

# Work Note 057/0

---

## C.le di Brindisi

### Studio di Dispersione Termica in Mare delle Acque di Raffreddamento della Centrale a Seguito delle Modifiche Previste per il Porto di Brindisi

---

**R. Guandalini**

Data di emissione : 16 ottobre 2003  
Attività svolta da : G. Agate, R. Guandalini  
Revisione : 0  
Classificazione : Studi TRIMDI  
Pagine : 163

RISERVATO PERSONALE

Pagina intenzionalmente bianca

## Sommario - Abstract

L'obiettivo del presente studio è quello di valutare la dispersione in mare delle acque di raffreddamento della centrale termoelettrica di Brindisi di proprietà Edipower Spa tenendo conto del progetto di ristrutturazione del porto di Brindisi comprendente la modifica dell'attuale molo di Costa Morena, la presenza di un nuovo molo Enel, l'interrimento di vaste aree adiacenti lo scarico, la modifica della struttura dei frangiflutti e il dragaggio di parte del Porto Esterno.

Di fatto, ciascuna delle modifiche sopra elencate presenta un forte impatto sulla dispersione termica delle acque di raffreddamento della centrale, tenendo anche conto della presenza concomitante di scarichi e prese preesistenti e delle modifiche previste in futuro per l'assetto stesso dei gruppi della centrale, che a loro volta modificano le condizioni termiche di scarico.

Si è poi affrontato il problema del ricircolo alla presa valutando la fattibilità di una modifica all'opera di presa portando la sezione di prelievo in profondità, e valutando l'efficacia di una tale soluzione in presenza delle modifiche progettuali sopra citate.

Lo studio, condotto mediante simulazioni numeriche in condizioni meteomarine e di ventosità caratteristiche del sito, ha consentito di determinare la configurazione del pennacchio termico nella configurazione attuale e nelle condizioni previste dal progetto di modifica del porto, ed ha consentito di verificare le eventuali condizioni di ricircolo termico ed il rispetto dei limiti di legge.

Tutti i calcoli sono stati effettuati mediante il modello matematico tridimensionale implementato con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI 3.0. Tale codice, di proprietà di CESI Spa, è stato ampiamente validato ed utilizzato per l'analisi di un elevato numero di impianti, fornendo risultati di notevole affidabilità ed accuratezza.

The purpose of this study is of evaluating the diffusion in the sea of the cooling water of the thermal power plant of Brindisi, Edipower Spa proprietary, accounting for the restructuring project of the Brindisi harbor including the modification of the current Costa Morena wharf, the design of a new Enel wharf, the filling with earth of large areas close the outfall structures, the modification of the breakwaters and the dredging of the Porto Esterno.

As a matter of fact, each of the modifications listed above has a strong impact on the thermal diffusion of the cooling waters, accounting also for the presence of other discharges and intakes and for the modifications forecast for the plant group operating conditions, that cause a further effect on the thermal diffusion.

Also the problem of the possible intake recirculation effect has been considered, evaluating the feasibility of the intake modification that assumes the suction section located at a significant depth from the point of view of the effect on the thermal diffusion accounting for the harbor modifications.

The study, carried out using numerical simulations in the marine and atmospheric conditions typical of the site, allowed the determination of the plant plume location in the current configuration and in the designed conditions, and it allowed to verify the recirculation conditions and the law limits.

All the calculations has been carried out using the TRIMDI 3.0 three dimensional numerical simulation model. This code, CESI Spa proprietary, has been largely tested and used for the analysis of a lot of plants, providing results of high accuracy and reliability.

## Indice dei contenuti

<b>SOMMARIO - ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUZIONE .....</b>	<b>10</b>
1.1 Premessa .....	10
1.2 Scopo dell'attività .....	10
1.3 Articolazione dell'attività.....	11
1.4 Documenti di riferimento.....	11
<b>2 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI STUDIO.....</b>	<b>13</b>
2.1 Definizione degli scenari.....	13
2.2 Definizione della configurazione del porto e della costa .....	14
2.3 Definizione delle condizioni di presa e scarico attuali.....	18
2.4 Definizione delle condizioni di presa e scarico future .....	18
2.5 Definizione delle condizioni di scarico degli altri impianti che operano nell'area portuale 22	22
2.6 Definizione delle condizioni ambientali .....	22
2.6.1 Parametri che influenzano la diffusione termica.....	22
2.6.2 Tipologia dei dati.....	23
2.6.3 Temperatura ambientale dell'acqua di mare.....	25
2.6.4 Salinità ambientale dell'acqua di mare.....	29
2.6.5 Direzione ed intensità della corrente marina .....	29
2.6.6 Il livello marino e le oscillazioni di marea .....	33
2.6.7 Direzione ed intensità del vento.....	35
2.7 Definizione di una possibile opera di presa sommersa.....	37
<b>3 DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE NUMERICA .....</b>	<b>43</b>
3.1 Cenni sulle caratteristiche del codice TRIMDI 3.0.....	43
3.2 Caratteristiche del modello numerico.....	44
3.2.1 Il dominio di calcolo.....	44
3.2.2 Parametri fisici, condizioni iniziali e condizioni al contorno .....	45
<b>4 ANALISI DEI RISULTATI.....</b>	<b>50</b>
4.1 Considerazioni generali.....	50
4.2 Caso 1 – Situazione futura in presenza di vento .....	50
4.2.1 Caratteristiche del calcolo.....	50
4.2.2 Caso estivo.....	50
4.2.3 Caso invernale .....	51
4.2.4 Analisi dei flussi termici e del ricircolo .....	52
4.2.5 La valutazione del sovrizzo termico a 1000 m.....	63
4.3 Caso 2 – Situazione futura in assenza di vento .....	68
4.3.1 Caratteristiche del calcolo.....	68
4.3.2 Caso estivo.....	68
4.3.3 Caso invernale .....	69
4.3.4 Analisi dei flussi termici e del ricircolo .....	70
4.3.5 La valutazione del sovrizzo termico a 1000 m.....	81
4.4 Caso 3 – Situazione attuale .....	85
4.4.1 Caratteristiche del calcolo.....	85
4.4.2 Caso con vento.....	85
4.4.3 Caso con calma di vento .....	86
4.4.4 Analisi dei flussi termici e del ricircolo .....	87
4.4.5 La valutazione del sovrizzo termico a 1000 m.....	98
4.5 Caso 4 – Caso test .....	103

---

4.5.1	<i>Caratteristiche del calcolo.....</i>	103
4.5.2	<i>Analisi dei flussi termici e del ricircolo.....</i>	103
4.5.3	<i>Verifica dell'incremento termico sull'arco.....</i>	104
<b>4.6</b>	<b>Caso 5 – Situazione futura con presa sommersa.....</b>	<b>117</b>
4.6.1	<i>Caratteristiche del calcolo.....</i>	117
4.6.2	<i>Caso con vento.....</i>	117
4.6.3	<i>Caso con calma di vento.....</i>	118
4.6.4	<i>Analisi dei flussi termici e del ricircolo.....</i>	118
4.6.5	<i>La valutazione del sovrizzo termico a 1000 m.....</i>	130
<b>4.7</b>	<b>Caso 6 – Situazione futura in assenza di molo Enel .....</b>	<b>134</b>
4.7.1	<i>Caratteristiche del calcolo.....</i>	134
4.7.2	<i>Caso con vento e presa superficiale .....</i>	134
4.7.3	<i>Caso con calma di vento e presa superficiale.....</i>	135
4.7.4	<i>Caso con vento e presa profonda.....</i>	136
4.7.5	<i>Analisi dei flussi termici e del ricircolo .....</i>	137
4.7.6	<i>La valutazione del sovrizzo termico a 1000 m.....</i>	156
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>162</b>

## Indice delle figure

fig. 2.1 – Attuale configurazione del Porto Esterno di Brindisi.....	15
fig. 2.2 - Planimetria del Porto Esterno risultante dalle modifiche progettuali .....	16
fig. 2.3 - Planimetria prevista per il nuovo molo Enel .....	17
fig. 2.4 – Tratto di litorale pugliese tra Punta S. Cataldo e Torre Guaceto.....	19
fig. 2.5 – Planimetria della centrale di Brindisi Nord .....	20
fig. 2.6 - Aree interessate dalle campagne oceanografiche a Nord ed a Sud di Brindisi .....	24
fig. 2.7 - Localizzazione della stazione della Rete Ondametrica e Mareografica Nazionale.....	25
fig. 2.8 - Andamento della temperatura misurata nelle campagne oceanografiche a sud di Brindisi .....	26
fig. 2.9 - Temperatura superficiale misurata da ondometro (1992) .....	27
fig. 2.10 - Andamento medio della temperatura superficiale da misure ondametriche .....	27
fig. 2.11 - Andamento della temperatura alla stazione ondametrica di Monopoli nel gennaio 2003.....	28
fig. 2.12 - Andamento della temperatura alla stazione ondametrica di Monopoli nell'agosto 2003 .....	28
fig. 2.13 - Andamento della salinità misurata nelle campagne oceanografiche a sud di Brindisi.....	30
fig. 2.14 - Salinità nella campagna estiva a Sud di Brindisi.....	30
fig. 2.15 - Posizione dei correntometri per la campagna oceanografica a Sud di Brindisi .....	31
fig. 2.16 - Posizione dei correntometri per la campagna oceanografica a Nord di Brindisi.....	32
fig. 2.17 - Rosa delle correnti.....	33
fig. 2.18 – Andamento tipico della marea dalle campagne oceanografiche.....	34
fig. 2.19 – Andamento mareale tipico nella zona di Brindisi secondo WXTIDE32 .....	34
fig. 2.20 - Frequenze ed intensità stagionali del vento (Enel-AM).....	36
fig. 2.21 – Frequenze, intensità e direzioni medie annuali del vento (Enel-AM) .....	37
fig. 2.22 - Frequenze ed intensità stagionali del vento (Regione Puglia) .....	38
fig. 2.23 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Enel (sezione).....	39
fig. 2.24 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Enel (pianta) .....	40
fig. 2.25 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Enel (dettaglio di espansione alla vasca di carico) .....	40
fig. 2.26 – Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Costa Morena (pianta) .....	41
fig. 2.27 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Costa Morena (sezione) .....	42
fig. 3.1 - Vista prospettica del reticolo di calcolo per la situazione futura.....	48
fig. 3.2 – Orientamento del sistema di riferimento del reticolo rispetto al Nord geografico.....	49
fig. 4.1 – Caso 1. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m).....	53
fig. 4.2 – Caso 1. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m) .....	54
fig. 4.3 – Caso 1 estivo. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C).....	55
fig. 4.4 - Caso 1 estivo. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C) .....	56
fig. 4.5 - Caso 1 estivo. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C).....	57
fig. 4.6 - Caso 1 estivo. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale.....	58
fig. 4.7 – Caso 1 invernale. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C).....	59
fig. 4.8 - Caso 1 invernale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C) .....	60
fig. 4.9 - Caso 1 invernale. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)....	61
fig. 4.10 - Caso 1 invernale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale .....	62
fig. 4.11 – Arco di misura a 1000 m dallo scarico nella situazione futura .....	64
fig. 4.12 – Caso 1 estivo. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m.....	67
fig. 4.13 – Caso 1 invernale. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	67
fig. 4.14 – Caso 2. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m).....	71
fig. 4.15 – Caso 2. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m) .....	72
fig. 4.16 – Caso 2 estivo. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C).....	73
fig. 4.17 - Caso 2 estivo. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C) .....	74
fig. 4.18 - Caso 2 estivo. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C).....	75
fig. 4.19 - Caso 2 estivo. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale.....	76
fig. 4.20 – Caso 2 invernale. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C).....	77
fig. 4.21 - Caso 2 invernale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C) .....	78
fig. 4.22 - Caso 2 invernale. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)..	79
fig. 4.23 - Caso 2 invernale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale .....	80
fig. 4.24 – Caso 2 estivo. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m.....	84
fig. 4.25 – Caso 2 invernale. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	84

