda centrata intorno a  $112.5^\circ$ , ma con una distribuzione più sparsa che copre il settore tra le direzioni E (levante) e SE (scirocco), con intensità assai varie ma comunque inferiori per la massima parte ai 5 nodi. Si distingue inoltre un picco intorno ai  $67.5^\circ$  (ENE) con intensità intorno ai 7 nodi;
2. *nel periodo autunnale* si ha una situazione simile a quella estiva, ma con una maggior frequenza per i venti di maestrale, con intensità che giungono a 13 nodi;
3. *nel periodo invernale* si rafforza la tendenza già prevalente nel periodo autunnale, con venti di maestrale che rinforzano fino a 16 nodi;
4. *nel periodo primaverile*, viceversa, pur mantenendosi una buona frequenza per i venti dal settore di NW, con intensità fino a 12 nodi, si ha un manifestarsi di venti anche di forte intensità sia dal primo che dal secondo quadrante, con venti di scirocco che rinforzano fino a 14 nodi;
5. considerando l'intero arco dell'anno, infine, si ha un'alta frequenza di venti anche forti dal quarto quadrante, e venti più moderati dai primi due quadranti.

Poiché le condizioni più critiche individuate per il presente studio sono quelle corrispondenti al periodo estivo, dall'analisi dei dati sopra riportati si può ritenere che le condizioni di vento da considerarsi siano quelle tipiche di vento da NW (maestrale) e di vento da SE (scirocco), con intensità media intorno agli 8 nodi. Tuttavia va rilevato che ai fini della dispersione termica è fortemente critica anche la condizione di

calma di vento (intensità < 1 nodo), che però sembra trascurabile (356 eventi su 11959 misure valide effettuate).

### 2.8.2 *Dati provenienti dalla banca di osservazioni meteorologiche ENELAM*

Tali dati sono stati qui ricavati dalla banca dati “Caratteristiche diffusive dei bassi strati dell’atmosfera” realizzata congiuntamente da Enel e dal Servizio Meteorologico dell’Aeronautica Militare (SMAM) ed in gestione al CESI. In essa in particolare sono raccolti i dati di 185 stazioni meteorologiche dell’Aeronautica e di alcune stazioni poste presso centrali Enel dal 1951 al 1997.

Tale banca è in grado di fornire una serie di tabelle, organizzate a seconda del parametro di interesse, in grado di fornire opportune medie sulle grandezze di maggior interesse meteorologico. In particolare i parametri più significativi ai fini dello studio che possono essere ricavati da tale fonte riguardano l’intensità dei fenomeni e le frequenze stagionali ed annuali con cui essi si verificano ed in particolare:

- direzione di provenienza del vento
- velocità del vento
- temperatura dell’aria
- umidità relativa
- precipitazioni
- nuvolosità parziale e totale
- visibilità orizzontale
- tempo presente (precipitazioni, nebbie, ecc. al momento dell’osservazione)

con in aggiunta i dati di insolazione provenienti dalla rete SMAM misurati con frequenza giornaliera; ciò comunque che interessa ai fini del modello fluidodinamico sono essenzialmente la velocità e la direzione dei venti. Infatti, gli indici di ventosità, espressi dalla frequenza delle calme di vento, delle classi di velocità e dei settori di provenienza su base annuale e stagionale, consentono di caratterizzare i fenomeni relativi all’atmosfera ed alla sua interazione con la superficie del mare. In particolare, gli indici di ventosità sono essenzialmente tre:

1. *frequenza delle calme di vento*: numero di eventi anemometrici con calma di vento riferito al numero di osservazioni
2. *frequenza direzioni di provenienza del vento*: numero di eventi anemometrici con direzione compresa entro un settore di provenienza riferito al numero delle osservazioni
3. *frequenza delle classi di velocità del vento*: numero di eventi anemometrici con velocità del vento compresa entro un prefissato intervallo di valori riferito al numero delle osservazioni.

I settori di riferimento per la direzione del vento sono 16, di ampiezza pari a 22.5°, numerati a partire dal nord geografico, mentre le classi di velocità sono definite come:

- |      |                      |     |                |
|------|----------------------|-----|----------------|
| I .  | velocità < 0.5       | m/s | calma di vento |
| II . | 0.5 ≤ velocità < 2.0 | m/s | bava di vento  |

III .	$2.0 \leq \text{velocità} < 4.0$	m/s	brezza leggera
IV .	$4.0 \leq \text{velocità} < 6.0$	m/s	brezza tesa
V .	$6.0 \leq \text{velocità} < 12.0$	m/s	vento teso
VI .	$12.0 \leq \text{velocità}$	m/s	vento forte.

Relativamente al sito di Vado Ligure, sono disponibili sia i dati della stazione di Albenga (situata a  $44^{\circ}03'00''$  N  $08^{\circ}07'00''$  E a circa 30 km ad ovest di Vado Ligure) raccolti dal 1952 al 1989, sia quelli della stazione di Genova Sestri (situata a  $44^{\circ}25'00''$  N  $08^{\circ}51'00''$  E a circa 40 km ad est di Vado Ligure) raccolti dal 1963 al 1991, che consentono di poter effettuare medie su un arco di anni sufficiente a valutare l'aspetto tendenziale medio su periodi, ad esempio, stagionali.

Facendo riferimento alla stazione di Albenga, collocata ad una quota di 49 m s.l.m., sono state estratte le tabelle stagionali e la tabella annuale della distribuzione delle frequenze. Tali tabelle, poi, sono state rielaborate in forma grafica allo scopo di meglio evidenziare il legame del vento, in termini di frequenza e direzione, con gli andamenti stagionali e la persistenza delle diverse situazioni anemometriche; i risultati di tali elaborazioni sono riassunti in fig. 2.30 ed in fig. 2.31. L'esame degli andamenti del vento mostra chiaramente come sia presente una forte componente da NE (grecale), e due componenti significative dai settori di NW (maestrale) e SE (scirocco); i valori di intensità del vento sono in generale abbastanza bassi, dell'ordine di  $2 \div 4$  nodi, con rinforzi nelle direzioni sopra citate che possono arrivare a  $12 \div 14$  nodi (medie annuali). Due ulteriori osservazioni possono essere estrapolate dai dati:

- la situazione di calma di vento è particolarmente significativa, raggiungendo su base annua il 48.3%;
- le condizioni estive, di particolare interesse per il presente studio, mostrano una forte dominanza dei venti dal primo quadrante, così come avviene nel periodo primaverile, mentre viceversa nei periodi autunnale ed invernale si manifesta una prevalenza dei venti dal secondo e quarto quadrante.

Facendo riferimento invece alla stazione di Genova Sestri, collocata ad una quota di 3 m s.l.m., e le cui osservazioni sono raccolte in fig. 2.32 ed in fig. 2.33, si hanno venti di media intensità, con un 26 % circa di frequenza annuale di calma di vento ed il 17 % circa di vento forte; inoltre l'esame della direzione prevalente mette in evidenza una marcata preferenza per venti provenienti dal primo quadrante, in tutte le stagioni, con la presenza di venti provenienti anche dai quadranti meridionali nella stagione estiva.

### 2.8.3 Condizioni di ventosità utilizzati nello studio

Il confronto tra i dati rilevati in centrale e quelli provenienti dalla stazione di Albenga dell'Aeronautica Militare mostra che, accanto alla corrispondenza per i venti dal quarto quadrante, i venti che insistono prevalentemente dal primo quadrante ad Albenga sono spostati nel secondo quadrante a Vado anche nel periodo estivo. Si ritiene pertanto, essendo il periodo estivo quello più critico, di considerare ai fini del presente studio tre situazioni di vento, con frequenze di accadimento diverse ma che rivestono grande importanza per la loro influenza sullo strato superficiale del mare e quindi sul trascinamento del pennacchio termico:

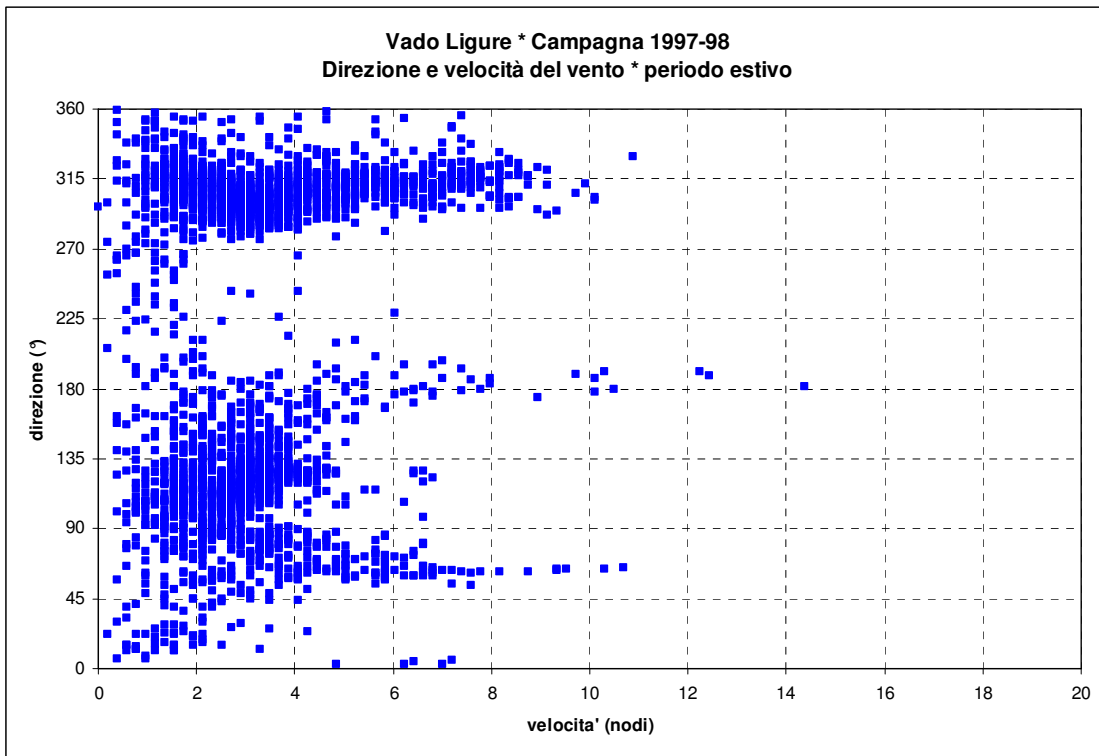


fig. 2.25 – Misure anemometriche nell’area di centrale 1997-1998. Andamento medio estivo

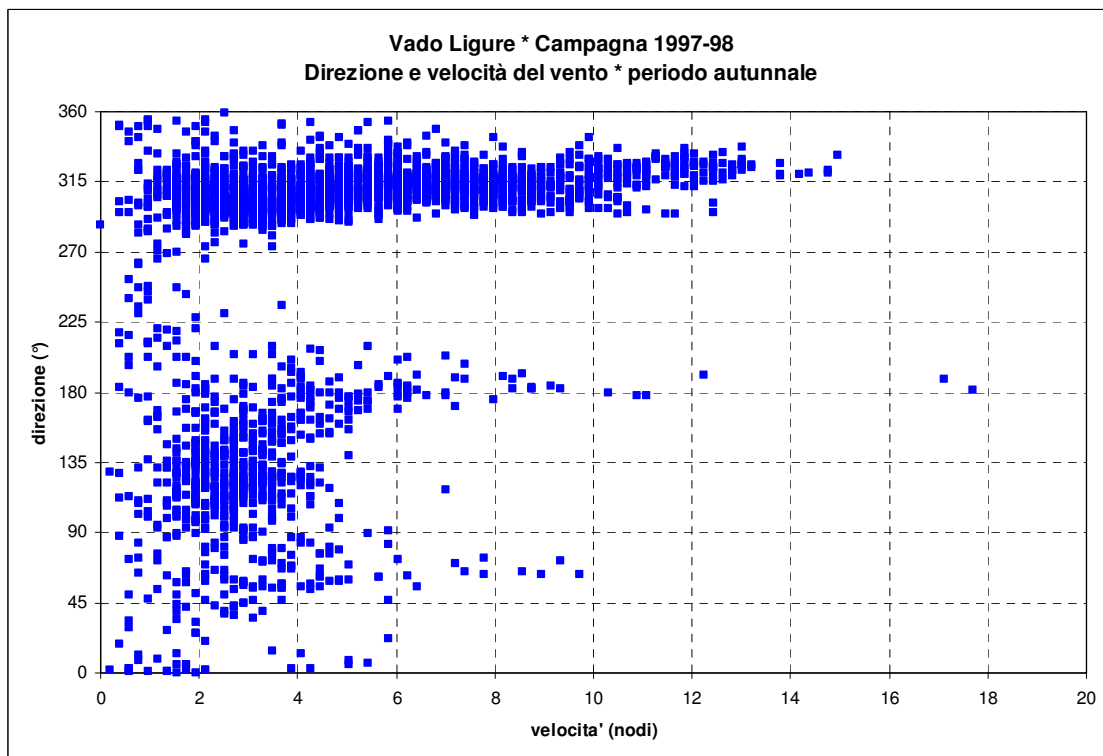


fig. 2.26 - Misure anemometriche nell’area di centrale 1997-1998. Andamento medio autunnale



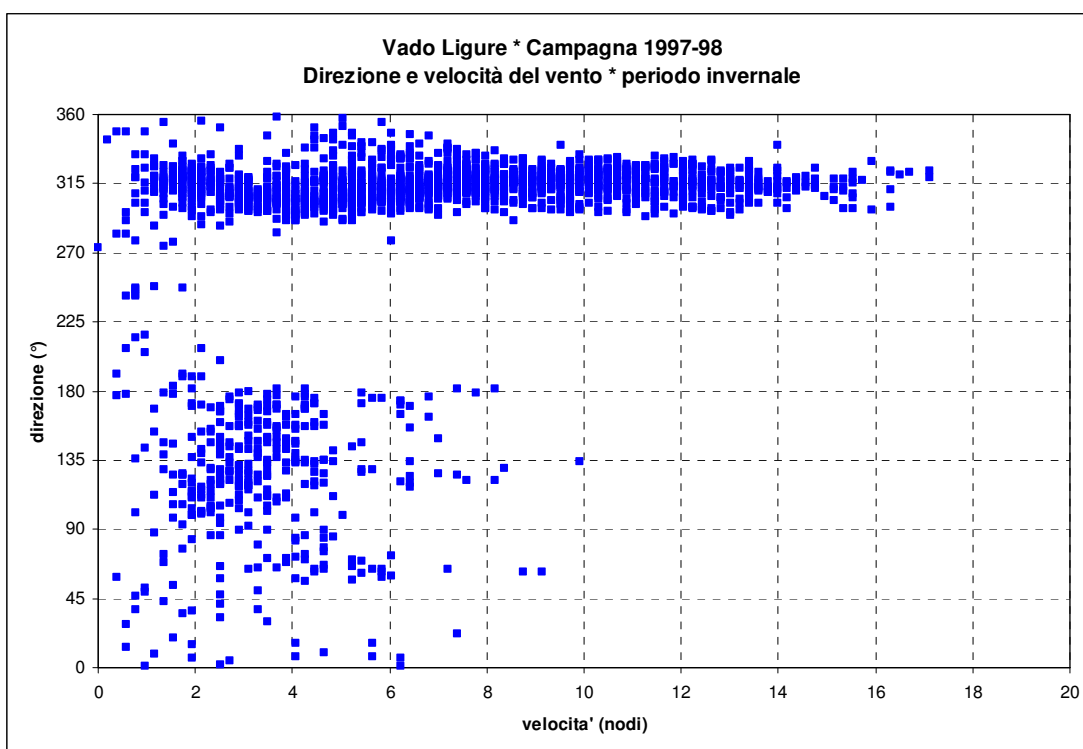


fig. 2.27 – Misure anemometriche nell’area di centrale 1997-1998. Andamento medio invernale

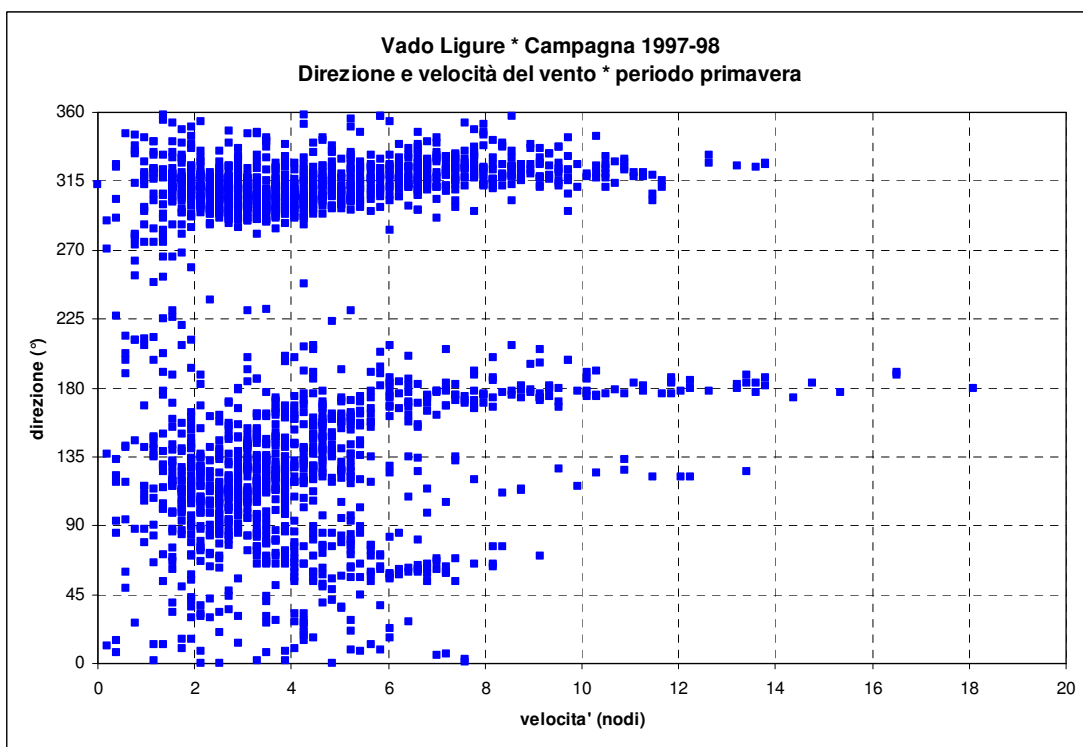
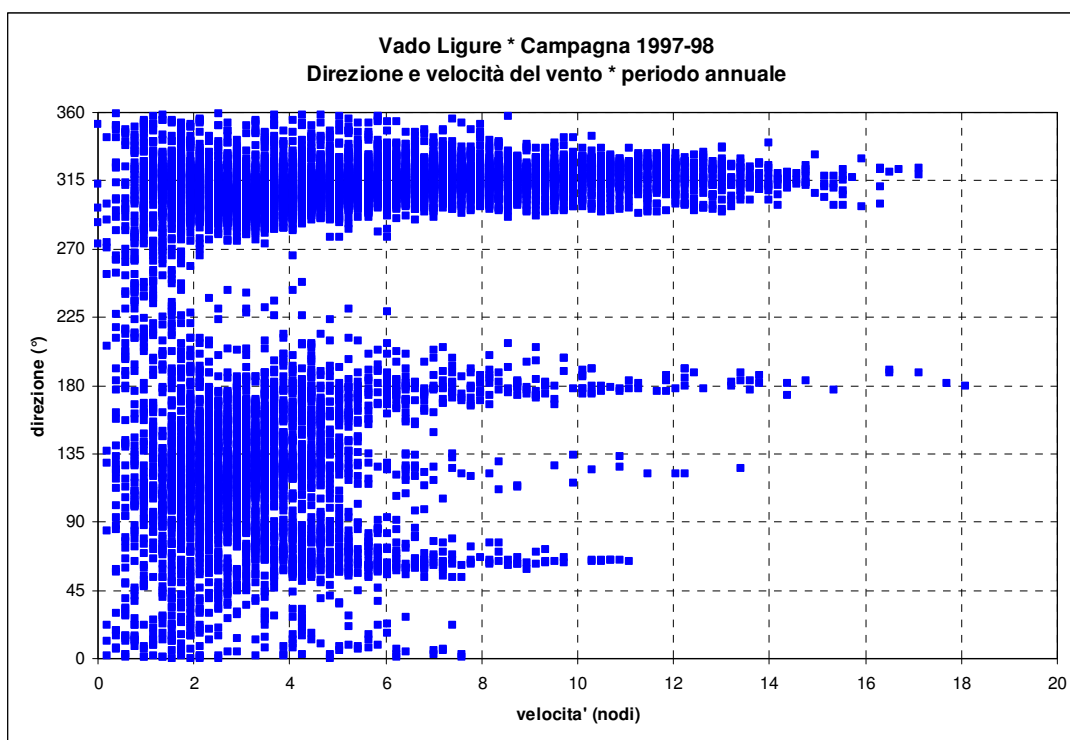


fig. 2.28 - Misure anemometriche nell’area di centrale 1997-1998. Andamento medio primaverile



**fig. 2.29 - Misure anemometriche nell'area di centrale 1997-1998. Andamento medio annuale**

1. *Calma di vento*. Questa condizione, importante perché riduce lo scambio termico al minimo, si presenta con frequenze dell'ordine del 40÷50%;
2. *Vento da ENE*. Questa condizione, importante perché tende a spostare il pennacchio verso le nuove strutture e l'area di presa e quindi può rappresentare una condizione critica per un possibile ricircolo termico, si presenta con frequenze dell'ordine dell'8 % ed una intensità media di 3.5 m/s;
3. *Vento da NW*. Questa condizione, importante perché tende a trascinare il pennacchio termico verso il largo e quindi si presenta come una condizione critica per il rispetto del limite a 1000 m, si presenta con frequenze dell'ordine del 15% ed una intensità media di 4 m/s.

Il problema più importante legato alla condizione di vento, come per tutta la costa ligure, è la determinazione del valore corretto del coefficiente di scambio termico con l'atmosfera che, per la particolare morfologia ed orientamento della costa, presenta in generale valori superiori a quelli tipici delle zone costiere. Il bacino di Vado Ligure, tuttavia, si presenta non particolarmente chiuso né circondato da una orografia importante, per cui si fa riferimento ai coefficienti di scambio termico standard per la costa mediterranea, rappresentati in fig. 2.34 per le temperature tipiche del periodo estivo.

Per ragioni simili, si è invece ritenuto di non considerare i dati della stazione di Genova Sestri, in quanto influenzati da una situazione orografica diversa, anche se nello studio di valutazione ambientale associato al Piano Regolatore Portuale vengono utilizzati per l'analisi del moto ondoso dati rilevati al largo del porto di Genova (44° 00' N 8° 42' E) provenienti da analisi di tipo meteorologico [29].

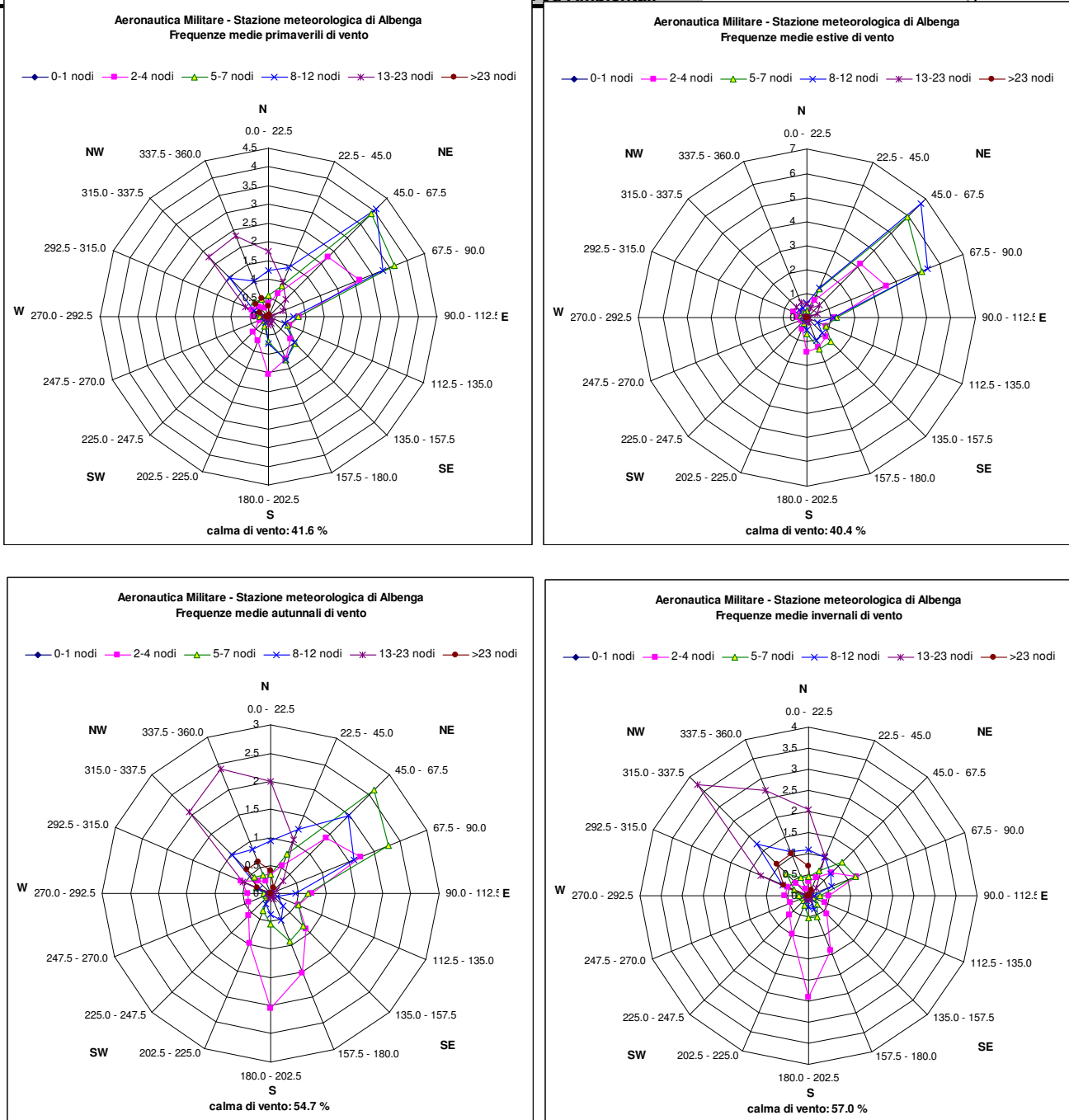


fig. 2.30 – EnelAM. Stazione di Albenga. Frequenze medie stagionali del vento (1952-89)

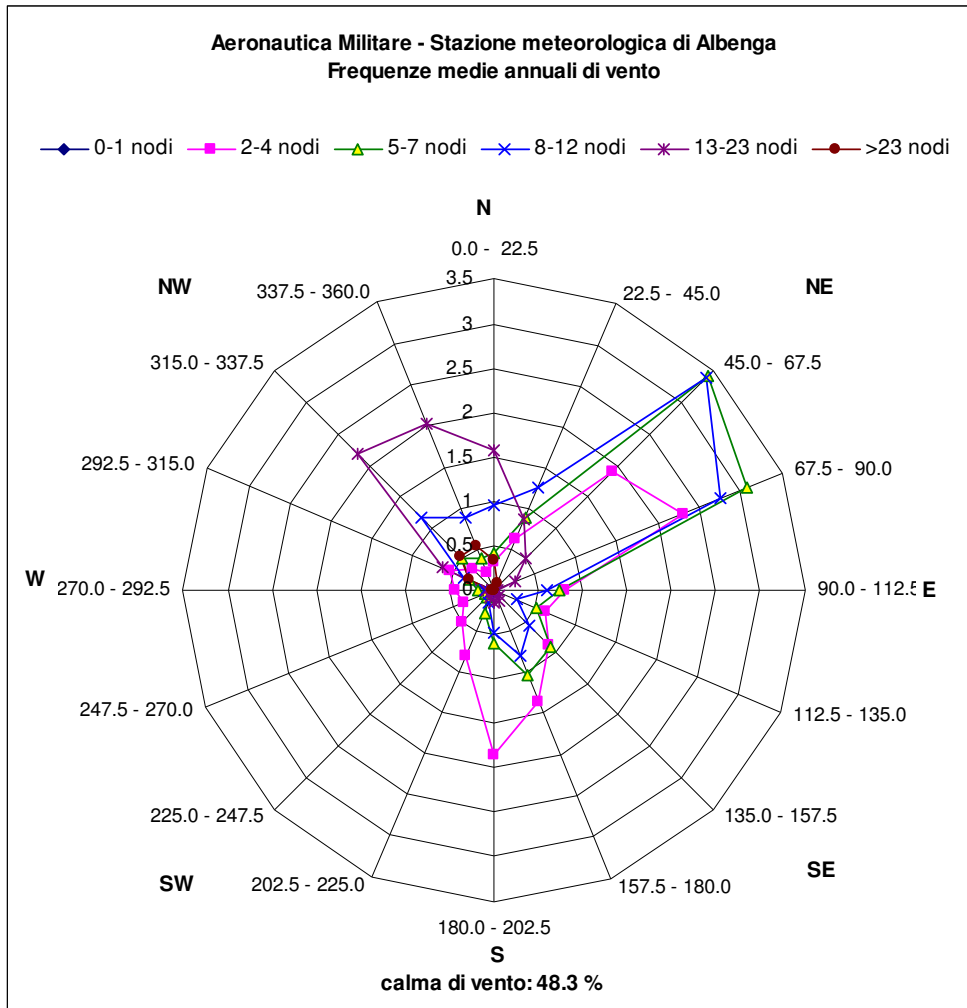


fig. 2.31 – EnelAM. Stazione di Albenga. Frequenze medie annuali del vento (1952-89)

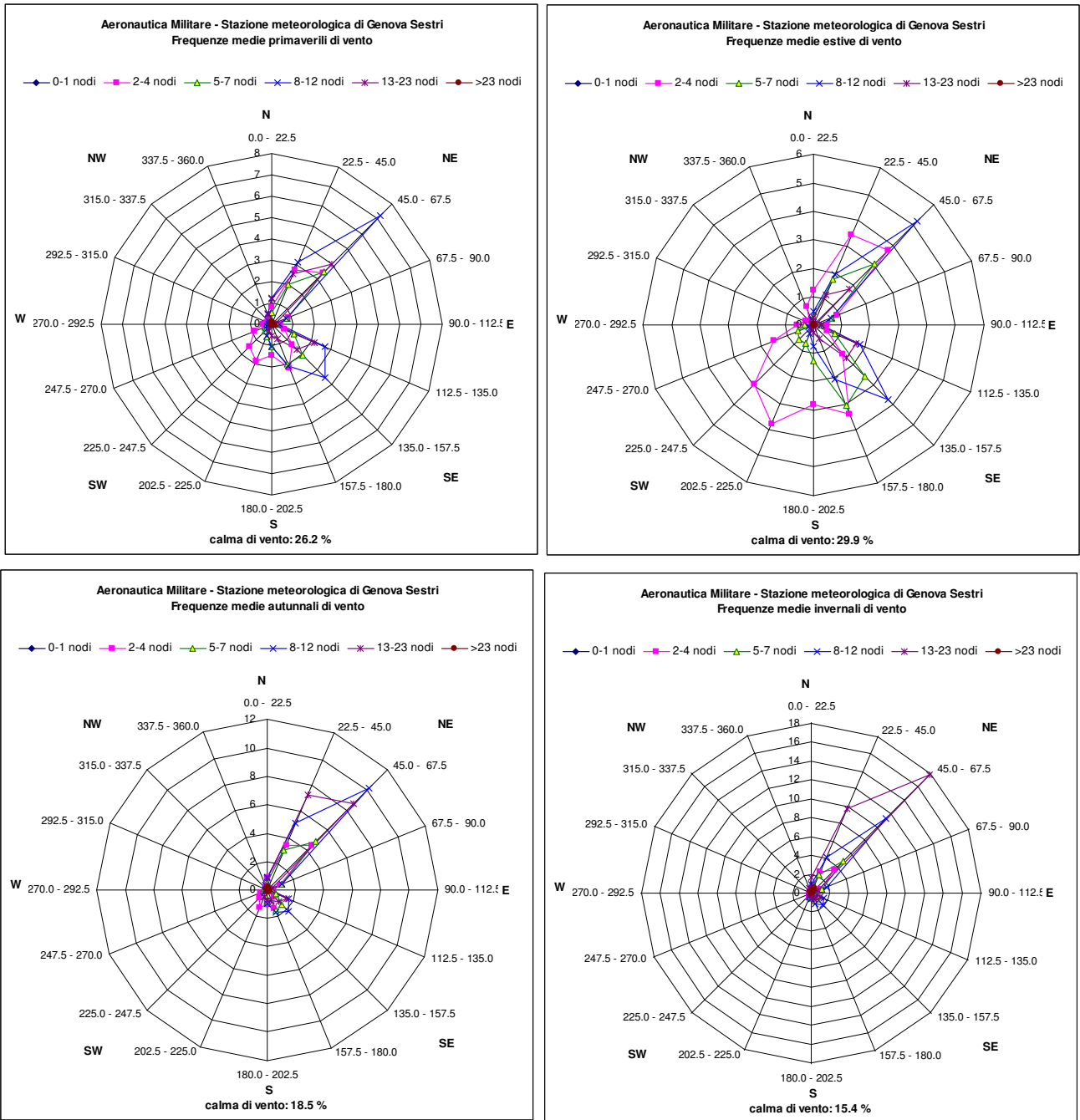


fig. 2.32 – EnelAM. Stazione di Genova Sestri. Frequenze medie stagionali del vento (1963-91)

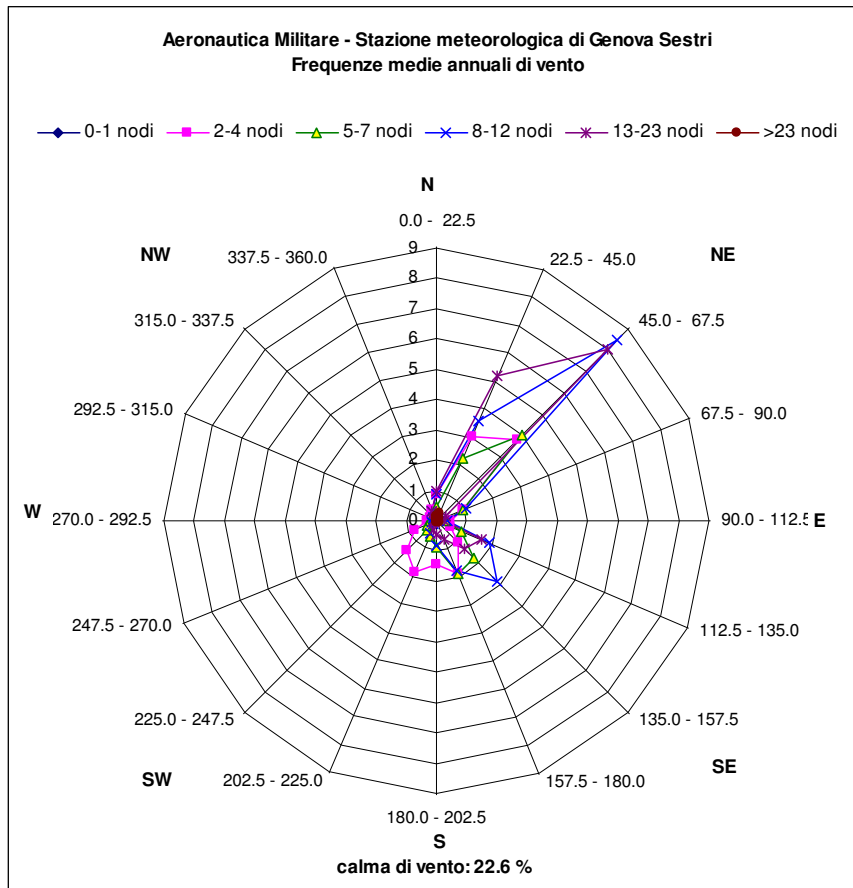


fig. 2.33 – EnelAM. Stazione di Genova Sestri. Frequenze medie annuali del vento (1963-91)

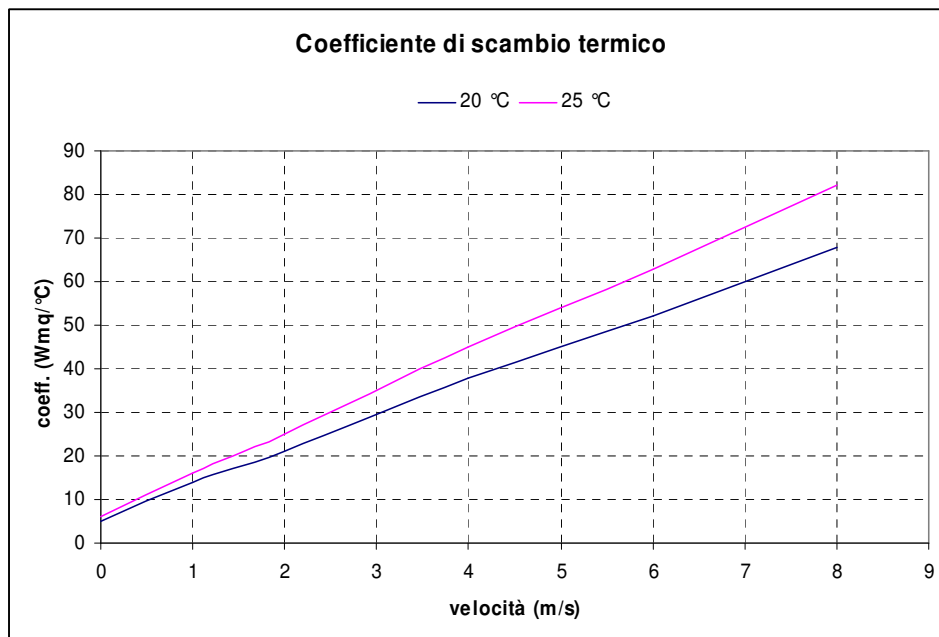


fig. 2.34 - Andamento del coefficiente di scambio termico con la temperatura del mare e la velocità del vento



## 2.9 Dati di esercizio

I dati di esercizio necessari per la realizzazione del modello sono quelli relativi alle condizioni di scarico e presa dell'acqua di raffreddamento della centrale, connessi al calore scambiato e quindi alla potenza di esercizio, e più precisamente:

1. potenza installata
2. incremento della temperatura allo scarico
3. portata dell'acqua di raffreddamento.

La centrale di Vado Ligure opera attualmente in un assetto a due gruppi a carbone (Vado3 e Vado4), un gruppo a ciclo combinato in costruzione (Vado1) ed un gruppo fermo (Vado2). Poiché però la messa in esercizio del gruppo a ciclo combinato è imminente, ed è previsto il futuro riutilizzo del gruppo Vado2, sono state considerate ai fini del presente studio due configurazioni di esercizio, e precisamente:

1. “*assetto attuale dei gruppi*” che considera i due gruppi Vado3 e Vado4 ed il gruppo a ciclo combinato Vado1 in esercizio a pieno carico;
2. “*assetto futuro dei gruppi*”, che considera in esercizio a pieno carico anche il gruppo Vado2.

Per quanto riguarda la potenza installata, la Centrale Termoelettrica di Vado Ligure composta storicamente da quattro gruppi da 330 MW, per una potenza installata di 1320 MW, ha attualmente in esercizio i due gruppi a carbone Vado3 e Vado4 da 330 MW. Nell'ambito del progetto di repowering di Tirreno Power, è prevista la realizzazione di un gruppo a ciclo combinato per una potenza complessiva di 800 MW (Vado 1) che porterà la potenza complessiva installata a 1460 MW. Nello studio è stata considerata inoltre l'ipotesi di esercizio anche del gruppo Vado2 nelle condizioni di scarico dei gruppi attualmente in esercizio.

Per quanto riguarda l'acqua di raffreddamento, il circuito acqua condensatrice è costituito dall'opera di presa descritta al paragrafo 2.2.3 da cui partono le quattro condotte di adduzione che alimentano le pompe AC. Le pompe alimentano, dopo un percorso di 774 m per i gruppi Vado1 e Vado2 e di 890 m per i gruppi Vado3 e Vado4, due vasche grigie munite di soglia di sfioro a quota 10.5 m; da tali vasche partono due tubazioni (con possibilità di intercomunicazione tra loro) ognuna delle quali alimenta i refrigeranti acqua servizi ed il condensatore. L'acqua in uscita dal condensatore sfiora dalle vasche di scarico nel canale di restituzione e raggiunge l'opera di restituzione dopo circa 1143 m.

I valori di portata ed il salto termico al condensatore per ciascun gruppo sono riportati in tab. 2.7, unitamente alle caratteristiche delle pompe AC.

**tab. 2.7 - Caratteristiche delle pompe AC e salto termico al condensatore**

Gruppo	Portata	Prevalenza	Potenza	giri	$\Delta T$
	m <sup>3</sup> /s	m	kW	g/min	°C
<i>Vado1</i>	12.5	==	==	==	9
<i>Vado2</i>	10.5	14.5	1750	235	11
<i>Vado3</i>	11.5	16.6	2172	250	11
<i>Vado4</i>	10.5	14.5	1750	235	11
<b>Totale</b>	45				10.44

Note:

- 1) per il gruppo *Vado1*, non ancora in esercizio, sono stati considerati i dati di progetto
- 2) Fino al Giugno 2004 la portata della pompa 2AC era pari a 11.5 m<sup>3</sup>/s. Per cambio riduttore gdfa luglio 2004 la portata è scesa a 10.5 m<sup>3</sup>/s. Con la sostituzione del riduttore pompa 3AC con quello 2AC dal 17 settembre la portata è salita a 11.5 m<sup>3</sup>/s

Di conseguenza, i valori assunti nello studio per le portate e gli incrementi termici allo scarico nelle configurazioni attuale e futura della centrale sono riassunti in tab. 2.8.

**tab. 2.8 – Condizioni di esercizio nelle diverse configurazioni**

Gruppo	Assetto attuale		Assetto futuro	
	Portata (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta T$ (°C)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta T$ (°C)
<i>Vado1</i>	12.5	9	12.5	9
<i>Vado2</i>	fermo	fermo	10.5	11
<i>Vado3</i>	11.5	11	11.5	11
<i>Vado4</i>	10.5	11	10.5	11
<b>Totale</b>	34.5	10.27	45	10.44

## 2.10 Dati di riferimento provenienti da misure

La verifica del modello e delle ipotesi in esso contenute non può prescindere dal confronto con dati sperimentali relativi ai parametri caratteristici del sito, ovviamente nelle condizioni attuali di esercizio della centrale e di configurazione delle strutture portuali.

Ai fini della accuratezza dello studio, è essenziale validare il modello su misure relative al campo termico che si determina in rada per effetto della dispersione delle acque di raffreddamento in condizioni meteomarine note. A tale scopo, la centrale ha fornito una serie di misure, condotte secondo i criteri

documentati in [30], relative all'incremento termico misurato sull'arco a 1000 m secondo quanto previsto dalla normativa vigente [2],[3]. Tra queste, è stata scelta una misura condotta in condizioni prossime al pieno esercizio e in condizioni ambientali tipiche estive, che quindi più si avvicina alle condizioni dello studio. I relativi dati forniti dalla centrale sono riportati nelle figure dalla fig. 2.35 alla fig. 2.39 per la misura effettuata il 30 giugno 2004. mentre le posizioni delle stazioni sono illustrate in. Tali misure fanno riferimento a 27 stazioni equidistanti tra di loro lungo l'arco di cerchio di un angolo di ampiezza di circa 130° con raggio di 1000 m a partire dal centro della fine del canale di scarico come è indicato in fig. 2.40. Le misure sono state effettuate con tre termometri disposti a 0.15, 1. 5 e a 3 metri di profondità, secondo quanto specificato in [30].