fig. 4.26 – Caso 3. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m).....	88
fig. 4.27 – Caso 3. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m) .....	89
fig. 4.28 – Caso 3 con vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C).....	90
fig. 4.29 - Caso 3 con vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C) .....	91
fig. 4.30 - Caso 3 con vento. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C). .....	92
fig. 4.31 - Caso 3 con vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale .....	93
fig. 4.32 – Caso 3 con calma di vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C) .....	94
fig. 4.33 - Caso 3 con calma di vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C).....	95
fig. 4.34 - Caso 3 con calma di vento. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C) .....	96
fig. 4.35 - Caso 3 con calma di vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale.....	97
fig. 4.36 – Arco di misura a 1000 m dallo scarico nella situazione attuale.....	99
fig. 4.37 – Caso 3 con vento da NE. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	102
fig. 4.38 – Caso 3 con calma di vento. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	102
fig. 4.39 - Valori di temperatura misurati sull'arco a 1000 m il 21 agosto 2003.....	105
fig. 4.40 - Determinazione della temperatura al punto caldo (21 agosto 2003) .....	106
fig. 4.41 –Determinazione dell'incremento termico (21 agosto 2003) .....	107
fig. 4.42 - Rete Ondametrica Nazionale. Stazione di Monopoli. Rilevazione della temperatura nel mese di agosto .....	108
fig. 4.43 – Sovrizzo termico a 1000 m misurato in centrale il 21 agosto 2003.....	109
fig. 4.44 - Incremento termico calcolato dal modello nelle condizioni di misura stazionarie .....	110
fig. 4.45 - Simulazione nelle condizioni di misura stazionarie. Sovrizzo termico medio nello strato di 3 m.. ..	111
fig. 4.46 - Andamento dei parametri meteorologici nel periodo antecedente la misura del 21 agosto 2003 .....	112
fig. 4.47 - Simulazione con transitorio di vento. Sovrizzo termico medio nello strato di 3 m .....	113
fig. 4.48 - Incremento termico calcolato dal modello nelle condizioni di transitorio di vento.....	115
fig. 4.49 - Andamento della marea durante le misure del 21 agosto 2003.....	116
fig. 4.50 – Caso 5. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m).....	119
fig. 4.51 – Caso 5. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m) .....	120
fig. 4.52 – Caso 5 con vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C).....	121
fig. 4.53 - Caso 5 con vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C) .....	122
fig. 4.54 - Caso 5 con vento. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C).....	123
fig. 4.55 - Caso 5 con vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale .....	124
fig. 4.56 – Caso 5 con calma di vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C) .....	125
fig. 4.57 - Caso 5 con calma di vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C).....	126
fig. 4.58 - Caso 5 con calma di vento. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C) .....	127
fig. 4.59 - Caso 5 con calma di vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale.....	128
fig. 4.60 – Arco di misura a 1000 m dallo scarico nella situazione futura con presa sommersa.....	130
fig. 4.61 – Caso 5 con vento da NE. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	133
fig. 4.62 – Caso 5 con calma di vento. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	133
fig. 4.63 – Caso 6. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria per l'opera di presa superficiale(m) .....	138
fig. 4.64 – Caso 6. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa, nel caso di presa superficiale (profondità in m).....	139
fig. 4.65 – Caso 6. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria per l'opera di presa sommersa(m) .....	140
fig. 4.66 – Caso 6. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa, nel caso di presa profonda (profondità in m).....	141
fig. 4.67 – Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C) .....	142
fig. 4.68 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C).....	143
fig. 4.69 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C).....	144
fig. 4.70 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale.....	145
fig. 4.71 – Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C).....	146
fig. 4.72 - Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C) .....	147
fig. 4.73 - Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C).....	148

---

fig. 4.74 - Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale .....	149
fig. 4.75 – Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C) .....	150
fig. 4.76 - Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)	151
fig. 4.77 - Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C) .....	152
fig. 4.78 - Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale.	153
fig. 4.79 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Dettaglio del pennacchio termico alla superficie.....	154
fig. 4.80 - Caso 6 con vento e presa sommersa. Dettaglio del pennacchio termico alla superficie.....	155
fig. 4.81 – Caso 6 con vento da NE e presa superficiale. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	160
fig. 4.82 – Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m.....	160
fig. 4.83 – Caso 6 con vento da NE e presa sommersa. Sovrizzo termico sull'arco a 1000 m .....	161

## Indice delle tabelle

tab. 2.1 - Caratteristiche di esercizio della centrale nella situazione attuale.....	18
tab. 2.2 - Condizioni attuali di scarico ed aspirazione per la centrale di Brindisi.....	21
tab. 2.3 - Caratteristiche di esercizio della centrale nella situazione futura .....	21
tab. 2.4 - Condizioni future di scarico ed aspirazione per la centrale di Brindisi .....	21
tab. 2.5 - Condizioni di aspirazione e di scarico degli impianti esistenti.....	22
tab. 2.6 – Andamento delle frequenze complessive di corrente (Brindisi Sud).....	31
tab. 2.7 – Frequenze percentuali dei venti osservate nelle campagne 1976-77.....	35
tab. 3.1 – Caratteristiche degli strati verticali.....	46
tab. 3.2 - Valori dei parametri fisici imposti nei modelli .....	46
tab. 3.3 – Sintesi delle condizioni al contorno imposte.....	47
tab. 4.1 – Caso 1. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi .....	63
tab. 4.2 – Caso 1. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico.....	63
tab. 4.3 – Caso 1 estivo. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m .....	65
tab. 4.4 – Caso 1 invernale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m .....	66
tab. 4.5 – Caso 2. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi .....	70
tab. 4.6 – Caso 2. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico.....	81
tab. 4.7 – Caso 2 estivo. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m .....	82
tab. 4.8 – Caso 2 invernale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m .....	83
tab. 4.9 – Caso 3. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi .....	87
tab. 4.10 – Caso 3. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico.....	98
tab. 4.11 – Caso 3 con vento da NE. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m .....	100
tab. 4.12 – Caso 3 con calma di vento. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m.....	101
tab. 4.13 – Caso test. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi.....	103
tab. 4.14 – Caso test. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico.....	104
tab. 4.15 – Sovralzo termico sull'arco a 1000 m misurato in centrale il 21 agosto 2003 .....	109
tab. 4.16 – Caso test con transitorio di vento. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m.....	114
tab. 4.17 – Caso 5. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi .....	129
tab. 4.18 – Caso 5. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico.....	129
tab. 4.19 – Caso 5 con vento da NE estivo. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m.....	131
tab. 4.20 – Caso 5 con calma di vento. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m.....	132
tab. 4.21 – Caso 6. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi .....	137
tab. 4.22 – Caso 6. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico.....	156
tab. 4.23 – Caso 6 con vento da NE e presa superficiale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m.....	157
tab. 4.24 – Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m .....	158
tab. 4.25 – Caso 6 con vento da NE e presa sommersa. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m .....	159
tab. 5.1 - Risultati ottenuti nelle diverse condizioni di simulazione.....	162

## 1 Introduzione

### 1.1 Premessa

Nel porto di Brindisi sono attualmente in corso opere di ristrutturazione ed altre sono in progetto, allo scopo di migliorare l'efficienza e la competitività del porto e di recuperare aree a scopo di insediamento industriale.

In particolare, è in corso la ristrutturazione della diga di Costa Morena e del molo relativo, con la realizzazione di una nuova banchina sia dal lato del Porto Esterno che da quello del Porto Medio; tale ristrutturazione, però, comporta l'abbandono da parte di Enel Produzione dell'accosto di Costa Morena finora utilizzato per lo scarico del carbone destinato alla centrale di Brindisi Sud e per il carico dei gessi.

Per la soluzione di tale problema, è stata prevista la realizzazione di un nuovo molo di accosto Enel nell'area del Porto Esterno, praticamente parallelo alla nuova opera, ancorato ad un piazzale a sua volta realizzato mediante interrimento della zona di mare antistante le opere di scarico e presa della centrale di Brindisi Nord, attualmente di proprietà Edipower Spa.

Tra le altre opere previste, la creazione di alcuni sbarramenti a mare in corrispondenza delle isole Pedagne ed un nuovo pontile destinato a servire il gassificatore di cui è prevista la costruzione.

La presenza delle nuove opere portuali, in costruzione ed in progetto, comporta una modifica della dislocazione e della forma del pennacchio termico della centrale di Brindisi Nord, e potrebbe inoltre interferire con la presa portando a condizioni di ricircolo termico, in particolare proprio per la presenza del nuovo molo di accosto Enel.

Un ulteriore elemento di impatto sulle condizioni di scarico è poi rappresentato dalla prevista conversione di due degli attuali quattro gruppi della centrale in un gruppo a ciclo combinato, che prevede perciò condizioni di scarico modificate rispetto a quelle dei gruppi attuali.

### 1.2 Scopo dell'attività

Poiché le modifiche previste per il Porto Esterno del porto di Brindisi sono tali da poter alterare in maniera significativa i campi di moto ed il campo termico derivanti dall'aspirazione e dal relativo scarico delle acque di raffreddamento della centrale di Brindisi Nord, Edipower Spa ha chiesto a CESI Spa, la realizzazione di uno studio che, mediante simulazioni numeriche, ha lo scopo di determinare la nuova configurazione, estensione e profondità del pennacchio termico della centrale di Brindisi Nord, sia nell'assetto attuale che nel nuovo assetto della centrale, con particolare attenzione al rispetto della normativa ambientale vigente [1], [2].

La presenza delle opere di scarico e presa della centrale nell'area portuale interessata, unitamente alla presenza concomitante di altre opere di scarico e presa, comporta inoltre la necessità di investigare anche l'aspetto relativo al possibile ricircolo termico alla presa.

Poiché l'impatto sulla dislocazione del pennacchio termico dei diversi interventi progettati, sia riferiti all'assetto della centrale che alle opere portuali, presenta un carattere di forte interazione tra i diversi effetti, lo studio è stato condotto con riferimento a quattro distinti scenari:

- a. *situazione attuale*, con la realizzazione della nuova banchina di Costa Morena, ma senza il molo di accosto Enel né le altre opere previste nel Porto Esterno, e con la centrale nel suo assetto attuale (gruppi 3 e 4 in funzione a pieno carico). Tale scenario, che tiene però conto della presenza di scarichi e prese preesistenti, rappresenta la condizione di riferimento rispetto alla quale verrà valutata la situazione futura;
- b. *situazione futura*, con la realizzazione della nuova banchina di Costa Morena, la presenza del molo di accosto Enel e delle altre opere previste nel Porto Esterno, e con la centrale nel suo assetto futuro (gruppi 3 e 4 a carbone e gruppo a ciclo combinato in funzione a pieno carico). Tale scenario, che tiene ancora conto della presenza di scarichi e prese preesistenti, rappresenta la condizione che si verrà a realizzare in futuro;
- c. *situazione futura con presa sommersa*, in condizioni analoghe a quelle dello scenario precedente, ma considerando l'ipotesi di prelevare l'acqua di raffreddamento mediante una presa sommersa, allo scopo di ridurre l'effetto di ricircolo.
- d. *situazione futura in assenza di molo Enel*, che di fatto rappresenta la situazione che si verrebbe a determinare qualora l'assetto futuro della centrale e le nuove opere portuali si realizzassero senza che il molo Enel venga costruito o se ne ritardi la costruzione stessa. Le configurazioni in questo caso sono analoghe a quelle dei precedenti punti (b) e (c), con la sola rimozione della struttura del molo.

La definizione delle condizioni di analisi è stata fatta nel rispetto delle richieste specifiche di Edipower Spa, valutando le condizioni ambientali che possono maggiormente influenzare la diffusione termica per ciascuno degli scenari definiti

dalle condizioni di progetto e dall'assetto della centrale. Le informazioni necessarie sono state fornite in parte da Edipower Spa, ed in parte sono state ottenute da banche dati meteorologiche e marine in possesso del CESI.

Lo studio è stato condotto, data la tipologia dello scarico e la natura del problema, con il codice tridimensionale idrostatico TRIMDI 3.0 [3], usualmente impiegato per tali analisi sia in ambito ENEL che per conto di terzi. Il modello utilizzato è stato validato su una situazione reale di scarico fornita dalla Centrale.

### 1.3 Articolazione dell'attività

Naturalmente la simulazione numerica del problema sopra descritto richiede il passaggio attraverso una serie di fasi di studio e di messa a punto, e precisamente:

- 1) *raccolta di informazioni, rilievo di dati e valutazione dei parametri significativi per la caratterizzazione del comportamento del pennacchio e dell'ambiente circostante.* Tale fase ha riguardato essenzialmente i seguenti punti:
  - a) raccolta ed analisi dei dati relativi alle opere di scarico e presa ed alle nuove opere portuali in progetto;
  - b) raccolta dei dati meteomarini di interesse del sito, con particolare riguardo alla definizione delle caratteristiche del sito e delle condizioni più significative ai fini dello studio;
  - c) definizione della batimetria del sito; questo aspetto ha riguardato la definizione della batimetria in formato digitale, tenendo conto delle variazioni apportate a livello di progetto definitivo alla zona del porto interessata dai dragaggi;
- 2) *definizione del modello di calcolo per il codice TRIMDI.* Tale fase ha riguardato essenzialmente i seguenti punti:
  - a) definizione del dominio di calcolo; in particolare, la tipologia delle opere di scarico e 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. Il dominio di calcolo, infatti, comprende l'intero Porto Esterno di Brindisi, la nuova banchina Costa Morena, il nuovo molo Enel e una zona di costa sufficiente a valutare completamente lo sviluppo del pennacchio termico nelle diverse condizioni di calcolo;
  - b) realizzazione del reticolo di calcolo, opportunamente diviso in maglie, realizzate in modo da poter analizzare con accuratezza le zone di scarico e presa;
  - c) valutazione ingegneristica di una possibile condizione di presa sommersa e definizione del corrispondente reticolo di simulazione;
- 3) *esecuzione delle simulazioni numeriche;* nelle situazioni definite da ciascuno degli scenari individuati al paragrafo precedente e nelle condizioni ambientali più critiche come risulta dall'analisi di cui al precedente punti (1);
- 4) *analisi dei risultati.*

Il contenuto operativo di ciascuna delle fasi di lavoro sopra citate verrà ampiamente descritto nei successivi capitoli. Per completezza di informazione e per una maggior comprensione dei dettagli, nel paragrafo 3.1 è riportata una breve sintesi delle caratteristiche del codice TRIMDI utilizzato per lo studio.

### 1.4 Documenti di riferimento

- [1] Testo Unico sulle Acque. D.L. 11 maggio 1999 n. 152
- [2] 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
- [3] AA.VV. – Codice di calcolo TRIMDI. Manuale di Utente.– Relazione ENEL/CRIS 3109 (Aprile 1993). Revisione 1996
- [4] Carta Nautica I.I.M. n. 191 “Porto di Brindisi”, scala 1:6000 (1985)
- [5] Duferdofin Spa Divisione Engineering – Nuovi Accosti Enel Costa Morena. Layout Generale con Accosti Enel – Disegno G.3.3.0/ST/DG/TEB/DUF/D/0002 Scala 1:1000 (Ottobre 2001)
- [6] Duferdofin Spa Divisione Engineering – Nuovi Accosti Enel Costa Morena. Layout Generale con Accosti Enel – Disegno G.3.3.0/ST/DG/TEB/DUF/D/0007 Scala 1:1000 (Maggio 2001)

- [7] Autorità portuale di Brindisi – Proposta di Variante al Piano regolatore Portuale Approvato con Decreto n° 375/1975 – Tavola 3 Scala 1:5000 (Marzo 2002)
- [8] Pagine Azzurre – Portolano dei mari d’Italia– Anno XII Pagine Azzurre srl Editrice (1996).
- [9] Autori Vari – Costa e Mare nell’Area Brindisina – Relazione ENEL/DSR/CRIS SI-824/87 (Giugno 1987)
- [10] G. Galeati, V. Rossi – Impianto Termoelettrico di Brindisi Sud. Analisi dei rilievi del Livello Marino nel Periodo Luglio 1990 - Dicembre 1993 – Relazione ENEL/DSR/CRIS UIGI-1129/94 (Marzo 1994)
- [11] M. Hopper – WXTide32 version 2.6 – [www.geocities.com/siliconvalley/horizon/1195](http://www.geocities.com/siliconvalley/horizon/1195) (January 2000)
- [12] Autori Vari – Analisi Riepilogativa delle Campagne Oceanografiche nella Costa a Sud di Brindisi – Relazione ENEL/DSR/CRIS SI-588/82 (Maggio 1982)
- [13] AA.VV. – I<sup>a</sup> Campagna di Idrografia Marina nell’Area Costiera Salentino Adriatica (13 gennaio – 5 febbraio 1985) – Relazione ENEL SI-1029/91 (Ottobre 1991)
- [14] APAT Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici – RON Rete Ondametrica Nazionale – [www.telemisura.it](http://www.telemisura.it) (Agosto 2003)
- [15] A. Elli – Manuale d’Uso della Banca Dati Ondametrica EnelWave – Relazione ENEL SRI-PIS 5812 (luglio 1999)
- [16] P. Maggi, M.Vergata – SIA: Sistema Informativo Ambientale. Manuale d’Uso del Sistema Informativo Territoriale - Rapporto CISE-SMA-97-4 (Dicembre 1997).
- [17] C. Caruso, G. Pedroni – Informatizzazione dei Dati di Campagne Oceanografiche dell’Enel - Rapporto CISE-SAT-94-31 (Dicembre 1994).
- [18] AA.VV. – Caratteristiche Diffusive dell’Atmosfera. Criteri Generali del lavoro e Guida alla sua Utilizzazione. – Servizio Meteorologico Aeronautica Militare. ENEL (1991)
- [19] Net Consulting – [www.italyis.com/puglia/clima/venti\\_reg\\_i.htm](http://www.italyis.com/puglia/clima/venti_reg_i.htm)
- [20] EuroMeteo – Il Tempo in Italia ed in Europa – [www.eurometeo.com](http://www.eurometeo.com) –Nautica Editrice Srl (2003)
- [21] V. Bogani, A. Di Monaco, G. Dinelli, A. Leoncini - Analisi Termo-Idrodinamica della Dispersione di Inquinanti in Corpi Idrici Complessi: Applicazione alla Foce del Tevere -ENEL, Rassegna Tecnica n.3, 1983.
- [22] E. Ghisolfi, M. Miserocchi, P. Molinaro - Validation of a mathematical model for the simulation of the thermal impact of ENEL power plants on natural water bodies - Int. Conf. "HYDROSOFT '90" 3-5 APRILE 1990, Lowell, U.S.A. Relazione ENEL-DSR-CRIS 3872
- [23] A. Di Monaco, P. Molinaro - Verification of a computational code for the simulation in 3-D of thermal discharges against field and laboratory data - XXIV Congress IAHR, Madrid (Spagna), 9-13 Settembre 1991 - Relazione ENEL-DSR-CRIS 4126 Gennaio 1991
- [24] S.V. Patankar, D.B. Spalding - A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows - Imperial College of Science and Technology, BL, TN/A/45, June 1971.
- [25] B.E. Launder, D.B. Spalding - Mathematical models of turbulence - Academic Press, 1972.
- [26] J.W. Deardoff - On the magnitude of the subgrid scale eddy coefficient - Journal of Computational Physics, Vol.7, 1971.
- [27] G. Agate, R. Guandalini – Centrale di S.Filippo del Mela (Milazzo). Studio della Dispersione in mare delle Acque di Raffreddamento Nord – Rapporto ENEL SRI-PIS 5776 (Dicembre 1998)
- [28] G. Agate, R. Guandalini – Thermal discharge detailed study for the Shoiba thermal power plant – Report ENEL-SRI/PIS 5819 (Luglio 1999)
- [29] G. Agate, R. Guandalini – Studio della Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle Centrali di Torrevaldaliga Nord e Torrevaldaliga Sud in Riferimento al Progetto Definitivo della Darsena Grandi Masse nel Porto di Civitavecchia – Rapporto ENEL SRI-PIS 6044 (Novembre 2000)
- [30] G. Agate, R. Guandalini – Studio della Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle Centrali di Torrevaldaliga Nord e Torrevaldaliga Sud in Riferimento al Nuovo Assetto Ipotizzato per la Centrale di Torrevaldaliga Nord – Rapporto Enel.Hydro/PIS 6183 (Marzo 2001)
- [31] Global Weather Wunderground Database – [italian.wunderground.com](http://italian.wunderground.com) (2003)

## 2 Definizione delle condizioni di studio

### 2.1 Definizione degli scenari

Lo scarico da parte di centrali termoelettriche dell'acqua calda proveniente dai circuiti di raffreddamento mediante scarichi a cielo aperto in bacini chiusi o in darsene è tipicamente condizionato, oltre che dalle condizioni meteomarine del sito e dalle condizioni di esercizio degli impianti, dalla struttura delle opere portuali e dalla loro comunicazione con il mare aperto. Il problema poi si presenta ancora più complesso quando anche le opere di presa sono collocate all'interno di un bacino portuale, come nel caso allo studio.

Pertanto, poiché uno dei requisiti per la realizzazione dello studio è la simulazione numerica di un certo numero di casi atti a rispondere agli scopi dello studio stesso, è necessario individuare, attraverso la raccolta e l'analisi dei dati caratteristici del sito e degli impianti, le condizioni di simulazione più adatte allo scopo.