<p style="text-align: center;"><i><b>Tirreno Power</b></i></p> <p style="text-align: center; font-size: small;">CENTRALE DI VADO LIGURE Reparto Impiantistica e Controlli Chimici</p>	<p style="text-align: center;">D. LGS. 152/99; Allegato 5, Tabella 3 Parametro temperatura DETERMINAZIONE DELL'INCREMENTO TERMICO (Metodo IRSA n° 2110; Appendice)</p>
---	--

<b>Data</b>	<b>30 giugno 2004</b>
<b>Delta Tj =</b>	<b>0,84 °C</b>

Allegati:

- Tabella 1                                      Rapporto di Prova
  - Tabella 2                                      Determinazione di 2S e Tj
  - Tabella 3                                      Determinazione dell'incremento termico
  - Tabella 4                                      Dati meteo ed impiantistici
- Certificato di taratura Centro SIT - Ansaldo Energia n° SIT/AE-031280 del 24/07/2003

<p style="font-size: x-small;">DATA</p> <p style="font-size: large; text-align: center;">05/07/04</p>	<p style="font-size: x-small;">INCARICATO</p> <p style="font-size: large; text-align: center;">F. Mace</p>	<p style="font-size: x-small;">CAPO LABORATORIO</p> <p style="font-size: large; text-align: center;">A. Colaprico</p>
---	--	---

**fig. 2.35 – Misure di incremento termico sull’arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 1)**

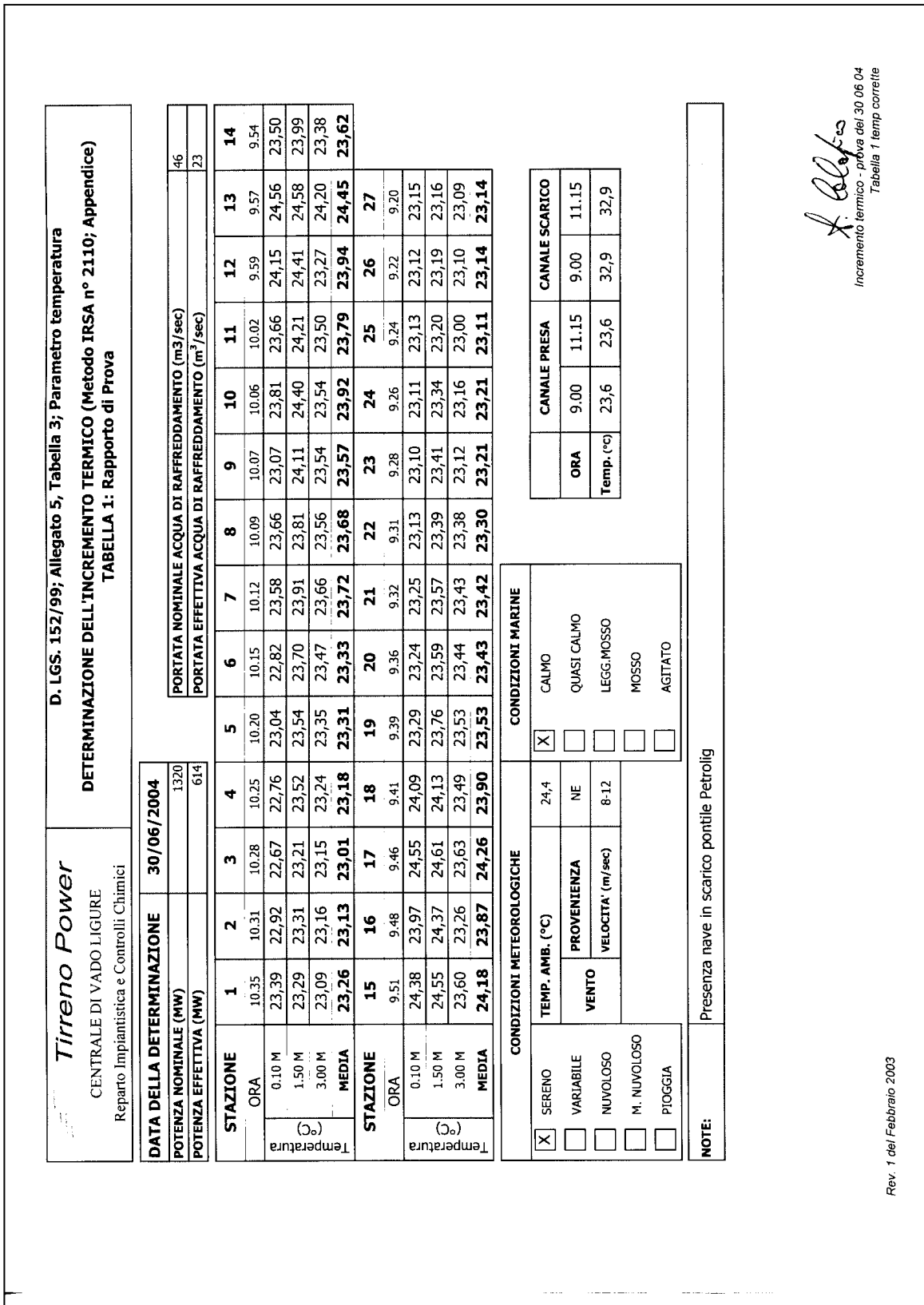


fig. 2.36 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 2)

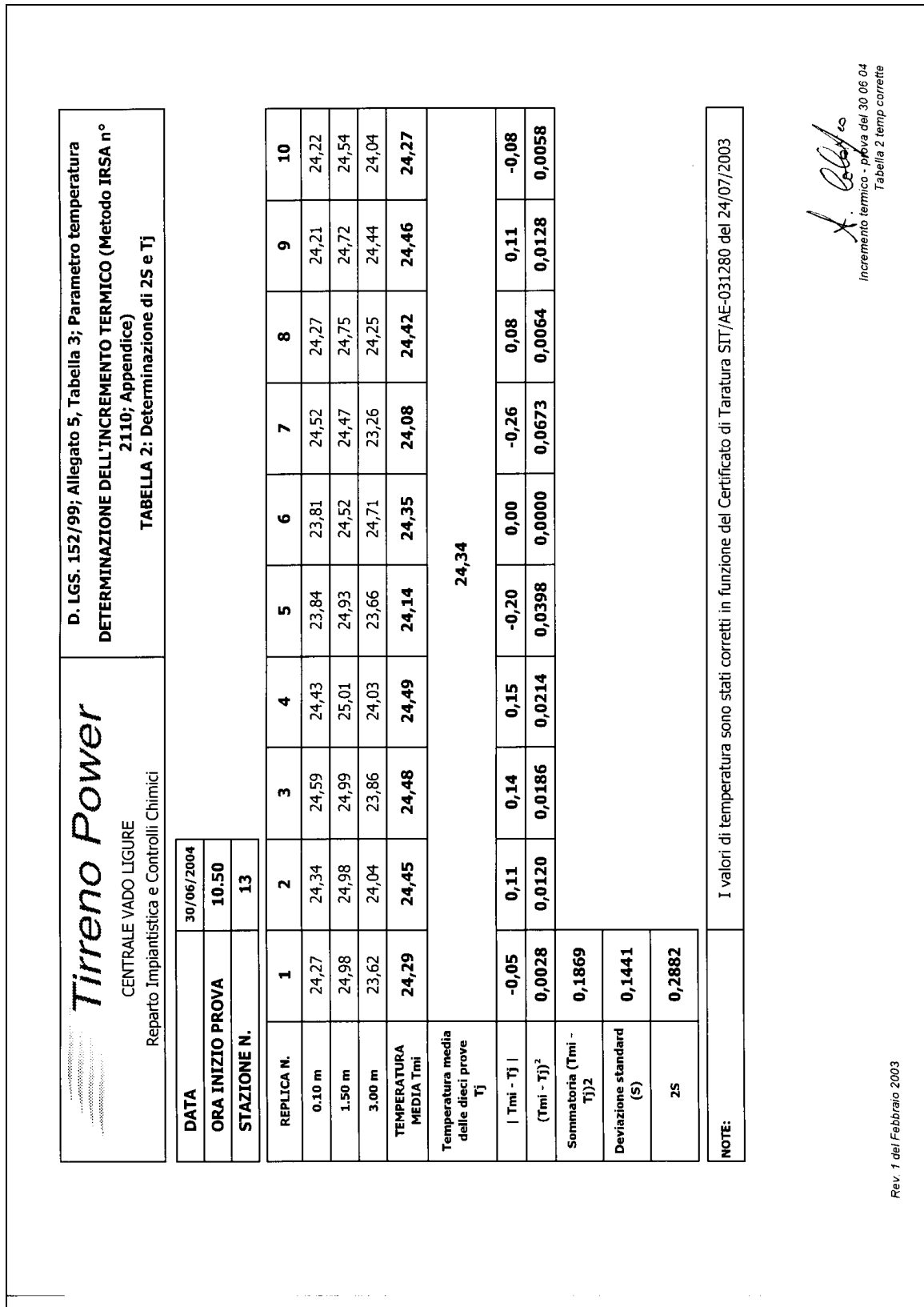


fig. 2.37 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 3)





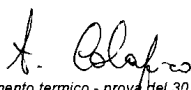
<p style="text-align: center;"><b>Tirreno Power</b></p> <p style="text-align: center;">CENTRALE VADO LIGURE</p> <p style="text-align: center;">Reparto Impiantistica e Controlli Chimici</p>	<p style="text-align: center;"><b>D. LGS. 152/99; Allegato 5, Tabella 3; Parametro temperatura</b></p> <p style="text-align: center;"><b>DETERMINAZIONE DELL'INCREMENTO TERMICO (Metodo IRSA n° 2110; Appendice)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>TABELLA 4: Dati meteo ed impiantistici</b></p>
--	---

Data		30/06/2004				
Ora		9.00	10.00	11.00		
Dati meteo	Direzione del vento	quadr.	N	N	NO	
	Direzione del vento	gradi	3,45	3,38	3,31	
	Sigma	gradi	7,2	8,3	6,0	
	Velocità del vento	m/sec.	6,5	8,0	9,6	

Dati impiantistici	<b>GRUPPO 1</b>	Potenza erogata	MW			
		Temp. Entrata Condensatore	°C			
		Temp. uscita condensatore Lato Turbina	°C			
		Temp. uscita condensatore Lato Alternatore	°C			
	<b>GRUPPO 2</b>	Potenza erogata	MW			
		Temp. Entrata Condensatore	°C			
		Temp. uscita condensatore Lato Turbina	°C			
		Temp. uscita condensatore Lato Alternatore	°C			
	<b>GRUPPO 3</b>	Potenza erogata	MW	316	319	319
		Temp. Entrata Condensatore	°C	23	23	23
		Temp. uscita condensatore Lato Turbina	°C	33,24	33,52	33,58
		Temp. uscita condensatore Lato Alternatore	°C	34,6	34,85	34,92
	<b>GRUPPO 4</b>	Potenza erogata	MW	295	295	295
		Temp. Entrata Condensatore	°C	22,85	22,85	22,80
		Temp. uscita condensatore Lato Turbina	°C	33,43	33,51	33,28
		Temp. uscita condensatore Lato Alternatore	°C	33,76	33,82	33,80
	<b>Temperatura Scarico Gr. 1-2</b>	P.to 1				
		P.to 2				
		P.to 3				
	<b>Temperatura Scarico Gr. 3-4</b>	P.to 26		32,7	33,64	32,68
P.to 27			33,2	33,16	33,20	
P.to 28			32,9	32,84	32,87	
<b>TOTALE IMPIANTO</b>	Potenza erogata	MW	611	614	614	

NOTE

Rev. 1 del Febbraio 2003

  
 Incremento termico - prova del 30 06 04  
 Tabella 4

**fig. 2.39 - Misure di incremento termico sull'arco a 1000 m (30 giugno 2004, pagina 5)**

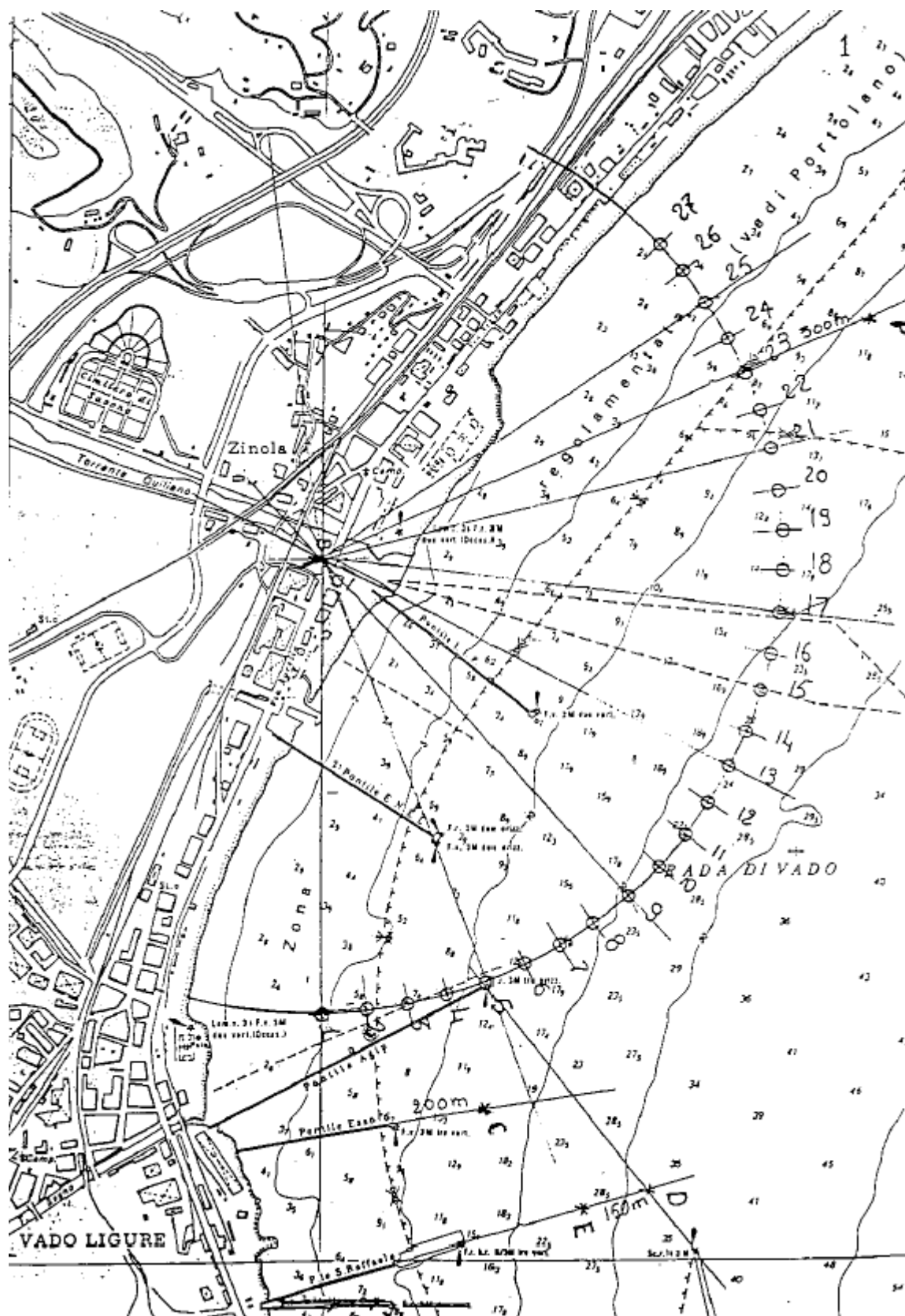


fig. 2.40 – Punti di misura per la determinazione della temperatura sull’arco a 1000 m

### 3 MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE

#### 3.1 Definizione del modello numerico

Per la simulazione numerica è stato utilizzato un modello matematico tridimensionale implementato con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI 3.01 [31]. Tale codice nella sua versione attuale tiene conto del ricircolo alla presa dell'acqua di scarico: l'energia termica contenuta nell'acqua, prelevata alla sezione di presa in forma di sovrizzo termico rispetto alla temperatura ambiente imperturbata, viene automaticamente aggiunta all'energia termica rilasciata dallo scarico associato alla presa stessa. Per quanto riguarda la descrizione del codice e la sua applicazione agli studi di dispersione termica, si rimanda alla bibliografia più recente [32],[33],[34]. I risultati ottenuti nelle diverse simulazioni numeriche eseguite sono poi stati esaminati e valutati attraverso strumenti di analisi grafica e di elaborazione analitica [22] allo scopo di visualizzare gli andamenti del campo termico e del campo di velocità e determinare il valore dei flussi termici smaltiti verso l'atmosfera, l'entità del ricircolo termico e il valore della temperatura media nelle zone antistanti gli scarichi stessi.

L'analisi delle alterazioni termiche indotte in mare dalla presenza delle nuove strutture portuali è stata effettuata sia nella configurazione attuale di esercizio a tre gruppi sia in quella a quattro gruppi, tenendo conto delle condizioni meteomarine più conservative e della presenza di navi all'ormeggio, ed è stata svolta sempre eseguendo la simulazione numerica in condizioni di pieno carico per la centrale.

Qui di seguito verranno descritte:

- le condizioni di analisi
- le caratteristiche del reticolo di calcolo impiegato nelle varie condizioni
- le condizioni iniziali ed al contorno imposte.

##### 3.1.1 Le condizioni di analisi

Le condizioni di esercizio utili ai fini dello studio in oggetto sono già state analizzate al paragrafo 0, e le condizioni di scarico ed aspirazione conseguenti sono state riassunte in tab. 2.1 e tab. 2.2 rispettivamente.

L'analisi delle condizioni meteomarine tipiche del sito, oggetto dell'analisi descritta nel precedente capitolo 2, ha portato a definire come condizioni conservative quelle che fanno riferimento ad una condizione tipica estiva, con temperatura naturale del mare pari a 24.1 °C e corrente ambientale pari a 0.1 m/s diretta verso SSW. In queste condizioni, tenendo conto delle diverse configurazioni di esercizio, della presenza o meno di navi ormeggiate, sono stati individuati i seguenti scenari di analisi, ciascuno dei quali simulato con un apposito caso, e precisamente:

1. *Caso test*: tale caso è stato eseguito allo scopo di validare il modello numerico predisposto per l'analisi, ed è stato eseguito nelle condizioni operative ed ambientali corrispondenti alle condizioni di misura dell'incremento termico a 1000 m descritte al paragrafo 2.10;
2. *Caso 1 porto attuale*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di calma di vento, ed è stato eseguito nella attuale configurazione del porto, considerando tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in

- esercizio a pieno carico. Questo caso rappresenta quindi lo scenario di riferimento per l'assetto attuale di esercizio, nelle condizioni meteomarine presumibilmente più critiche ai fini della dispersione termica.
3. *Caso 1 porto futuro*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di calma di vento, ed è stato eseguito nella configurazione del porto prevista dal Piano Regolatore Portuale, considerando tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico, e supponendo di considerare due navi di classe Panamax attraccate alla piattaforma polifunzionale. Questo caso, confrontato con il precedente, evidenzia l'effetto delle nuove strutture portuali a parità di condizioni meteomarine e di esercizio.
  4. *Caso 2 porto attuale*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di vento di intensità pari a 4 m/s proveniente da NW, ed è stato eseguito nella attuale configurazione del porto, considerando tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico. Questo caso rappresenta quindi lo scenario di riferimento per l'assetto attuale di esercizio, nelle condizioni di vento dal quarto più frequenti.
  5. *Caso2 porto futuro*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di vento di intensità pari a 4 m/s proveniente da NW, ed è stato eseguito nella configurazione del porto prevista dal Piano Regolatore Portuale, considerando tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico, e supponendo di considerare due navi di classe Panamax attraccate alla piattaforma polifunzionale. Questo caso, confrontato con il precedente, evidenzia l'effetto delle nuove strutture portuali a parità di condizioni meteomarine e di esercizio.
  6. *Caso 3 porto attuale*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di vento di intensità pari a 3.5 m/s proveniente da ENE, ed è stato eseguito nella attuale configurazione del porto, considerando tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico. Questo caso rappresenta quindi lo scenario di riferimento per l'assetto attuale di esercizio, nelle condizioni di vento dal primo quadrante più frequenti.
  7. *Caso3 porto futuro*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di vento di intensità pari a 3.5 m/s proveniente da ENE, ed è stato eseguito nella configurazione del porto prevista dal Piano Regolatore Portuale, considerando tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico, e supponendo di considerare due navi di classe Panamax attraccate alla piattaforma polifunzionale. Questo caso, confrontato con il precedente, evidenzia l'effetto delle nuove strutture portuali a parità di condizioni meteomarine e di esercizio.
  8. *Caso4 porto futuro 4 gruppi*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di vento uguali a quelle del caso precedente, ed è stato eseguito nella configurazione del porto prevista dal Piano Regolatore Portuale, considerando quattro gruppi (Vado1, Vado2, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico, e supponendo sempre di considerare due navi di classe Panamax attraccate alla piattaforma polifunzionale. Questo caso, confrontato con il precedente, evidenzia l'effetto dell'eventuale entrata in servizio di un quarto gruppo.
  9. *Caso5 porto futuro con ormeggio alle boe*: tale caso fa riferimento a condizioni ambientali di vento uguali a quelle del caso precedente, è stato eseguito nella configurazione del porto prevista dal Piano Regolatore Portuale, considerando tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico, ma aggiungendo la presenza di una petroliera da circa 300000 DWT di stazza alle boe SARPOM. Questo caso, confrontato con il "caso 3 porto futuro", evidenzia l'effetto della presenza della petroliera sulla dislocazione del pennacchio termico.

Per ciascuno dei casi su citati è stata effettuata una simulazione numerica allo scopo di individuare la posizione del pennacchio ed il margine disponibile rispetto ai limiti termici imposti dalla normativa vigente.

### 3.1.2 Il reticolo di calcolo

Nella tab. 3.1 sono riassunti i dati caratteristici dello scarico e della presa così come sono stati considerati nelle simulazioni numeriche; leggere differenze di geometria rispetto ai dati di progetto sono imputabili alla necessità di far corrispondere le sezioni reali con le sezioni derivanti dalla discretizzazione del dominio di calcolo.

Il dominio di calcolo considerato ha un'estensione planimetrica di 35 km<sup>2</sup> per una profondità massima di 21 m; tale profondità è stata assunta in quanto il tenere conto di profondità maggiori non apporta alcun beneficio alla accuratezza del calcolo in quanto i fenomeni in gioco non intervengono a tali profondità ma aggiunge un notevole aggravio dei tempi di calcolo.

La dimensione dei vari strati in cui viene suddiviso il dominio di calcolo in direzione verticale è stata determinata considerando l'altezza dello scarico, la profondità della presa e la batimetria della zona e utilizzando i seguenti criteri:

- suddividere la zona superficiale in un numero di strati sufficiente a descrivere in dettaglio i maggiori gradienti termici che si verificano in prossimità dello scarico, della presa e delle strutture portuali, quando sono presenti;
- definire ciascuno strato in modo tale da aumentare o diminuire gradualmente l'altezza degli strati adiacenti, cosicché non si presentino forti discontinuità spaziali durante il calcolo.

Per quanto riguarda la discretizzazione del dominio di calcolo, la considerazione di una configurazione attuale per le opere portuali e di una situazione futura includente le opere previste dal Piano Regolatore Portuale ha portato come conseguenza alla definizione di due distinti reticoli di calcolo, nei quali però la stratificazione verticale e il dettaglio per quanto riguarda le opere di scarico e presa sono immutati; i relativi dati geometrici sono riportati in tab. 3.1 ed in tab. 3.2 rispettivamente. Quest'ultima tabella riporta, per ciascuno dei 15 strati verticali in cui è stato suddiviso il dominio di calcolo, l'indice  $k$  dello strato, lo spessore  $\Delta Z$ , la quota  $Z$  dei piani di separazione dello strato sovrastante e sottostante, la quota media  $Z_m$  dello strato. Gli strati contrassegnati con il simbolo ● indicano le quote a cui sono posizionati lo scarico e la presa. Per quanto riguarda il piano orizzontale, l'area di interesse è stata suddivisa in 180 x 139 celle, per cui la griglia di calcolo tridimensionale risulta in questo costituita complessivamente da 375300 celle per un totale pari a circa 1 876 000 incognite di calcolo.

Il reticolo corrispondente alla configurazione attuale del porto è illustrato in prospettiva in fig. 3.1, mentre in fig. 3.2 è riportata la batimetria utilizzata nel modello in corrispondenza della stessa area. Occorre osservare che in realtà nelle figure è riportato il reticolo di calcolo nella configurazione attuale del porto con una nave attraccata al pontile Petrolig, così come si è verificato in realtà il 30 giugno 2004 nelle condizioni del caso test (si veda il paragrafo 2.10). Nella configurazione attuale con esercizio a pieno carico di tre o quattro gruppi, la nave non è stata considerata, allo scopo di verificare le condizioni più conservative per un possibile ricircolo verso la presa. La successiva fig. 3.3 riporta il reticolo di calcolo nella zona interessata dalla dispersione termica, mentre in fig. 3.4 è riportato il particolare del reticolo nell'area di scarico, corrispondente alla foce del torrente Quiliano, con l'indicazione dell'ingombro dei piloni del ponte

sull'Aurelia. In particolare, le zone in prossimità dello scarico, della presa e della nave sono state discretizzate con celle di piccole dimensioni mentre, man mano che ci si allontana da queste, si sono utilizzate celle di dimensioni gradualmente maggiori; questo per meglio rappresentarne la geometria e per ottenere una valutazione più accurata dei fenomeni fisici che in queste zone hanno luogo. Infine i pontili presenti in porto non sono simulati nel reticolo in quanto la corrispondente palificazione, per diametro dei pali e l'orditura degli stessi, risultano praticamente trasparenti ai fini della dispersione termica.

**tab. 3.1 - Dati caratteristici delle opere di presa e di scarico per i diversi scenari**

	<i>Caso test</i>	<i>Assetto a 3 gruppi</i>	<i>Assetto a 4 gruppi</i>	
<b>Scarico</b>				
Larghezza equivalente	39.15	39.15	39.15	m
Altezza equivalente	0.5	0.5	0.5	m
Profondità	0 ÷ ---0.5	0 ÷ ---0.5	0 ÷ ---0.5	m
Velocità di scarico	1.3366	2.1958	2.8641	m/s
Sovralzo termico allo scarico	9.3	10.275	10.444	°C
<b>Presa</b>				
Larghezza equivalente	16.39	16.39	16.39	m
Altezza equivalente	4.0	4.0	4.0	m
Profondità	-4 ÷ ---8	-4 ÷ ---8	-4 ÷ ---8	m
Velocità di aspirazione	0.32033	0.52626	0.6468	m/s

A proposito dello scarico, va menzionato che per esigenze di modellazione la sezione di scarico è verticale, ma le condizioni di scarico del fluido prevedono una componente orientata verso destra, com'è in realtà, con una sezione efficace equivalente pari alla sezione reale di scarico.

Il reticolo corrispondente alla configurazione portuale prevista dal Piano Regolatore è invece riportato in vista prospettica in fig. 3.5, mentre in fig. 3.6 è riportato il reticolo corrispondente all'area portuale. In questo caso viene considerata la condizione più conservativa ai fini della dispersione termica, che presenta la struttura della piattaforma multifunzionale (ora considerata pressoché piena dato il consistente numero e diametro dei pali) con due navi classe Panamax ancorate alle banchine nord ed est della stessa. La batimetria del fondale e l'ampiezza delle maglie del reticolo di calcolo nelle aree di presa e scarico sono state conservate rispetto al reticolo precedente relativo alla configurazione portuale attuale.

Infine è stato realizzato un reticolo analogo al precedente ma considerando una petroliera di grosso tonnellaggio ancorata al campo boe SARPOM a circa 900 m dalla riva, all'altezza dello scarico. La vista prospettica è riportata in fig. 3.7, mentre in fig. 3.8 è illustrato il reticolo di calcolo corrispondente. Tutte le altre condizioni di calcolo sono le stesse utilizzate per la definizione dei due reticoli precedenti.

tab. 3.2 - Caratteristiche degli strati verticali del modello

<i>K</i>	$\Delta Z$ (m)	<i>Z</i> (m)	$Z_m$ (m)	<i>Scarico</i>	<i>Presa</i>
		0.00			
15	0.15	-0.15	-0.075	●	
14	0.15	-0.30	-0.225	●	
13	0.20	-0.50	-0.400	●	
12	0.35	-0.85	-0.675		
11	0.60	-1.45	-1.150		
10	0.75	-2.20	-3.650		
9	0.80	-3.00	-2.600		
8	1.00	-4.00	-3.500		
7	2.00	-6.00	-5.000		●
6	2.00	-8.00	-7.000		●
5	1.50	-9.50	-8.750		
4	1.50	-11.0	-10.25		
3	3.00	-14.0	-12.50		
2	3.00	-17.0	-15.50		
1	4.00	-21.0	-19.00		



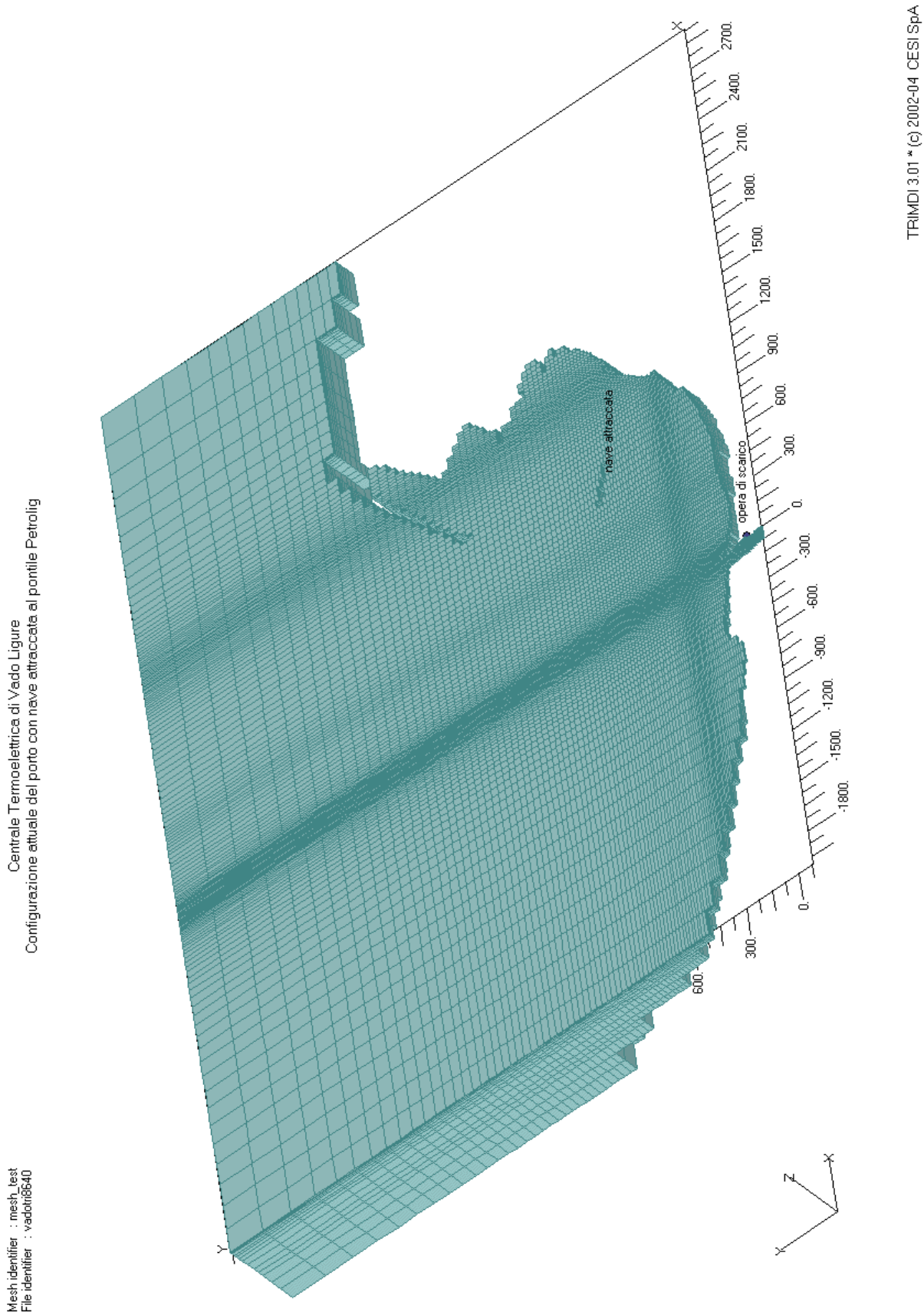


fig. 3.1 – Configurazione portuale attuale. Vista prospettica del reticolo di calcolo

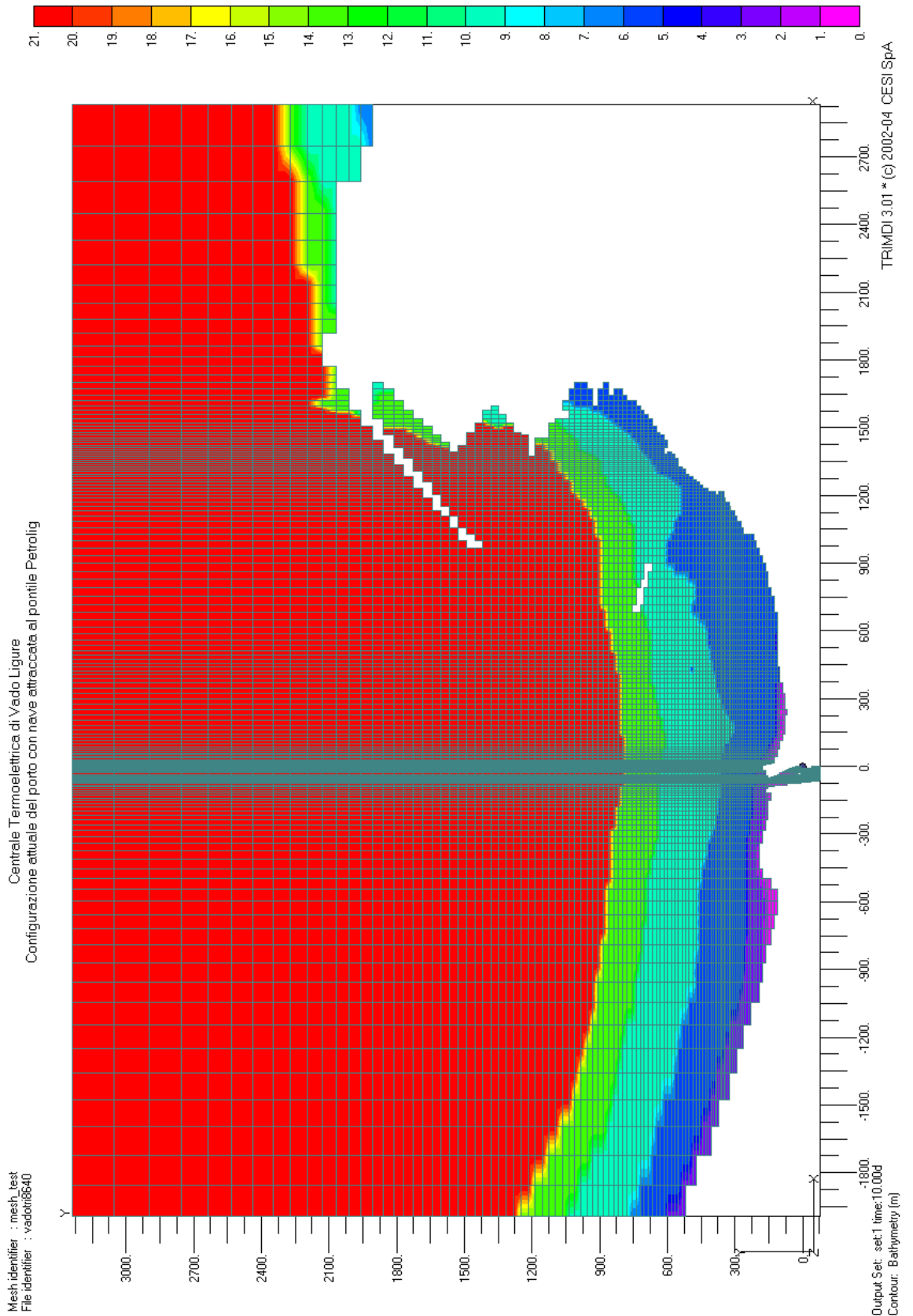


fig. 3.2 – Configurazione portuale attuale. Batimetria del fondale considerata nel modello di simulazione

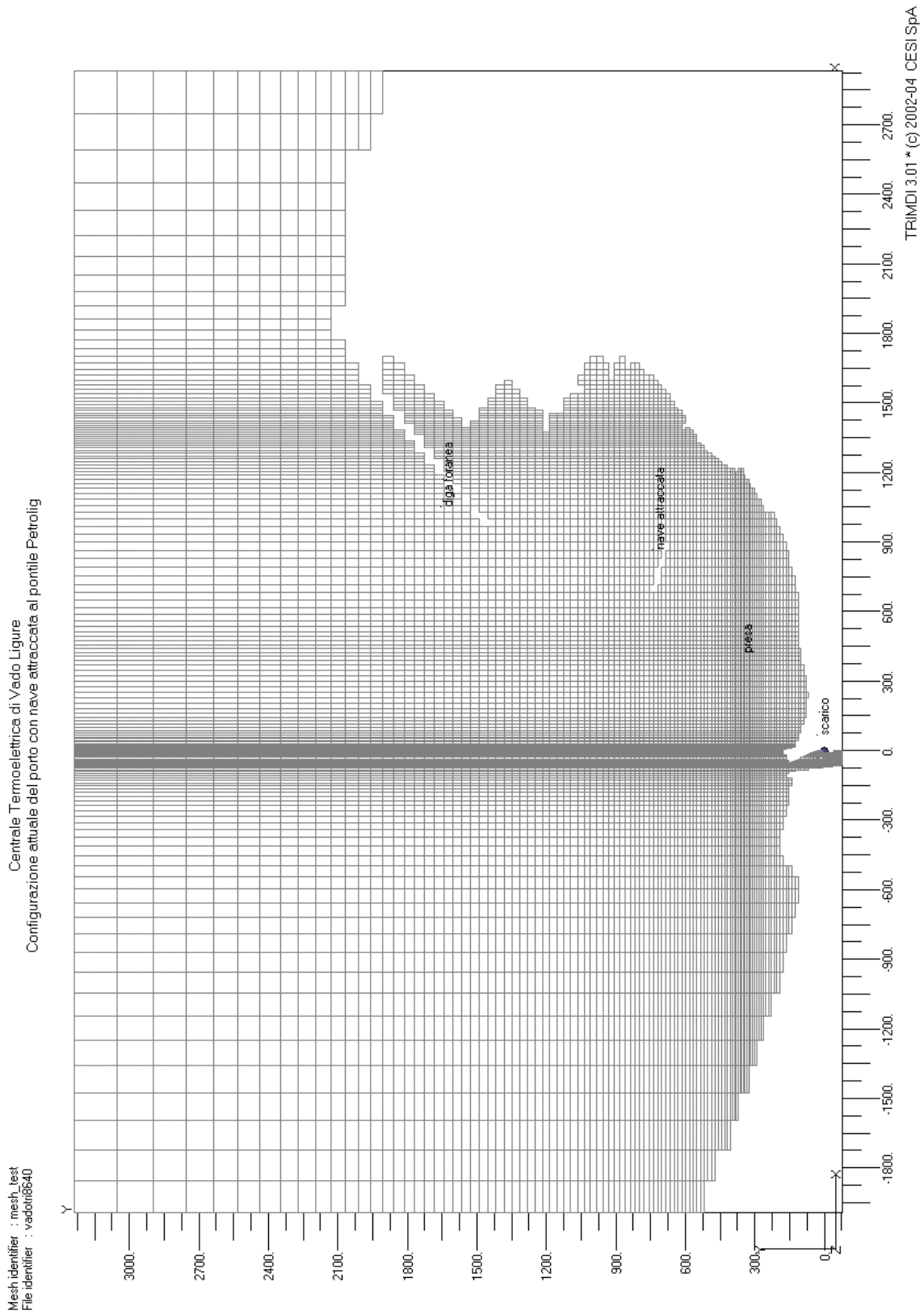


fig. 3.3 – Configurazione portuale attuale. Reticolo di calcolo sul piano orizzontale

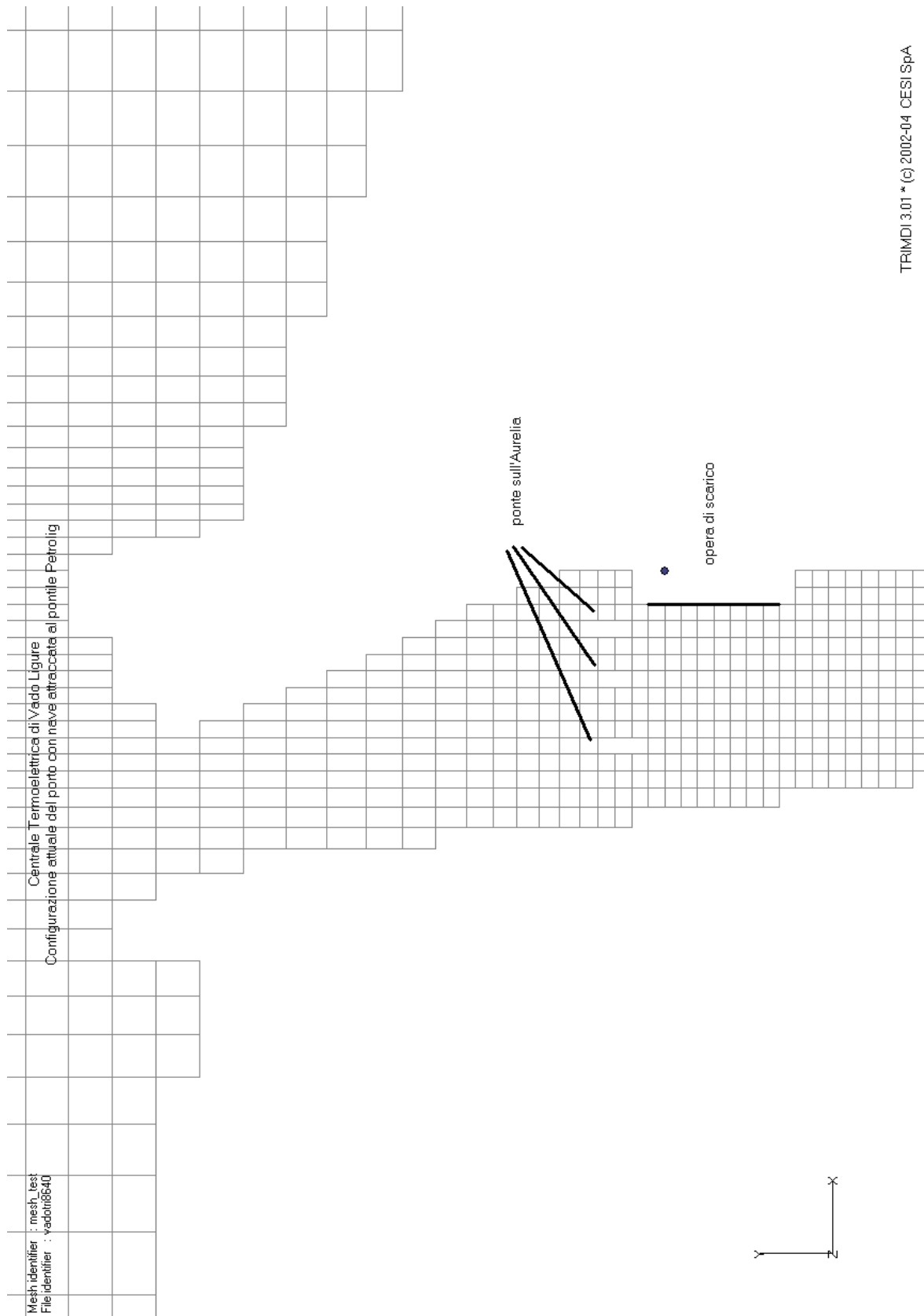


fig. 3.4 - Configurazione portuale attuale. Reticolo di calcolo nell'area di scarico (particolare)

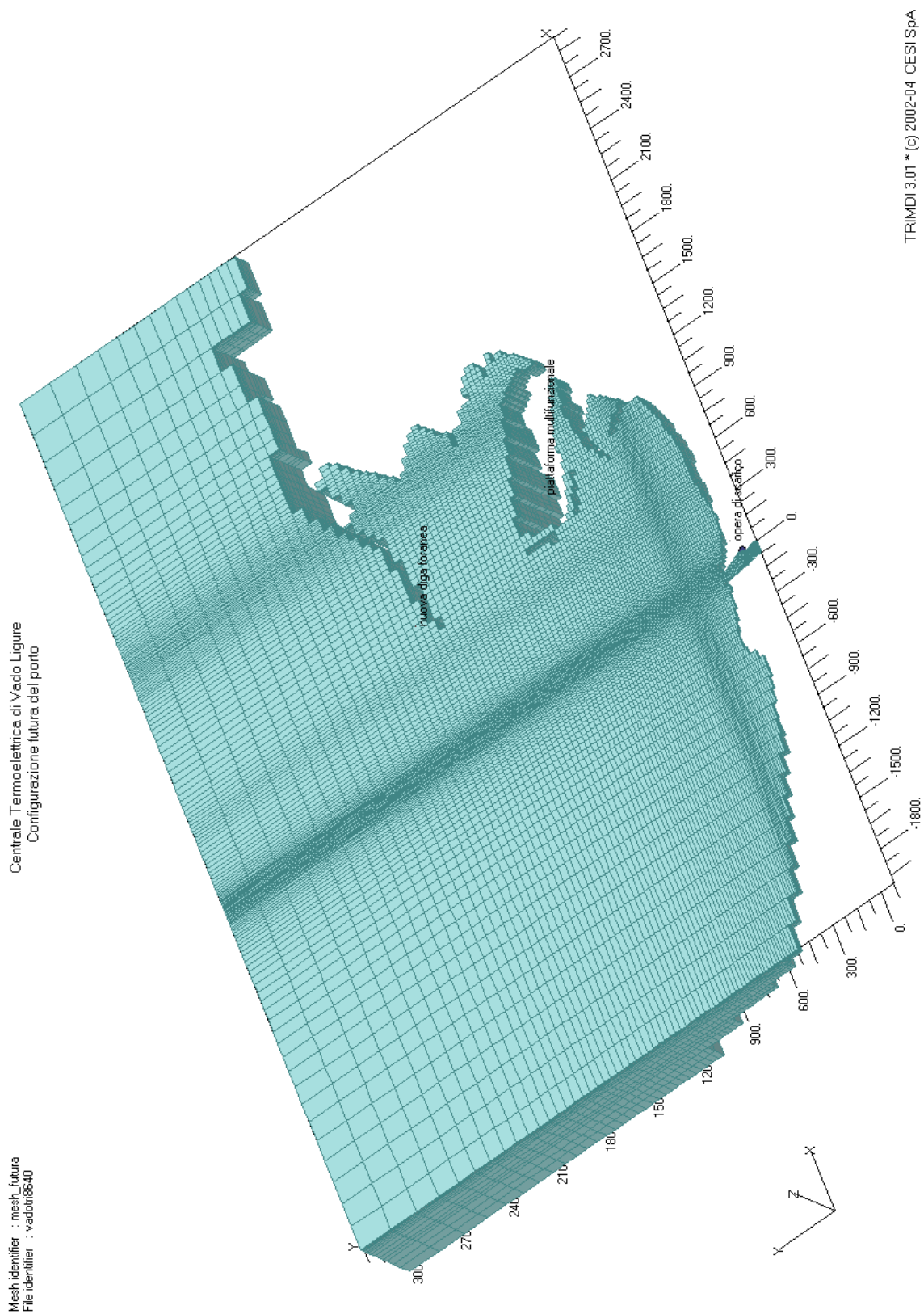


fig. 3.5 – Configurazione portuale futura. Vista prospettica del reticolo di calcolo

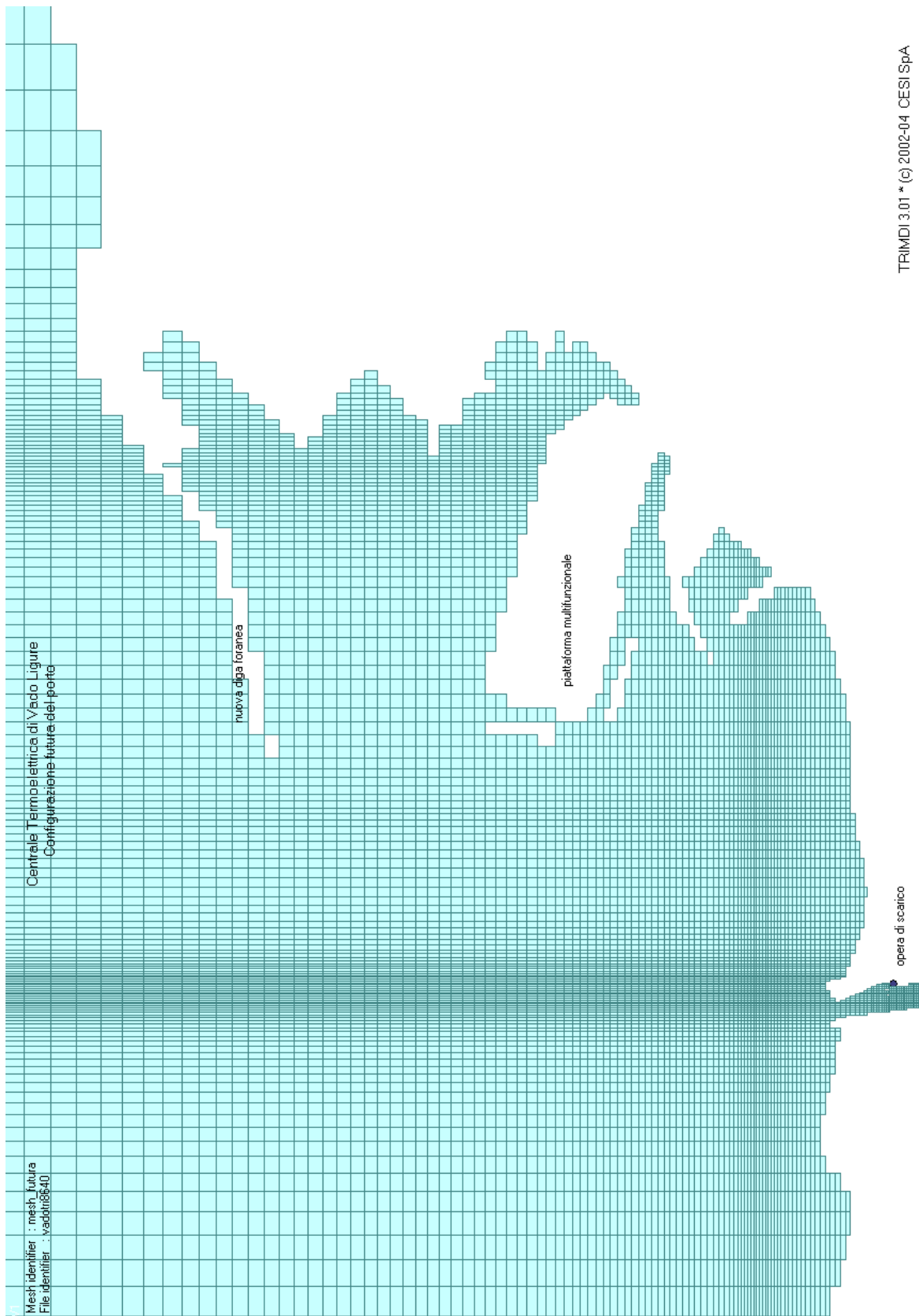


fig. 3.6 - Configurazione portuale futura. Particolare del porto con le nuove strutture



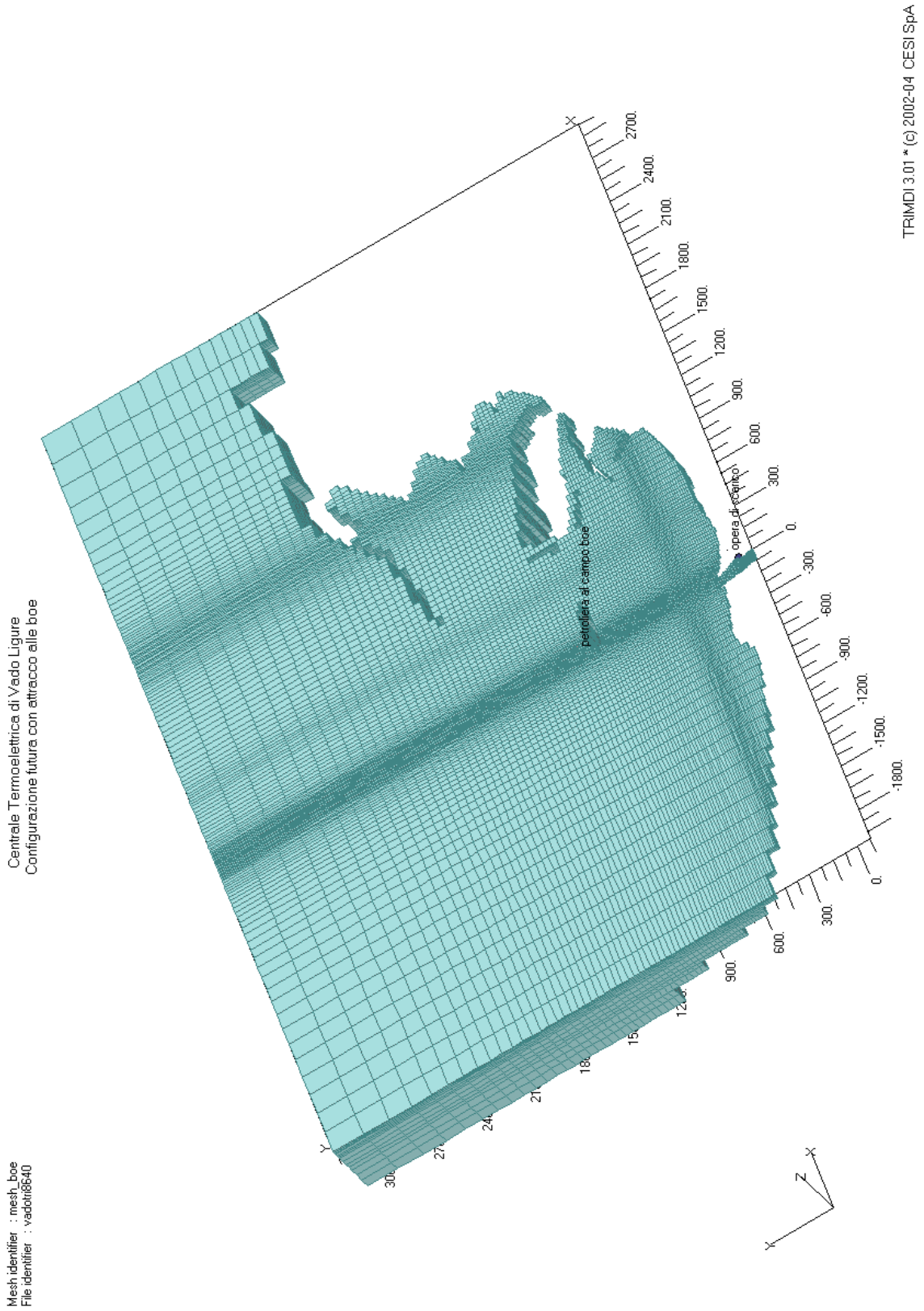


fig. 3.7 – Configurazione portuale con petroliera ancorata al campo boe. Vista prospettica del reticolo di calcolo

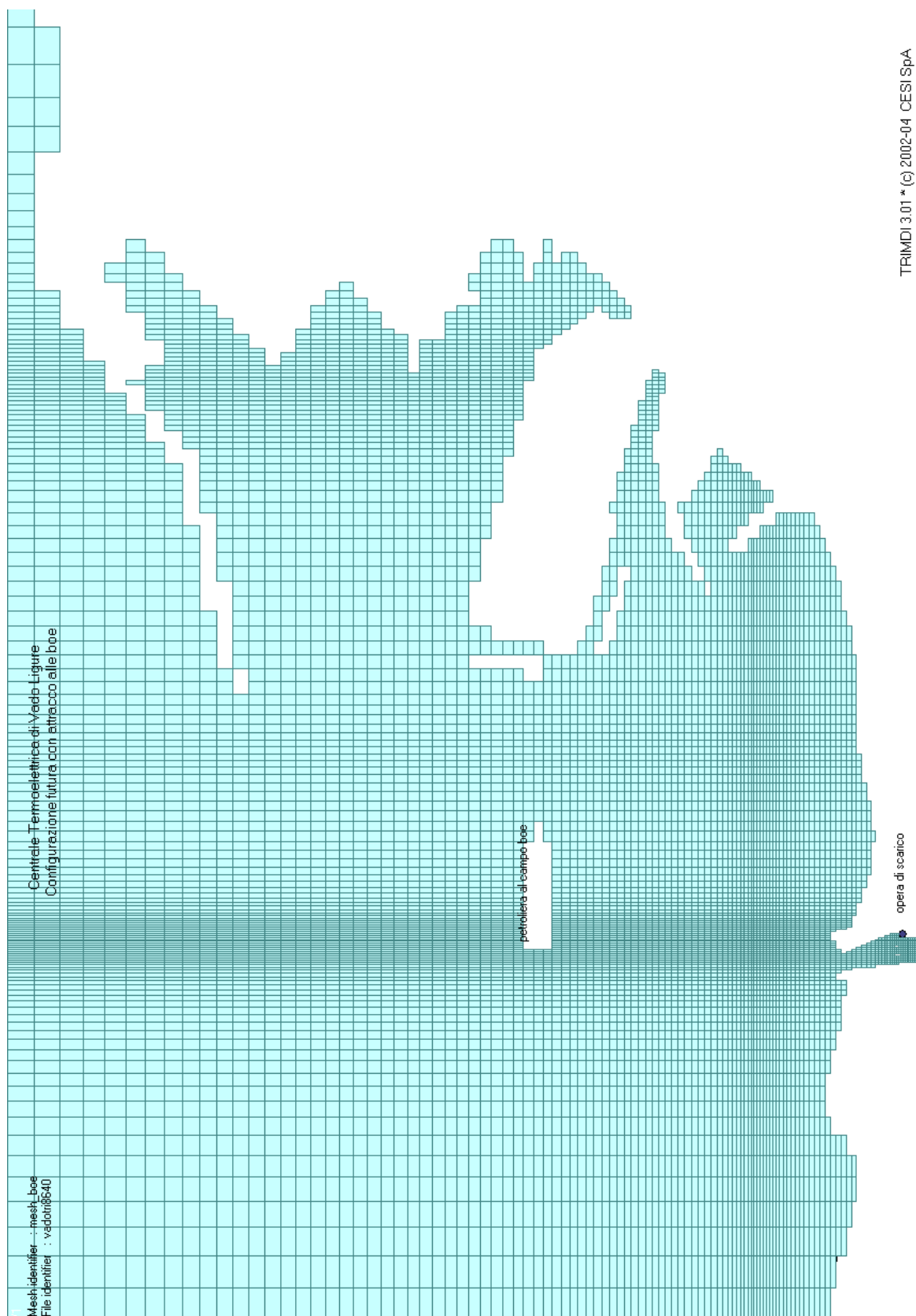


fig. 3.8 - Configurazione portuale con petroliera ancorata al campo boe. Particolare del reticolo di calcolo



### 3.1.3 Condizioni iniziali e condizioni al contorno

Il codice TRIMDI è basato su equazioni valide in regime non stazionario per cui, quando si tratta di riprodurre una situazione stazionaria, questa viene raggiunta simulando un transitorio a partire da una condizione iniziale assegnata. Tale transitorio viene considerato esaurito quando tra un passo temporale e il successivo non sono riscontrabili differenze significative. Ogni simulazione numerica dello studio è stata effettuata partendo da una condizione iniziale di quiete (velocità nulla e temperatura del mare uguale alla temperatura ambiente) in tutte le celle del reticolo.

Le condizioni iniziali afferenti ai parametri ambientali nei diversi casi sono riassunte in tab. 3.3, mentre gli altri parametri fisici imposti nei calcoli sono riportati in tab. 3.4.

Le condizioni al contorno assegnate nei vari casi sono invece riportate in tab. 3.5. Le simulazioni, a partire dalle condizioni iniziali di quiete, sono state fatte proseguire fino a 10 giorni di tempo simulato, a garanzia di una stabile condizione di stazionarietà del campo di temperatura per uno scenario di questo tipo.

**tab. 3.3 – Valori assegnati ai parametri ambientali**

<i>Parametro</i>	<i>u.d.m.</i>	<i>Valore</i>	<i>Descrizione</i>
<i>Sal. Amb</i>	<i>g/l</i>	38	Salinità del corpo idrico
<i>Temp. Amb</i>	<i>°C</i>	24.1 23.15	temperatura ambiente ovvero temperatura a cui tende il corpo idrico in assenza di perturbazioni termiche (valore medio
<i>Ks</i>	<i>W/m<sup>2</sup> °C</i>	10 35 40 56 68	Coefficiente di scambio termico con l'atmosfera. Rappresenta la potenza dispersa dal pennacchio termico verso l'atmosfera per ogni grado di sovrizzo termico e per ogni metro quadrato di superficie. Esso è determinato anche in funzione dell'intensità
<i>Vel Corr.Amb</i>	<i>m/s</i>	0.10	Velocità e direzione della corrente marina presente nell'ambiente per tutto lo svolgimento delle simulazioni. Il
<i>Vel. e Dir. Vento</i>	<i>m/s</i>	0.0 3.5 ENE 4.0 NW 6.5 NW 8.0 NW	Velocità del vento presente durante le simulazioni e direzione di provenienza del vento prevalente. La presenza del vento in una determinata direzione origina uno sforzo tangenziale alla superficie libera del corpo d'acqua producendone così una
<i>Livello marino</i>	<i>m s.l.m</i>	0.0	Valore del livello del mare considerato durante la simulazione, espresso rispetto al valore di medio mare

**tab. 3.4 - Valori dei parametri fisici imposti nei modelli**

Numero di Prandtl turbolento	1	
Viscosità turbolenta ambientale nel piano orizzontale	0.002	m <sup>2</sup> /s
Viscosità turbolenta ambientale in direzione verticale <sup>(1)</sup>	0.002	m <sup>2</sup> /s
Coefficiente della lunghezza di mescolamento	0.07	

- (1) Questo valore è il minimo valore assunto durante i calcoli dalla viscosità verticale. Qualora infatti, il modello di turbolenza implementato in TRIMDI calcolasse un valore inferiore al valore di riferimento, si assumerebbe come valore della viscosità verticale questo valore.

**tab. 3.5 – Sintesi delle condizioni al contorno**

	Caso test	Assetto a 3 gruppi	Assetto a 4 guppi
<i>Lato ovest corrente costiera entrante</i>			
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.1	
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.01391	
Temperatura acqua (T) [°C]	23.15	24.1	24.1
<i>Lato est corrente costiera uscente</i>	<i>tutti i casi</i>		
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.10675	
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.015	
Temperatura acqua (T) [°C]		Calcolata <sup>(1)</sup>	
<i>Lato nord mare aperto</i>	<i>tutti i casi</i>		
Gradiente normale di u [s-1]		0	
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0	
Gradiente norm. di T [°C/m]		0	
<i>Lato della linea di costa</i>	<i>tutti i casi</i>		
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.0	
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0	
Gradiente norm. di T [°C/m]		0	
<i>Fiume Segno</i>	<i>Foce attuale</i>	<i>Foce deviata</i>	
Velocità direzione x (u) [m/s]	-0.235	-0.13135	
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.1315	0.18575	
Temperatura acqua (T) [°C]		24.1	
<i>Scarico</i>	<i>Caso test</i>	<i>Assetto a 3 gruppi</i>	<i>Assetto a 4 guppi</i>
Velocità direzione x (u) [m/s]	-1.072797	-1.76245	-2.29885
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.79724	1.30979	1.70837
Temperatura acqua (T) [°C]	32.45	34.375	34.544
<i>Presa</i>	<i>Caso test</i>	<i>Assetto a 3 gruppi</i>	<i>Assetto a 4 guppi</i>
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.0	0.0	0.0
Velocità direzione y (v) [m/s]	-0.32	-0.52626	-0.6864
Gradiente norm. di T [°C/m]		0	

- (1) Si assume che la temperatura dell'acqua raggiunga la temperatura ambiente alla distanza di 3000 m dal contorno del dominio.
- (2) Per il calcolo delle componenti della velocità di scarico si è utilizzata l'usuale algebra vettoriale a partire dai dati di tab. 3.1.
- (3) Le dizioni est, ovest, nord e sud fanno riferimento al reticolo di calcolo TRIMDI e non alle direzioni geografiche, per cui corrispondono rispettivamente alle direzioni  $x^+$ ,  $x^-$ ,  $y^+$  e  $y^-$ .

## 4 ANALISI DEI RISULTATI

### 4.1 Considerazioni generali

I risultati relativi a ciascuno degli scenari considerati nello studio sono stati analizzati sia graficamente sia mediante elaborazioni analitiche per estrarre l'insieme delle informazioni atte a caratterizzare esaurientemente le condizioni di diffusione termica [22]. In particolare, poiché lo scopo dello studio è quello di verificare le condizioni di scarico in presenza delle nuove strutture previste dal Piano Regolatore Portuale con specifico riferimento al limite di temperatura previsto sull'arco a 1000 m ed alle condizioni di ricircolo termico alla presa, viene analizzata con particolare dettaglio l'area del bacino di Vado Ligure.

Naturalmente, ogni situazione simulata viene analizzata rispetto a tutte le componenti termiche e di moto, ed in particolare vengono analizzati:

- a) i campi termici superficiale e medio nello strato di 3 m sotto la superficie del mare, quest'ultimo in ottemperanza ai requisiti di legge, entrambi in termini di sovrizzo termico rispetto alla temperatura ambientale. Il campo superficiale ha interesse per valutare l'effetto dello scambio termico con l'atmosfera;
- b) l'andamento del campo termico in alcune sezioni verticali significative, allo scopo di valutare l'entità dell'affondamento del pennacchio in prossimità della presa e/o a causa della presenza di navi all'ormeggio;
- c) il campo di moto allo scopo di valutare le modifiche causate dalla presenza delle nuove strutture e gli effetti di interferenza dovuti alla eventuale presenza di navi all'ormeggio.

### 4.2 La valutazione del sovrizzo termico a 1000 m

La normativa di legge vigente ai fini del rispetto dei limiti termici di immissione in mare [2] prevede un limite massimo di + 3 °C di sovrizzo termico rispetto alla temperatura ambientale valutato su un arco di raggio 1000 m a partire dal punto di scarico, oltre al limite assoluto di 35 °C nel punto di scarico stesso. Il regolamento attuativo [3] prevede che tale limite sia verificato in una serie di punti di misura lungo l'arco, a distanza di 5° l'uno dall'altro, effettuando la media pesata delle misure di temperatura sulla colonna d'acqua di profondità 3 m alle quote di -0.1, -1.5 e -3 m. Il valore di sovrizzo termico viene stabilito per differenza tra tale temperatura media nel punto più caldo e la temperatura di una porzione di corpo idrico non influenzata dallo scarico (media dei tre punti più freddi).

Per la centrale di Vado Ligure, il problema di misura sull'arco a 1000 m si pone in relazione con il fatto che lo scarico avviene entro un bacino parzialmente chiuso, in cui risulta problematico definire il punto non perturbato; poiché però la normativa prevede che, qualora non sia possibile definire un punto esterno all'arco e rappresentativo delle condizioni non perturbate, si può assumere come temperatura di riferimento la media delle temperature, espressa come valore medio delle tre misure alle quote di -0.1, -1.5 e -3 m, nei tre punti più freddi del predetto arco, sempre aumentata del doppio della deviazione standard; tale procedura è applicata nel caso della centrale di Vado Ligure stante l'impossibilità di definire un punto non perturbato entro la zona di scarico. Con questa metodologia, la misura dell'incremento termico sull'arco a 1000 m viene effettuata in 27 stazioni, come illustrato in fig. 2.40 tratta da [30].

Allo scopo di valutare il rispetto di tali limiti nelle situazioni di analisi considerate nello studio, si è calcolato l'andamento del sovrizzo termico sull'arco a 1000 m dallo scarico in corrispondenza alle 27 stazioni di misura, riportate nel reticolo di calcolo come indicato in fig. 4.1, partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione di ciascuno dei casi considerati. Tali risultati sono raccolti in una apposita tabella che include i valori calcolati sull'arco, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1,F2,F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi TF e della sua deviazione standard (2SF) ed riporta l'incremento termico calcolato sull'intero arco. Ciascuna tabella riporta poi l'andamento grafico del sovrizzo termico lungo l'arco a 1000 m, e gli andamenti dei valori calcolati alle profondità di -0.1, -1.5 e -3 m.

### 4.3 Caso test. Situazione al 30 giugno 2004

In questa sezione verranno esaminati i risultati ottenuti dalla simulazione numerica realizzata nelle condizioni di scarico esistenti alla data del 30 giugno 2004, in concomitanza con la misura dell'incremento termico sull'arco a 1000 m effettuata in tale data, ed i cui valori sono riportati al paragrafo 2.10.

Come si è già avuto modo di ricordare, tale caso ha essenzialmente lo scopo di fornire uno scenario di validazione del modello numerico rispetto al quale valutare la corretta definizione dei parametri ambientali e delle strutture presenti in rada. Analizzando però i dati provenienti dalla misura (figure dalla fig. 2.35 alla fig. 2.39) si osserva che in fig. 2.36 è annotato un forte vento da NE (8÷12 m/s) mentre nei dati di esercizio riportati in fig. 2.39 sono riportati per il vento valori compresi tra 6.5 m/s e 9.6 m/s ma con direzione da N e NO nel periodo di misura (tra le 9:00 e le 11:00 am). L'analisi delle misure riportate in fig. 2.36 per le singole stazioni mostra una distribuzione sull'arco abbastanza simmetrica con la stazione 13 come stazione calda, il che non sembra in accordo con un vento forte da NE ma piuttosto con venti provenienti dai quadranti settentrionali.

Per verificare l'effetto del vento, sono allora state eseguite tre simulazioni numeriche, con vento di 8 m/s proveniente da NE, con vento di 6.5 m/s proveniente da NW (situazione ore 9:00) e con vento di 8 m/s sempre da NW (situazione ore 10:00); per quanto riguarda il coefficiente di scambio termico con l'atmosfera, si sono assunti rispettivamente i valori di  $68 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$  per velocità di 8 m/s e  $56 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$  per velocità attorno a 6.5 m/s, in accordo con una temperatura naturale del mare di  $23.15 \text{ }^\circ\text{C}$  come rilevato nella misura stessa.

La posizione delle stazioni di misura, delle opere di scarico e presa, della foce del torrente Segno e della nave attraccata al pontile Petrolog sono indicate in fig. 4.1, mentre in tab. 4.1 sono riportati, nello stesso formato utilizzato per l'analisi delle simulazioni, i dati misurati nelle diverse stazioni ed il calcolo dell'incremento termico sull'arco ( $0.84 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Per quanto riguarda le tre condizioni di vento analizzate, si può osservare che:

- a) con vento forte da NE il pennacchio termico piega fortemente verso la costa (fig. 4.2) con valori di incremento termico nello strato superficiale superiori ad  $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$  nell'area di presa. In queste condizioni, si ha un riscaldamento anche degli strati inferiori, con possibilità di arrivare ad un ricircolo termico alla presa dell'ordine di  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , come evidenziato nella sezione di fig. 4.3. In questo caso, inoltre, il calcolo dell'incremento termico sull'arco mostra un forte sbilanciamento del pennacchio caldo verso le stazioni, che porta ad un incremento termico sull'arco pari a  $1.22 \text{ }^\circ\text{C}$ , come riportato in tab. 4.2;

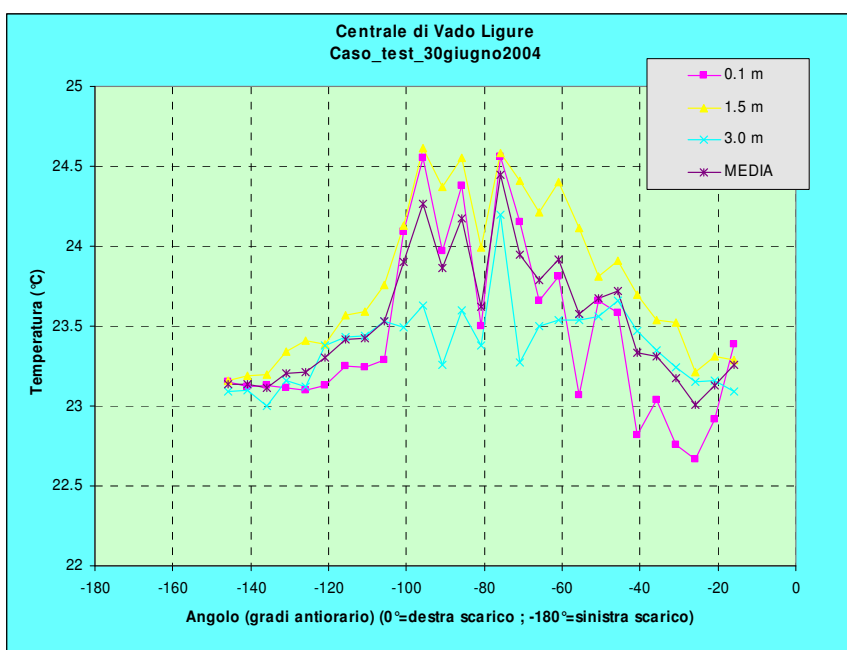
- b) con vento da NW di 6.5 m/s, come nelle condizioni iniziali della misura (ore 9:00), l'andamento del pennacchio termico è quello riportato in fig. 4.4 in cui si può notare una più marcata simmetria rispetto all'asse dello scarico a mare, con l'effetto del vento e della corrente che si contrastano nello strato superficiale; vi è comunque l'effetto di sbarramento della nave attraccata al pontile Petrolog. L'esame della sezione verticale alla presa (fig. 4.5) mostra ora un minore affondamento del pennacchio nell'area di aspirazione e la totale assenza di ricircolo termico. Per quanto riguarda l'incremento termico sull'arco a 1000 m, riportato in tab. 4.3, si osserva che ora esso è pari a 0.79 °C, ma soprattutto vi è una sensibile coincidenza di valori su tutte le stazioni dell'arco;
- c) con vento ancora da NW di 8 m/s, come nelle condizioni intermedie di misura (ore 10), l'andamento del pennacchio termico è assai simile a quello descritto al punto precedente, con l'aumentata intensità del vento che ne restringe l'area sia per effetto dello sforzo superficiale indotto dal vento sia soprattutto per l'aumentata efficienza dello scambio termico con l'atmosfera (fig. 4.6 e fig. 4.7). Per quanto riguarda l'incremento termico sull'arco a 1000 m, riportato in tab. 4.4, si osserva che tale valore, pari a 0.72 °C, è leggermente inferiore a quello calcolato con velocità inferiore del vento, e ciò è naturale in quanto si è in presenza di un maggior raffreddamento per scambio termico con l'atmosfera.

Analizzando le situazioni descritte ai punti precedenti è evidente che la direzione corretta del vento nel periodo di misura è dal quadrante di NW; mentre il valore leggermente inferiore di incremento termico stimato rispetto a quello misurato (0.82 °C) è dovuto al fatto che la simulazione rappresenta uno stato stazionario mentre la misura di confronto ha visto una notevole variazione di intensità del vento nel periodo interessato.

Si può concludere quindi che il modello è in grado di simulare con sufficiente accuratezza il fenomeno della dispersione termica in mare delle acque di raffreddamento della centrale di Vado Ligure.

**tab. 4.1 – Sovralzo termico sull’arco a 1000 m misurato il 30 giugno 2004**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	24.343
1	23.39	23.29	23.09	23.257		2SC	0.2906
2	22.92	23.31	23.16	23.130	F3		
3	22.67	23.21	23.15	23.010	F1	Staz. F 1	23.010
4	22.76	23.52	23.24	23.173		Staz. F 2	23.110
5	23.04	23.54	23.35	23.310		Staz. F 3	23.130
6	22.82	23.7	23.47	23.330		T m	23.083
7	23.58	23.91	23.66	23.717		2SF	0.1286
8	23.66	23.81	23.56	23.677			
9	23.07	24.11	23.54	23.573		<b>Incr. term.</b>	<b>0.84</b>
10	23.81	24.4	23.54	23.917			
11	23.66	24.21	23.5	23.790			
12	24.15	24.41	23.27	23.943	C		
13	24.56	24.58	24.2	24.447			
14	23.5	23.99	23.38	23.623			
15	24.38	24.55	23.6	24.177			
16	23.97	24.37	23.26	23.867			
17	24.55	24.61	23.63	24.263			
18	24.09	24.13	23.49	23.903			
19	23.29	23.76	23.53	23.527			
20	23.24	23.59	23.44	23.423			
21	23.25	23.57	23.43	23.417			
22	23.13	23.39	23.38	23.300			
23	23.1	23.41	23.12	23.210			
24	23.11	23.34	23.16	23.203			
25	23.13	23.2	23	23.110	F2		
26	23.12	23.19	23.1	23.137			
27	23.15	23.16	23.09	23.133			

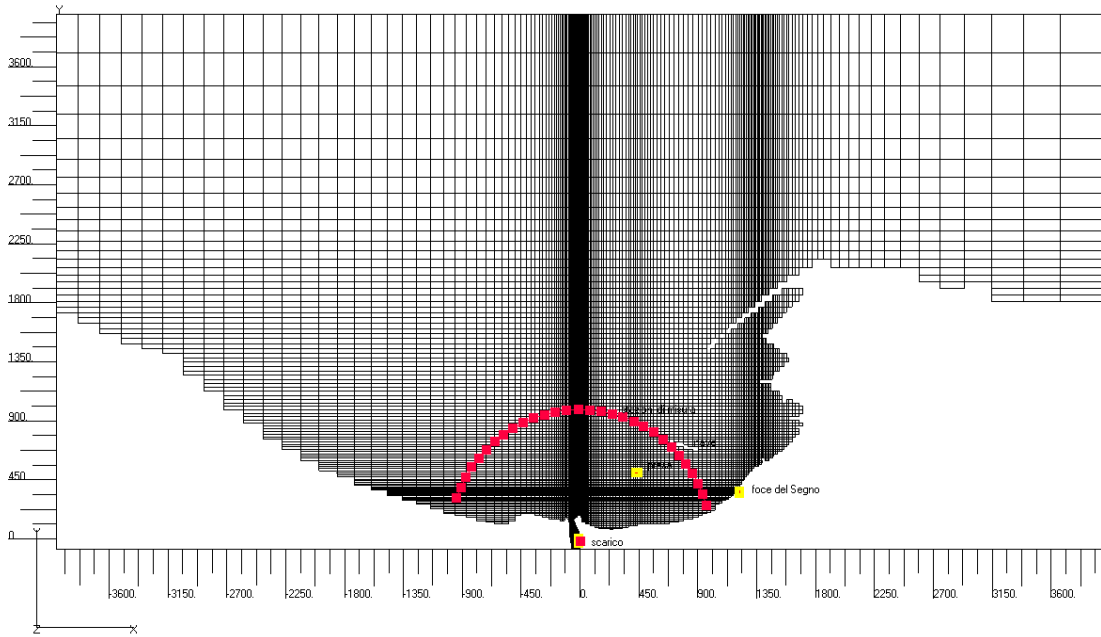


## Rapporto

Mesh identifier : mesh\_test  
File identifier : vadotr8640

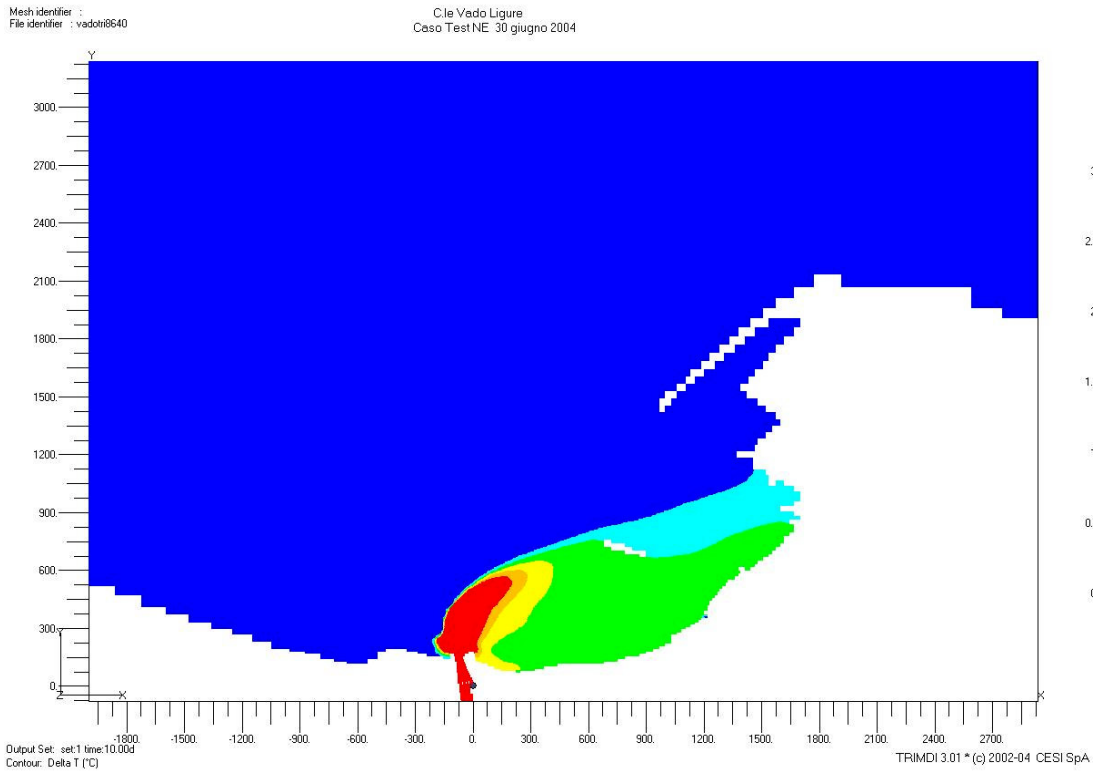
### STA Studi Territoriali ed Ambientali

Centrale Termoelettrica di Vado Ligure  
Caso Test 30 giugno 2004 \* stazioni sull'arco a 1000 m



TRIMDI 3.01 \* (c) 2002-04 CESI SpA

**fig. 4.1 - Caso test. Posizione delle opere di presa e scarico e delle stazioni di misura sull'arco a 1000 m**



**fig. 4.2 –Caso test con vento da NE. Incremento termico nello strato superficiale**

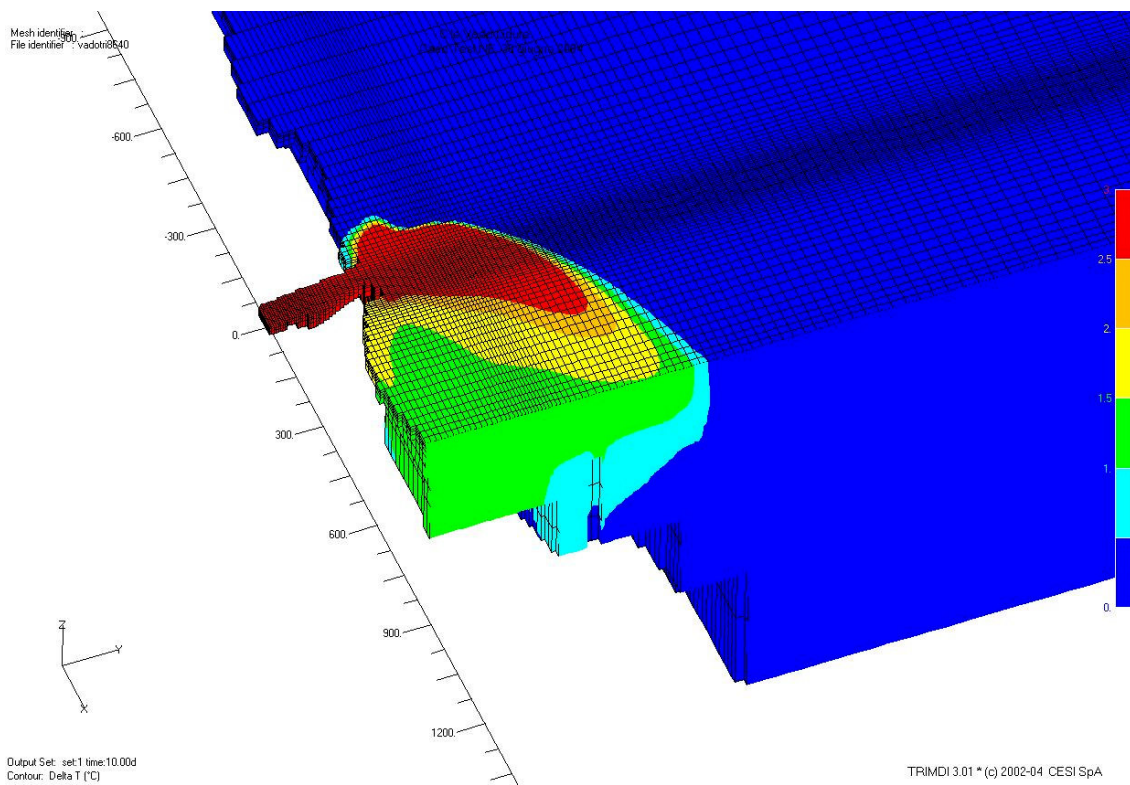


fig. 4.3 – Caso test con vento da NE. Incremento termico nella sezione di presa

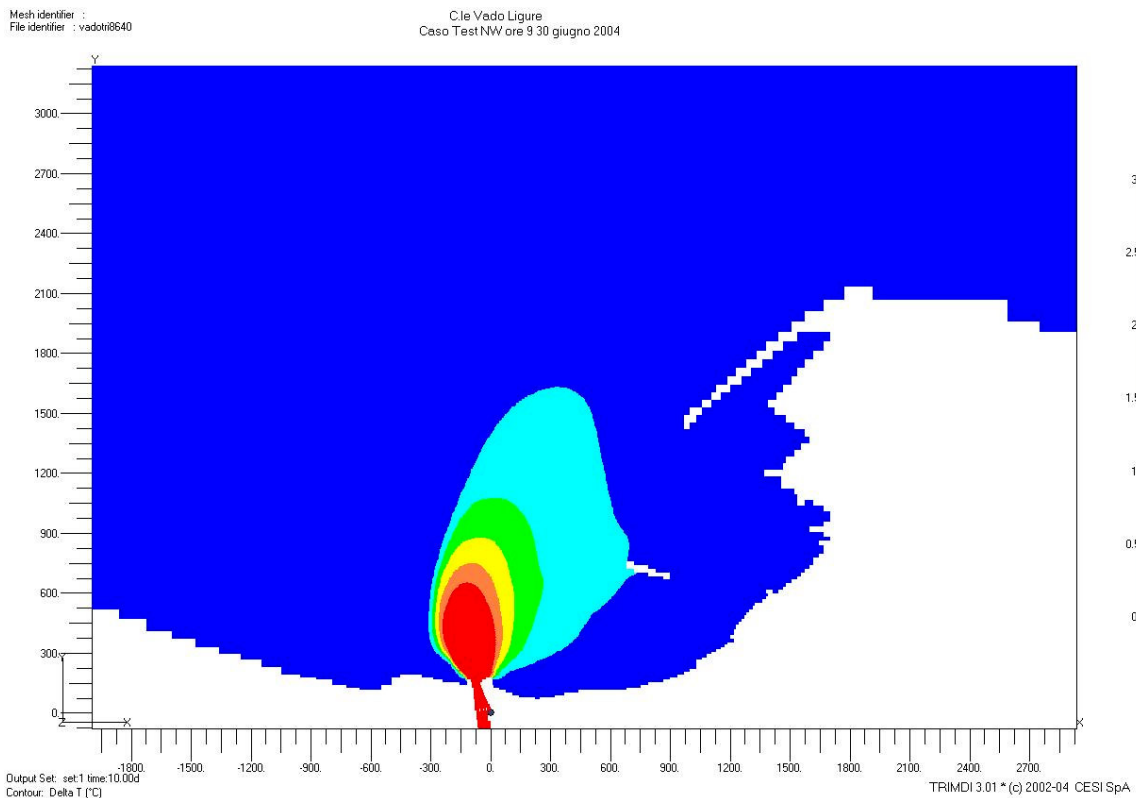
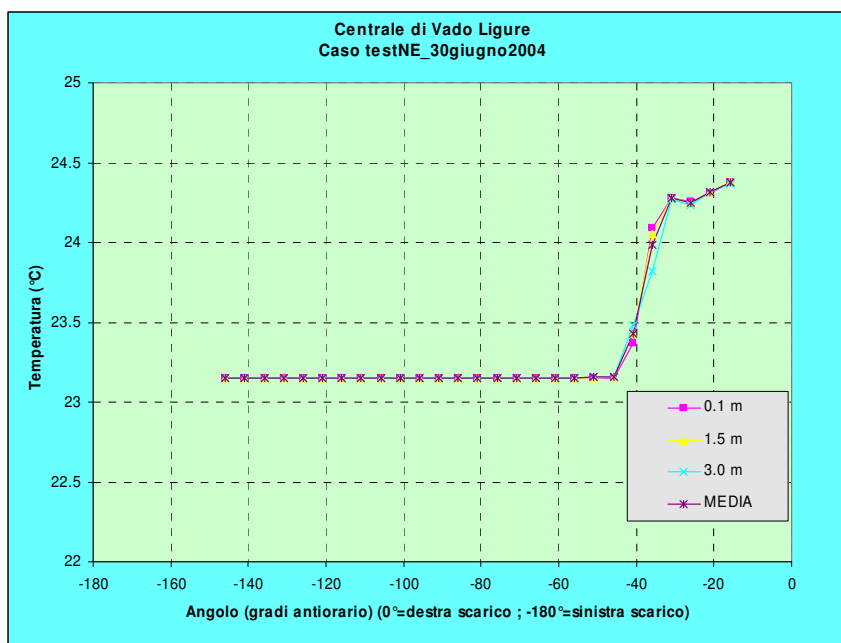


fig. 4.4 – Caso test con vento da NW ore 9. Incremento termico nello strato superficiale