La raccolta e l'analisi dei dati pertanto fa riferimento alle seguenti tipologie:

- Dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico e di presa;
- Dati relativi alle opere portuali, esistenti ed in progetto, ed alla batimetria del porto;
- Dati relativi alla configurazione costiera e alla batimetria della zona di mare antistante;
- Dati marini relativi a temperature, correnti, maree;
- Dati meteorologici relativi a direzione ed intensità del vento;
- Dati di esercizio della centrale, quali potenza, modalità di esercizio e portata di scarico dei circuiti di raffreddamento.

La definizione delle condizioni di analisi è stata fatta nel rispetto delle richieste specifiche di Edipower Spa, valutando le condizioni ambientali che possono maggiormente influenzare la diffusione termica per ciascuno degli scenari definiti dalle condizioni di progetto e dall'assetto della centrale. Le informazioni necessarie sono state fornite in parte da Edipower, ed in parte sono state ottenute da banche dati meteorologiche e marine in possesso del CESI.

Per poter analizzare correttamente il problema della diffusione termica nelle presenti condizioni, sono stati innanzitutto definiti, in accordo con Edipower, i seguenti scenari di riferimento, ciascuno dei quali è stato poi studiato mediante il modello numerico:

- Caso 1**, denominato **“Situazione futura in presenza di vento”**. Tale caso ha lo scopo di valutare, nella configurazione futura della centrale ed in presenza delle modifiche portuali, le condizioni più critiche ai fini del ricircolo alla presa della centrale stessa, in condizioni sia estive che invernali; infatti la presenza di vento ostacola la diffusione del pennacchio verso il mare aperto
- Caso 2**, denominato **“Situazione futura in assenza di vento”**. Tale caso ha lo scopo di valutare, nella configurazione futura della centrale ed in presenza delle modifiche portuali, le condizioni più critiche ai fini del rispetto dei limiti di legge, in condizioni sia estive che invernali; infatti la calma di vento favorisce la diffusione del pennacchio verso il mare aperto e quindi aumenta la superficie interessata dallo stesso e la distanza dal punto di scarico alla quale il pennacchio è ancora rilevabile
- Caso 3**, denominato **“Situazione attuale”**. Tale caso ha lo scopo di valutare, nella configurazione attuale della centrale ed in assenza delle modifiche portuali, la dislocazione del pennacchio ed i suoi effetti nelle condizioni più critiche sopra riscontrate, allo scopo di confrontare l'effetto globale delle modifiche all'assetto della centrale ed alle opere portuali
- Caso 4**, denominato **“Caso test”**. Tale caso ha lo scopo di verificare, in una configurazione nota della centrale ed in assenza delle modifiche portuali, la dislocazione del pennacchio simulato mediante il modello numerico rispetto a condizioni di scarico ben definite e di cui siano noti i valori di temperatura in almeno una serie di punti; ciò consente di definire l'accuratezza del modello stesso.
- Caso 5**, denominato **“Situazione futura con presa sommersa”**. Tale caso ha lo scopo di valutare, nella peggiore delle condizioni emerse dai casi precedenti, l'efficacia della presa sommersa nei confronti delle problematiche di ricircolo e di rispetto dei limiti di legge.

- (f) **Caso 6**, denominato “**Situazione futura in assenza del molo Enel**”. Tale caso ha lo scopo di valutare, nella peggiore delle condizioni emerse dai casi precedenti, le problematiche di ricircolo e di rispetto dei limiti di legge nell’ipotesi che si realizzino le opere previste in futuro con la sola eccezione del molo Enel.

In particolare, ciascuno dei casi 1 e 2 è stato valutato nelle condizioni medie estive ed invernali, allo scopo di definire il contesto ambientale più critico, il caso 4 è stato simulato nelle condizioni di test, mentre i casi 3, 5 e 6 sono stati simulati nella condizione più critica emersa dalle precedenti simulazioni.

## **2.2 Definizione della configurazione del porto e della costa**

Il porto di Brindisi è suddiviso in tre bacini portuali denominati rispettivamente Porto Esterno, Porto Medio e Porto Interno, quest’ultimo a sua volta suddiviso in Seno di Ponente e Seno di Levante. Ai fini dello studio, è essenziale la considerazione del Porto Esterno, perché in esso sono collocate le opere di presa e scarico della centrale ed in esso sono pure previste le nuove varianti progettuali.

Il Porto Esterno, riprodotto in fig. 2.1, tratta da [4], è delimitato a Nord dalla diga di Punta Riso, a Est dalla diga di Trapanelli e da una serie di isolotti (Le Pedagne) terminanti con l’isola Traversa che delimita la bocca di porto, a Sud dalla costa e ad Ovest dalla diga di Costa Morena e da quella di Forte a Mare, che delimitano il passaggio al Porto Medio.

Le nuove opere portuali comprese nel progetto di ristrutturazione del porto così come esso è attualmente definito, illustrate nella fig. 2.2, riguardano essenzialmente:

- la costruzione di una nuova banchina commerciale a Costa Morena, che di fatto include la vecchia diga di Costa Morena e le banchine dal lato del Porto Medio che in precedenza erano utilizzate da Enel per lo scarico del carbone destinato alla centrale di Brindisi Sud. Poiché di fatto tale nuova banchina è già in avanzato stato di costruzione, essa va considerata inclusa nello stato attuale della planimetria portuale;
- la costruzione di un nuovo molo di accosto Enel, per lo scarico del carbone ed il carico dei gessi, localizzato di fronte alla centrale di Brindisi e pressoché parallelo alla costruenda nuova banchina commerciale di Costa Morena, lungo circa 526 m a largo 25 m. Come riportato in fig. 2.3, esso ha inizio a partire da un piazzale di carico realizzato interrando l’area antistante il preesistente molo di protezione delle opere di scarico e presa della centrale. Poiché tale piazzale deve inoltre essere collegato alla terraferma per il trasporto del materiale ed è altresì necessario consentire l’aspirazione dell’acqua in corrispondenza del canale di presa, la banchina di riva del piazzale è collegata alla nuova banchina commerciale mediante un passaggio su pali.;
- il dragaggio di una vasta area del fondale del Porto esterno a varie profondità, per consentire l’accesso, la manovra e l’attracco a navi anche di notevole stazza. In particolare, si distingue il dragaggio alla profondità di -18 m in corrispondenza alla zona del cerchio di evoluzione delle navi ed al corridoio di accosto alla darsena Costa Morena, il dragaggio a -14 m e a -8 m rispettivamente nell’area antistante la presa della centrale e nell’area antistante lo scarico, ed infine il dragaggio a -12 m di una zona antistante la nuova area industriale tra la centrale ed il molo Canale. Il dragaggio del fondale comporta inoltre l’eliminazione della attuale secca (secca dell’Arco) posta in prossimità del termine del nuovo molo Enel;
- la realizzazione di due nuovi ampi piazzali, uno destinato a deposito costiero e l’altro a zona di attività industriale, interrando nel primo caso l’area di mare compresa tra il molo Canale e l’area della centrale, e nel secondo caso interrando la zona di mare compresa tra il molo Canale e l’ancoraggio della diga Trapanelli. Tali opere, nella loro attuale definizione, prevedono il mantenimento dell’opera di presa attualmente esistente adiacente al molo Canale, e il prolungamento dello scarico cosiddetto Policentrica Ovest attualmente situato tra il nuovo molo Enel ed il molo Polimeri;
- ulteriori opere previste riguardano poi la costruzione di un nuovo molo di accosto all’estremità Est del molo Polimeri e la realizzazione di una diga di sbarramento congiungente i diversi isolotti delle Pedagne, a maggior protezione del porto stesso, parzialmente sommersa per 1.5 m sotto il livello di medio mare tra l’isolotto Giorgio Treviso e la Pedagna Grande. L’insieme delle opere è rappresentato in fig. 2.2, tratta da [7].

Risulta facilmente comprensibile come l’insieme delle opere in progetto, comporta una sostanziale alterazione nella dinamica delle acque scaricate e prelevate dalla centrale che vanno tenute presenti nello studio.

Per quanto concerne infine la batimetria portuale, dalla fig. 2.1 e dalle informazioni desunte da [8], il fondale del Porto Esterno varia da una profondità di circa -30 m ad una di circa -5 m in corrispondenza della secca dell’Arco, con un progressivo innalzamento fino a -2 m in prossimità della costa sud e delle opere di scarico e presa della centrale. Ovviamente al termine dei lavori in progetto, l’eliminazione della suddetta secca ed i dragaggi previsti porteranno in generale ad un aumento delle profondità medie dei fondali.