**tab. 4.2 – Caso test con vento da NE. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	24.376
1	24.375	24.381	24.371	24.376	C	2SC	0.0000
2	24.308	24.319	24.317	24.315		Staz. F 1	23.151
3	24.256	24.251	24.23	24.246		Staz. F 2	23.151
4	24.279	24.279	24.271	24.276		Staz. F 3	23.151
5	24.087	24.054	23.818	23.986		T m	23.151
6	23.371	23.427	23.482	23.427		2SF	0.0000
7	23.153	23.155	23.16	23.156		<b>Incr. term. 1.22</b>	
8	23.154	23.154	23.155	23.154			
9	23.154	23.154	23.154	23.154			
10	23.154	23.154	23.154	23.154			
11	23.154	23.154	23.154	23.154			
12	23.153	23.153	23.153	23.153			
13	23.153	23.153	23.154	23.153			
14	23.153	23.153	23.153	23.153			
15	23.153	23.153	23.153	23.153			
16	23.153	23.153	23.153	23.153			
17	23.153	23.153	23.153	23.153			
18	23.153	23.153	23.153	23.153			
19	23.152	23.152	23.153	23.152			
20	23.152	23.152	23.152	23.152			
21	23.152	23.152	23.152	23.152			
22	23.151	23.152	23.152	23.152		F1	
23	23.151	23.151	23.151	23.151		F2	
24	23.151	23.151	23.151	23.151	F3		
25	23.151	23.151	23.151	23.151			
26	23.152	23.151	23.151	23.151			
27	23.152	23.152	23.152	23.152			



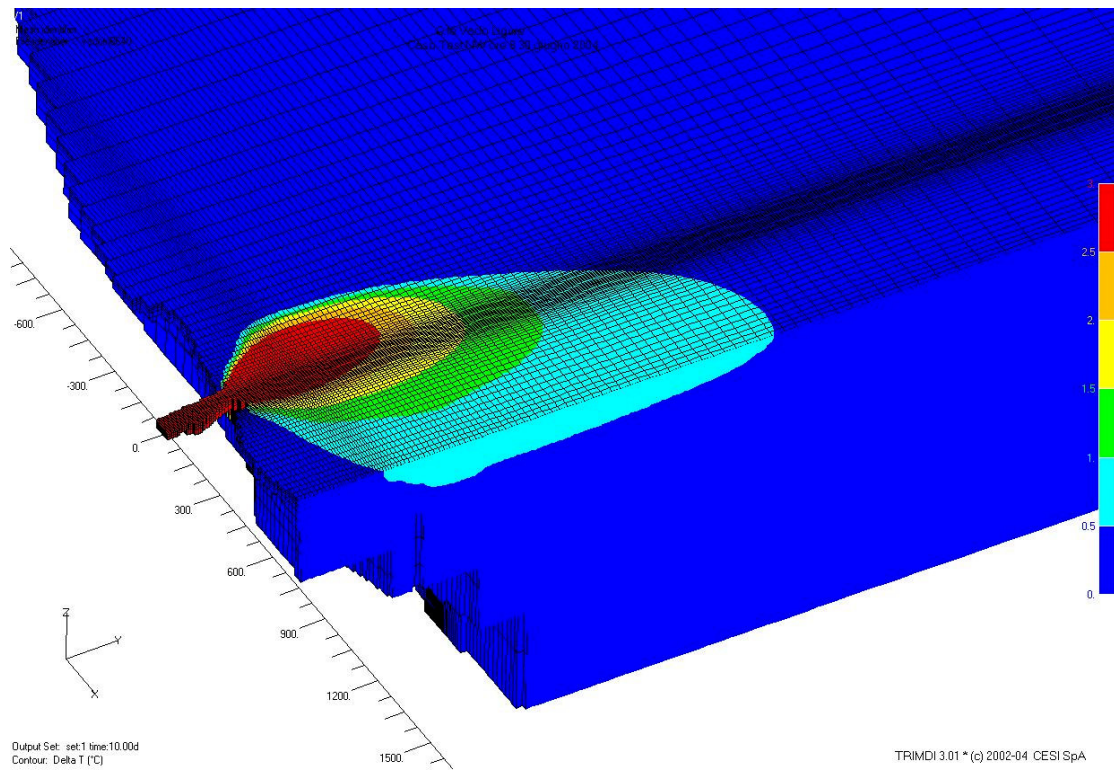


fig. 4.5 – Caso test con vento da NW ore 9. Incremento termico nella sezione di presa

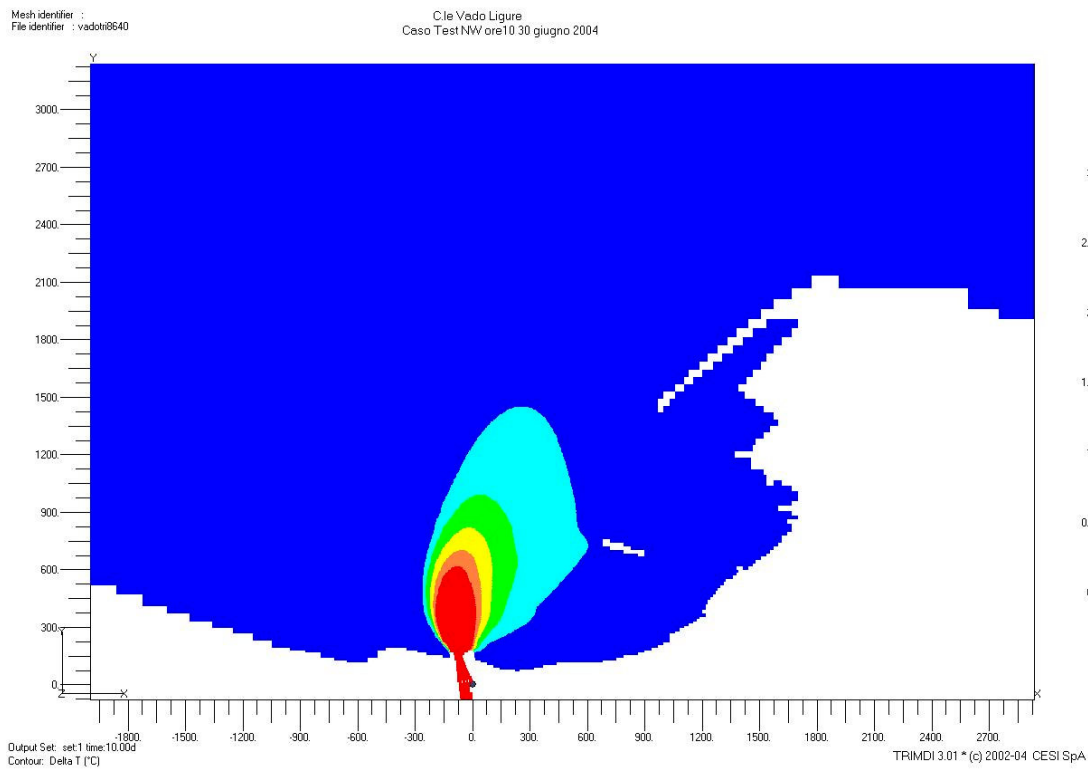
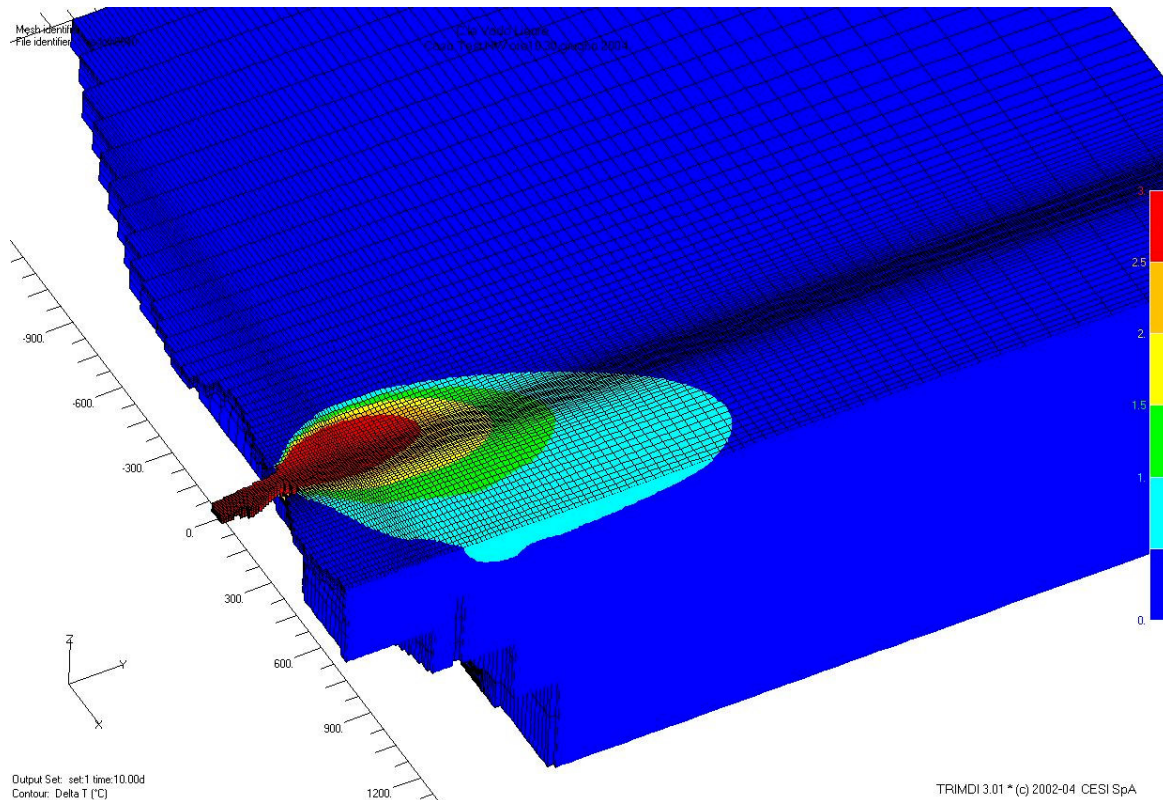


fig. 4.6 – Caso test con vento da NW ore 10. Incremento termico nello strato superficiale



**fig. 4.7 – Caso test con vento da NW ore 10. Incremento termico nella sezione di presa**

#### 4.4 Caso 1 porto attuale

In questa sezione verranno esaminati i risultati ottenuti dalla simulazione numerica realizzata nelle condizioni ambientali di calma di vento, considerando l'attuale configurazione del porto e tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico. Questo caso rappresenta quindi lo scenario di riferimento per l'assetto attuale di esercizio nelle condizioni meteomarine presumibilmente più critiche ai fini della dispersione termica.

La simulazione numerica è stata condotta nelle condizioni riportate in tab. 3.1, utilizzando un coefficiente di scambio termico con l'atmosfera pari a  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ , coerentemente con l'andamento di fig. 2.34, e facendo riferimento al reticolo di calcolo di fig. 3.1 senza navi attraccate. In queste condizioni, l'estensione del pennacchio raggiunge la sua massima dimensione.

Le figure dalla fig. 4.8 alla fig. 4.12 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui esame porta alle seguenti considerazioni:

- l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale è mostrato in fig. 4.8 con riferimento allo strato superficiale. E' immediato notare come esso si estenda nella rada di Vado ben oltre l'area portuale, trascinato verso SW dalla corrente marina, con valori di temperatura anche abbastanza elevati a causa della assenza di uno scambio termico significativo con l'atmosfera. L'esame della sezione verticale alla presa, riportata in fig. 4.9 con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, mostra tuttavia come l'assenza di una

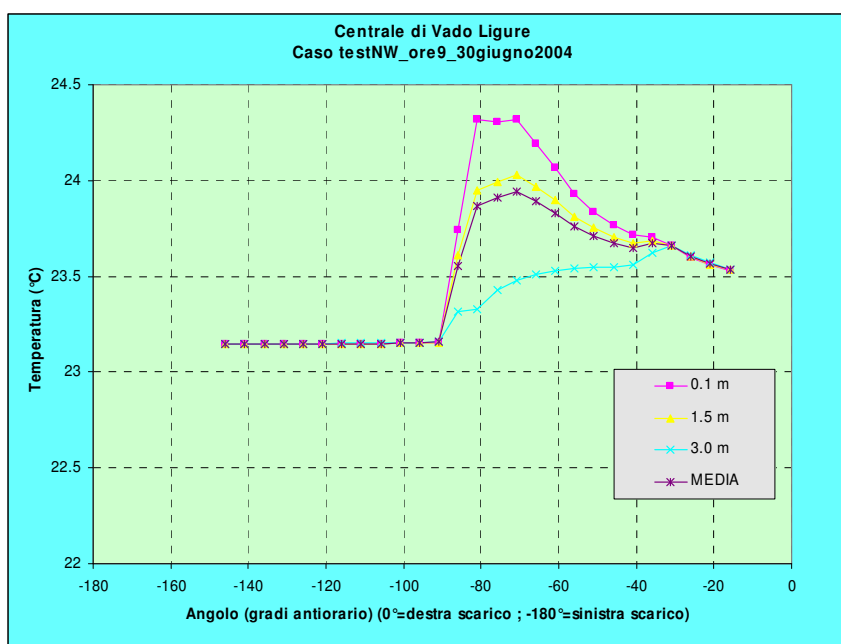
turbolenza significativa nel corpo idrico e di un movimento superficiale causato dallo sforzo indotto dal vento porta ad un elevato grado di galleggiamento del pennacchio termico stesso, che viene ad interessare uno strato verticale assai limitato, dell'ordine di  $1 \div 1.5$  m: in queste condizioni, il valore atteso di ricircolo termico alla presa è molto basso;

- b) per meglio comprendere l'andamento del sovrizzo termico nelle zone di maggior interesse, è stato riportato in fig. 4.10 l'andamento del campo di moto nello strato superficiale interessato dalla dispersione termica. Si distinguono essenzialmente tra aree caratteristiche: la prima area interessa il tratto di mare a più di 2000 m dalla costa, all'esterno della diga foranea, che presenta un moto determinato dalla circolazione generale della corrente marina, la seconda area interessa essenzialmente l'area interna del porto attuale, tra le calate Sud e Nord e la diga foranea, in cui si ha una zona di calma con valori di velocità della corrente inferiori a 0.02 m/s, ed infine la terza area rappresentata dal tratto di mare antistante lo scarico influenzata, per lo strato più superficiale, dal getto dello scarico, anche oltre la posizione del campo di boe a 1 km dalla costa. Valori significativi di velocità, superiori a 0.5 m/s, si rilevano tuttavia fino a circa 500 m dalla costa, al termine della cosiddetta "mixing zone" ove è presente ancora l'effetto turbolento del getto, dopodiché la dispersione avviene essenzialmente per diffusione;
- c) in fig. 4.11 è riportato in particolare l'andamento del campo di moto in prossimità dello scarico. Si può notare come il getto di scarico si allarga nell'area di foce antistante, rallentando, per poi accelerare nella sezione a mare nel tratto a valle del ponte sull'Aurelia; sono inoltre presenti vortici in corrispondenza della zona cieca a monte dell'opera di scarico stessa;
- d) in fig. 4.12 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m, da cui si può vedere come la temperatura media sull'arco è ovunque inferiore a 2 °C. La determinazione simulata dell'incremento termico sull'arco è stata effettuata a partire dai valori calcolati secondo la metodologia descritta al paragrafo 4.2, ed i corrispondenti valori calcolati per ciascuna stazione di misura sono riportati in tab. 4.5. Come si può vedere, l'incremento termico previsto nelle condizioni simulate è di 0.87 °C, quindi ben inferiore al limite di legge; va osservato che ciò è dovuto essenzialmente al fatto che il pennacchio termico si disperde in tutte le direzioni, riscaldando l'intera zona di mare nel tratto di scarico, per cui la temperatura media delle tre stazioni fredde (24.77 °C) è comunque superiore di 0.67 °C rispetto alla temperatura naturale imperturbata (24.1 °C);
- e) infine, è da segnalare l'assoluta ininfluenza dello scarico freddo rappresentato dalla foce del torrente Segno, almeno nelle normali condizioni di portata utilizzate nella simulazione.

L'analisi sopra descritta consente di definire condizioni di pieno esercizio nella condizione attuale del porto rispetto a cui poter valutare l'impatto delle nuove opere portuali previste, con l'indicazione comunque che le condizioni simulate non risultano critiche per quanto riguarda il rispetto dei limiti di legge.

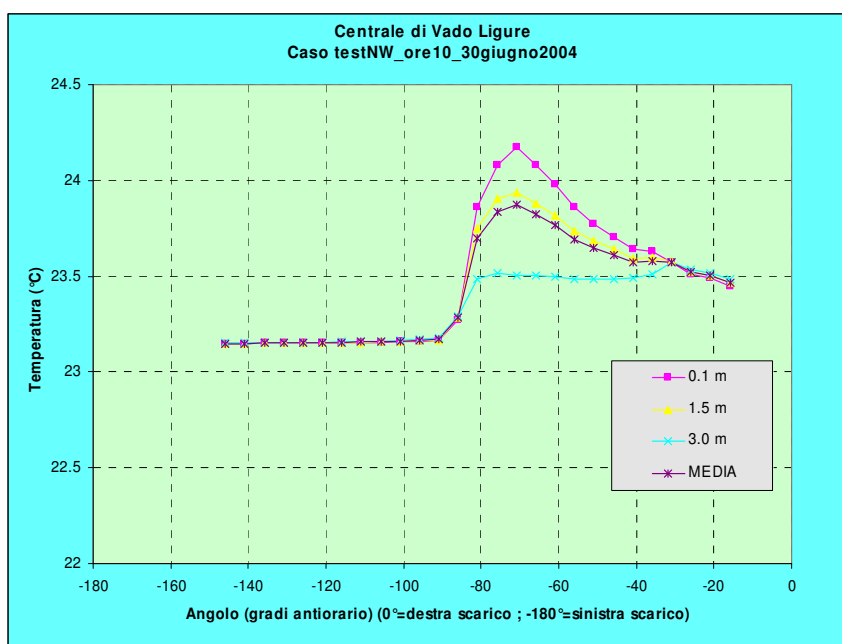
**tab. 4.3 – Caso test con vento da NW ore 9. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	23.941
1	23.529	23.533	23.537	23.533	C	2SC	0.0000
2	23.558	23.563	23.57	23.564			
3	23.596	23.602	23.608	23.602			
4	23.658	23.661	23.659	23.659			
5	23.706	23.685	23.62	23.670			
6	23.714	23.673	23.563	23.650			
7	23.767	23.706	23.545	23.673			
8	23.835	23.754	23.547	23.712			
9	23.927	23.813	23.541	23.760		Staz. F 1	23.148
10	24.065	23.898	23.53	23.831		Staz. F 2	23.148
11	24.19	23.969	23.511	23.890		Staz. F 3	23.148
12	24.319	24.027	23.478	23.941		T m	23.148
13	24.306	23.99	23.428	23.908		2SF	0.0000
14	24.32	23.947	23.329	23.865		<b>Incr. term. 0.79</b>	
15	23.74	23.61	23.314	23.555			
16	23.155	23.156	23.159	23.157			
17	23.151	23.152	23.154	23.152			
18	23.15	23.151	23.152	23.151			
19	23.149	23.149	23.15	23.149			
20	23.149	23.149	23.15	23.149			
21	23.149	23.149	23.15	23.149			
22	23.148	23.148	23.149	23.148			
23	23.148	23.148	23.148	23.148		F1	
24	23.148	23.148	23.148	23.148		F2	
25	23.148	23.148	23.148	23.148		F3	
26	23.148	23.148	23.148	23.148			
27	23.148	23.148	23.148	23.148			



**tab. 4.4 – Caso test con vento da NW ore 10. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	23.872
1	23.449	23.464	23.486	23.466		2SC	0.0000
2	23.491	23.502	23.515	23.503			
3	23.513	23.523	23.535	23.524		Staz. F 1	23.149
4	23.571	23.576	23.573	23.573		Staz. F 2	23.149
5	23.631	23.595	23.511	23.579		Staz. F 3	23.150
6	23.64	23.589	23.491	23.573		T m	23.150
7	23.707	23.639	23.488	23.611		2SF	0.0012
8	23.776	23.684	23.486	23.649			
9	23.86	23.735	23.487	23.694		<b>Incr. term.</b>	<b>0.72</b>
10	23.983	23.814	23.497	23.765			
11	24.083	23.879	23.504	23.822			
12	24.176	23.938	23.503	23.872	C		
13	24.082	23.902	23.515	23.833			
14	23.861	23.751	23.488	23.700			
15	23.271	23.285	23.291	23.282			
16	23.164	23.168	23.176	23.169			
17	23.16	23.163	23.169	23.164			
18	23.158	23.16	23.165	23.161			
19	23.156	23.158	23.162	23.159			
20	23.154	23.156	23.161	23.157			
21	23.153	23.155	23.159	23.156			
22	23.152	23.152	23.154	23.153			
23	23.151	23.151	23.153	23.152			
24	23.15	23.151	23.152	23.151			
25	23.15	23.15	23.151	23.150	F3		
26	23.149	23.149	23.15	23.149	F1		
27	23.149	23.149	23.15	23.149	F2		





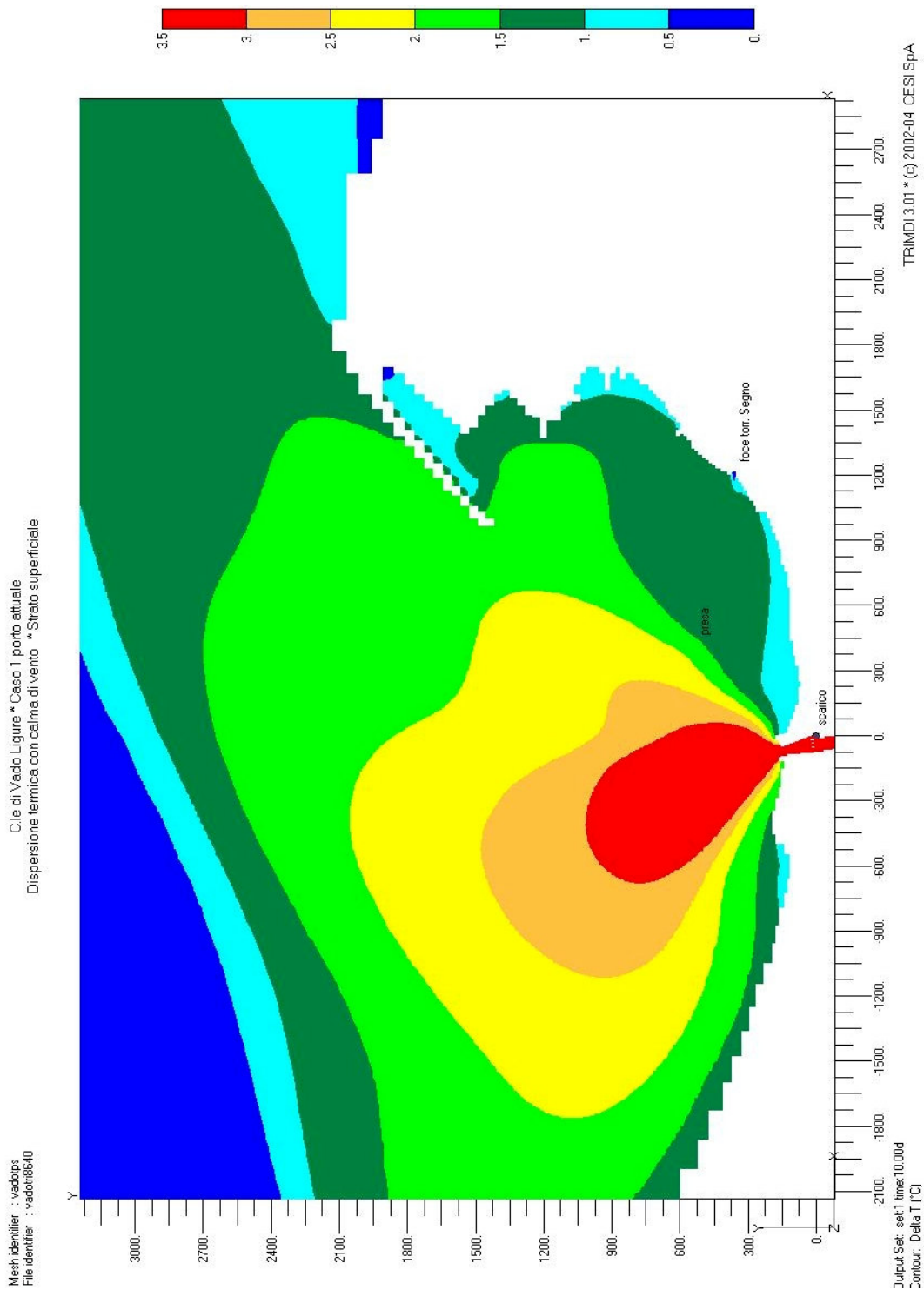


fig. 4.8 – Caso 1 porto attuale. Incremento termico nello strato superficiale

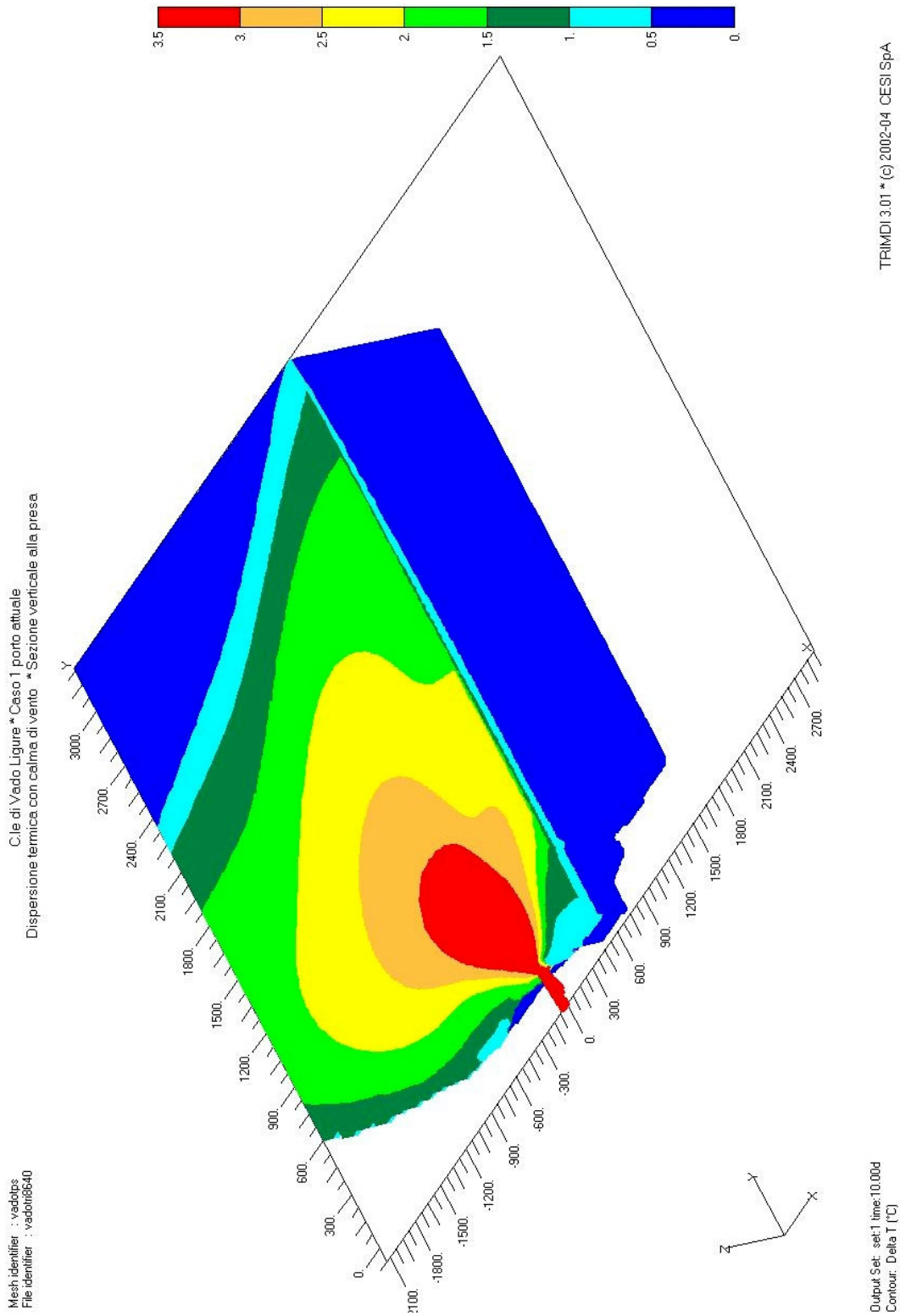


fig. 4.9 - Caso 1 porto attuale. Incremento termico nella sezione verticale di presa



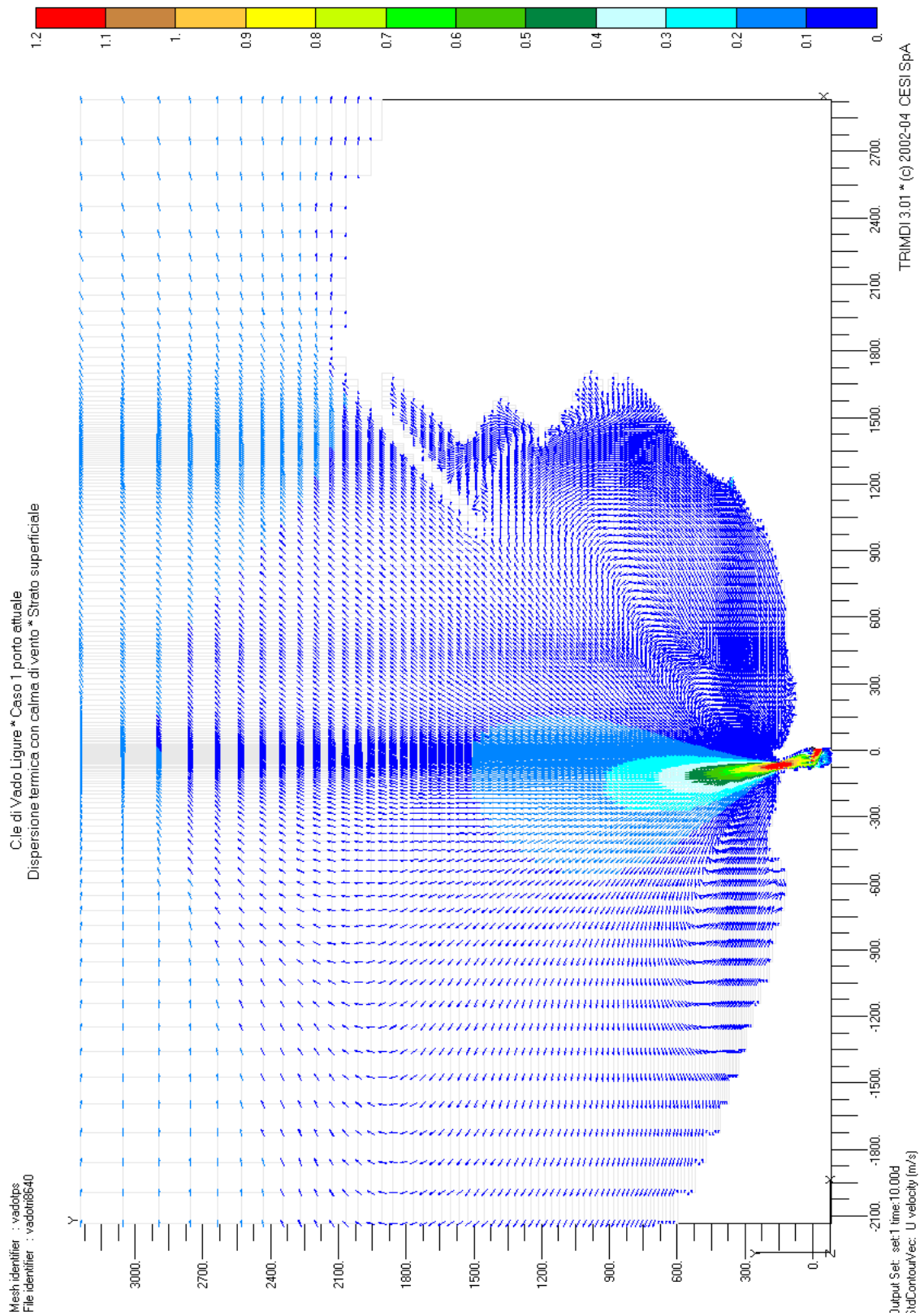


fig. 4.10 - Caso 1 porto attuale. Andamento del campo di moto nello strato superficiale

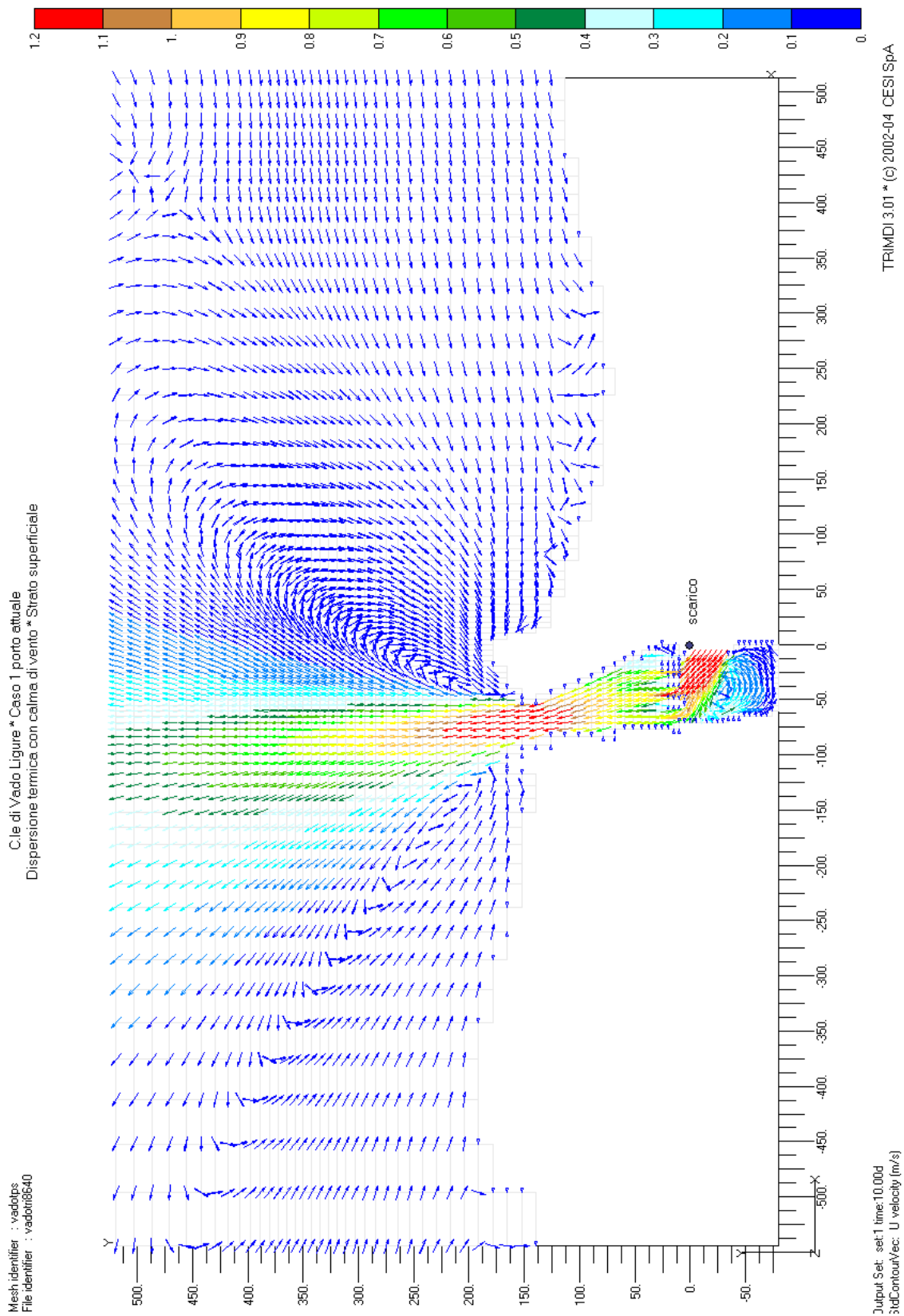


fig. 4.11 - Caso 1 porto attuale. Andamento del campo di moto nella foce del Quiliano

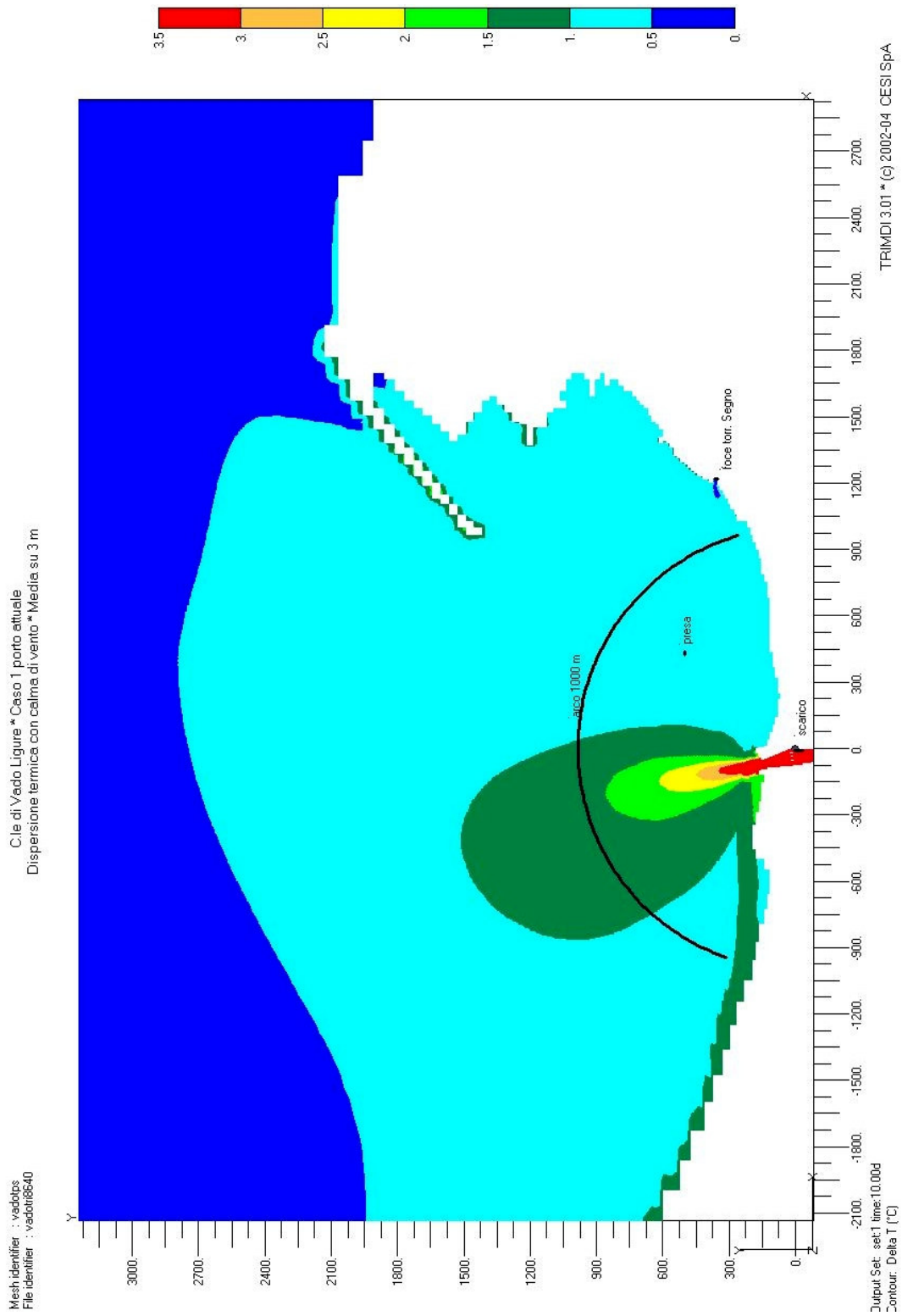
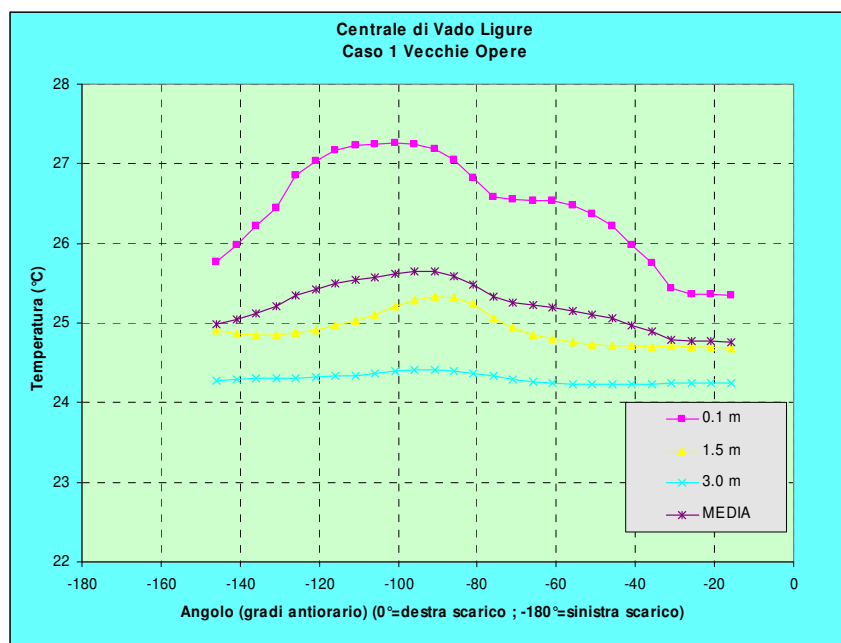


fig. 4.12 - Caso 1 porto attuale. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.5 – Caso 1 porto attuale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	25.646
1	25.353	24.684	24.247	24.761	F1	2SC	0.0000
2	25.363	24.692	24.249	24.768	F3		
3	25.356	24.701	24.245	24.767	F2	Staz. F 1	24.761
4	25.438	24.709	24.242	24.796		Staz. F 2	24.767
5	25.755	24.705	24.237	24.899		Staz. F 3	24.768
6	25.982	24.707	24.238	24.976		T m	24.766
7	26.214	24.716	24.238	25.056		2SF	0.0073
8	26.371	24.732	24.23	25.111			
9	26.475	24.756	24.227	25.153		Incr. term.	0.87
10	26.542	24.798	24.24	25.193			
11	26.541	24.855	24.263	25.220			
12	26.551	24.944	24.289	25.261			
13	26.59	25.067	24.33	25.329			
14	26.829	25.241	24.367	25.479			
15	27.051	25.321	24.396	25.589			
16	27.186	25.339	24.414	25.646	C		
17	27.243	25.281	24.413	25.646			
18	27.256	25.204	24.4	25.620			
19	27.246	25.102	24.372	25.573			
20	27.234	25.033	24.344	25.537			
21	27.168	24.972	24.33	25.490			
22	27.04	24.91	24.316	25.422			
23	26.851	24.874	24.312	25.346			
24	26.454	24.855	24.312	25.207			
25	26.222	24.849	24.311	25.127			
26	25.978	24.87	24.297	25.048			
27	25.769	24.904	24.282	24.985			



## 4.5 Caso 1 porto futuro

La simulazione numerica descritta in questo paragrafo è stata condotta nelle medesime condizioni descritte al paragrafo precedente, ma considerando la configurazione portuale prevista dal nuovo Piano Regolatore Portuale; si fa quindi ancora riferimento, in particolare, a condizioni di calma di vento.