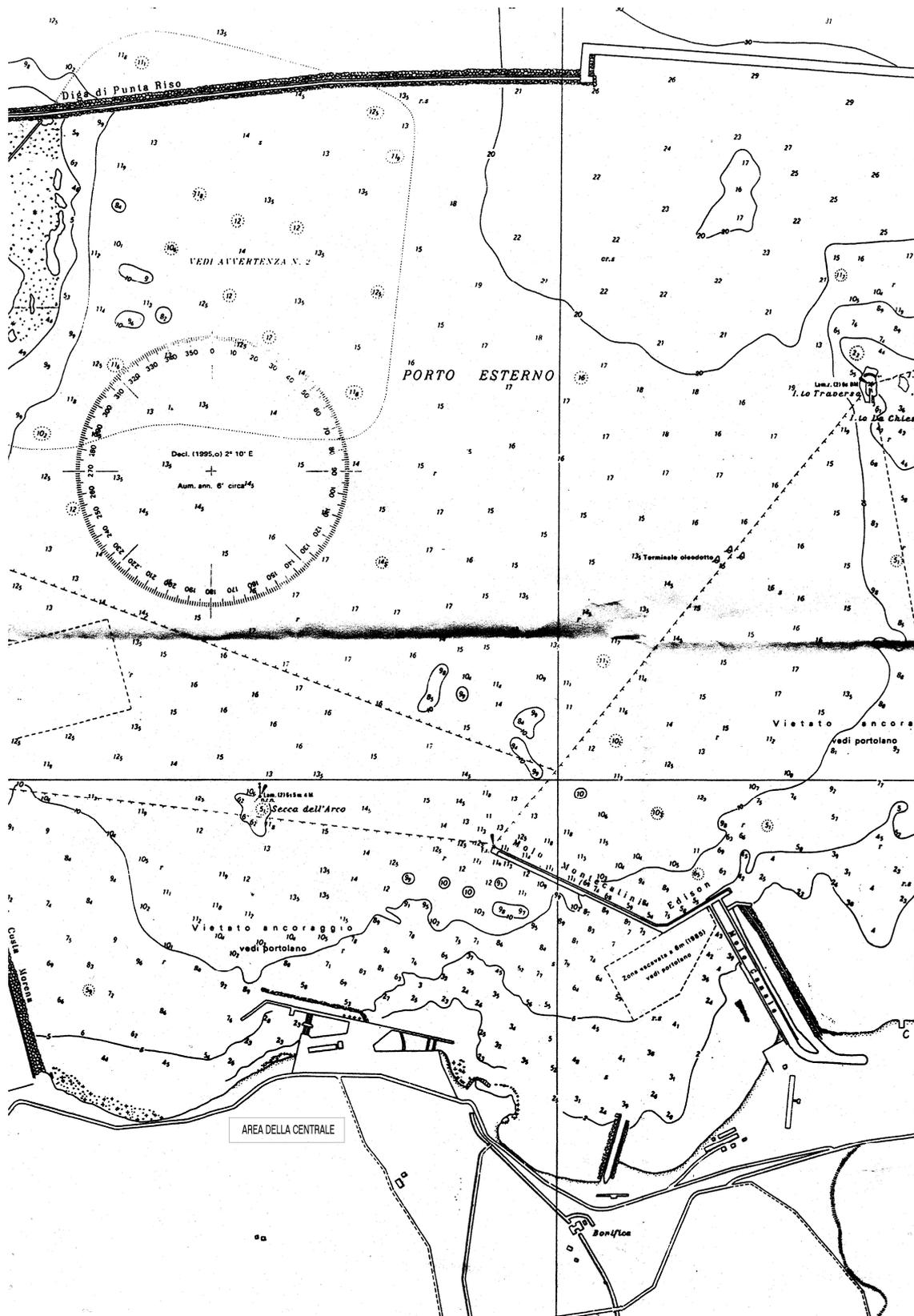


fig. 2.1 – Attuale configurazione del Porto Esterno di Brindisi



fig. 2.2 - Planimetria del Porto Esterno risultante dalle modifiche progettuali



fig. 2.3 - Planimetria prevista per il nuovo molo Enel

Per quanto riguarda la configurazione della costa, il porto di Brindisi è collocato a 40°39' N e 17°59' E, nel tratto di costa pugliese tra Punta della Contessa e Torre Guaceto, caratterizzato in generale da bassi fondali sabbiosi. La batimetria della zona di mare antistante il porto si può ricavare dalla fig. 2.4, tratta da [8], e la profondità del fondale risulta in generale ampiamente inferiore a -10 m entro una fascia di 5 miglia dalla costa. Tuttavia ai fini dello studio verrà considerato solo il tratto di mare antistante l'area portuale allo scopo di definire correttamente l'andamento delle correnti ambientali e le condizioni al contorno.

Le informazioni batimetriche, inoltre, sono state completate anche con le informazioni tratte da [19] riguardanti la geomorfologia costiera, utili per avere un'idea del tipo di costa e di fondale, peraltro caratteristico di gran parte dell'Adriatico. Ai fini della simulazione numerica delle condizioni di scarico, i dati raccolti si ritengono sufficienti. In particolare la configurazione regolare dei fondali consente, sulla base del dettaglio batimetrico a disposizione dalle diverse fonti, di poter generare un dominio di calcolo sufficientemente accurato.

### 2.3 Definizione delle condizioni di presa e scarico attuali

La Centrale Termoelettrica di Brindisi Nord, attualmente di proprietà di Edipower S.p.A., è composta da quattro gruppi di generazione da 320 MW per una potenza totale di impianto di 1280 MW, ed è ubicata nell'area del porto di Brindisi in corrispondenza dell'attuale Porto Esterno, come illustrato in fig. 2.1. Attualmente però risultano in esercizio i soli gruppi 3 e 4, mentre è in corso la trasformazione degli altri in ciclo combinato CCGT (TUVA 2); di conseguenza, le condizioni di scarico nelle condizioni a pieno carico presentano attualmente le caratteristiche di tab. 2.1, essendo la portata ed il sovrizzo termico  $\Delta T$  relativi all'acqua di raffreddamento.

tab. 2.1 - Caratteristiche di esercizio della centrale nella situazione attuale

Gruppo	Potenza (MW)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta T$ (°C)
3	320	10.5	10
4	320	10.5	10

La definizione delle condizioni di scarico attuali, ai fini dello studio in oggetto, richiede, oltre alla conoscenza delle condizioni di esercizio a pieno carico di tab. 2.1, anche la conoscenza dettagliata della geometria e della collocazione delle opere di scarico e presa della centrale. La planimetria della centrale riportata in fig. 2.5, tratta da [5], che peraltro non riporta le modifiche conseguenti alla trasformazione a ciclo combinato, consente però di collocare correttamente le opere di scarico e presa rispetto alla attuale planimetria portuale di fig. 2.1.

Come evidenziato ancora in fig. 2.5 le opere di scarico e presa della centrale di Brindisi fanno parte di un unico corpo strutturale; l'opera di scarico è del tipo a diffusore superficiale, scarica nel Porto Esterno dal lato verso l'attuale molo Polimeri (ex molo Montecatini Edison) ed è collegata al bacino mediante un tratto di canale in cui sono presenti anche stramazzi per l'isolamento idraulico dello scarico stesso. Pertanto, ai fini dello studio, si considera una sezione efficace di scarico allo sbocco del canale, di larghezza pari a 20.28 m [6] e di profondità pari alla batimetria locale del porto di 2 m, che quindi presenta un'area di scarico efficace di 40.56 m<sup>2</sup>.

Analogamente, l'opera di presa preleva acqua dal bacino, dal lato della diga di Costa Morena (fig. 2.1), attraverso un canale, la cui sezione di passaggio in corrispondenza delle prese ha una larghezza pari a 36.03 m [6] e una profondità pari alla batimetria locale del porto di 2.3 m, per un'area di aspirazione complessiva di 83.5 m<sup>2</sup>.

La definizione delle sezioni di aspirazione e scarico, unitamente alle condizioni di esercizio di tab. 2.1, porta a definire le condizioni attuali di scarico e presa della centrale di Brindisi, riassunte in tab. 2.2.

### 2.4 Definizione delle condizioni di presa e scarico future

Le condizioni di aspirazione e di scarico nelle condizioni che si realizzeranno in futuro nell'area portuale di Brindisi dipendono essenzialmente da due aspetti già in precedenza anticipati:

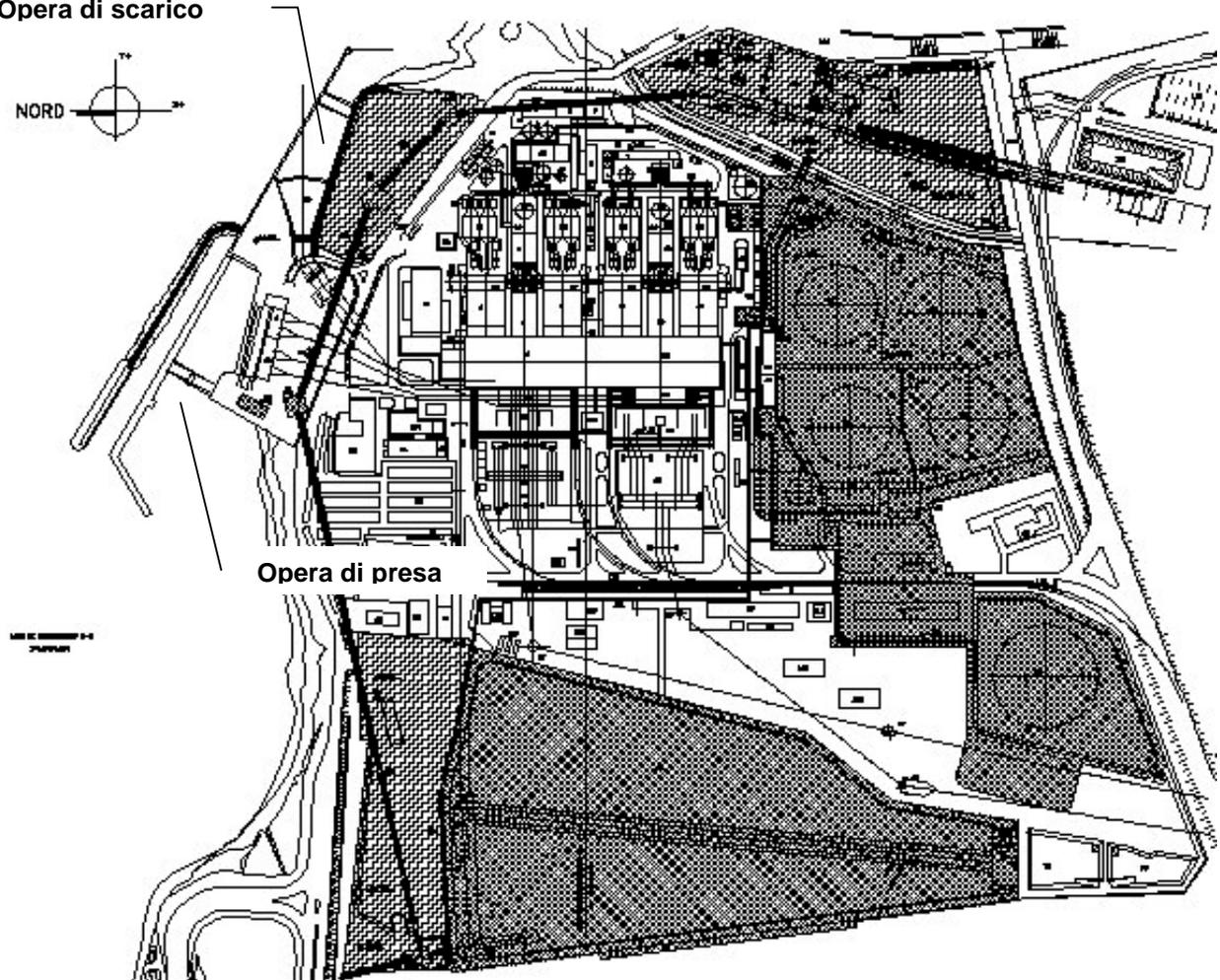
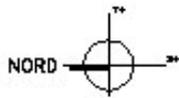
1. la realizzazione di una serie di opere portuali che porteranno ad una modifica profonda dell'assetto portuale rispetto alle condizioni attuali;
2. la realizzazione del ciclo combinato per la centrale di Brindisi che andrà ad aggiungersi agli attuali due gruppi a carbone già in funzione.

Per quanto riguarda il primo punto, le opere in progetto sono già state ampiamente descritte nel paragrafo 2.2 e ad esso si rimanda per ogni dettaglio.

Per quanto riguarda le condizioni di esercizio nell'assetto futuro della centrale, esse sono riassunte in tab. 2.3; poiché però le opere di scarico e presa non sono modificate rispetto all'assetto attuale, ne risultano le condizioni riassunte in tab. 2.4.



Opera di scarico



Opera di presa

fig. 2.5 – Planimetria della centrale di Brindisi Nord

tab. 2.2 - Condizioni attuali di scarico ed aspirazione per la centrale di Brindisi

<i>Condizioni di scarico</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	20.	m
Altezza	2	m
Sezione di scarico	40.	m <sup>2</sup>
Portata totale scaricata	21	m <sup>3</sup> /s
Velocità	0.525	m/s
Sovralzo termico	10	°C
<i>Condizioni di aspirazione</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	35.	m
Altezza	2.	m
Sezione di presa	70.	m <sup>2</sup>
Quota media di aspirazione	1.	m
Portata totale di aspirazione	21	m <sup>3</sup> /s
Velocità	0.3	m/s

tab. 2.3 - Caratteristiche di esercizio della centrale nella situazione futura

Gruppo	Potenza (MW)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	ΔT (°C)
CC	2x320	10.1	10.5
3	320	10.5	10
4	320	10.5	10

tab. 2.4 - Condizioni future di scarico ed aspirazione per la centrale di Brindisi

<i>Condizioni di scarico</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	20.	m
Altezza	2	m
Sezione di scarico	40.	m <sup>2</sup>
Portata totale scaricata	31.1	m <sup>3</sup> /s
Velocità	0.7775	m/s
Sovralzo termico	10.16	°C
<i>Condizioni di aspirazione</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	35.	m
Altezza	2.	m
Sezione di presa	70.	m <sup>2</sup>
Quota media di aspirazione	1.	m
Portata totale di aspirazione	31.1	m <sup>3</sup> /s
Velocità	0.4443	m/s

## 2.5 Definizione delle condizioni di scarico degli altri impianti che operano nell'area portuale

Per poter effettuare uno studio che tenga conto di tutti i possibili contributi alla diffusione termica, è necessario tenere conto anche di altri contributi, in termini di scarico e di aspirazione, presenti attualmente nell'area del Porto Esterno. L'indagine condotta a tale scopo ha permesso di individuare sostanzialmente due contributi:

1. la presenza di una presa adiacente al molo Canale;
2. la presenza dello scarico denominato Policentrica Ovest attualmente collocato tra il nuovo molo Enel ed il molo Polimeri.

Poiché il campo di moto che si instaura nell'area portuale dipende anche dalla presenza di tali opere, esse sono state considerate nel presente studio, con condizioni corrispondenti a quelle comunicate dal proprietario degli impianti e riassunte nella successiva tab. 2.5.

tab. 2.5 - Condizioni di aspirazione e di scarico degli impianti esistenti

<i>Scarico Policentrica Ovest</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	5.	m
Altezza	1.5	m
Sezione di scarico	7.5	m <sup>2</sup>
Portata totale scaricata	3.89	m <sup>3</sup> /s
Velocità	0.51852	m/s
Sovralzo termico	6	°C
<i>Presa adiacente il molo Canale</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	16.	m
Altezza	2.8	m
Sezione di presa	44.8	m <sup>2</sup>
Quota media di aspirazione	1.4	m
Portata totale di aspirazione	31.95	m <sup>3</sup> /s
Velocità	0.71317	m/s

## 2.6 Definizione delle condizioni ambientali

### 2.6.1 Parametri che influenzano la diffusione termica

La definizione delle condizioni ambientali è essenziale da un lato per poter caratterizzare il sito in termini di parametri che influenzano la diffusione termica e dall'altro per individuare le condizioni più critiche dal punto di vista dell'esercizio in termini di possibile ricircolo e di rispetto dei limiti di legge.

I parametri ambientali che influenzano la dispersione termica delle acque di raffreddamento possono essere distinti in parametri relativi all'ambiente marino e parametri meteorologici.

I principali parametri relativi all'ambiente marino che devono essere considerati sono in questo caso:

- la temperatura naturale e la salinità dell'acqua di mare
- l'intensità e la direzione prevalente della corrente marina
- il livello medio del mare e le oscillazioni di marea

mentre per quanto riguarda i parametri meteorologici, essi sono legati alla frequenza, intensità e direzione del vento.

### 2.6.2 Tipologia dei dati

Naturalmente, la complessità dei fenomeni coinvolti e la connessione spesso esistente tra i diversi parametri ha comportato una analisi particolarmente complessa dei dati ambientali a partire da una serie di fonti di norma incluse in banche dati. In particolare, le informazioni necessarie allo studio sono state tratte da diverse banche dati e da informazioni bibliografiche in possesso di CESI, tra cui:

- a. Dati sperimentali di livello marino. Tali dati sono stati estratti dalle “Analisi dei rilievi del livello marino” [10] condotte per il periodo luglio 1990 – dicembre 1993 nella zona di mare antistante la centrale di Brindisi Sud. Da essi è possibile ricavare i valori massimi, minimi e medi del livello marino su base mensile e sul totale dei dati disponibili, e le caratteristiche mareali (ampiezza e fase). Poiché i dati sono statisticamente stabilizzati, si può supporre che siano applicabili anche nei periodi successivi, e data la vicinanza dell’area del porto interessata dal presente studio, sono stati ritenuti validi anche spazialmente. Essi sono stati poi confrontati con le informazioni ricavate dal programma WXTIDE32 [11], in grado di fornire i valori di marea durante l’intero arco dell’anno data la latitudine e la longitudine del sito;
- b. Dati provenienti da campagne oceanografiche. In particolare, sono state prese in considerazione le informazioni contenute nel documento “Analisi riepilogativa delle campagne oceanografiche nella costa a Sud di Brindisi” [12], specificatamente svolte ed analizzate per la zona antistante la centrale di Brindisi Sud nel periodo marzo 1976-febbraio 1977, e le informazioni contenute nel documento “1<sup>a</sup> Campagna di Idrografia Marina nell’Area Costiera Salentino Adriatica” [13] relative a campagne oceanografiche successivamente condotte a NW di Brindisi nel periodo gennaio – ottobre 1985. La fig. 2.6 illustra la dislocazione delle aree interessate dalle campagne oceanografiche citate; si può immediatamente notare come l’area del porto di Brindisi cada all’interno della zona considerata nella campagna condotta a Sud di Brindisi;
- c. Dati provenienti dalla Rete Ondametrica Nazionale. Dalla fig. 2.6 si evidenzia come nell’area di Brindisi sia anche presente un ondometro i cui dati possono essere anch’essi utilizzati nella definizione delle caratteristiche meteomarine del sito, con particolare riferimento ai valori di temperatura marina e di caratteristiche ondose [14]. Inoltre sono utilizzabili anche i dati di un ondometro Enel installato 4 miglia al largo del porto di Brindisi ed i cui dati sono inseriti nella banca dati EnelWAVE [15] in grado di elaborarli statisticamente;
- d. Elaborazioni dal sistema informativo territoriale SIA. Tali elaborazioni, descritte in [16], [17], sono in grado di fornire informazioni integrate sull’ambiente marino nelle località di interesse, in quanto il sistema ha la possibilità di aggregare ed estrarre i dati ambientali di interesse, tra cui la posizione e le letture delle catene correntometriche, la batimetria del fondale, l’andamento delle correnti e le mappe di isovalori di temperatura e salinità;
- e. Dati provenienti dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale. Tali dati fanno riferimento alla stazione di Monopoli (fig. 2.7), e sono in genere associati ai dati delle Rete Ondametrica Nazionale [14];
- f. Dati meteorologici provenienti dalla banca dati Enel-AM. Tale banca dati, organizzata da Enel e dal Servizio Meteorologico dell’Aeronautica Militare, raccoglie una serie storica di dati che, seppur interrotta alla fine degli anni 90, consente comunque di realizzare valide statistiche su base mensile ed annuale;
- g. Dati meteorologici disponibili in tempo reale su Internet. La recente disponibilità di informazioni assai dettagliate su tutti i parametri meteorologici attraverso la connessione Internet ha consentito di affinare l’analisi delle informazioni ambientali disponibili, aggiornandole con i dati del recente periodo. In particolare, si è fatto riferimento al sito meteo della Regione Puglia [19] ed il sito EuroMeteo [20].

Per ciascun parametro sono stati esaminati i dati raccolti e sono state definite le condizioni ambientali tipiche del sito che possono avere influenza sulle condizioni in cui avviene lo scarico. Le relative conclusioni sono discusse nei successivi paragrafi.

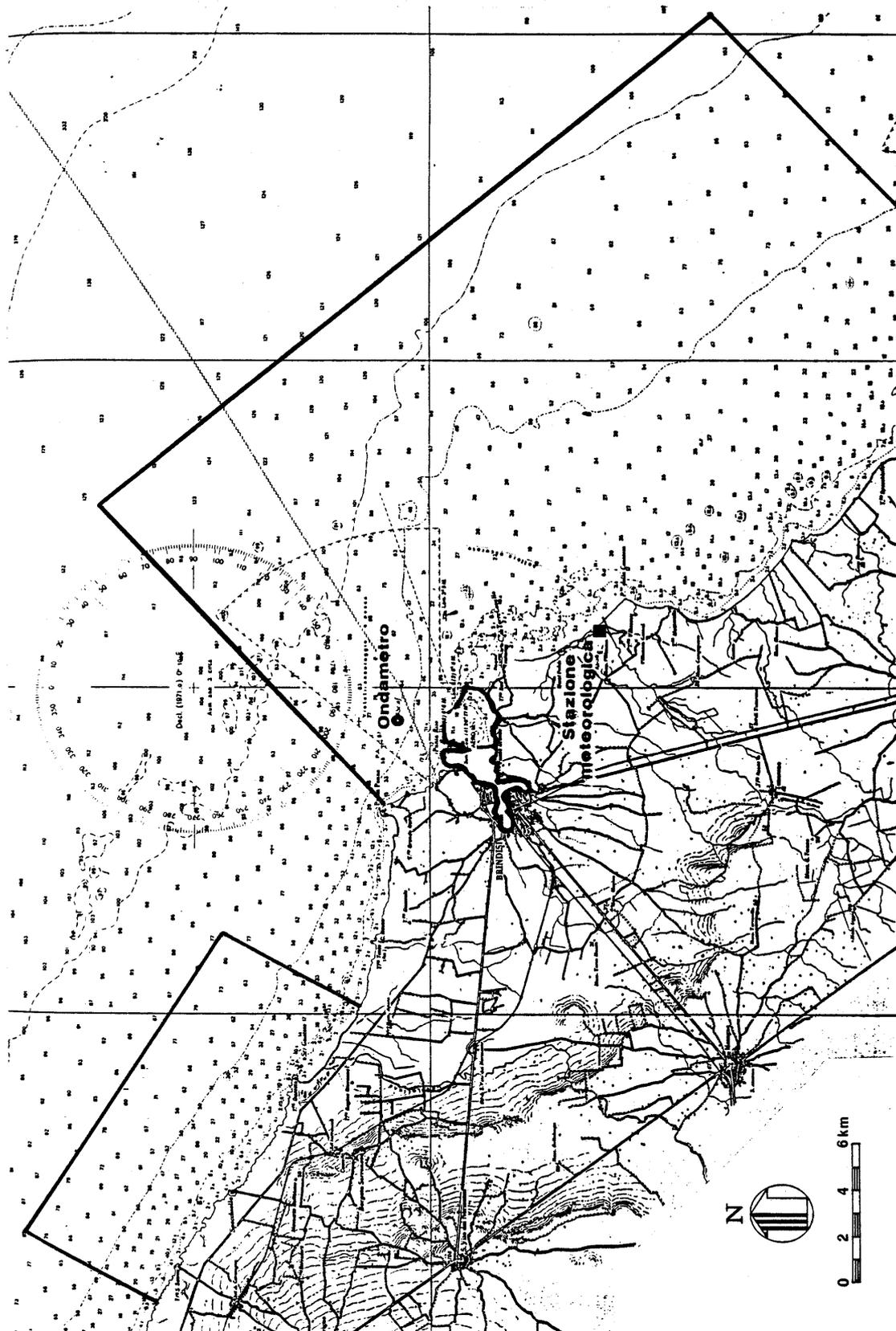


fig. 2.6 - Aree interessate dalle campagne oceanografiche a Nord ed a Sud di Brindisi