Le figure dalla fig. 4.13 alla fig. 4.16 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui confronto con le corrispondenti figure dalla fig. 4.8 alla fig. 4.12 porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale, mostrato in fig. 4.13 con riferimento allo strato superficiale, mostra immediatamente come la presenza della piattaforma multifunzionale e delle navi ad essa attraccate costituisce una barriera all'ampliamento verso SW del pennacchio termico, con un conseguente ampliamento dell'area di calma, in ciò favorita anche dal prolungamento della diga foranea. L'area centrale calda del pennacchio termico, al contrario, non risente della presenza di tali strutture e si mantiene pressoché inalterata rispetto alla simulazione nelle condizioni attuali del porto (fig. 4.8).. L'esame della sezione verticale alla presa, riportata in fig. 4.14 sempre con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, conferma la sostanziale indipendenza della dispersione termica dalle nuove strutture nelle condizioni di calma di vento;
- b) quanto descritto al punto precedente relativamente al campo termico è confermato dall'esame dell'andamento del campo di moto riportato in fig. 4.15. Si può notare infatti come l'andamento del moto sia sostanzialmente inalterato nella zona di mare antistante l'area di scarico ed al largo, mentre invece si ha una sostanziale modifica della circolazione nell'area delle nuove strutture, dove la presenza della piattaforma multifunzionale e delle navi ad essa ormeggiate provoca la deviazione della corrente verso il largo ed un sostanziale ampliamento della zona di calma del porto. Le velocità in gioco, comunque, non sono molto diverse da quelle ottenute nella configurazione attuale del porto, mentre non si hanno assolutamente variazioni nell'area della foce del Quiliano interessata;
- c) in fig. 4.16 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m, da cui si può vedere come la temperatura media sull'arco è ancora ovunque inferiore a 2 °C, ma l'area calda del pennacchio medio è più ampia rispetto a quella di fig. 4.12 ad indicare un maggior ispessimento del pennacchio caldo dovuto ad una ridotta miscelazione nell'area delle nuove strutture. La determinazione simulata dell'incremento termico sull'arco è stata effettuata a partire dai valori calcolati secondo la metodologia descritta al paragrafo 4.2, ed i corrispondenti valori calcolati per ciascuna stazione di misura sono riportati in tab. 4.6. Come si può vedere, l'incremento termico previsto nelle condizioni simulate è di 0.76 °C, quindi anche inferiore a quello ottenuto nelle medesime condizioni nella configurazione attuale; questo risultato è da imputarsi all'accentuarsi dell'area calda anche in prossimità della costa, ove sono localizzate le stazioni fredde la cui temperatura media è ora di 24.89 °C;
- d) infine, è da segnalare l'assoluta ininfluenza dello scarico freddo rappresentato dallo spostamento della foce del torrente Segno, almeno nelle normali condizioni di portata utilizzate nella simulazione.

L'analisi sopra descritta consente di valutare l'impatto delle nuove opere portuali previste nelle condizioni di pieno esercizio ed in condizioni di calma di vento; da tale analisi emerge che non si hanno sostanziali modifiche nelle modalità di dispersione termica, in quanto l'assenza di vento determina una dislocazione del pennacchio termico che interessa per la maggior parte l'area di mare aperto antistante lo scarico della centrale.

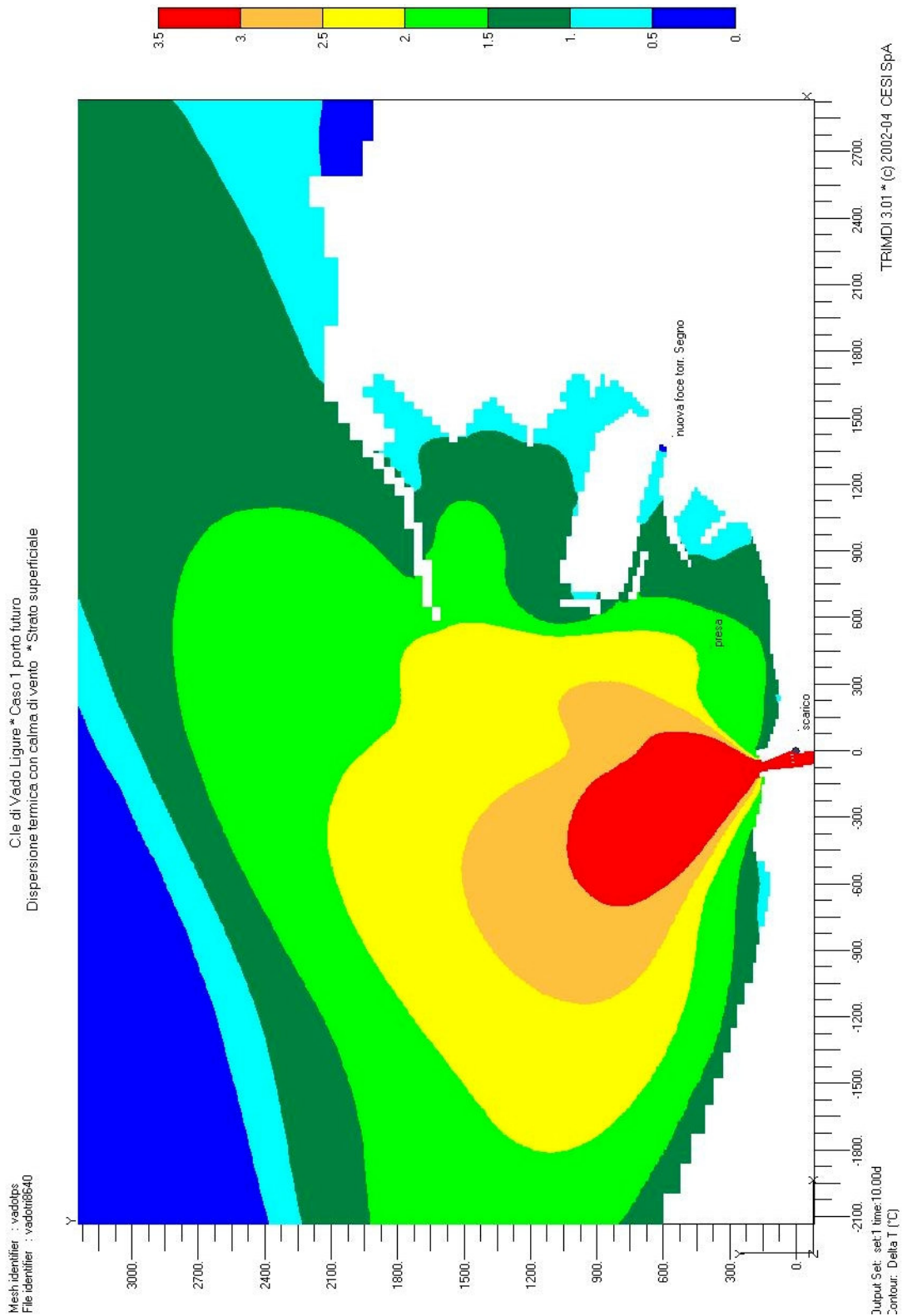


fig. 4.13 – Caso 1 porto futuro. Incremento termico nello strato superficiale

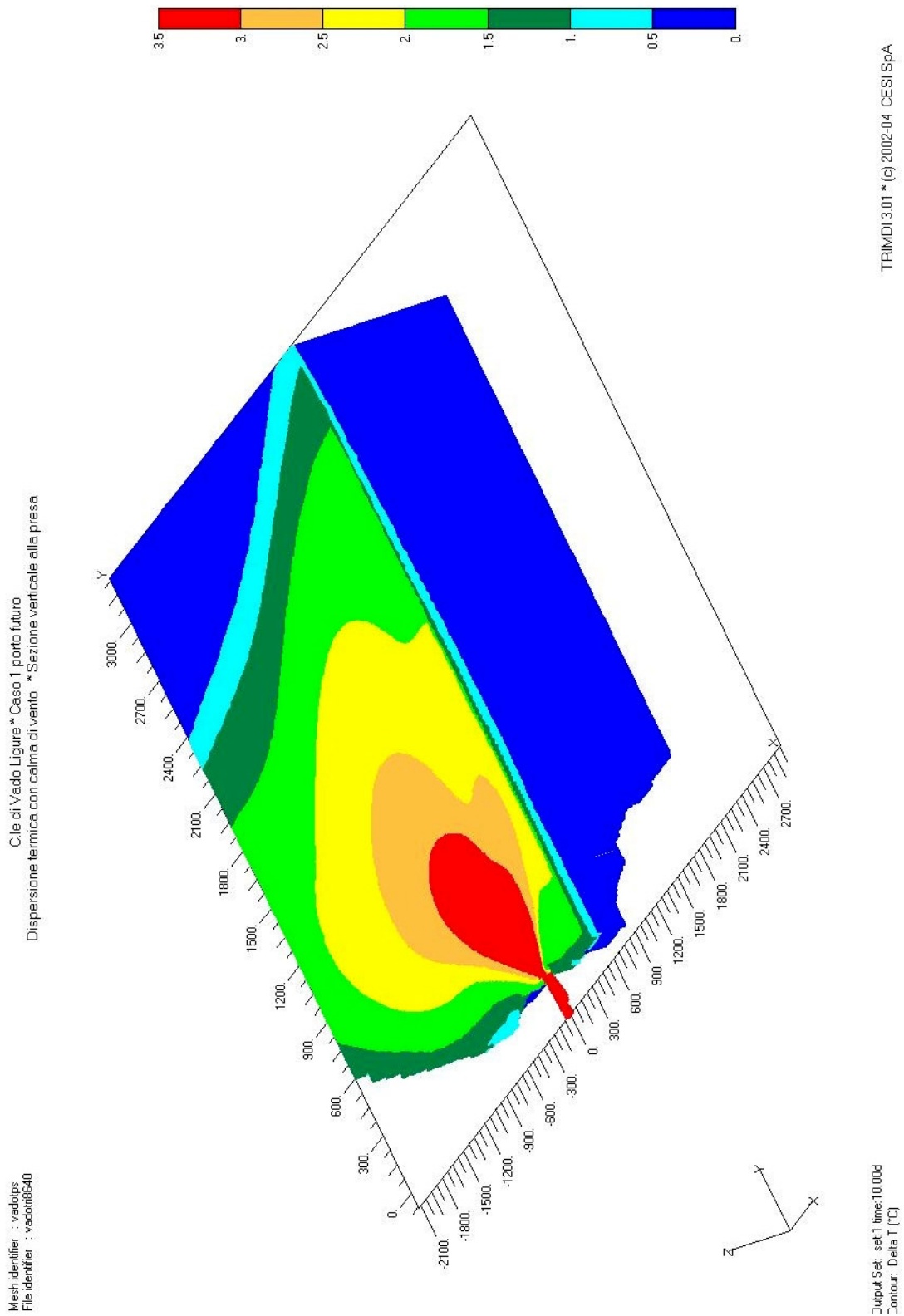


fig. 4.14 - Caso 1 porto futuro. Incremento termico nella sezione verticale di presa



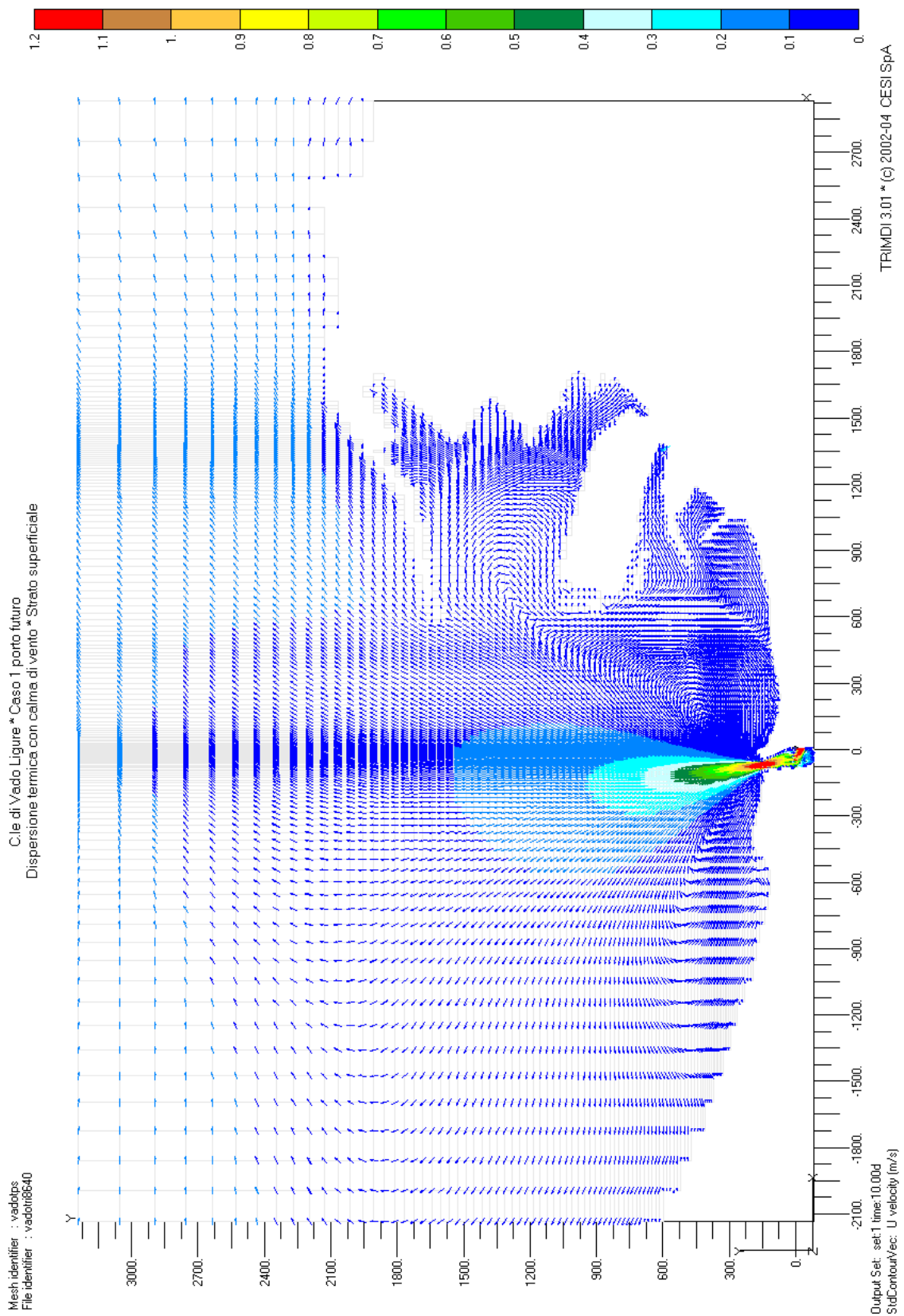


fig. 4.15 - Caso 1 porto futuro. Andamento del campo di moto nello strato superficiale

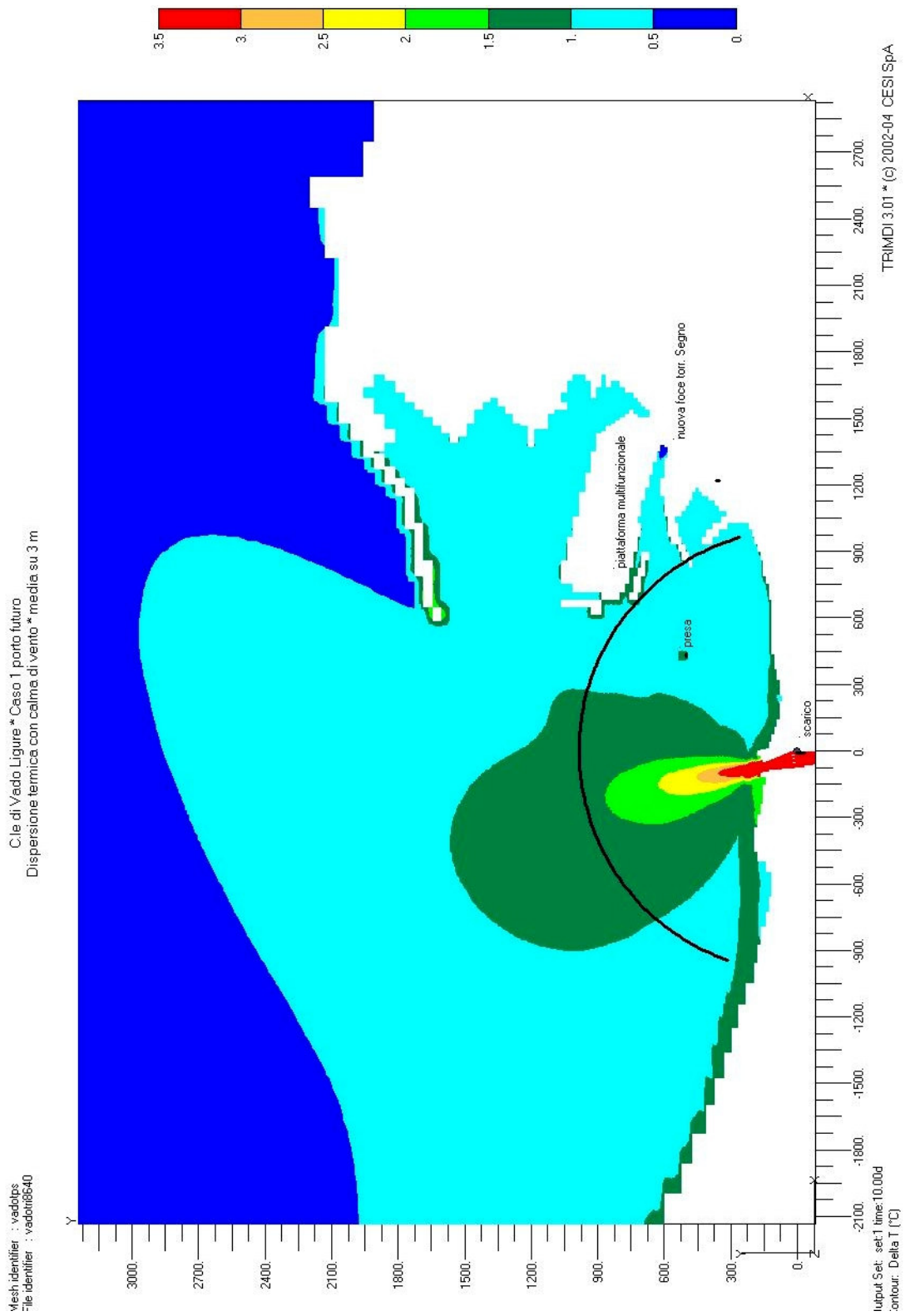
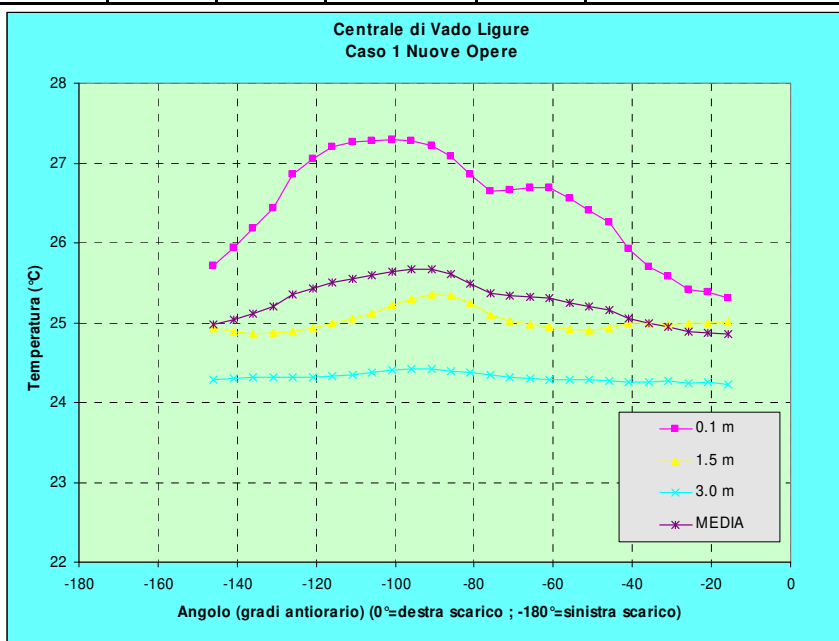


fig. 4.16 - Caso 1 porto futuro. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.6 – Caso 1 porto futuro. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	25.662
1	25.312	25.012	24.228	24.851	F1	2SC	0.0000
2	25.376	24.988	24.25	24.871	F2		
3	25.417	24.996	24.248	24.887	F3	Staz. F 1	24.851
4	25.578	24.973	24.27	24.940		Staz. F 2	24.871
5	25.697	24.996	24.262	24.985		Staz. F 3	24.887
6	25.931	24.986	24.254	25.057		T m	24.870
7	26.261	24.935	24.272	25.156		2SF	0.0364
8	26.407	24.907	24.29	25.201			
9	26.561	24.915	24.285	25.254		<b>Incr. term.</b>	<b>0.76</b>
10	26.687	24.941	24.286	25.305			
11	26.699	24.971	24.302	25.324			
12	26.668	25.018	24.317	25.334			
13	26.643	25.1	24.346	25.363			
14	26.857	25.255	24.373	25.495			
15	27.078	25.336	24.398	25.604			
16	27.214	25.356	24.416	25.662	C		
17	27.272	25.297	24.416	25.662			
18	27.286	25.219	24.403	25.636			
19	27.277	25.116	24.375	25.589			
20	27.264	25.047	24.348	25.553			
21	27.196	24.986	24.334	25.505			
22	27.059	24.925	24.319	25.434			
23	26.856	24.889	24.315	25.353			
24	26.429	24.871	24.314	25.205			
25	26.173	24.864	24.313	25.117			
26	25.935	24.889	24.297	25.040			
27	25.715	24.925	24.282	24.974			



## 4.6 Caso 2 porto attuale

In questa sezione verranno esaminati i risultati ottenuti dalla simulazione numerica realizzata nelle condizioni ambientali di vento da NW (maestrale) con una intensità media di 4 m/s, considerando l'attuale configurazione del porto e tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico. Questo caso rappresenta quindi lo scenario di riferimento per l'assetto attuale di esercizio nelle condizioni di vento che tendono a spostare il pennacchio termico verso il largo e quindi potenzialmente ad aumentare il valore di incremento termico sull'arco a 1000 m.

La simulazione numerica è stata condotta nelle condizioni riportate in tab. 3.1, utilizzando un coefficiente di scambio termico con l'atmosfera pari a  $40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , coerentemente con l'andamento di fig. 2.34, e facendo riferimento al reticolo di calcolo di fig. 3.1 senza navi attraccate.

Le figure dalla fig. 4.17 alla fig. 4.20 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui esame porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale è mostrato in fig. 4.17 con riferimento allo strato superficiale. E' immediato notare come, a differenza di quanto osservato in fig. 4.8 in condizioni di calma di vento, il pennacchio termico ora si è assai ridotto in estensione a causa del raffreddamento dovuto all'aumentato scambio termico con l'atmosfera, ma nello stesso tempo esso si sposta verso il largo per l'azione di sforzo superficiale esercitata dal vento. Come principale conseguenza, l'area portuale non è sostanzialmente interessata dalla dispersione termica. L'esame della sezione verticale alla presa, riportata in fig. 4.18 con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, mostra ancora un pennacchio che interessa fondamentalmente lo strato superficiale senza giungere alla quota della presa, con però una sezione ora più limitata nella direzione perpendicolare alla linea di costa;
- b) l'andamento del campo di moto riportato in fig. 4.19 per lo strato superficiale interessato dalla dispersione termica non si discosta in maniera sostanziale da quello illustrato in fig. 4.10 in assenza di vento, se non per un lieve aumento della componente di velocità in direzione normale alla costa per effetto del trascinarsi dovuto al vento. Valgono perciò le medesime considerazioni già espresse al punto (b) del paragrafo 4.4, ed anche le considerazioni sull'andamento del campo di moto nella zona di foce antistante l'opera di scarico sono ancora valide;
- c) in fig. 4.20 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m. Se si confronta questo andamento con quello di fig. 4.12 ottenuto in assenza di vento si può vedere come il pennacchio "medio" sia ora dislocato su un'area assai più limitata, con valori positivi di incremento termico che si riscontrano ad una certa distanza dalla linea di costa. Di conseguenza, esaminando i valori di incremento termico sull'arco a 1000 m elaborati a partire dai valori calcolati secondo la metodologia descritta al paragrafo 4.2 e riportati in tab. 4.7, si nota immediatamente che l'incremento termico previsto nelle condizioni simulate è ora di  $1.11 \text{ }^\circ\text{C}$ , inferiore al limite di legge ma superiore a quello osservato in condizioni di calma di vento, pur essendo ora maggiore lo scambio termico con l'atmosfera. Questo comportamento è dovuto al fatto che la temperatura media delle tre stazioni fredde è ora praticamente coincidente con quella naturale imperturbata ( $24.1 \text{ }^\circ\text{C}$ );

d) infine, è da segnalare l'assoluta ininfluenza dello scarico freddo rappresentato dalla foce del torrente Segno, almeno nelle normali condizioni di portata utilizzate nella simulazione.

L'analisi sopra descritta consente di concludere che, in condizioni di pieno esercizio e nella configurazione attuale del porto, la condizione di vento dal settore di NW risulta più limitante ai fini del valore di incremento termico sull'arco a 1000 m rispetto ad una condizione di calma di vento, per cui anche in questa situazione si è ritenuto opportuno valutare l'impatto delle nuove opere portuali previste, come descritto nel successivo paragrafo.

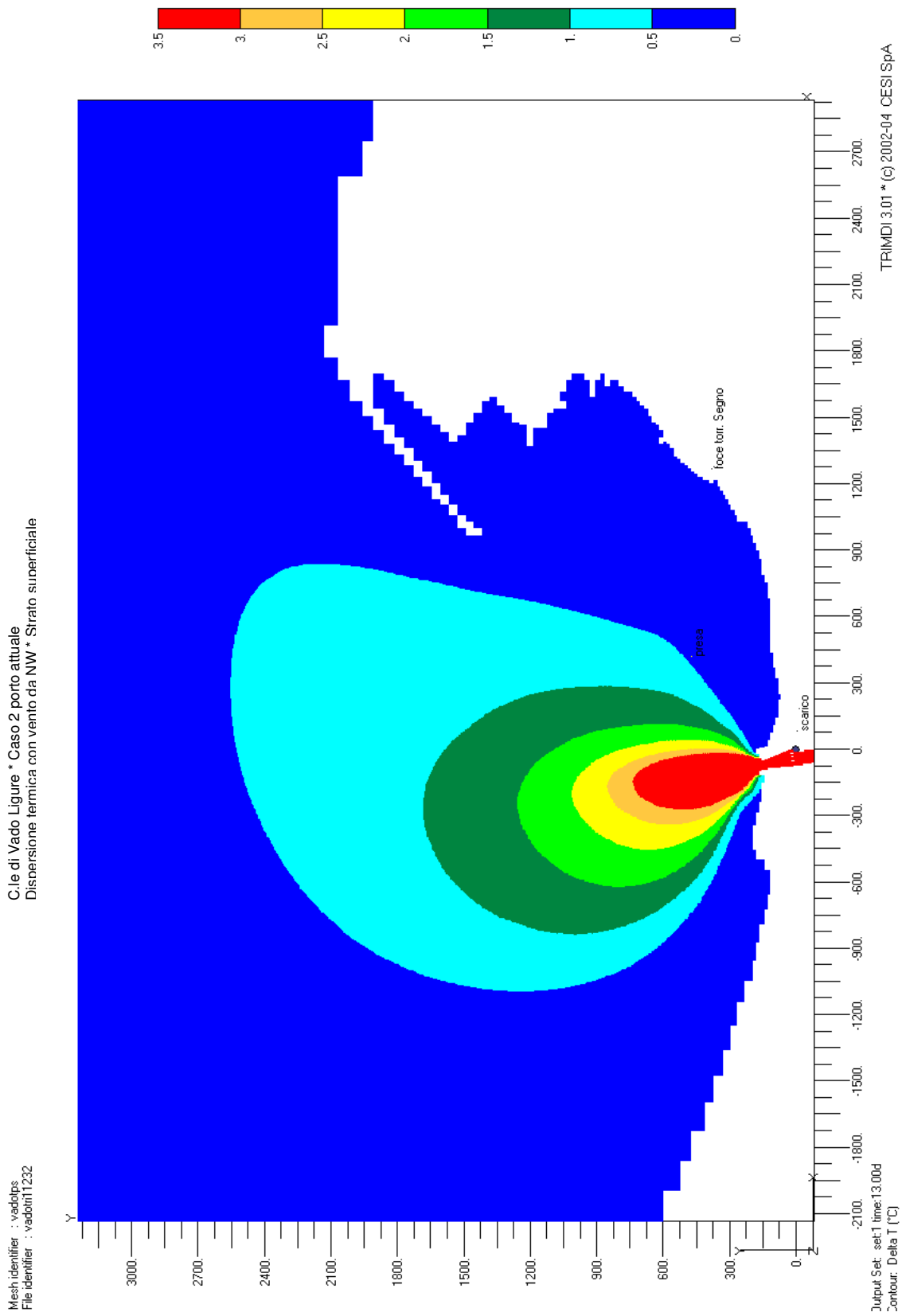


fig. 4.17 – Caso 2 porto attuale. Incremento termico nello strato superficiale

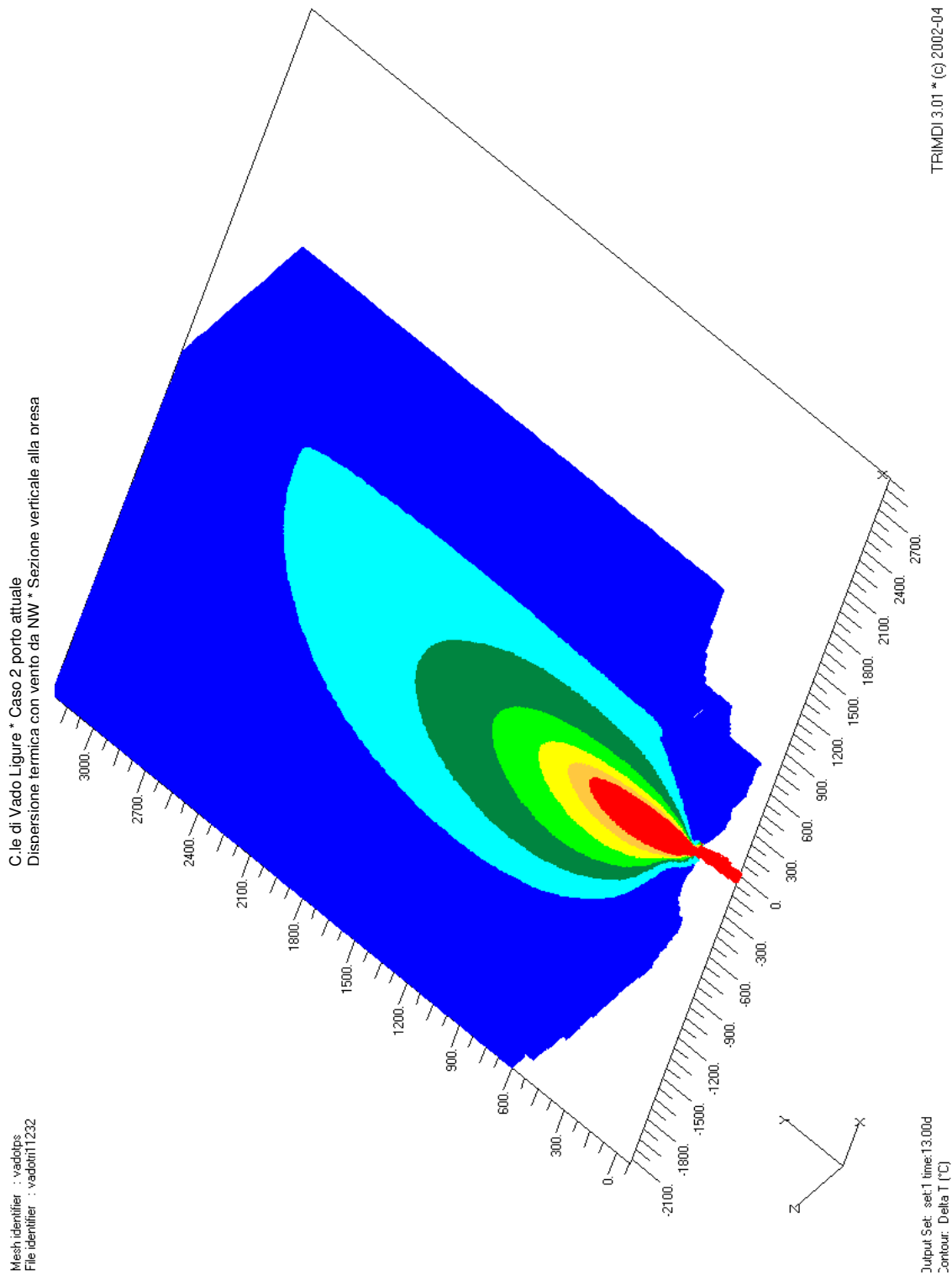


fig. 4.18 - Caso 2 porto attuale. Incremento termico nella sezione verticale di presa

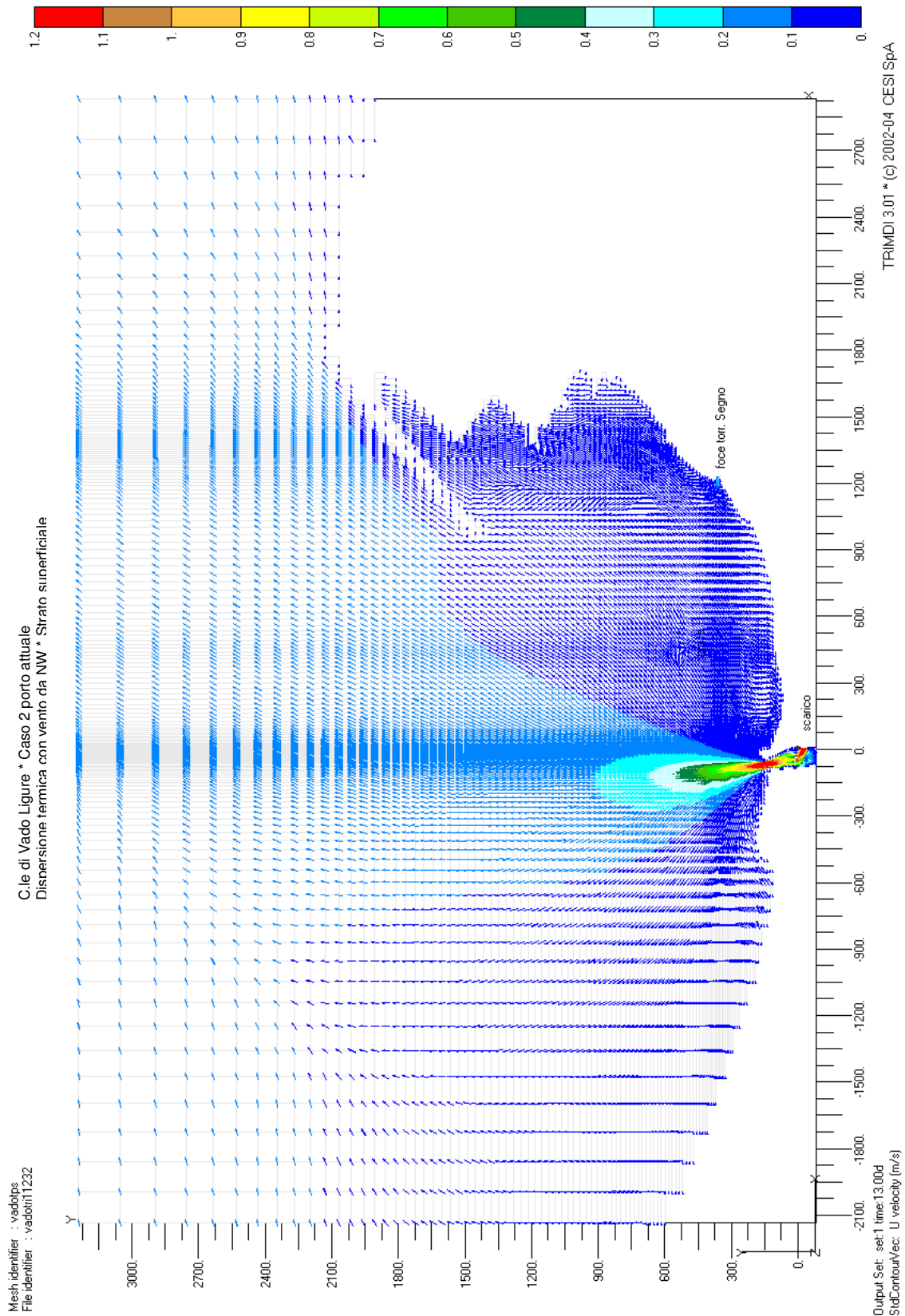


fig. 4.19 - Caso 2 porto attuale. Andamento del campo di moto nello strato superficiale



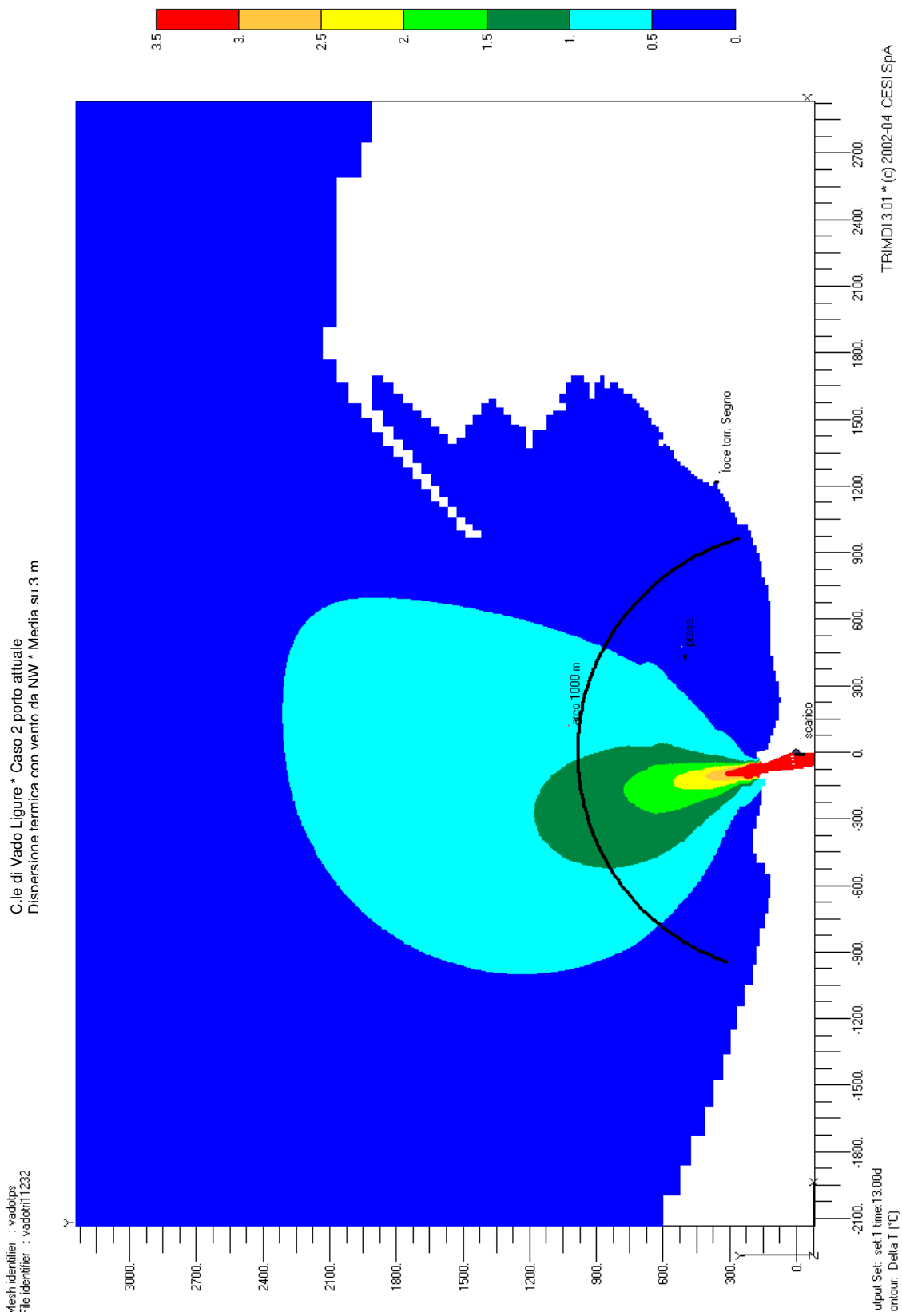
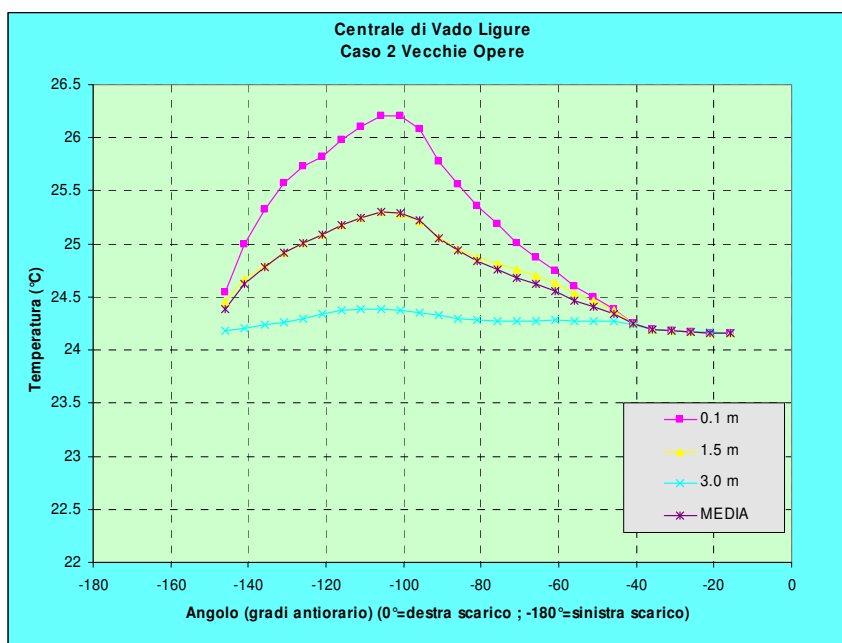


fig. 4.20 - Caso 2 porto attuale. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.7 – Caso 2 porto attuale. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	25.297
1	24.155	24.156	24.156	24.156	<b>F1 F2 F3</b>	2SC	0.0000
2	24.164	24.165	24.166	24.165			
3	24.174	24.175	24.176	24.175			
4	24.18	24.18	24.181	24.180			
5	24.198	24.198	24.197	24.198			
6	24.253	24.251	24.235	24.246			
7	24.383	24.369	24.274	24.342			
8	24.5	24.465	24.269	24.411			
9	24.596	24.535	24.277	24.469			
10	24.753	24.633	24.282	24.556			
11	24.877	24.703	24.276	24.619	<b>C</b>	Staz. F 1	24.156
12	25.009	24.758	24.271	24.679		Staz. F 2	24.165
13	25.185	24.817	24.274	24.759		Staz. F 3	24.175
14	25.355	24.875	24.283	24.838		T m	24.165
15	25.565	24.954	24.295	24.938		2SF	0.0193
16	25.778	25.062	24.325	25.055		<b>Incr. term.      1.11</b>	
17	26.087	25.212	24.355	25.218			
18	26.202	25.279	24.378	25.286			
19	26.205	25.297	24.39	25.297			
20	26.1	25.247	24.384	25.244			
21	25.98	25.179	24.369	25.176			
22	25.824	25.082	24.341	25.082			
23	25.726	25.005	24.295	25.009			
24	25.573	24.922	24.259	24.918			
25	25.324	24.789	24.234	24.782			
26	24.994	24.664	24.206	24.621			
27	24.548	24.448	24.177	24.391			



## 4.7 Caso 2 porto futuro

La simulazione numerica descritta in questo paragrafo è stata condotta nelle medesime condizioni descritte al paragrafo precedente, ma considerando la configurazione portuale prevista dal nuovo Piano Regolatore Portuale; si fa quindi ancora riferimento, in particolare, a condizioni di vento proveniente dal settore di NW.

Le figure dalla fig. 4.21 alla fig. 4.24 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui confronto con le corrispondenti figure dalla fig. 4.17 alla fig. 4.20 porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale, mostrato in fig. 4.21 con riferimento allo strato superficiale, mostra immediatamente come la presenza della piattaforma multifunzionale e delle navi ad essa attraccate non costituisce elemento di perturbazione del pennacchio termico se non in minima parte per l'isoterma a + 0.5 °C: la forma del pennacchio termico, infatti, è fundamentalmente determinata dal vento, che in questo caso tende a mantenere il pennacchio stesso al di fuori dell'area in cui sono presenti le nuove strutture portuali. L'esame della sezione verticale alla presa, riportata in fig. 4.22 sempre con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, conferma la sostanziale indipendenza della dispersione termica dalle nuove strutture nelle condizioni di vento qui considerate;
- b) quanto descritto al punto precedente relativamente al campo termico è confermato dall'esame dell'andamento del campo di moto riportato in fig. 4.23. Si può notare infatti come l'andamento del moto sia sostanzialmente inalterato nella zona di mare antistante l'area di scarico ed al largo, mentre invece si ha una sostanziale modifica della circolazione nell'area delle nuove strutture, dove la presenza della piattaforma multifunzionale e delle navi ad essa ormeggiate provoca la deviazione della corrente verso il largo ed un sostanziale ampliamento della zona di calma del porto. Le velocità in gioco, comunque, non sono molto diverse da quelle ottenute nella configurazione attuale del porto, mentre non si hanno assolutamente variazioni nell'area della foce del Quiliano interessata dallo scarico;
- c) in fig. 4.24 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m, da cui si può vedere come la temperatura media sull'arco a 1000 m non si discosta sostanzialmente da quella ottenuta nelle condizioni attuali del porto, come evidente dai valori calcolati per le diverse stazioni e riportati in tab. 4.8. Come si può vedere, l'incremento termico previsto nelle condizioni simulate è di 1.04 °C, essendo diminuita la temperatura della stazione calda (25.31 °C), per cui la presenza delle nuove strutture in queste condizioni di vento comporta un leggero miglioramento del valore di incremento termico;
- d) infine rimane assolutamente ininfluente lo spostamento dello scarico freddo presente alla foce del torrente Segno, almeno nelle normali condizioni di portata utilizzate nella simulazione.

L'analisi sopra descritta consente di valutare l'impatto delle nuove opere portuali previste nelle condizioni di pieno esercizio ed in condizioni di vento dal settore di NW; da tale analisi emerge che non si hanno sostanziali modifiche nelle modalità di dispersione termica rispetto alla attuale configurazione portuale, in quanto il vento determina una dislocazione del pennacchio termico di area ridotta e tale da non interessare di fatto l'area in cui sono previste le nuove opere.

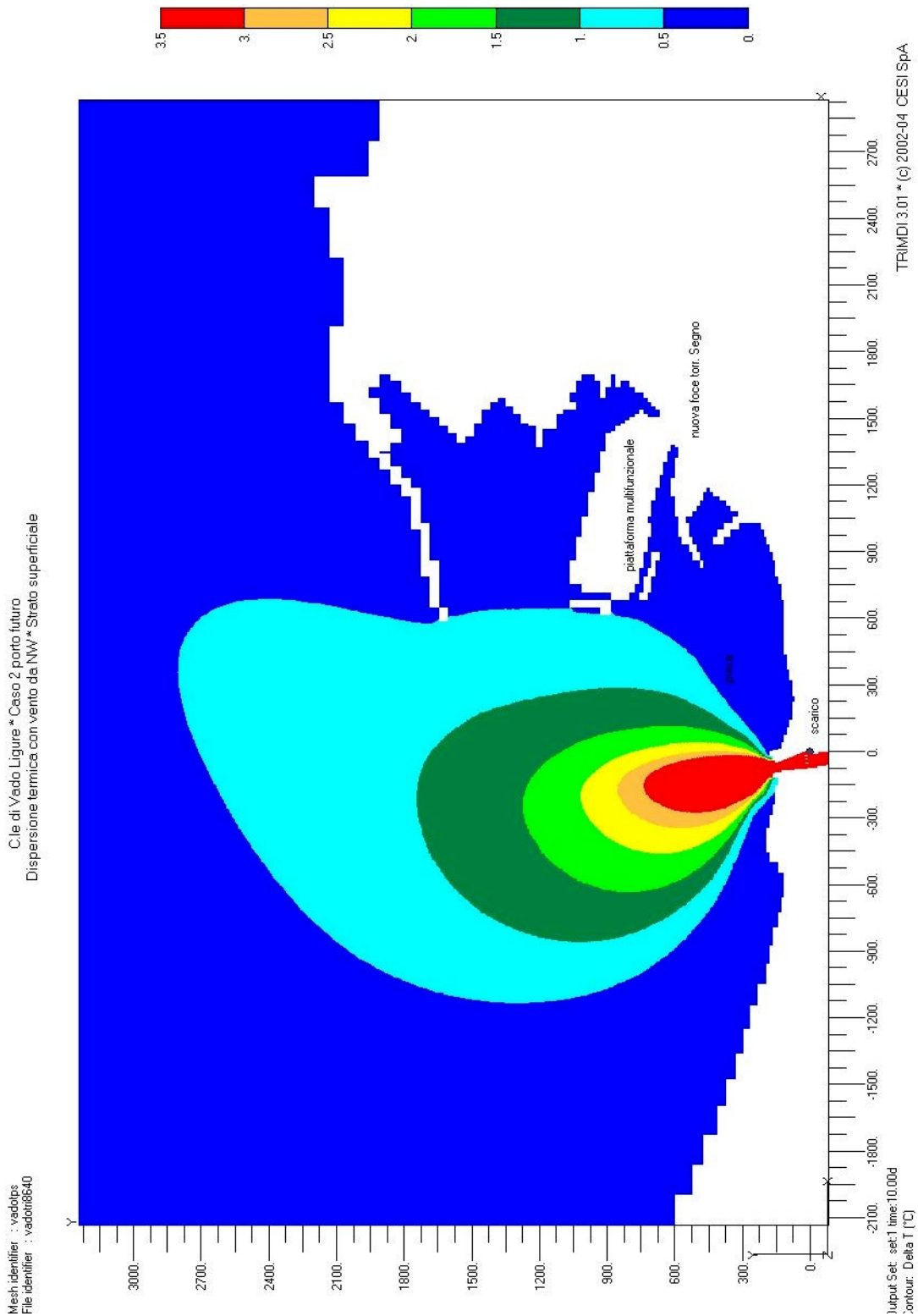


fig. 4.21 – Caso 2 porto futuro. Incremento termico nello strato superficiale

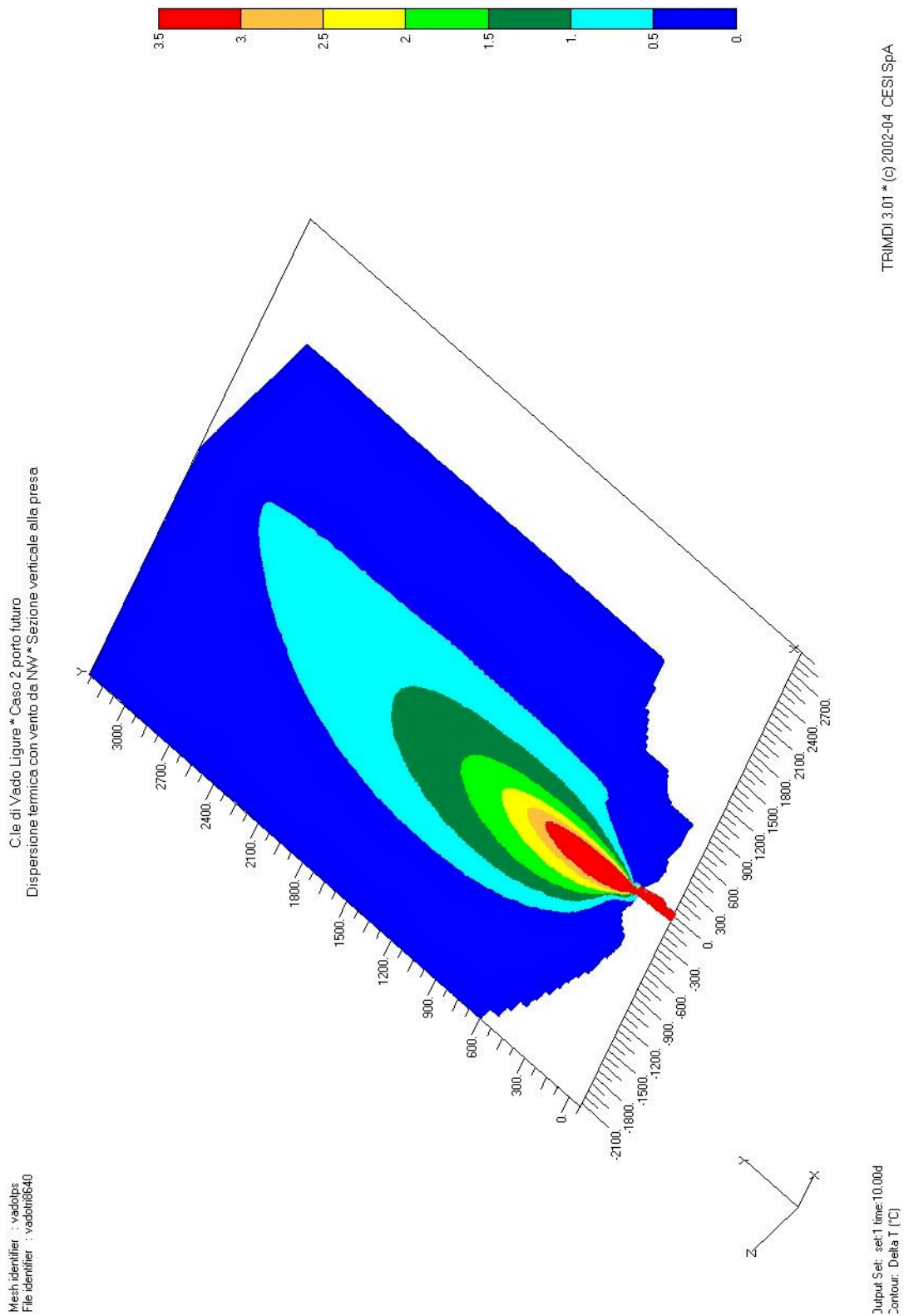


fig. 4.22 - Caso 2 porto futuro. Incremento termico nella sezione verticale di presa

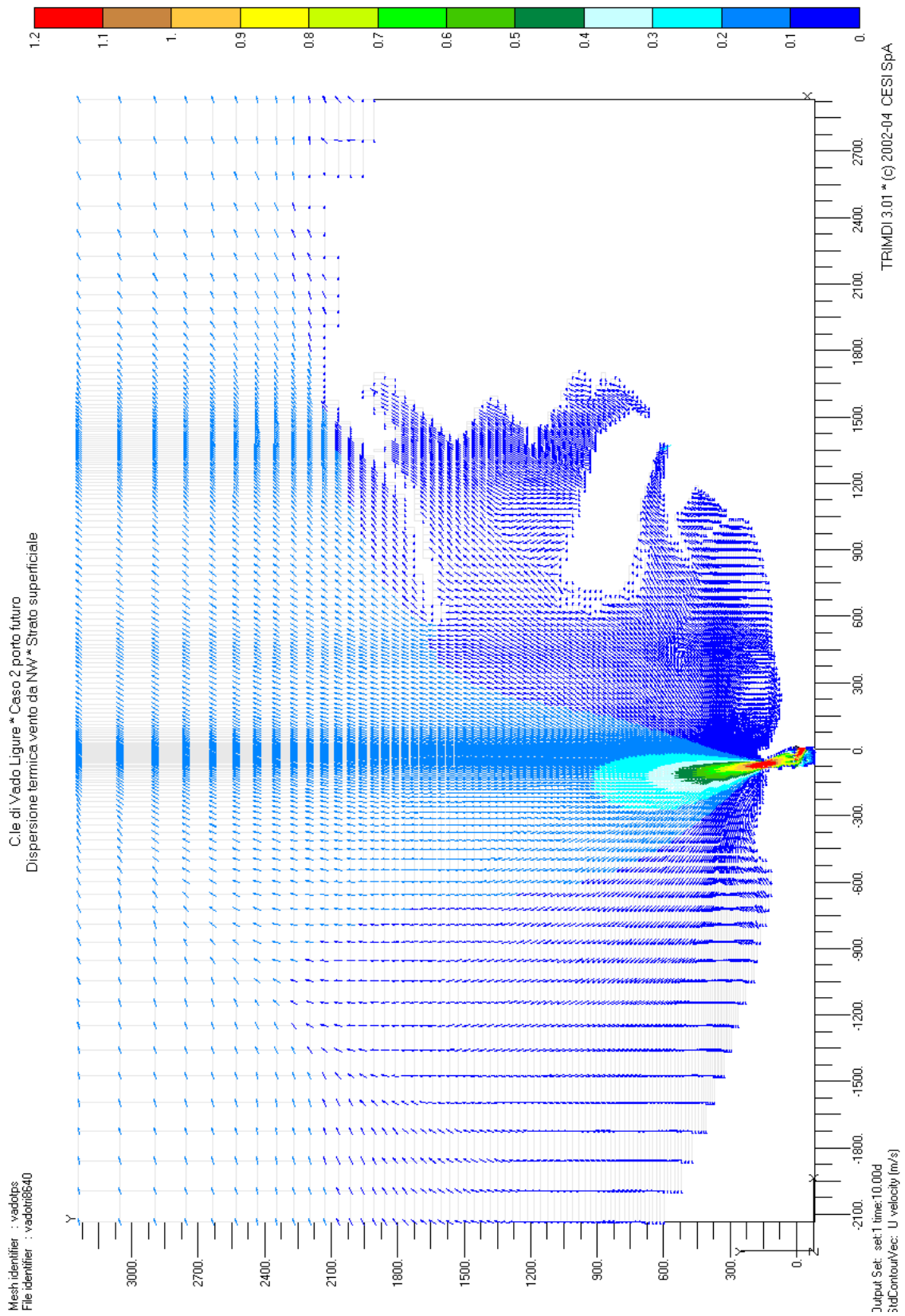


fig. 4.23 - Caso 2 porto futuro. Andamento del campo di moto nello strato superficiale

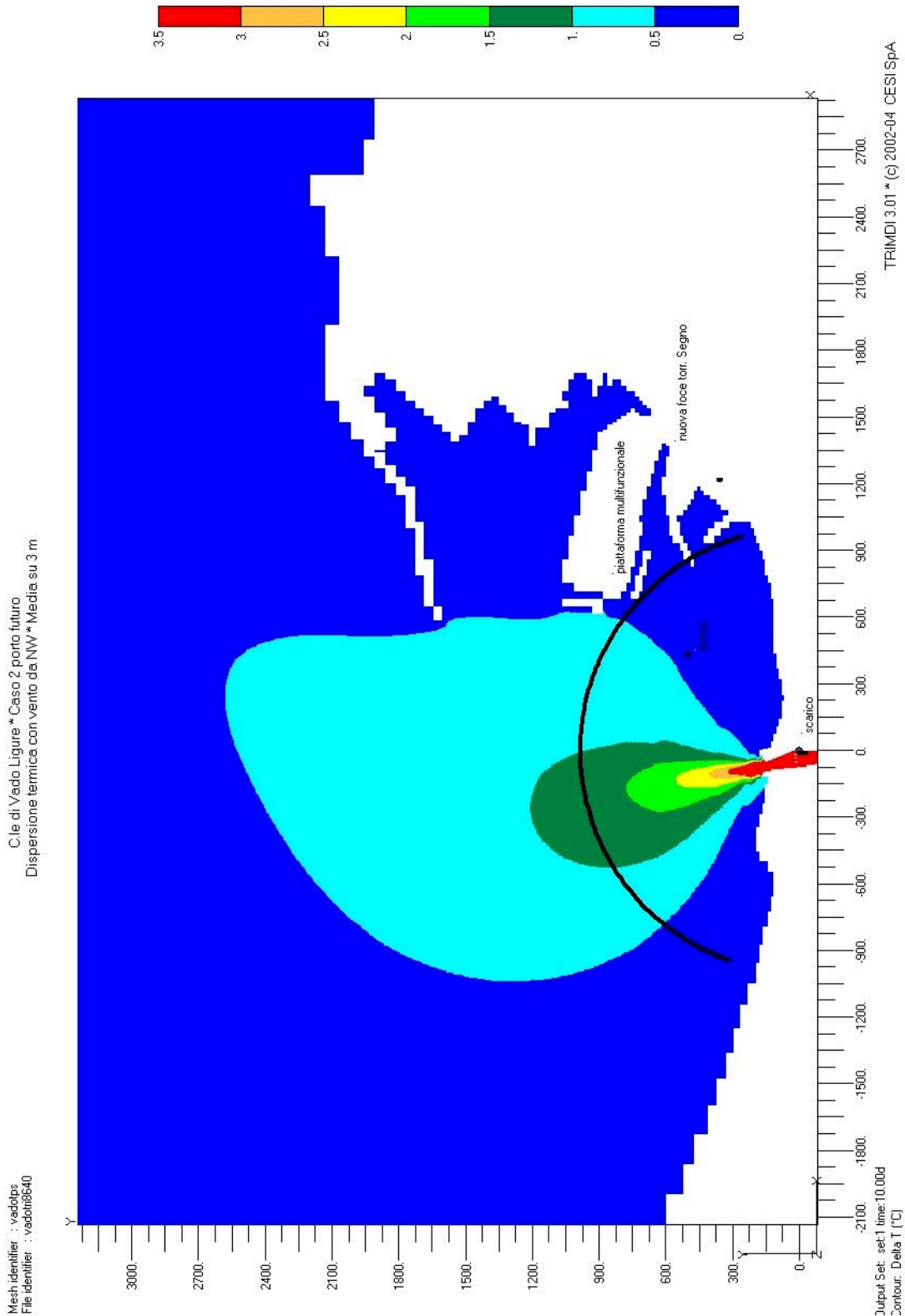
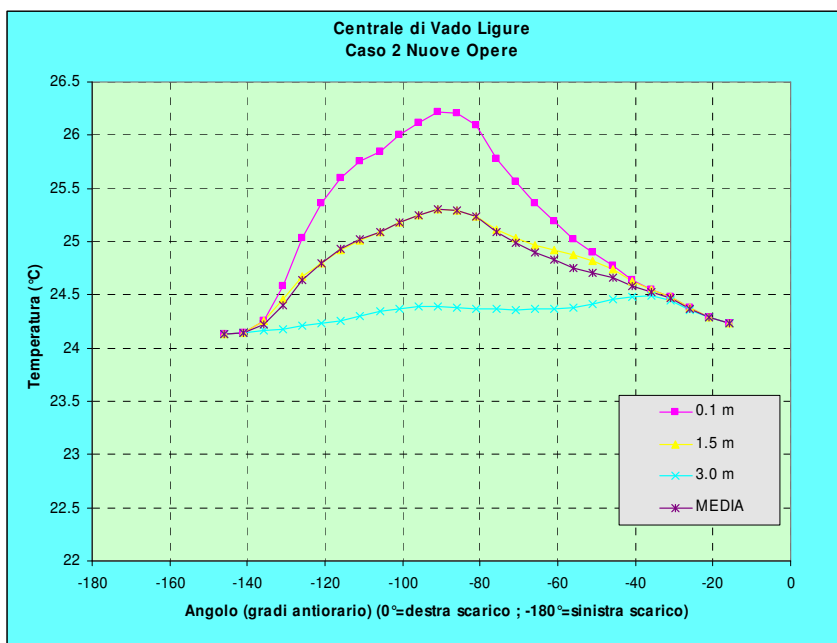


fig. 4.24 - Caso 2 porto futuro. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.8 – Caso 2 porto futuro. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	25.305
1	24.234	24.235	24.235	24.235		2SC	0.0000
2	24.293	24.295	24.294	24.294			
3	24.376	24.378	24.36	24.371		Staz. F 1	24.129
4	24.476	24.478	24.452	24.469		Staz. F 2	24.144
5	24.552	24.55	24.488	24.530		Staz. F 3	24.224
6	24.637	24.628	24.486	24.584		T m	24.165
7	24.776	24.742	24.455	24.658		2SF	0.1020
8	24.894	24.821	24.413	24.709			
9	25.017	24.872	24.383	24.757		Incr. term.	1.04
10	25.187	24.922	24.369	24.826			
11	25.358	24.97	24.364	24.897			
12	25.569	25.029	24.356	24.985			
13	25.781	25.109	24.369	25.086			
14	26.09	25.232	24.372	25.231			
15	26.211	25.289	24.383	25.294			
16	26.22	25.303	24.392	25.305	C		
17	26.118	25.253	24.386	25.252			
18	26.001	25.184	24.37	25.185			
19	25.847	25.088	24.341	25.092			
20	25.752	25.009	24.296	25.019			
21	25.603	24.925	24.261	24.930			
22	25.36	24.792	24.235	24.796			
23	25.033	24.671	24.205	24.636			
24	24.581	24.462	24.175	24.406			
25	24.255	24.254	24.162	24.224	F3		
26	24.143	24.145	24.144	24.144	F2		
27	24.128	24.129	24.129	24.129	F1		





## 4.8 Caso 3 porto attuale

In questa sezione verranno esaminati i risultati ottenuti dalla simulazione numerica realizzata nelle condizioni ambientali di vento da ENE con una intensità media di 3.5 m/s, considerando l'attuale configurazione del porto e tre gruppi (Vado1, Vado3 e Vado4) in esercizio a pieno carico. Questo caso rappresenta quindi lo scenario di riferimento per l'assetto attuale di esercizio nelle condizioni di vento che tendono a spostare il pennacchio termico verso il promontorio di Capo Vado e quindi verso le strutture portuali e quindi potenzialmente ad aumentare il valore di ricircolo termico alla presa.

La simulazione numerica è stata condotta nelle condizioni riportate in tab. 3.1, utilizzando un coefficiente di scambio termico con l'atmosfera pari a  $35 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ , coerentemente con l'andamento di fig. 2.34, e facendo riferimento al reticolo di calcolo di fig. 3.1 senza navi attraccate.

Le figure dalla fig. 4.25 alla fig. 4.28 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui esame porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale è mostrato in fig. 4.25 con riferimento allo strato superficiale. E' immediato notare come la dislocazione del pennacchio termico è fortemente condizionata dalla direzione del vento. Infatti, pur essendo non trascurabile il contributo al raffreddamento dovuto allo scambio termico con l'atmosfera, l'area interessata dalla dispersione termica è comunque rilevante in quanto l'acqua calda tende ad accumularsi nell'area interessata dalle strutture portuali a ridosso di Capo Vado; al contrario di quanto descritto al paragrafo 4.6 in presenza di vento da NW, l'area portuale è fortemente condizionata dalla presenza dello scarico termico. L'esame della sezione verticale alla presa, riportata in fig. 4.26 con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, mostra un pennacchio che tende ad affondare in verticale in prossimità della costa e delle strutture, con un leggero aumento delle temperature anche alla quota della presa;
- b) l'andamento del campo di moto riportato in fig. 4.27 per lo strato superficiale interessato dalla dispersione termica presenta un aumento della componente di velocità in direzione parallela alla costa per effetto del trascinamento dovuto al vento. Ne consegue che ora si instaura un moto rotatorio orario nell'area del porto che tende ulteriormente a spostare il pennacchio caldo nell'area di presa. Viceversa, l'andamento del campo di moto nella zona di foce antistante l'opera di scarico non subisce alterazioni rispetto alle situazioni analizzate in precedenza, essendo determinato dalla portata stessa allo scarico e non dall'effetto del vento;
- c) in fig. 4.28 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m. Anche per il pennacchio "medio" valgono le considerazioni riportate al punto (a) per lo strato superficiale ottenuto in assenza di vento si può vedere come il pennacchio "medio" sia ora dislocato su un'area assai più limitata, con valori positivi di incremento termico che si riscontrano ad una certa distanza dalla linea di costa. Di conseguenza, esaminando i valori di incremento termico sull'arco a 1000 m elaborati a partire dai valori calcolati secondo la metodologia descritta al paragrafo 4.2 e riportati in tab. 4.7, si nota immediatamente che l'incremento termico previsto nelle condizioni simulate è ora di  $1.22 \text{ } ^\circ\text{C}$ , inferiore al limite di legge ma decisamente superiore a quello osservato in condizioni di calma di vento, pur essendo ora maggiore

lo scambio termico con l'atmosfera. Questo comportamento è dovuto al fatto che la temperatura della stazione calda (26.05 °C) è ora assai alta per effetto della deformazione del pennacchio, anche se pure alta è la temperatura media delle tre stazioni fredde (24.86 °C);

- d) infine, lo scarico freddo rappresentato dalla foce del torrente Segno, almeno nelle normali condizioni di portata utilizzate nella simulazione, continua ad essere assolutamente ininfluenza ai fini della dispersione termica.

L'analisi sopra descritta consente di concludere che, in condizioni di pieno esercizio e nella configurazione attuale del porto, la condizione di vento dal settore di ENE risulta la più critica sia ai fini del valore di incremento termico sull'arco a 1000 m sia per la possibilità di incremento delle condizioni di ricircolo termico, per cui anche in questa situazione si è ritenuto opportuno valutare l'impatto delle nuove opere portuali previste, come descritto nel successivo paragrafo.

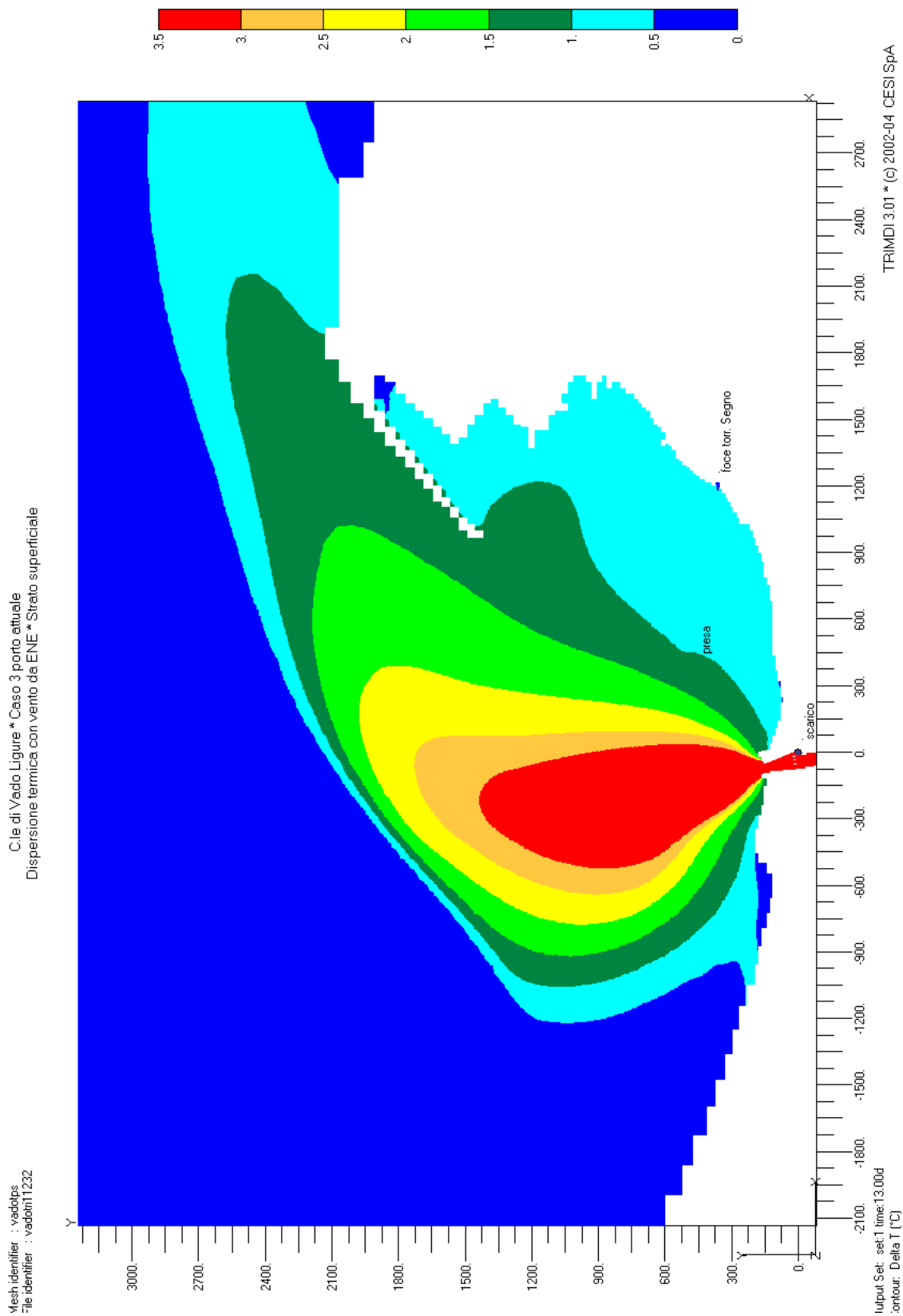


fig. 4.25 – Caso 3 porto attuale. Incremento termico nello strato superficiale

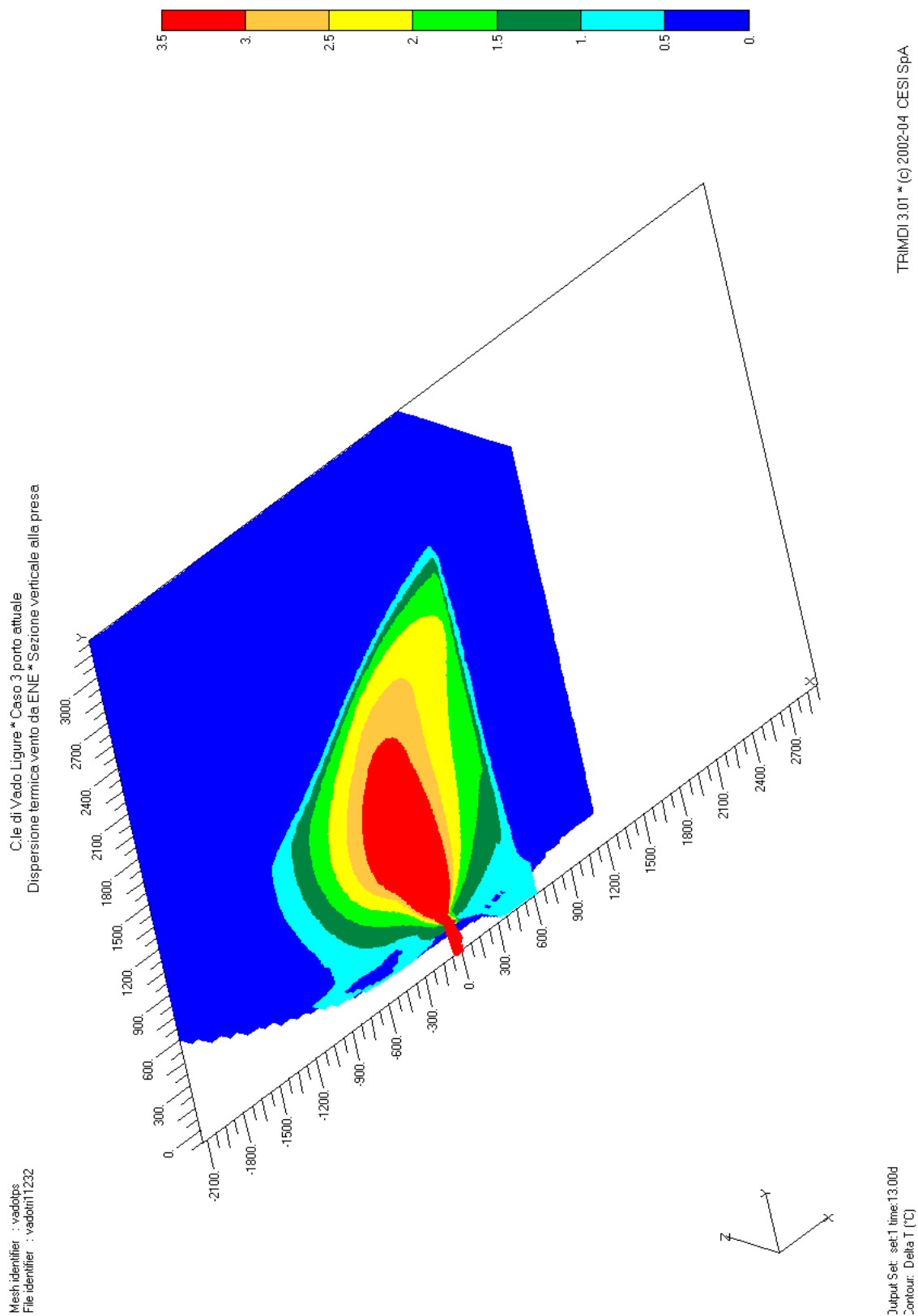


fig. 4.26 - Caso 3 porto attuale. Incremento termico nella sezione verticale di presa

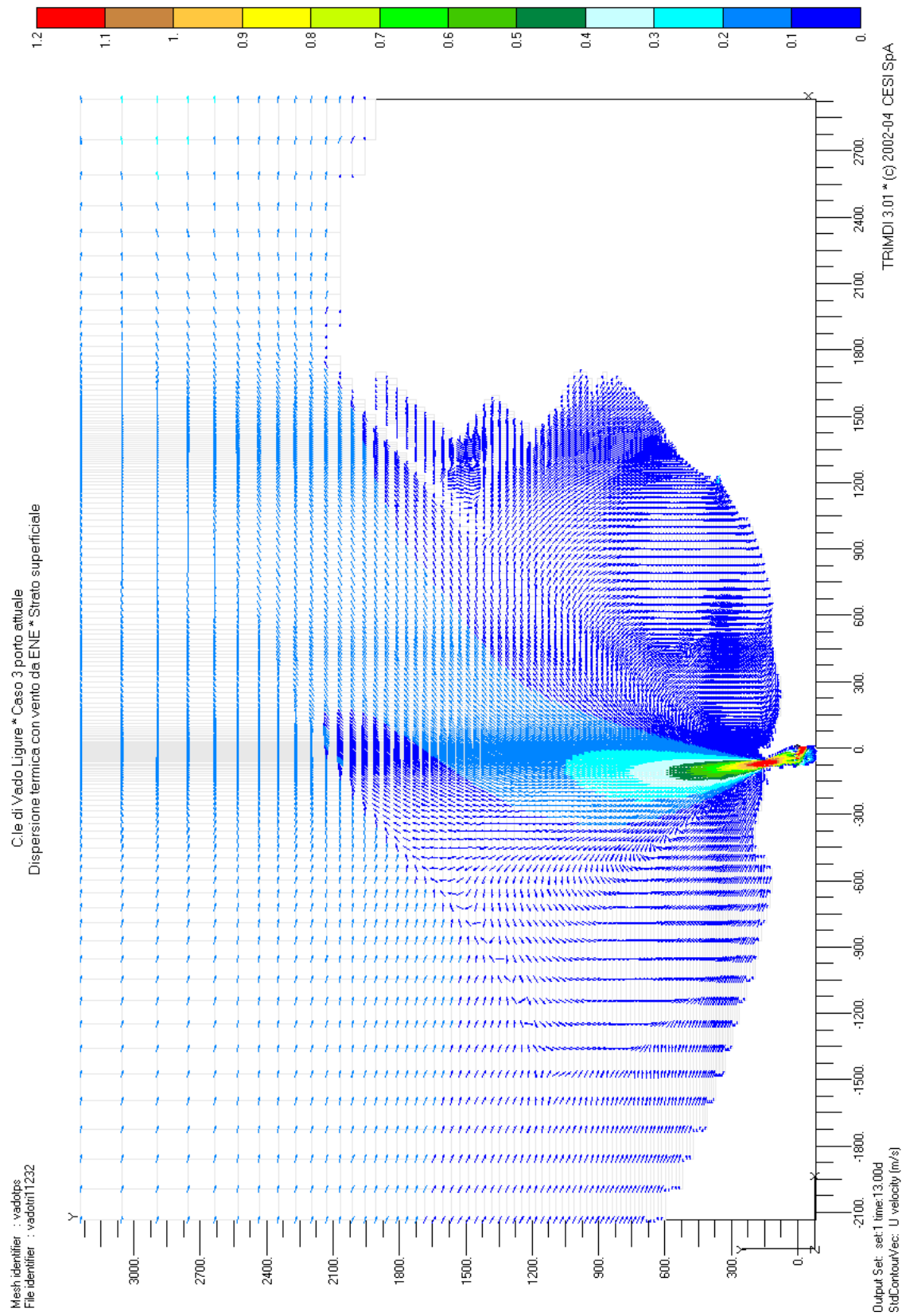


fig. 4.27 - Caso 3 porto attuale. Andamento del campo di moto nello strato superficiale

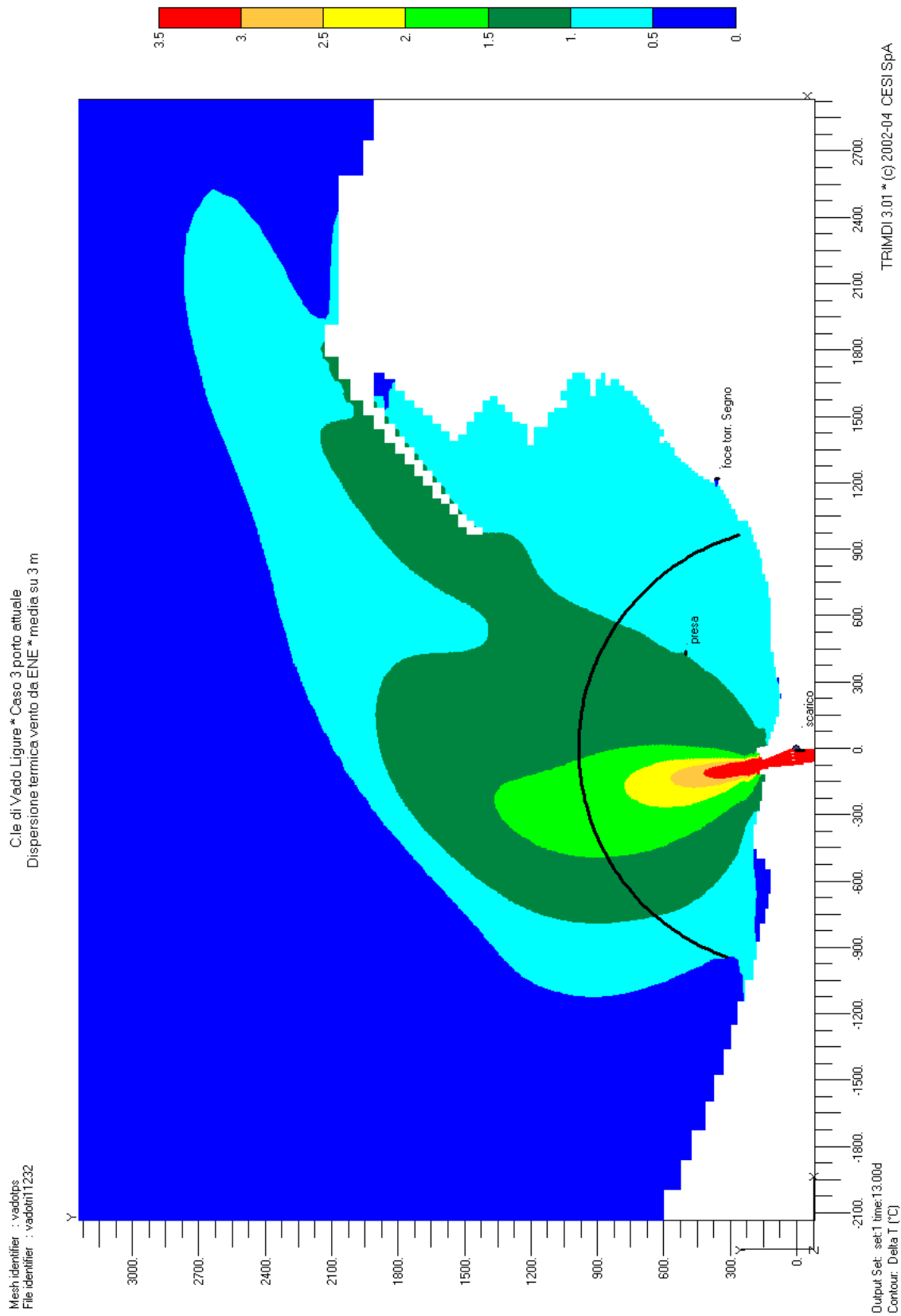
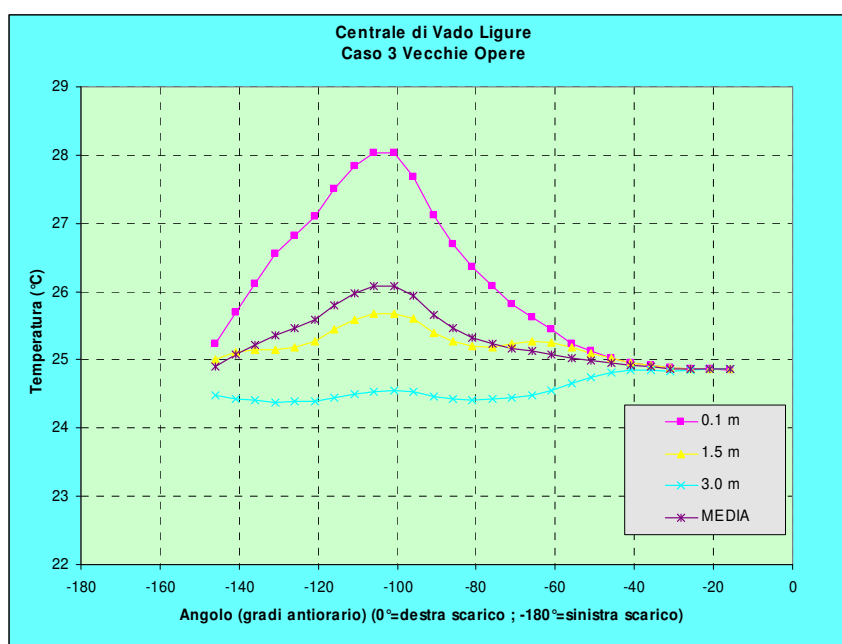


fig. 4.28 - Caso 3 porto attuale. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.9 – Caso 3 porto attuale. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	26.085
1	24.858	24.862	24.863	24.861	F1	2SC	0.0000
2	24.859	24.862	24.864	24.862	F2		
3	24.863	24.866	24.858	24.862	F3	Staz. F 1	24.861
4	24.876	24.878	24.835	24.863		Staz. F 2	24.862
5	24.918	24.918	24.855	24.897		Staz. F 3	24.862
6	24.958	24.955	24.851	24.921		T m	24.862
7	25.031	25.022	24.818	24.957		2SF	0.0013
8	25.13	25.104	24.746	24.993			
9	25.241	25.179	24.66	25.027		<b>Incr. term.</b>	<b>1.22</b>
10	25.443	25.26	24.551	25.085			
11	25.628	25.269	24.486	25.128			
12	25.82	25.233	24.45	25.168			
13	26.085	25.182	24.427	25.231			
14	26.363	25.196	24.416	25.325			
15	26.692	25.278	24.424	25.465			
16	27.11	25.403	24.471	25.661			
17	27.686	25.6	24.527	25.938			
18	28.03	25.679	24.545	26.085	C		
19	28.025	25.684	24.54	26.083			
20	27.834	25.589	24.498	25.974			
21	27.498	25.45	24.448	25.799			
22	27.098	25.271	24.399	25.589			
23	26.822	25.191	24.385	25.466			
24	26.548	25.149	24.382	25.360			
25	26.114	25.142	24.401	25.219			
26	25.696	25.107	24.426	25.076			
27	25.232	25.002	24.479	24.904			



## 4.9 Caso 3 porto futuro

La simulazione numerica descritta in questo paragrafo è stata condotta nelle medesime condizioni descritte al paragrafo precedente, ma considerando la configurazione portuale prevista dal nuovo Piano Regolatore Portuale; si fa quindi ancora riferimento, in particolare, a condizioni di vento proveniente dal settore di ENE.