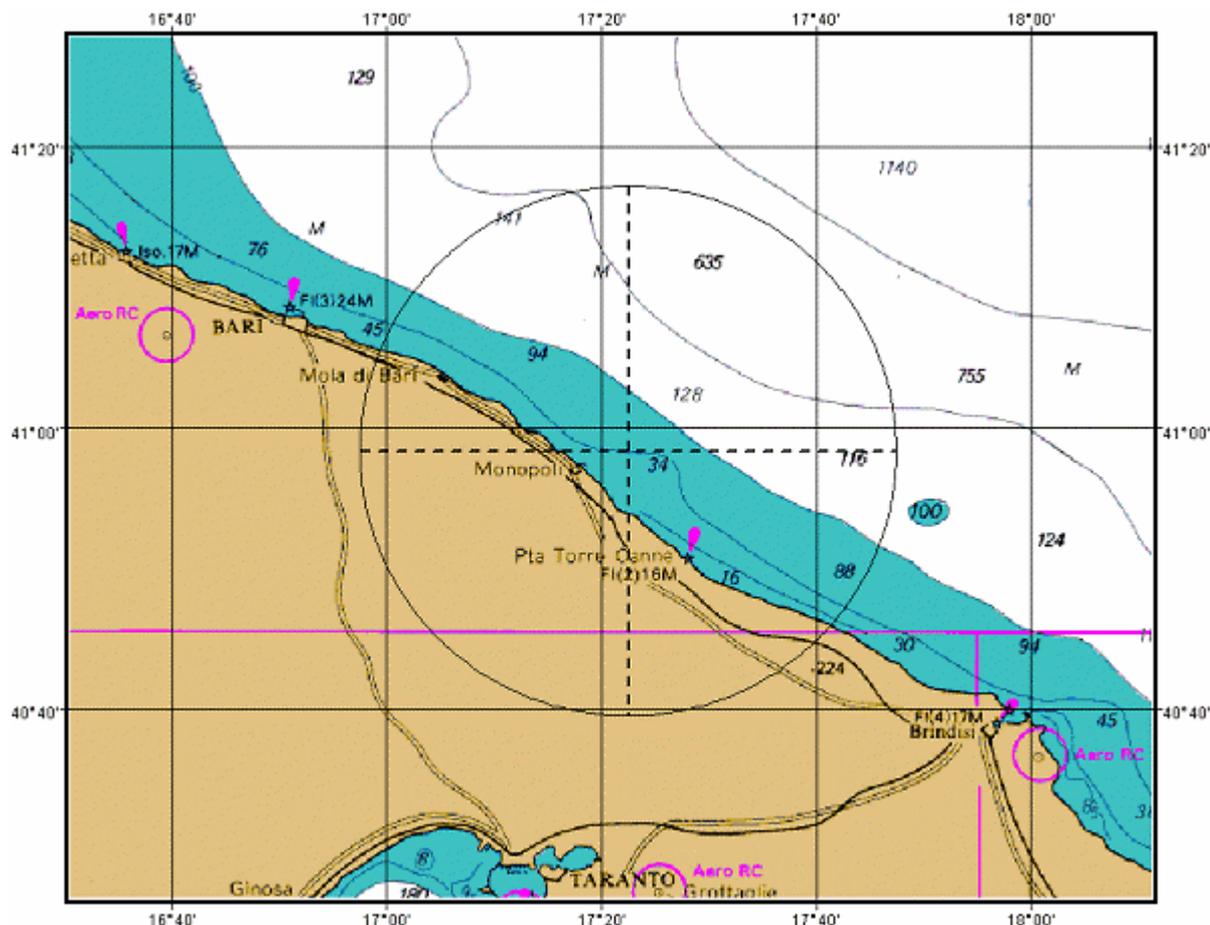


fig. 2.7 - Localizzazione della stazione della Rete Ondametrica e Mareografica Nazionale

### 2.6.3 Temperatura ambientale dell'acqua di mare

Le condizioni in cui avviene lo scarico dell'acqua di raffreddamento dipendono in primo luogo dalla temperatura del corpo idrico ricevente, e poiché l'effetto di diluizione avviene essenzialmente ad opera delle acque superficiali, diviene importante verificare se tale temperatura naturale può essere ritenuta omogenea oppure se esiste un gradiente verticale di entità apprezzabile. Inoltre occorre tenere presente la variazione stagionale subita dalla temperatura stessa, che influisce fortemente sul galleggiamento del pennacchio termico.

Per l'analisi del parametro temperatura ambientale sono state prese in considerazione diverse fonti. In primo luogo sono stati esaminati i dati provenienti dalle campagne oceanografiche di fig. 2.6; l'andamento della temperatura con la profondità in funzione delle diverse stagioni è riportato in fig. 2.8 per la campagna condotta a Sud, ma i valori misurati a Nord, compresi tra i 11.8 °C ed i 12.9 °C in inverno, e tra i 22.9 °C ed i 24.1 °C in estate, non si discostano apprezzabilmente. Inoltre, alle profondità interessate dai fenomeni di scambio termico e comunque tipiche del Porto Esterno non si riscontrano apprezzabili effetti di stratificazione termica, per cui la temperatura si può ritenere costante.

Una ulteriore fonte di dati per le condizioni del mare nell'area di Brindisi è costituita dal Sistema Informativo Ambientale dell'ENEL (SIA), in cui sono inseriti tutti i dati relativi alle campagne oceanografiche condotte da e per conto di ENEL in Italia. Ovviamente sono inclusi anche i dati delle campagne prima citate, ma la loro elaborazione consente anche una valutazione statistica dello scostamento dal valore medio nelle diverse campagne.

Infine è possibile ottenere informazioni sulla temperatura superficiale del mare dall'ondametro installato per un lungo periodo in prossimità del porto di Brindisi, circa 4 miglia al largo, i cui dati sono inseriti e gestiti nella banca dati EnelWAVE; tali dati hanno il difetto di rappresentare esclusivamente la temperatura superficiale (peraltro di interesse nel nostro caso) ma il notevole pregio di essere raccolti in continuo, a partire dal 1976. Nell'ambito di tale banca dati, sono disponibili quattro raccolte di dati:

1. Brindisi-1      Dati dal 6/9/1976 al 4/6/1977
2. Brindisi-2      Dati dal 22/1/83 al 1/7/1991
3. Brindisi-3      Dati dal 26/2/1992 al 17/9/1997

## 4. Brindisi-4 Dati dal 28/2/1999 al 31/12/2000

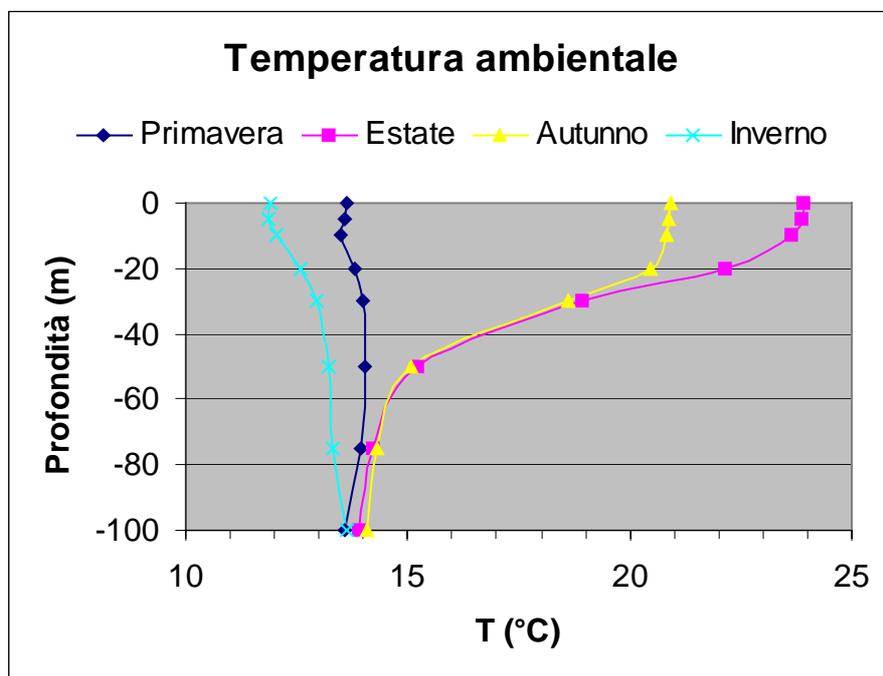


fig. 2.8 - Andamento della temperatura misurata nelle campagne oceanografiche a sud di Brindisi

Tuttavia le prime due raccolte non dispongono del dato di temperatura superficiale, per cui si fa riferimento essenzialmente alla terza e quarta raccolta, assai complete in quanto aggiornate fino al 31/12/2000. In fig. 2.9 è riportato l'andamento della temperatura rilevata in un anno tipico (1992), mentre in fig. 2.10 è riportato l'andamento medio delle misure. Esso è stato ottenuto mediando i dati su base giornaliera, anche se essi sono disponibili ogni 3 ore, per evitare una eccessiva dispersione, e anche se, tra ore notturne ed ore diurne, si possono avere differenze dell'ordine di qualche grado. In ogni caso è sempre possibile dettagliare maggiormente tale media, per esempio ogni 3 o 6 ore.

Tale andamento evidenzia una legge abbastanza regolare, anche se affetta da oscillazioni dovute a perturbazioni di carattere meteorologico (ad esempio, periodi di alta nuvolosità, di bora, ecc.); per poter meglio evidenziare l'andamento base, è stata effettuato un filtraggio ricavando la miglior approssimante, ancora rappresentata in fig. 2.10.

L'esame di tutti i dati relativi alle condizioni del corpo idrico nello strato superficiale porta a concludere che la temperatura superficiale è incentrata su quattro valori tipici stagionali, rispettivamente pari a 13.6 °C in primavera, 23.8 °C in estate, 20.9 °C in autunno e 11.9 °C in inverno; questi valori possono essere raccordati nei periodi intermedi attraverso la curva di fig. 2.10.

In definitiva, poiché l'analisi delle dispersione termica in mare dipende dalla temperatura in modo essenziale, verranno considerati i valori estremi di 11.9 °C per il periodo invernale e di 23.8 °C per quello estivo. Una verifica di tale scelta è stata poi condotta attraverso le misure di temperatura della Rete Ondametrica Nazionale relativa alla stazione di Monopoli, i cui andamenti invernale ed estivo relativi al 2003 (la boa è di recentissima installazione e sostituisce quella di Brindisi) sono riportati rispettivamente in fig. 2.11 e fig. 2.12. Si nota come la temperatura invernale sia in accordo con il valore medio sopra dedotto, mentre la temperatura estiva risulta sensibilmente più alta, ma poiché l'estate del 2003 ha avuto condizioni del tutto anomale da questo punto di vista, si ritiene comunque corretto il valore medio sopra riportato.