Le figure dalla fig. 4.29 alla fig. 4.32 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui confronto con le corrispondenti figure dalla fig. 4.25 alla fig. 4.28 porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale, mostrato in fig. 4.29 con riferimento allo strato superficiale, mostra immediatamente come la presenza della piattaforma multifunzionale e delle navi ad essa attraccate costituisce in questo caso un elemento di perturbazione del pennacchio termico, in quanto l'area calda dello stesso viene delimitata dalla nuova piattaforma multifunzionale e dalle navi ad essa attraccate. Ciò comporta un aumento della temperatura nella zona della presa e nelle stazioni sull'arco a 1000 m poste in prossimità delle nuove opere. L'esame della sezione verticale alla presa, riportata in fig. 4.30 sempre con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, conferma l'aumento dell'area calda anche nella direzione verticale causato dalla presenza delle nuove strutture;
- b) quanto descritto al punto precedente relativamente al campo termico è confermato dall'esame dell'andamento del campo di moto riportato in fig. 4.31. Si può notare infatti come l'andamento del moto sia ora alterato rispetto alle condizioni esaminate negli scenari precedenti e nella configurazione attuale del porto, con una zona di inversione della direzione del moto alla sinistra del pennacchio, per il contrasto tra la direzione della corrente marina ed il getto caldo trascinato dal vento, la formazione di un vortice orario tra la nuova diga frangiflutti e la piattaforma multifunzionale e soprattutto la presenza di vortici marcati, anche se con valori di velocità abbastanza bassi, nella zona di mare compresa tra lo scarico e la piattaforma multifunzionale. Anche in questo caso non si hanno variazioni nell'area della foce del Quiliano interessata dallo scarico;
- c) in fig. 4.32 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m, da cui si può vedere come la temperatura media sull'arco a 1000 m si discosta da quella ottenuta nelle condizioni attuali del porto per effetto della presenza della piattaforma multifunzionale, aumentando seppur di poco la temperatura nelle stazioni poste in prossimità della stessa, come evidente dai valori calcolati per le diverse stazioni e riportati in tab. 4.10. Come si può vedere, l'incremento termico previsto nelle condizioni simulate è di 1.07 °C, pur essendo diminuita la temperatura della stazione calda, e ciò a causa della maggior deviazione standard per le stazioni fredde causata dalla deformazione del pennacchio. Anche in questo caso, come per la situazione di vento da NW, la presenza delle nuove strutture comporta un leggero miglioramento del valore di incremento termico;
- d) infine rimane assolutamente ininfluente lo spostamento dello scarico freddo presente alla foce del torrente Segno, almeno nelle normali condizioni di portata utilizzate nella simulazione.



L'analisi sopra descritta consente di valutare l'impatto delle nuove opere portuali previste nelle condizioni di pieno esercizio ed in condizioni di vento dal settore di ENE; da tale analisi emerge la conferma che questa condizione ambientale risulta essere la più limitante ai fini della dispersione termica, con un lieve peggioramento nelle condizioni termiche dovuto alla presenza della piattaforma multifunzionale.

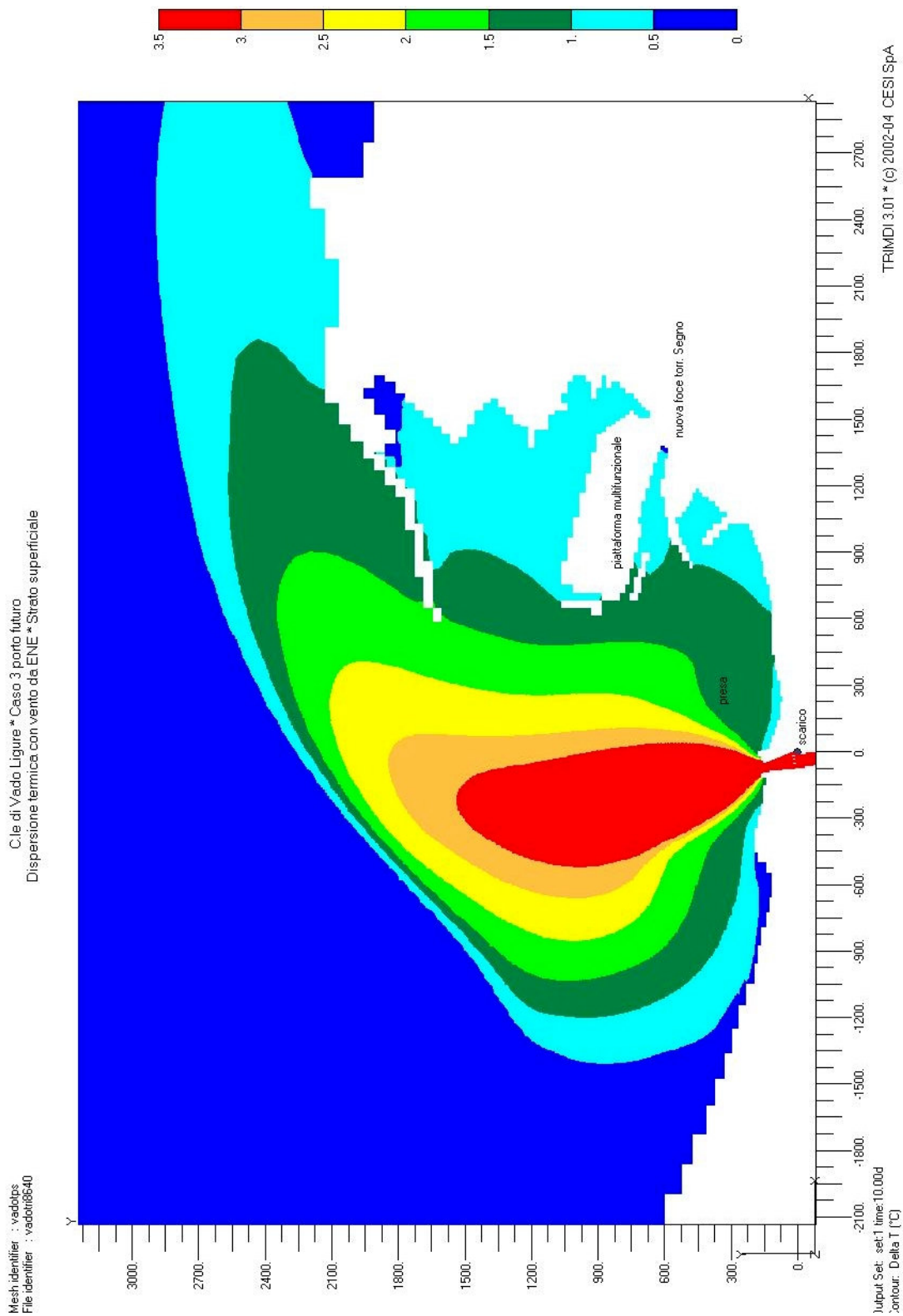


fig. 4.29 – Caso 3 porto futuro. Incremento termico nello strato superficiale

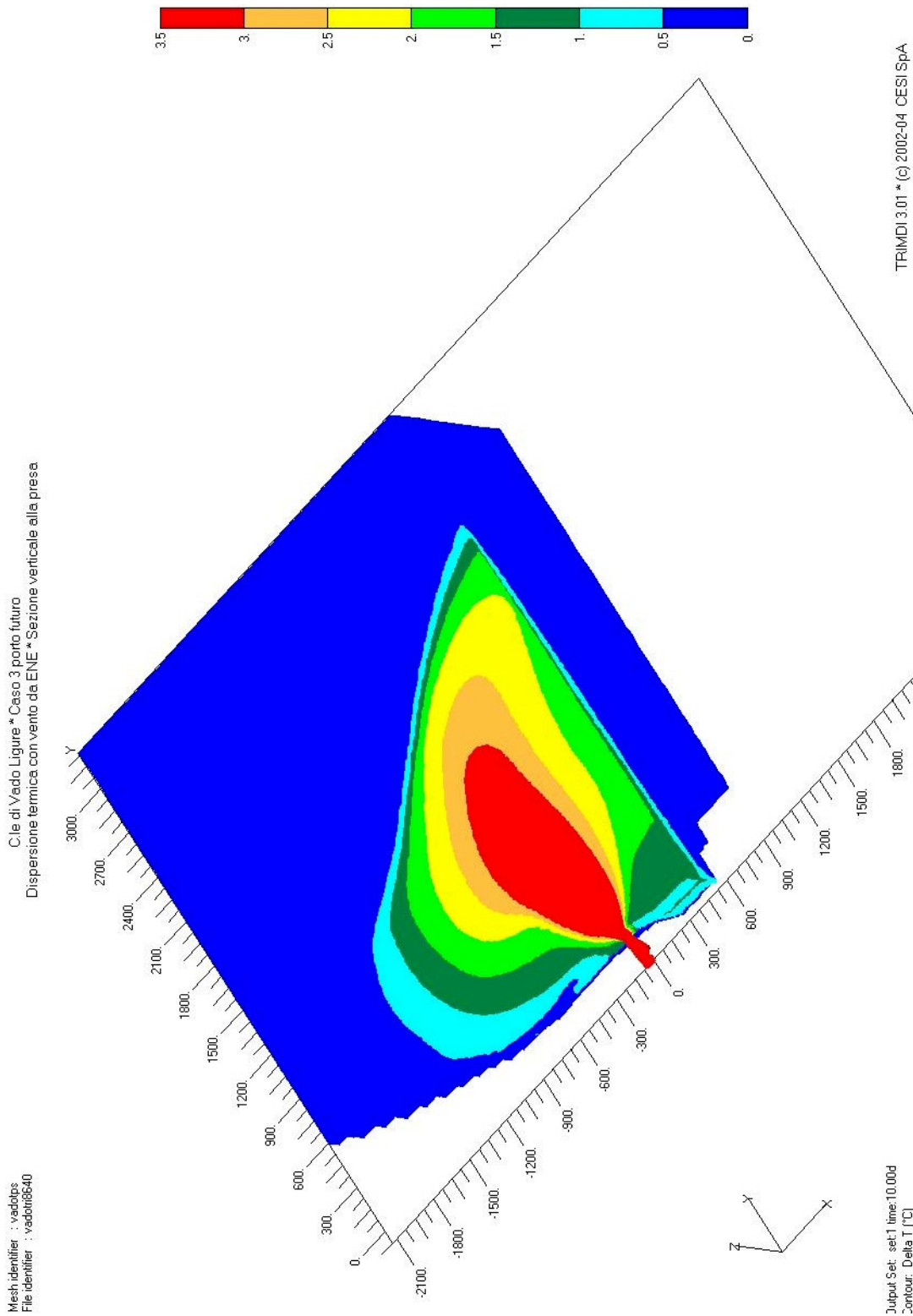


fig. 4.30 - Caso 3 porto futuro. Incremento termico nella sezione verticale di presa

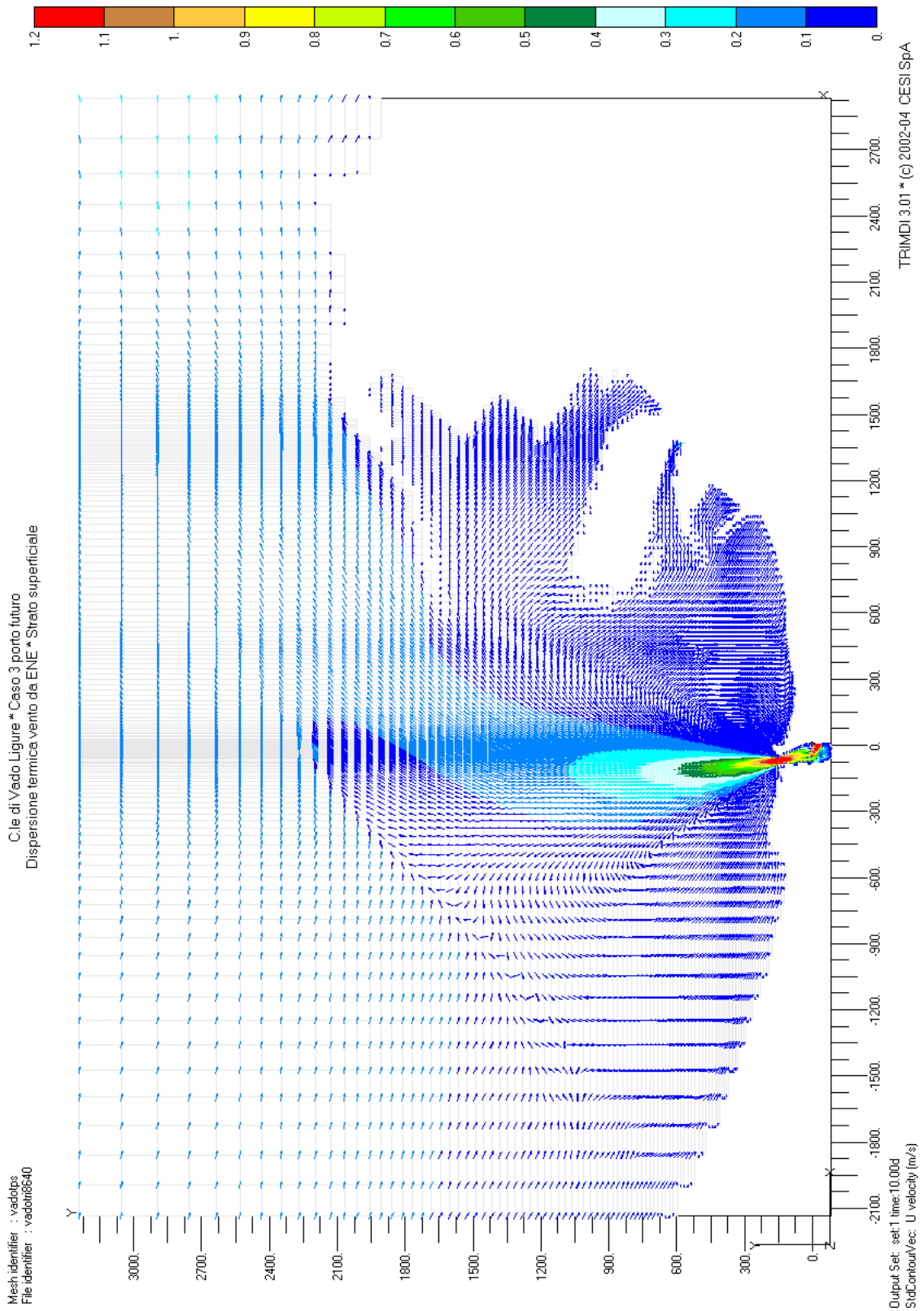


fig. 4.31 - Caso 3 porto futuro. Andamento del campo di moto nello strato superficiale

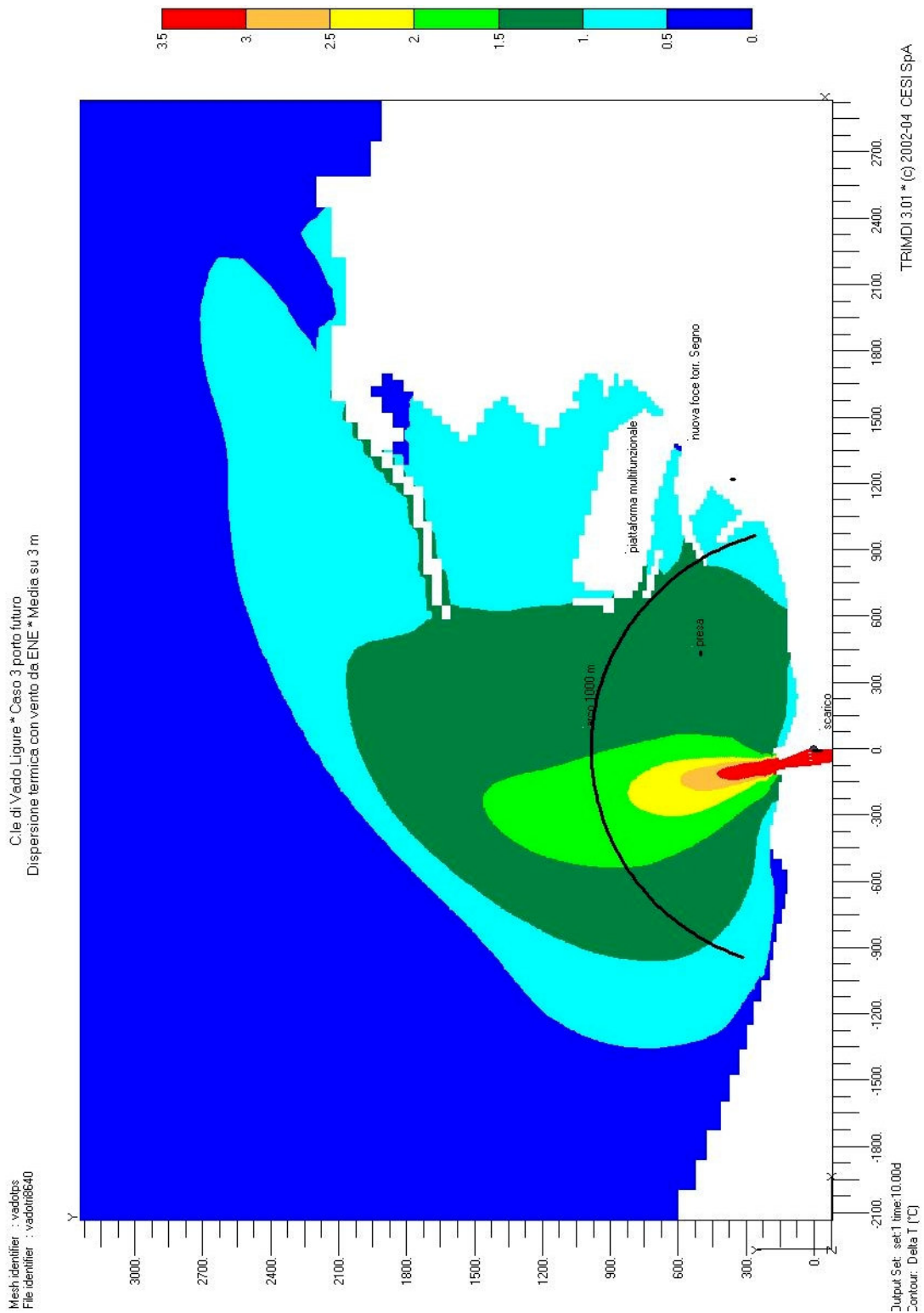
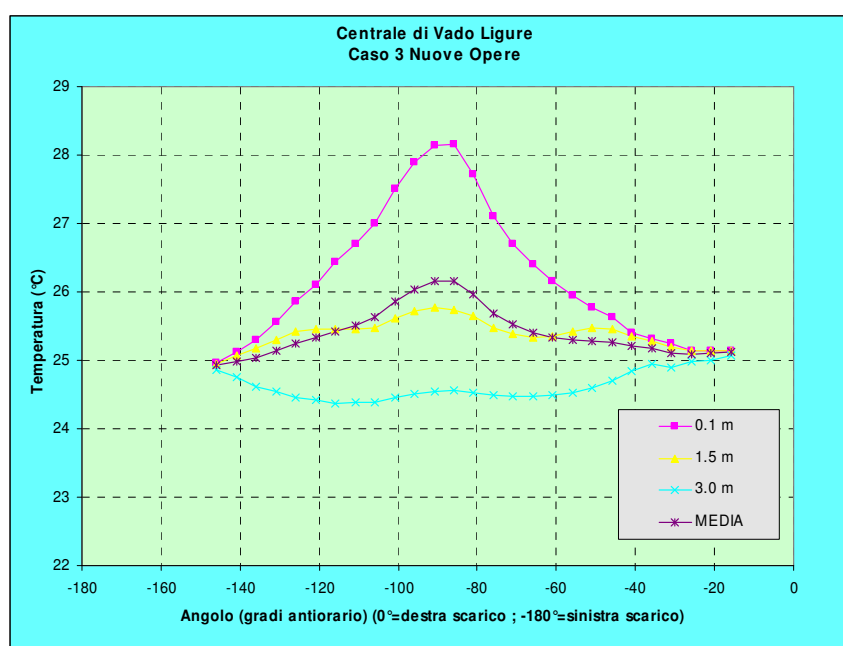


fig. 4.32 - Caso 3 porto futuro. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.10 – Caso 3 porto futuro. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	26.157
1	25.141	25.144	25.068	25.118		2SC	0.0000
2	25.145	25.144	25.008	25.099			
3	25.145	25.137	24.979	25.087		Staz. F 1	24.925
4	25.245	25.199	24.89	25.111		Staz. F 2	24.981
5	25.308	25.289	24.939	25.179		Staz. F 3	25.030
6	25.412	25.357	24.837	25.202		T m	24.978
7	25.626	25.464	24.705	25.265		2SF	0.1051
8	25.777	25.471	24.603	25.284			
9	25.942	25.427	24.53	25.300		<b>Incr. term.</b>	<b>1.07</b>
10	26.164	25.354	24.487	25.335			
11	26.403	25.337	24.472	25.404			
12	26.706	25.384	24.466	25.519			
13	27.104	25.47	24.488	25.687			
14	27.719	25.642	24.529	25.963			
15	28.156	25.738	24.557	26.150			
16	28.142	25.776	24.552	26.157	C		
17	27.901	25.717	24.508	26.042			
18	27.506	25.611	24.452	25.856			
19	27.004	25.482	24.393	25.626			
20	26.695	25.46	24.378	25.511			
21	26.433	25.458	24.375	25.422			
22	26.107	25.462	24.417	25.329			
23	25.862	25.414	24.456	25.244			
24	25.564	25.307	24.543	25.138			
25	25.297	25.17	24.622	25.030	F3		
26	25.123	25.07	24.749	24.981	F2		
27	24.967	24.952	24.855	24.925	F1		



#### 4.10 Caso 4 porto futuro con 4 gruppi

La simulazione numerica descritta in questo paragrafo è stata condotta nelle medesime condizioni descritte al paragrafo precedente, ma considerando l'esercizio a pieno carico di quattro gruppi della centrale; si fa quindi ancora riferimento, in particolare, a condizioni di vento proveniente dal settore di ENE, in quanto risultate, dalle analisi fin qui condotte, le più limitanti dal punto di vista sia dei limiti termici che della possibilità di ricircolo alla presa.

Le figure dalla fig. 4.33 alla fig. 4.37 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui confronto con le corrispondenti figure dalla fig. 4.29 alla fig. 4.32, relative alla configurazione a tre gruppi, porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale, mostrato in fig. 4.33 con riferimento allo strato superficiale, mostra come la forma del pennacchio termico sostanzialmente non si modifica rispetto al caso con tre gruppi in esercizio (fig. 4.29), ed anzi si ha un leggero arretramento dell'area più calda. Questa apparente contraddizione si spiega con una maggior efficacia del raffreddamento per miscelamento turbolento nella "mixing zone" immediatamente antistante lo scarico a mare, dovuto al fatto che scarico acqua ad una temperatura non molto diversa nei due casi ma con una portata e quindi una velocità superiore del 25% circa con i quattro gruppi in esercizio. Per quanto riguarda la sezione verticale alla presa di fig. 4.34, sempre con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, non si riscontrano particolari differenze alle quote di aspirazione;
- b) quanto descritto al punto precedente relativamente al campo termico è confermato dall'esame dell'andamento del campo di moto riportato in fig. 4.35. L'andamento del moto non è particolarmente diverso da quello di fig. 4.31, con un aumento della componente di velocità nel getto in direzione normale alla costa e quindi un maggior effetto di trascinamento verso il largo delle acque più fredde circostanti il pennacchio stesso. Per quanto riguarda invece l'andamento del moto nell'area della foce del Quiliano interessata dallo scarico, l'aumentata portata allo scarico stesso porta ad una maggior forzante di velocità verso il ponte sull'Aurelia e ad un aumento della vorticosità a monte dello stesso, come mostrato in fig. 4.36;
- c) in fig. 4.37 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m. Confrontando tale immagine con quella di fig. 4.32, ottenuta con tre gruppi in esercizio, si osserva innanzitutto come ora il pennacchio termico si proietti più verso il largo per effetto dell'aumentata velocità di scarico a mare, ma con l'isoterma a + 2.5 °C che ora giunge a ridosso dell'arco. Questo comportamento è indice del fatto che il getto, più veloce e più collimato, è anche più spesso nella direzione verticale, essendo maggiore l'area interessata dal miscelamento turbolento e minore la spinta al galleggiamento. Analizzando infatti i valori calcolati per le diverse stazioni e riportati in tab. 4.11 si può vedere come la temperatura nella stazione calda sia simile a quella con tre gruppi in esercizio (tab. 4.10) mentre viceversa la temperatura media delle stazioni fredde (24.88 °C) sia diminuita rispetto al caso con tre gruppi (24.98 °C) proprio per l'effetto di trascinamento del pennacchio verso il largo, e ciò comporta l'aumento dell'incremento termico sull'arco da circa 1 °C a 1.27 °C.

L'analisi sopra descritta porta a concludere che l'entrata in esercizio di un quarto gruppo con caratteristiche simili a quelle degli altri gruppi, nelle condizioni più limitanti di vento proveniente dal settore di ENE; comporta un aumento limitato del valore di incremento termico sull'arco a 1000 m, sempre comunque ampiamente entro i limiti di legge.



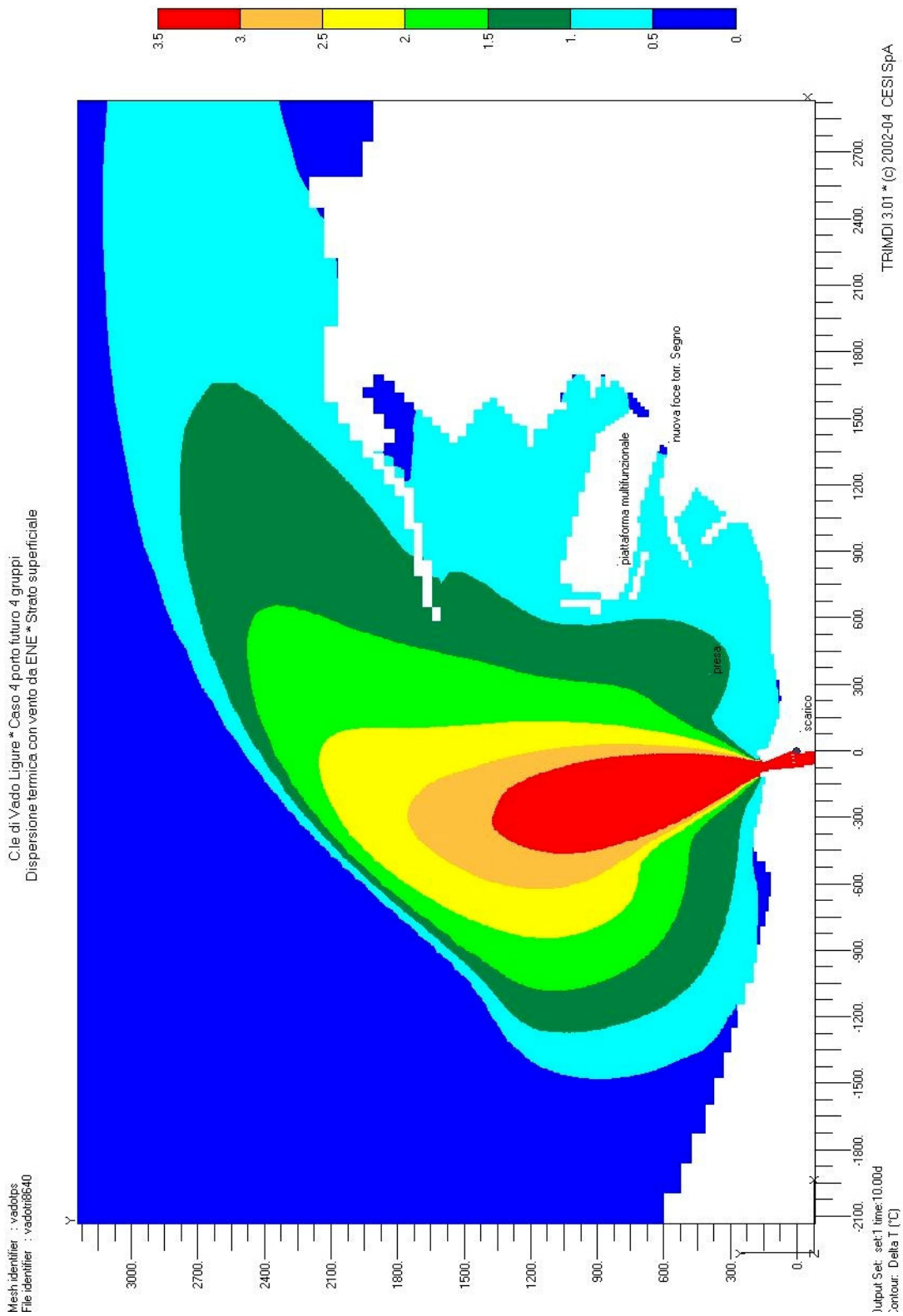


fig. 4.33 – Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Incremento termico nello strato superficiale

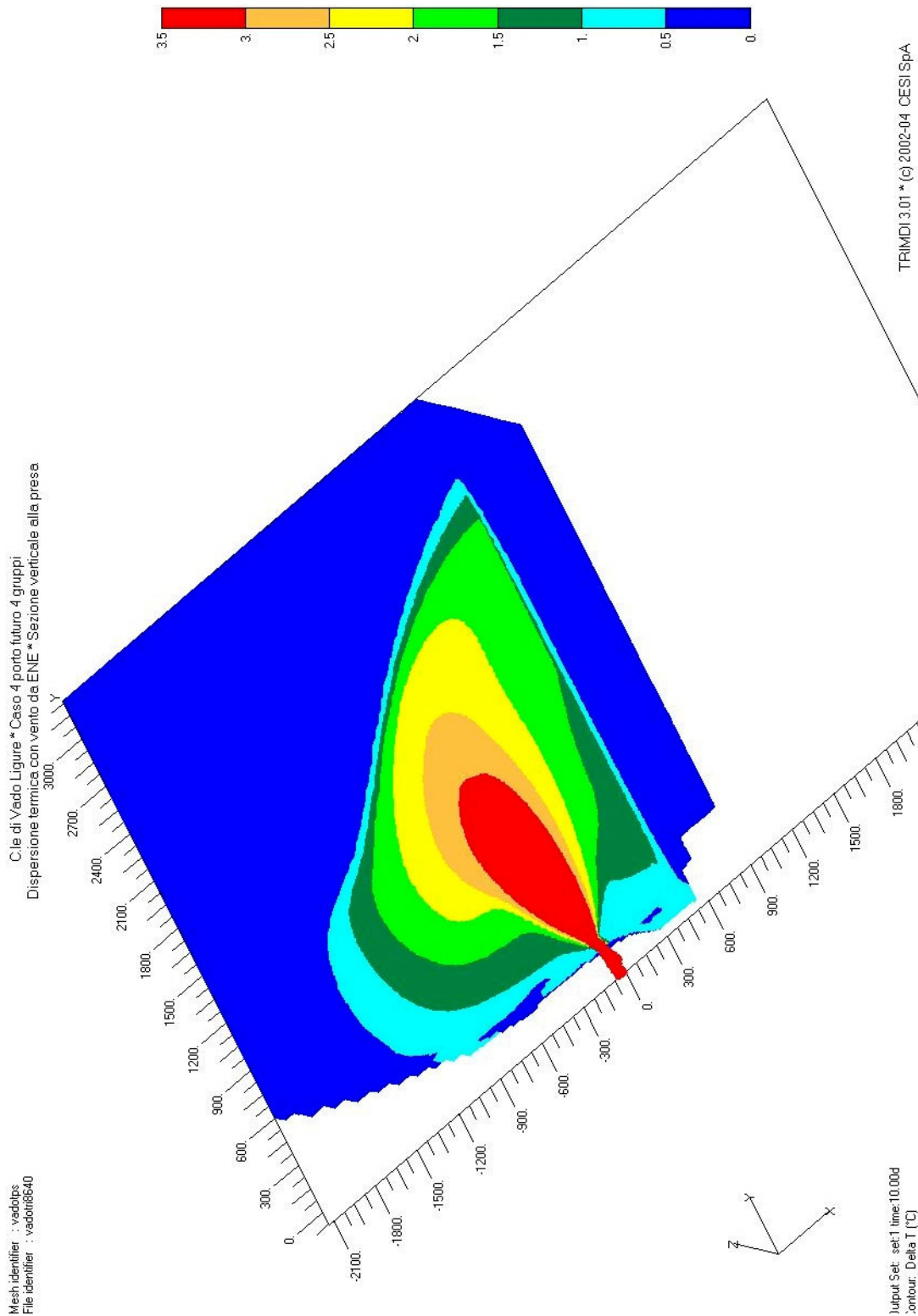


fig. 4.34 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Incremento termico nella sezione verticale di presa

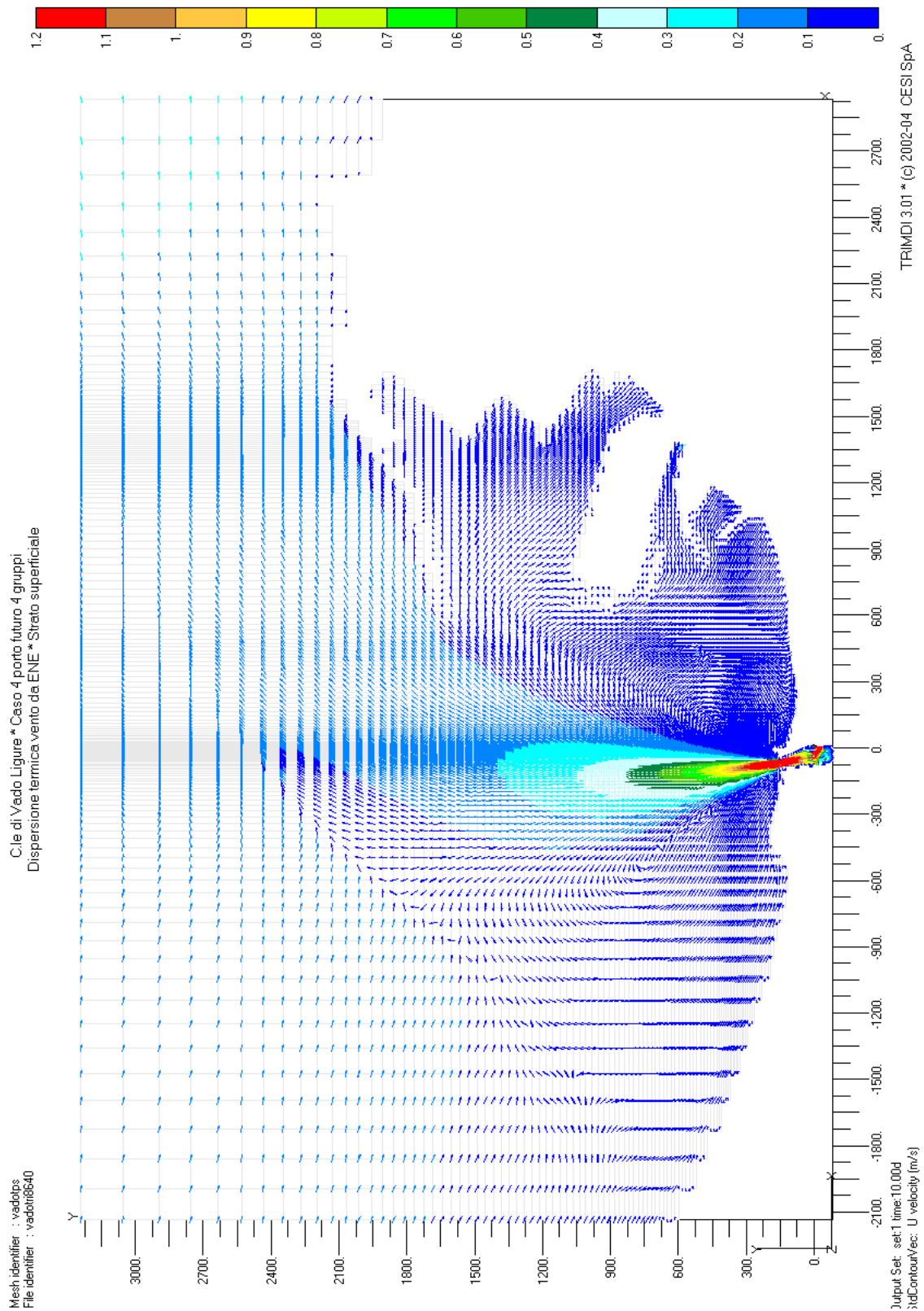
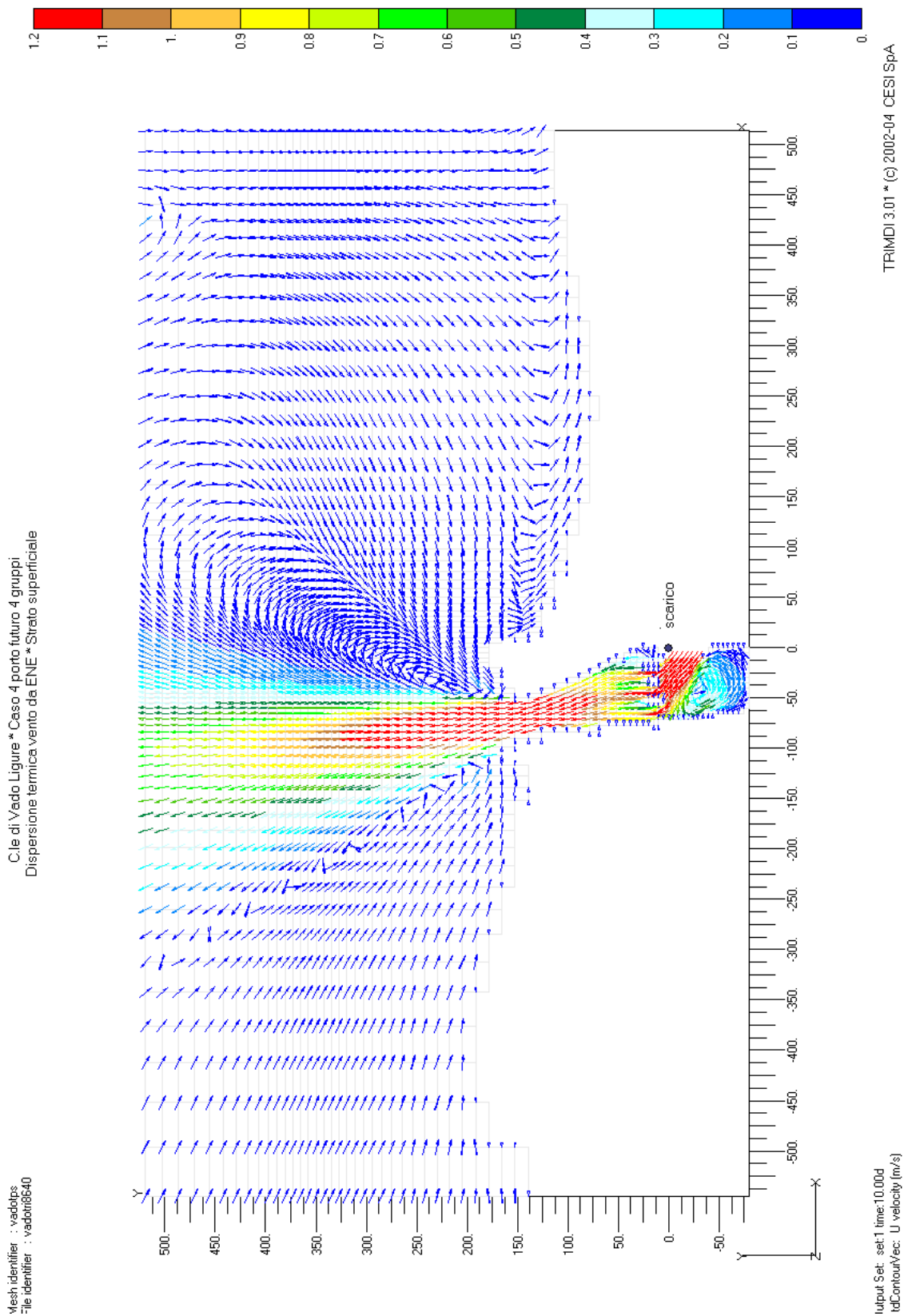


fig. 4.35 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Andamento del campo di moto nello strato superficiale



**fig. 4.36 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Andamento del campo di moto nella zona della foce del Quiliano**

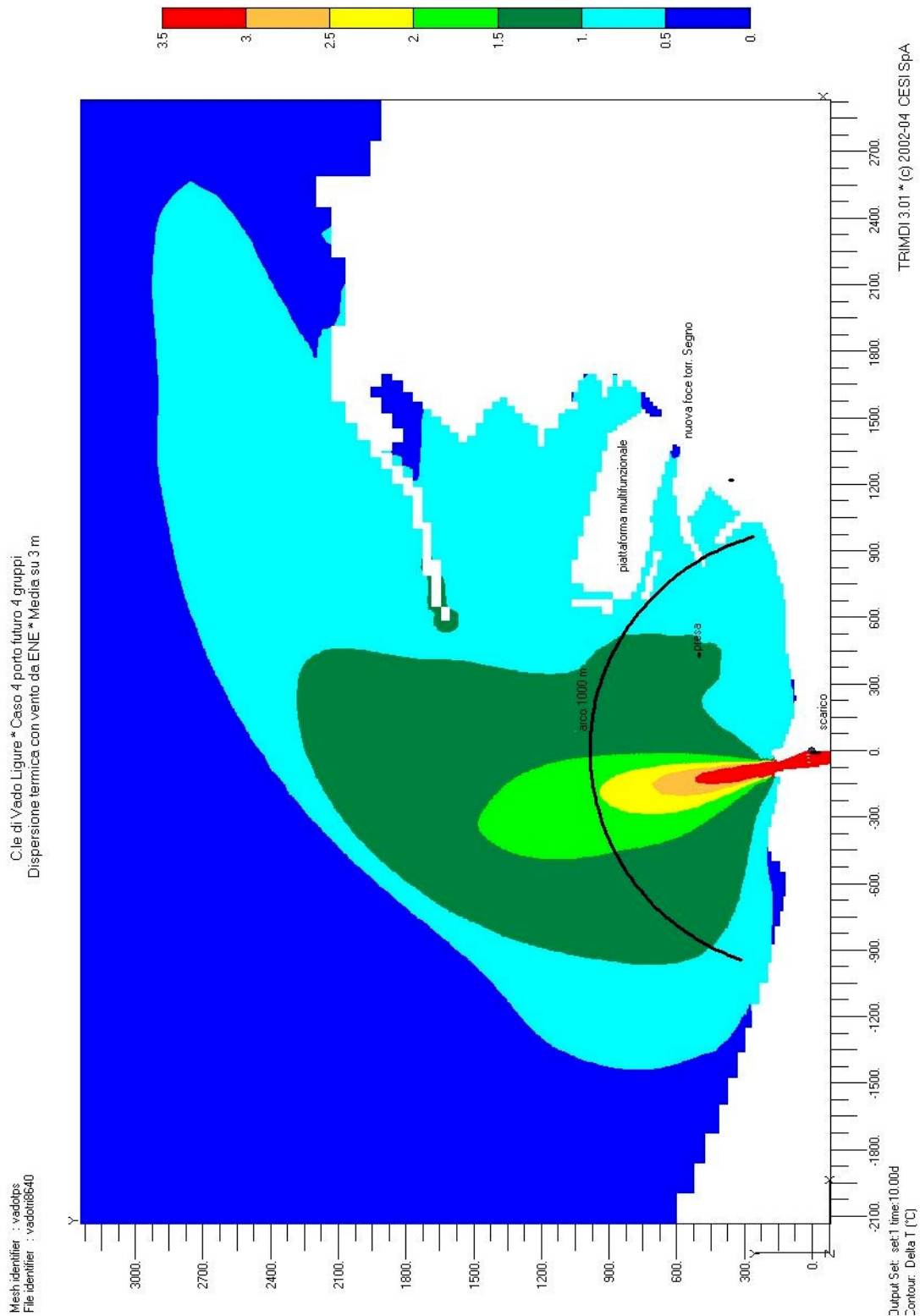
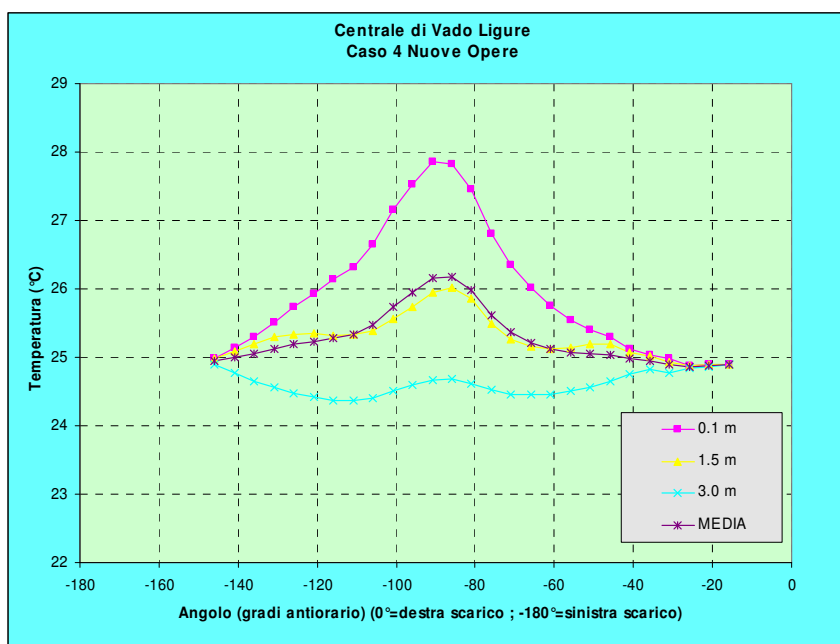


fig. 4.37 - Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.11 – Caso 4 porto futuro con 4 gruppi. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	26.170
1	24.896	24.898	24.896	24.897		2SC	0.0000
2	24.892	24.893	24.857	24.881	F2		
3	24.885	24.881	24.839	24.868	F1	Staz. F 1	24.868
4	24.974	24.933	24.765	24.891	F3	Staz. F 2	24.881
5	25.027	25.009	24.817	24.951		Staz. F 3	24.891
6	25.12	25.078	24.75	24.983		T m	24.880
7	25.291	25.187	24.648	25.042		2SF	0.0224
8	25.409	25.186	24.562	25.052			
9	25.546	25.149	24.503	25.066		<b>Incr. term.</b>	<b>1.27</b>
10	25.759	25.125	24.463	25.116			
11	26.015	25.161	24.453	25.210			
12	26.35	25.271	24.46	25.360			
13	26.814	25.496	24.531	25.614			
14	27.458	25.857	24.618	25.978			
15	27.819	26.012	24.678	26.170	C		
16	27.858	25.941	24.67	26.156			
17	27.523	25.739	24.591	25.951			
18	27.162	25.568	24.503	25.744			
19	26.643	25.39	24.4	25.478			
20	26.318	25.331	24.362	25.337			
21	26.149	25.318	24.371	25.279			
22	25.926	25.348	24.423	25.232			
23	25.744	25.341	24.47	25.185			
24	25.513	25.292	24.561	25.122			
25	25.3	25.185	24.649	25.045			
26	25.139	25.093	24.779	25.004			
27	24.988	24.974	24.889	24.950			



#### 4.11 Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe

La simulazione numerica descritta in questo paragrafo è stata condotta nelle medesime condizioni descritte al paragrafo 4.9, con riferimento cioè ad un esercizio a pieno carico di tre gruppi della centrale e a condizioni di vento proveniente dal settore di ENE, ma considerando la presenza di una petroliera di grosso tonnellaggio ormeggiata alla più vicina boa del campo boe SARPOM.

Le figure dalla fig. 4.38 alla fig. 4.42 riportano l'andamento dei campi termico e di moto derivanti dalla simulazione numerica, il cui confronto con le corrispondenti figure dalla fig. 4.29 alla fig. 4.32, relative alla configurazione in assenza della petroliera, porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'andamento generale del pennacchio termico nell'intera area del porto in termini di incremento termico rispetto alla temperatura naturale, mostrato in fig. 4.38 con riferimento allo strato superficiale, mostra come la forma del pennacchio termico si modifica sostanzialmente a causa della presenza della petroliera, come emerge dal confronto con la fig. 4.29. La petroliera, infatti, rappresenta con il suo elevato pescaggio una barriera per la diffusione del pennacchio termico verso il largo, costringendo quest'ultimo a deviare in parte verso il porto e la costa. Il risultato più immediato è un aumento della temperatura nell'area di presa e nelle zone circostanti. Anche la sezione verticale alla presa di fig. 4.39, sempre con scala ampliata di un fattore 40 nella direzione verticale, mostra un ispessimento dello spessore verticale del pennacchio caldo, senza peraltro giungere a forti alterazioni alle quote di aspirazione;
- b) quanto descritto al punto precedente relativamente al campo termico è confermato dall'esame dell'andamento del campo di moto riportato in fig. 4.40, che risulta alquanto diverso da quello di fig. 4.31 proprio in prossimità della petroliera, ove si manifesta una brusca deviazione del flusso lungo i fianchi della stessa (fig. 4.41). Questa deviazione è di fatto responsabile dell'andamento del pennacchio termico descritto al punto precedente;
- c) in fig. 4.42 è riportato l'andamento dell'incremento termico mediato sullo strato di 3 m, con l'indicazione dei principali punti di presa e scarico e dell'arco a 1000 m. Confrontando tale immagine con quella di fig. 4.32, ottenuta in assenza della petroliera, si osserva innanzitutto come ora l'isoterma a + 2.5 °C oltrepassi il limite dell'arco, con un ampliamento dell'area racchiusa proprio dovuto alla presenza della nave. Analizzando i valori calcolati per le diverse stazioni e riportati in tab. 4.12 si può vedere come la temperatura nella stazione calda sia ora superiore a quella ottenuta in assenza di nave (tab. 4.10) mentre viceversa la temperatura media delle stazioni fredde sia diminuita e soprattutto la loro localizzazione è ora sull'estremo sinistro dell'arco. Quanto descritto in precedenza porta ad un aumento dell'incremento termico sull'arco da 1.27 °C a 1.36 °C.

L'analisi sopra descritta porta a concludere che la presenza di una petroliera ormeggiata alle boe comporta un aumento del valore di incremento termico sull'arco, come peraltro già osservato in passato durante le misure sull'arco effettuate dalla centrale stessa. Va infine osservato che la simulazione sopra descritta è stata effettuata nelle condizioni più limitanti di vento proveniente dal settore di ENE; ma il comportamento del flusso porta a supporre che un incremento dello stesso ordine di grandezza di quello qui valutato sia da attendersi indipendentemente dalle condizioni di vento, semplicemente a causa dell'effetto di ostacolo alla diffusione del pennacchio verso il mare aperto.



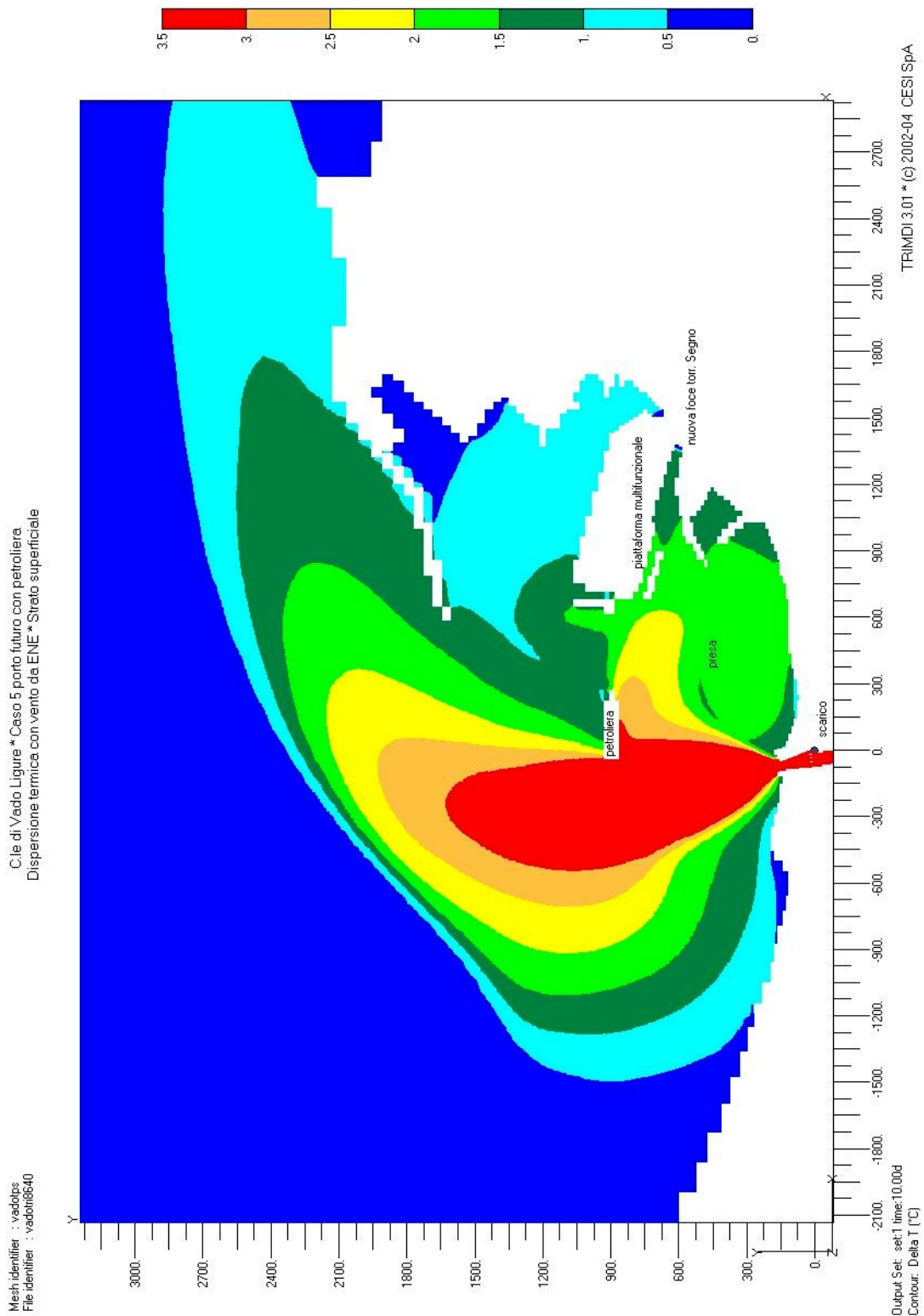


fig. 4.38 –Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Incremento termico nello strato superficiale



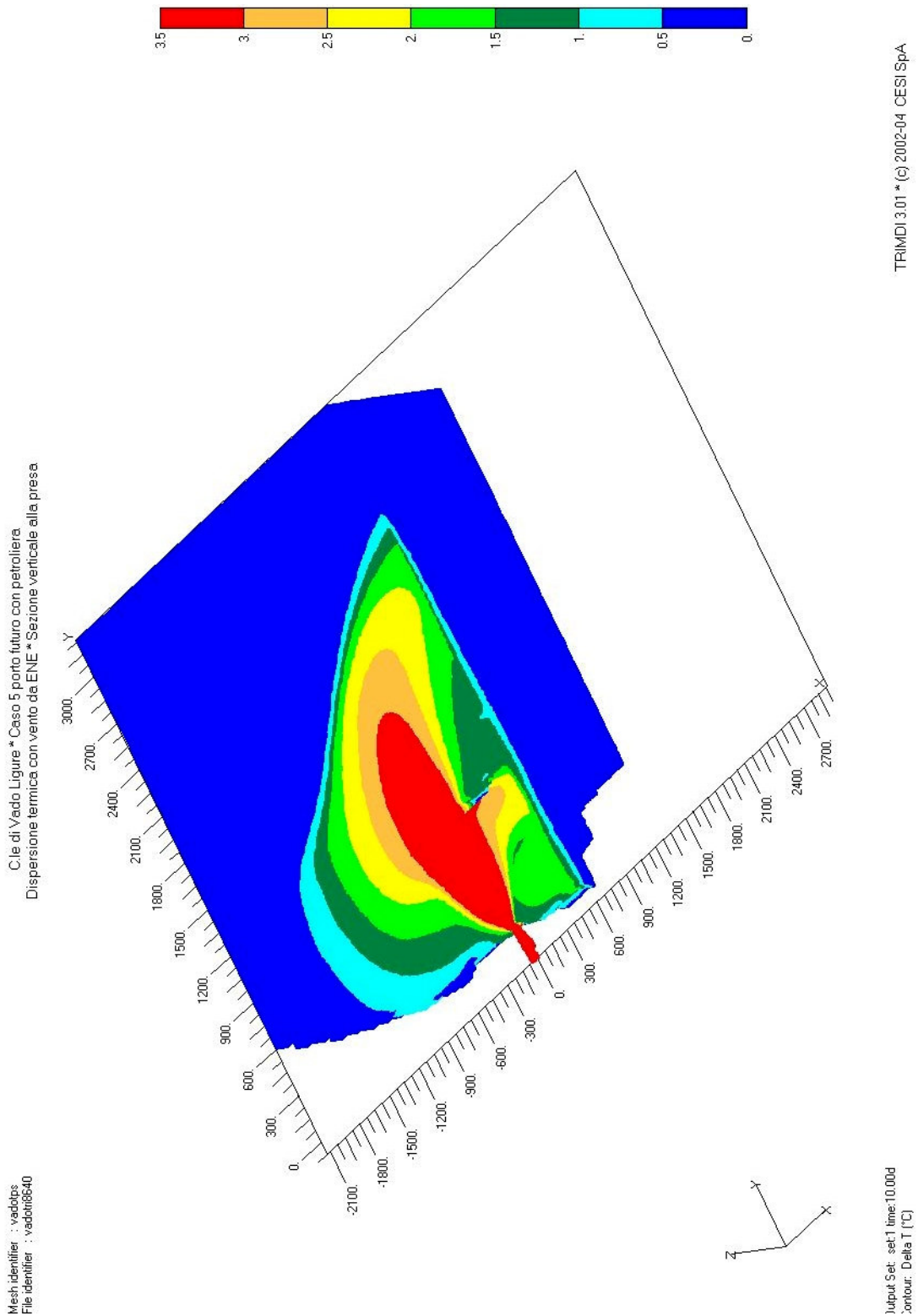


fig. 4.39 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Incremento termico nella sezione verticale di presa

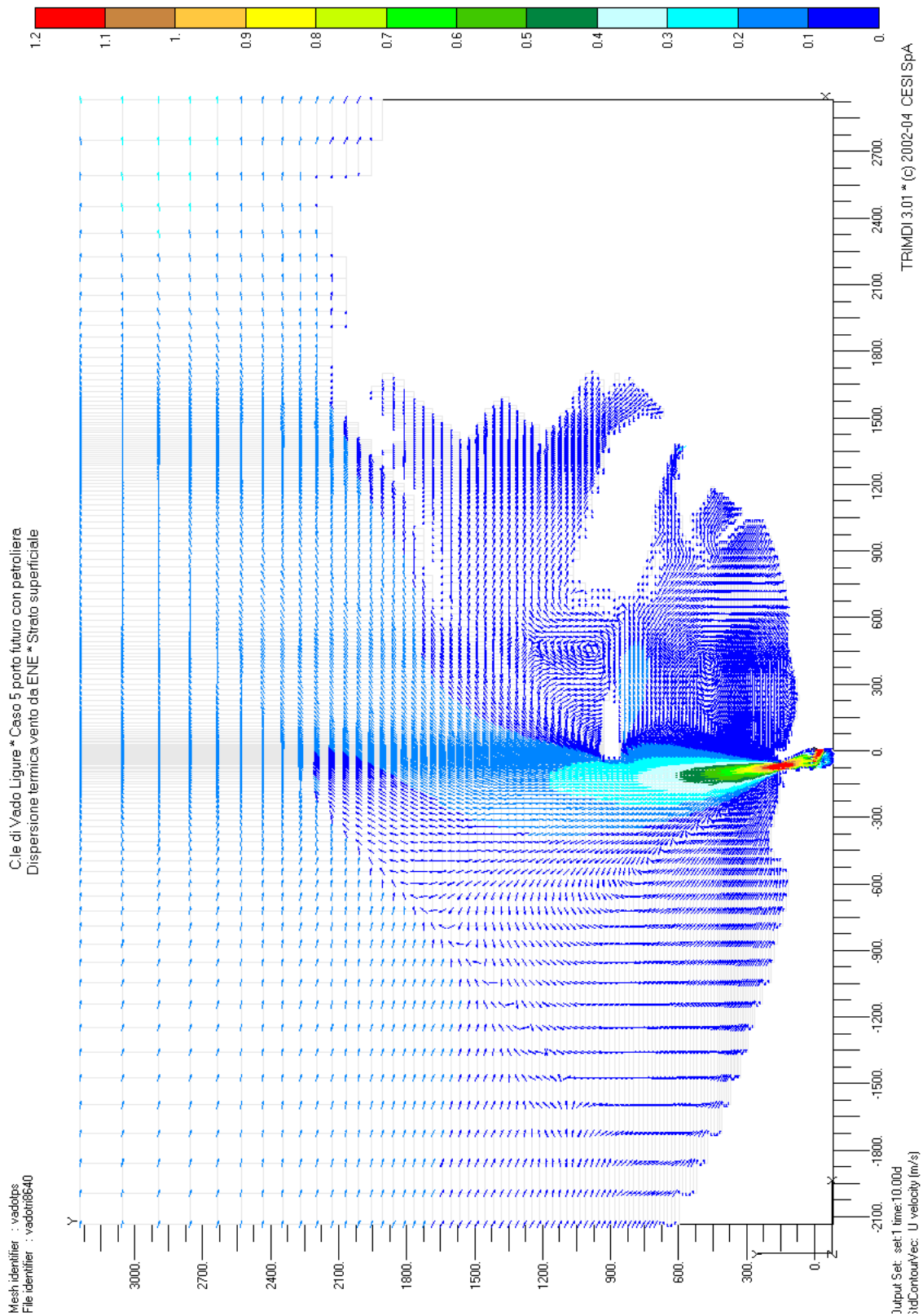


fig. 4.40 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Andamento del campo di moto nello strato superficiale

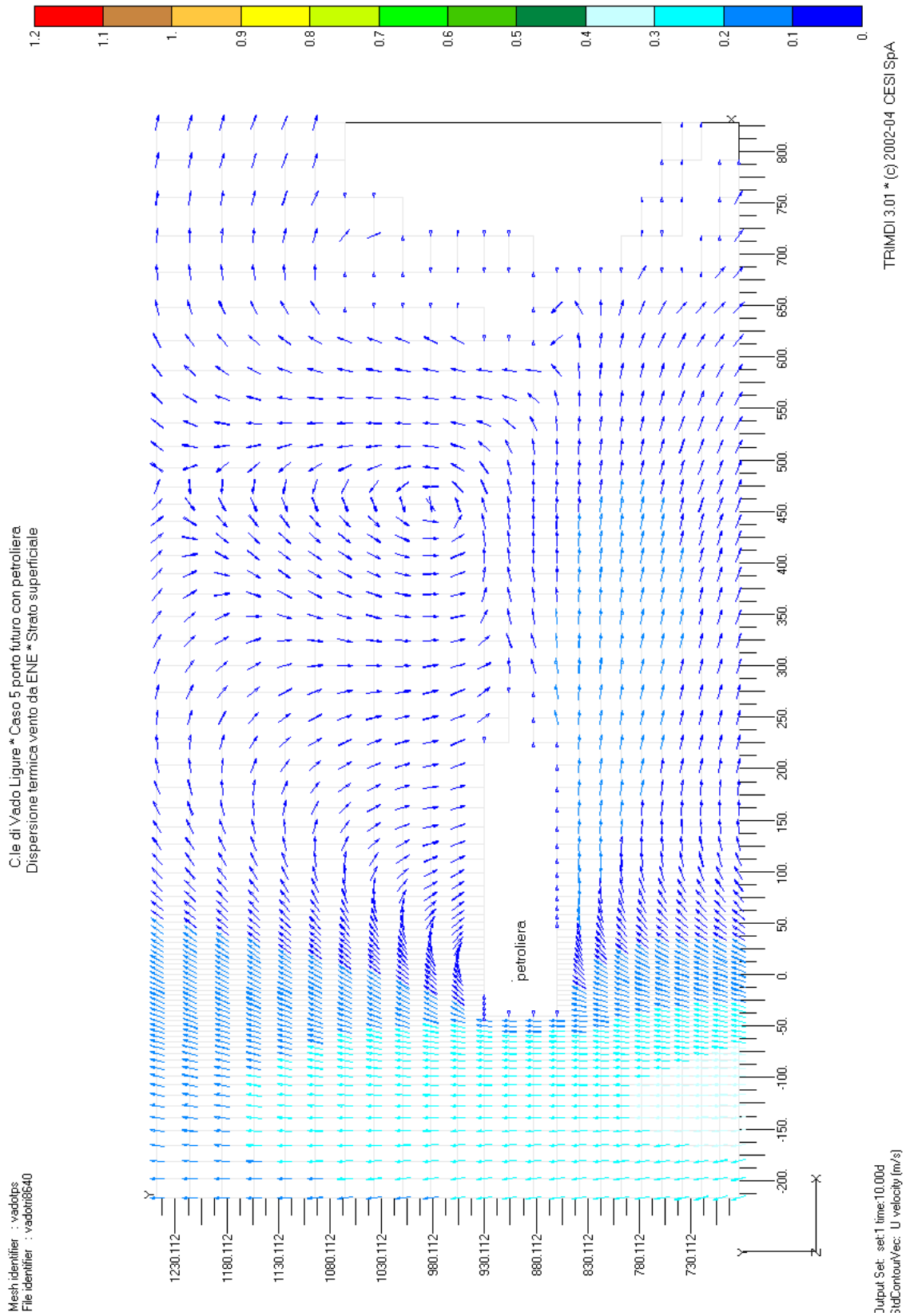


fig. 4.41 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Andamento del campo di moto nell'intorno della petroliera

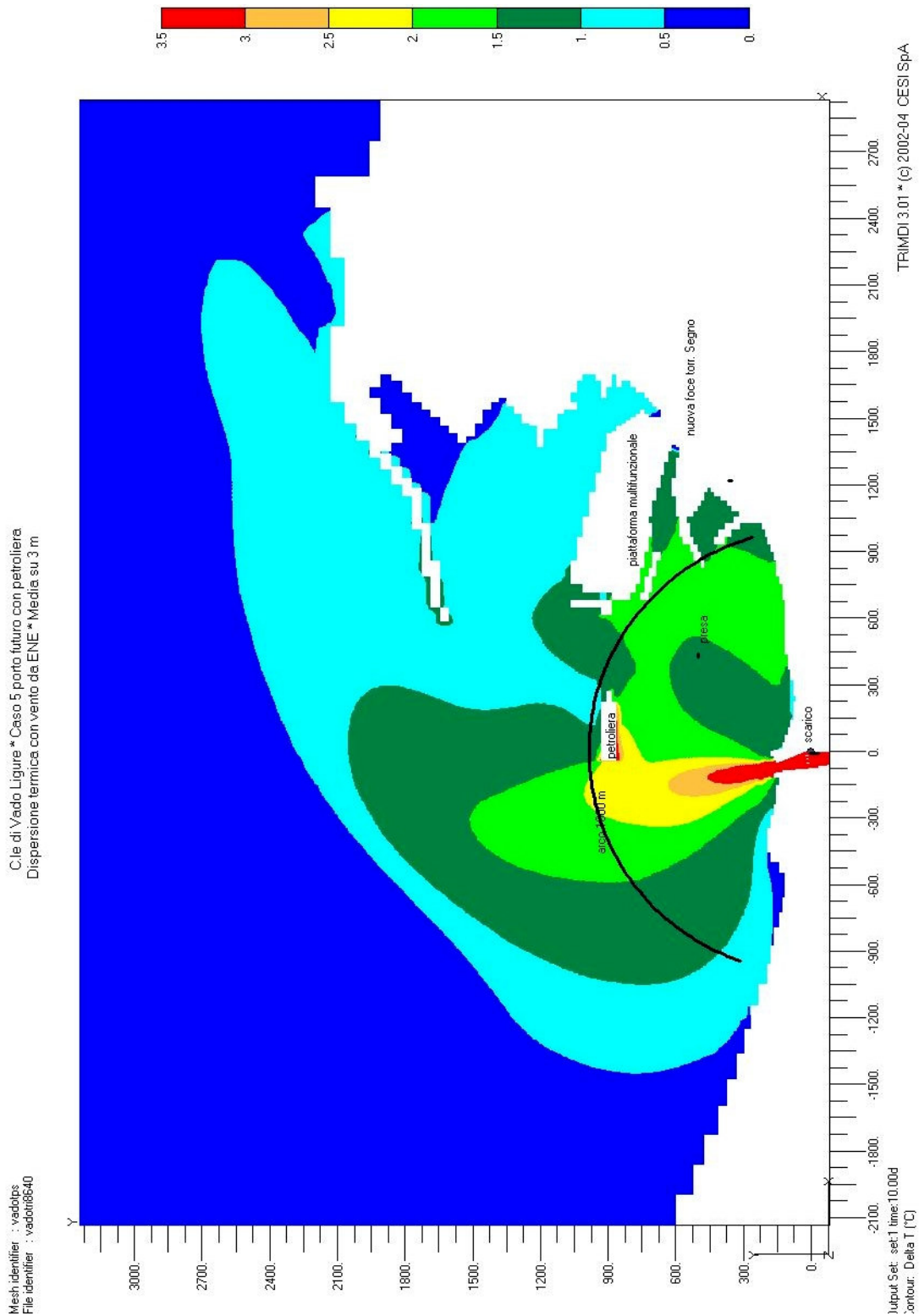
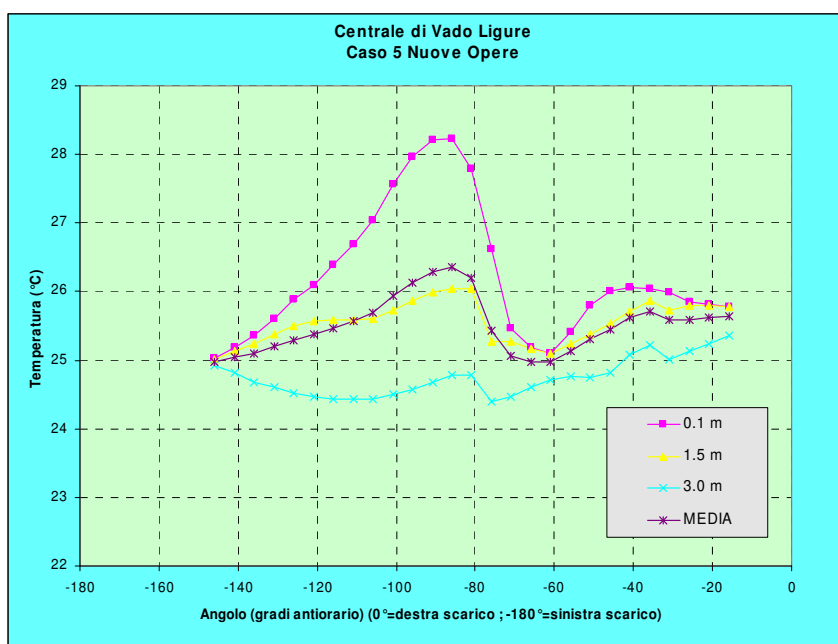


fig. 4.42 - Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Incremento termico medio nello strato di 3 m

**tab. 4.12 – Caso 5 porto futuro con petroliera ormeggiata alle boe. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m**

Incrementi termici misure							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F		
						Staz. C	26.355
1	25.775	25.778	25.362	25.638		2SC	0.0000
2	25.82	25.804	25.241	25.622			
3	25.858	25.79	25.138	25.595		Staz. F 1	24.969
4	25.996	25.731	25.017	25.581		Staz. F 2	24.983
5	26.041	25.865	25.227	25.711		Staz. F 3	24.983
6	26.055	25.717	25.072	25.615		T m	24.978
7	26.004	25.537	24.825	25.455		2SF	0.0164
8	25.796	25.385	24.755	25.312			
9	25.416	25.229	24.767	25.137		<b>Incr. term.</b>	<b>1.36</b>
10	25.095	25.095	24.717	24.969	F1		
11	25.177	25.162	24.611	24.983	F3		
12	25.473	25.265	24.466	25.068			
13	26.618	25.266	24.405	25.430			
14	27.788	26.036	24.782	26.202			
15	28.234	26.041	24.791	26.355	C		
16	28.215	25.982	24.677	26.291			
17	27.961	25.861	24.569	26.130			
18	27.562	25.732	24.497	25.930			
19	27.038	25.598	24.434	25.690			
20	26.691	25.592	24.426	25.570			
21	26.394	25.593	24.428	25.472			
22	26.087	25.57	24.476	25.378			
23	25.878	25.499	24.516	25.298			
24	25.608	25.384	24.602	25.198			
25	25.36	25.246	24.682	25.096			
26	25.182	25.134	24.815	25.044			
27	25.022	25.008	24.919	24.983	F2		



#### 4.12 Analisi del ricircolo alla presa

L'entità del ricircolo termico alla presa è calcolata direttamente dal codice sotto forma di flusso termico entrante alla presa stessa, da cui è possibile ricavare la temperatura media dell'acqua aspirata e confrontarla con la temperatura imperturbata. I risultati ottenuti nei casi simulati sono raccolti nella successiva tab. 4.13.

**tab. 4.13 - Valori del ricircolo termico alla presa**

<i>Caso</i>	<i>Condizioni di esercizio ed ambientali</i>	<i>Sovralzo termico alla presa ( °C)</i>
Caso 1 porto attuale	3 gruppi – calma di vento	0.26
Caso 1 porto futuro	3 gruppi – calma di vento – navi ormeggiate	0.26
Caso 2 porto attuale	3 gruppi – vento da NW	0.14
Caso 2 porto futuro	3 gruppi – vento da NW – navi ormeggiate	0.17
Caso 3 porto attuale	3 gruppi – vento da ENE	0.43
Caso 3 porto futuro	3 gruppi – vento da ENE – navi ormeggiate	0.47
Caso 4 porto futuro	4 gruppi – vento da ENE – navi ormeggiate	0.45
Caso 5 porto futuro	3 gruppi – vento da ENE – navi + petroliera	0.45

L'esame dei valori del sovrалzo termico alla presa riportati in tabella consente di trarre alcune conclusioni, quali:

- la presenza delle nuove opere portuali, che pur modifica in alcune situazioni ambientali la dislocazione del pennacchio termico, non altera in maniera sensibile il valore del sovrалzo termico alla presa, che dipende invece in maniera molto stretta dalle condizioni di vento;
- le condizioni più critiche ai fini del sovrалzo termico alla presa sono quelle in presenza di vento proveniente dal primo quadrante. Un eventuale rinforzo dei valori di intensità del vento qui adottati, come si è visto nell'esame del caso test di riferimento, possono forzare ulteriormente la dislocazione del pennacchio termico verso la presa, ma nel contempo aumenta molto l'effetto di raffreddamento dovuto allo scambio con l'atmosfera, per cui l'effetto globale rimane comunque contenuto;
- la presenza di una petroliera di grosso tonnellaggio ancorata alle boe rappresenta un elemento di incremento dei valori di incremento termico sull'arco, ma non altera in maniera sensibile il valore di sovrалzo termico alla presa;
- l'indicazione di sovrалzo termico nei vari scenari considerati porta ad un valore massimo dell'ordine di 0.5 °C, per cui l'eventuale superamento del limite di 35 °C allo scarico imposto dalla normativa dipende in massima parte dalla temperatura naturale del mare e non dalla presenza di ricircolo alla presa.

## 5 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio si è posto come obiettivo di valutare l'impatto delle modifiche strutturali previste dal nuovo Piano Regolatore Portuale del Porto di Vado Ligure sulla diffusione termica a mare delle acque di scarico della centrale termoelettrica di Vado Ligure. Tali modifiche, in particolare, comportano la realizzazione di una nuova piattaforma multifunzionale e di una nuova calata ed il prolungamento della attuale diga foranea. Inoltre è previsto lo spostamento della foce del torrente Segno che scarica nell'area portuale.

La presenza di nuove opere nell'area portuale comporta inoltre la presenza frequente di navi ormeggiate alle stesse, che possono a loro volta costituire, quando di grosso tonnellaggio e quindi di notevole pescaggio, un ostacolo alla diffusione in mare delle acque di raffreddamento della centrale. Di conseguenza, è stata effettuata una analisi del traffico portuale e sono state prese in considerazione diverse ipotesi di navi all'attracco in porto.

L'analisi della dispersione termica è stata di fatto condotta allo scopo di verificare il rispetto dei limiti di legge relativi agli scarichi termici in mare e l'entità del ricircolo termico verso la presa in presenza delle modifiche strutturali ed operative sopra descritte, confrontate con le condizioni esistenti nella attuale configurazione portuale.

Avendo presenti le condizioni ambientali tipiche del Golfo di Genova, sono stati presi in considerazione diversi scenari, ed in particolare:

1. esercizio a pieno carico dei tre gruppi della centrale, nella attuale configurazione portuale e in diverse condizioni meteomarine, utilizzati come riferimento per la valutazione dell'impatto causato dalle nuove opere;
2. esercizio a pieno carico dei tre gruppi della centrale, nella futura configurazione portuale e nelle diverse condizioni meteomarine, allo scopo di quantificare l'impatto delle nuove opere sulla dispersione termica;
3. esercizio a pieno carico di quattro gruppi della centrale, nella futura configurazione portuale e nella condizione meteomarina risultata più critica, allo scopo di quantificare l'impatto di un futuro esercizio di un quarto gruppo;
4. presenza di una petroliera di grosso tonnellaggio ancorata nell'area di mare di fronte allo scarico.

I risultati ottenuti dalla simulazione numerica sono stati esaminati da diversi punti di vista:

- a) confronto tra gli andamenti dei pennacchi termici allo scopo di valutare l'impatto delle modifiche in termini di dislocazione del pennacchio termico
- b) analisi dei limiti termici sull'arco a 1000 m, allo scopo di valutare l'impatto sul rispetto dei limiti di legge
- c) valutazione dell'impatto sul ricircolo termico alla presa

Per quanto riguarda il primo punto, è possibile trarre una serie di interessanti osservazioni e precisamente:

- a) confrontando i risultati ottenuti nella configurazione portuale attuale ed in quella futura, a parità di condizioni di vento e di corrente, è emerso che la dislocazione del pennacchio è influenzata dalla

presenza delle nuove opere soltanto in condizioni di calma di vento o di venti provenienti dal primo quadrante, e tale influenza si manifesta in generale con un ampliamento dell'area calda del pennacchio nell'area portuale;

- b) lo spostamento della foce del torrente Segno non ha influenza sulla dispersione termica, ove si considerino portate anche elevate ma comunque non a livello di piena eccezionale;
- c) l'andamento del campo di moto nell'area della foce del Quiliano su cui si affaccia l'opera di scarico vera e propria è tale da incanalare il flusso di scarico verso il mare in modo tale che lo sbocco a mare rappresenta una sorta di scarico equivalente da cui ha origine il pennacchio termico;
- d) la considerazione di un quarto gruppo in esercizio comporta un aumento della turbolenza allo scarico con una dislocazione del pennacchio termico proiettata verso il largo;
- e) la presenza di una petroliera ormeggiata alle boe comporta una forte alterazione del campo di moto nell'area soggetta a dispersione termica.

Il secondo punto è relativo all'analisi dei limiti termici sull'arco a 1000 m, che sono stati calcolati secondo la metodologia impiegata per le misure in campo. Valutando l'incremento termico massimo, e tenendo conto della tolleranza insita nel modello di simulazione, si può osservare che:

- a) in tutte le condizioni esaminate il valore di incremento termico sull'arco si mantiene ben al di sotto del limite di legge;
- b) la presenza delle nuove opere portuali, quando le condizioni meteomarine siano tali da esaltare il loro effetto sul pennacchio, comporta in taluni casi un aumento del valore di incremento sull'arco a 1000 m, comunque inferiore a 0.5 °C, ed in altri una leggera diminuzione dello stesso a causa della diversa dislocazione del pennacchio conseguente alla presenza delle opere stesse;
- c) l'esercizio di un quarto gruppo, a parità di ogni altra condizione ed in presenza delle nuove opere, comporta un aumento dell'incremento termico calcolato sull'arco a 1000 m inferiore a 0.5 °C;
- d) la presenza di una petroliera all'ormeggio alle boe altera sostanzialmente il campo termico nei pressi dell'arco a 1000 m, con un aumento dell'incremento termico, sostanzialmente indipendente dalle condizioni ambientali, dell'ordine di 0.5 °C.

Il terzo punto considerato è relativo alle condizioni di ricircolo termico alla presa. A questo proposito, si osserva che:

- a) la presenza delle nuove opere portuali, che pur modifica in alcune situazioni ambientali la dislocazione del pennacchio termico, non altera in maniera sensibile il valore del sovrizzo termico alla presa, che dipende invece in maniera molto stretta dalle condizioni di vento;
- b) le condizioni più critiche ai fini del sovrizzo termico alla presa sono quelle in presenza di vento proveniente dal primo quadrante. Un eventuale rinforzo dei valori di intensità del vento qui adottati, come si è visto nell'esame del caso test di riferimento, possono forzare ulteriormente la dislocazione del pennacchio termico verso la presa, ma nel contempo aumenta molto l'effetto di raffreddamento dovuto allo scambio con l'atmosfera, per cui l'effetto globale rimane comunque contenuto;



- c) la presenza di una petroliera di grosso tonnellaggio ancorata alle boe rappresenta un elemento di incremento dei valori di incremento termico sull'arco, ma non altera in maniera sensibile il valore di sovrizzo termico alla presa;
- d) l'indicazione di sovrizzo termico nei vari scenari considerati porta ad un valore massimo dell'ordine di 0.5 °C, per cui l'eventuale superamento del limite di 35 °C allo scarico imposto dalla normativa dipende in massima parte dalla temperatura naturale del mare e non dalla presenza di ricircolo alla presa.

Partendo dalle considerazioni sopra sviluppate si può quindi affermare che le modifiche progettuali prese in considerazione nel presente studio, pur alterando la dislocazione del pennacchio termico in particolari situazioni meteomarine, non modificano significativamente, a parità di condizioni ambientali e di esercizio, le condizioni di dispersione termica attualmente presenti in rada, sia in termini di incremento termico sull'arco a 1000 m che di sovrizzo termico alla presa.