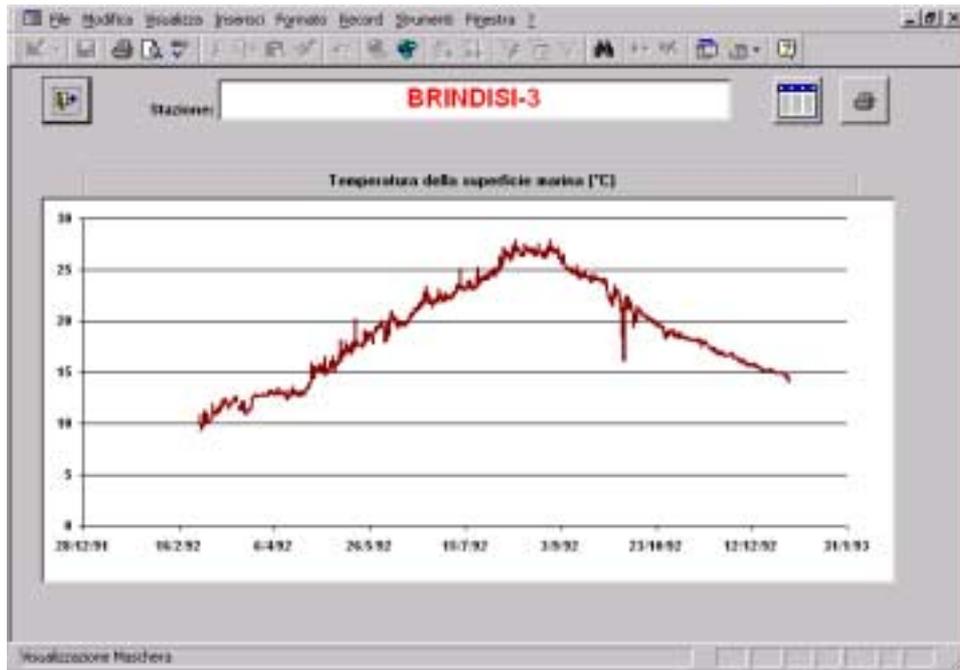


fig. 2.9 - Temperatura superficiale misurata da ondometro (1992)

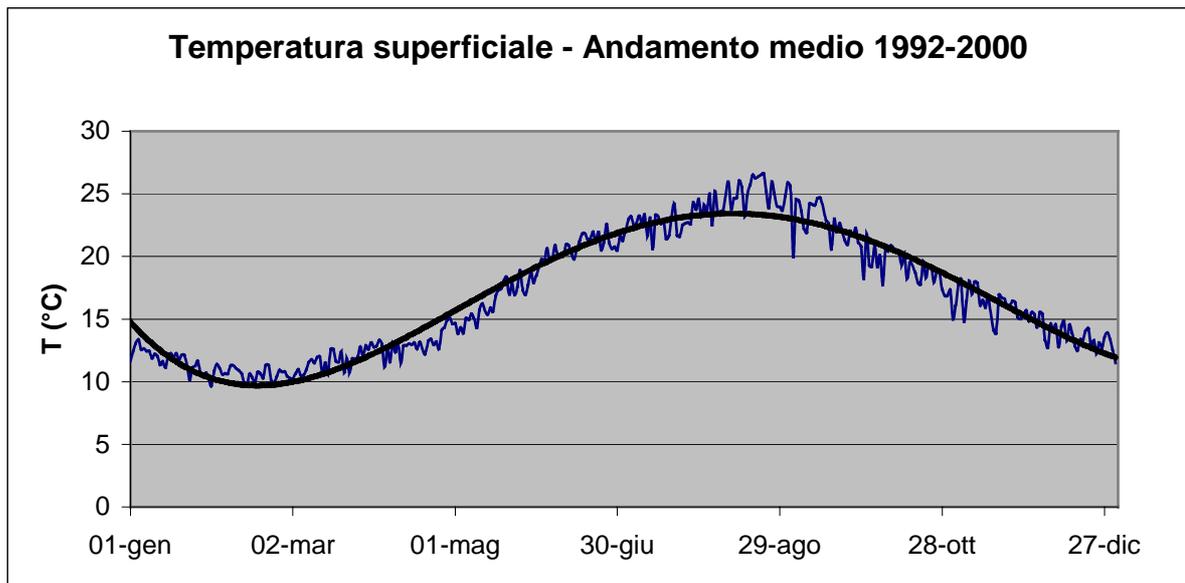


fig. 2.10 - Andamento medio della temperatura superficiale da misure ondametriche

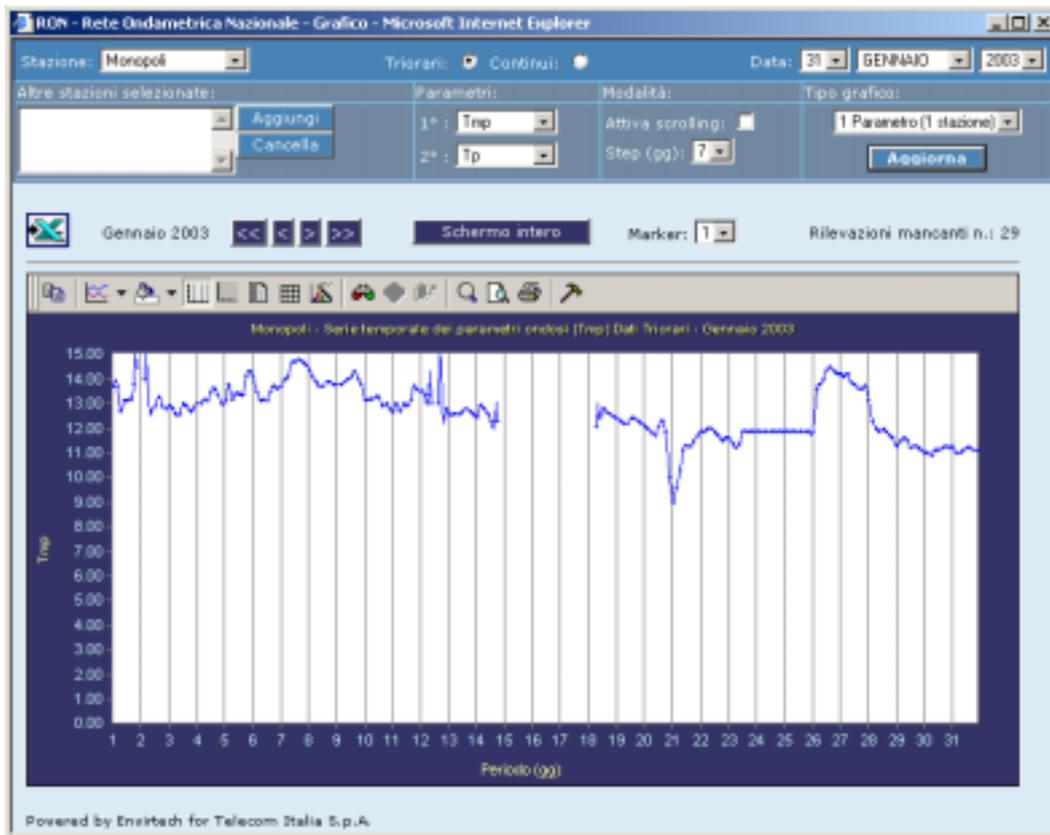


fig. 2.11 - Andamento della temperatura alla stazione ondametrica di Monopoli nel gennaio 2003

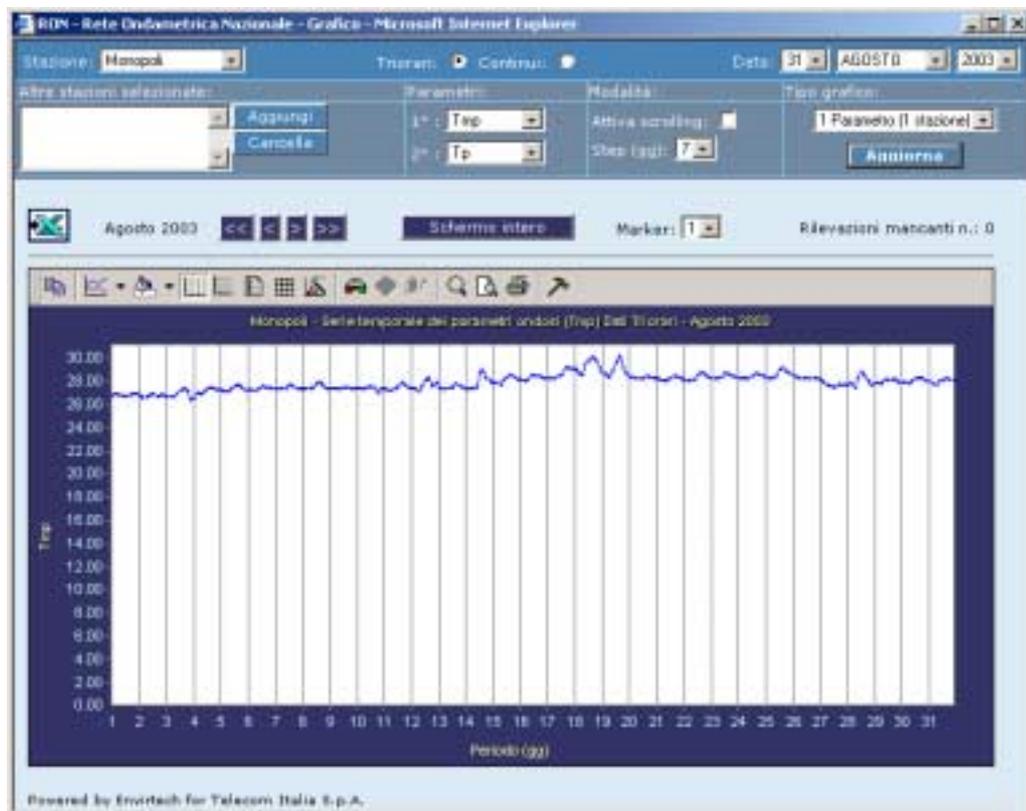


fig. 2.12 - Andamento della temperatura alla stazione ondametrica di Monopoli nell'agosto 2003

#### 2.6.4 *Salinità ambientale dell'acqua di mare*

Le condizioni in cui avviene lo scarico dell'acqua di raffreddamento dipendono in secondo luogo dalla salinità del corpo idrico ricevente, che ha un notevole effetto sulla variazione di densità dell'acqua e quindi nella determinazione del galleggiamento del pennacchio termico. Come per la temperatura, anche per questo parametro è importante verificare se esiste un gradiente verticale di entità apprezzabile.

Di fatto, l'analisi condotta è assai simile a quella della temperatura naturale descritta al paragrafo precedente. Dai dati provenienti dalle campagne oceanografiche di fig. 2.6 si ricava l'andamento della salinità con la profondità in funzione delle diverse stagioni riportato in fig. 2.13 per la campagna condotta a Sud, ma i valori misurati a Nord, pari a 37.7 g/l in inverno ed a 38.2 g/l in estate, non si discostano apprezzabilmente.

Inoltre, alle profondità interessate dai fenomeni di scambio termico e comunque tipiche del Porto Esterno non si riscontrano apprezzabili effetti di stratificazione salina, per cui la salinità si può ritenere costante.

Nella fig. 2.14 sono invece mostrati a titolo di esempio i risultati dell'analisi condotta per il periodo estivo a partire dai dati contenuti nel SIA.

In definitiva, poiché l'analisi delle dispersione termica in mare dipende dalla salinità in modo essenziale, verranno considerati i valori estremi di 37.2 g/l per il periodo invernale e di 38.2 g/l per quello estivo.

#### 2.6.5 *Direzione ed intensità della corrente marina*

Per quanto riguarda le condizioni di corrente, il tratto di mare compreso tra Punta S. Cataldo a Sud e Torre Guaceto a Nord, comprendente il litorale ed il porto di Brindisi è stato oggetto di due campagne di misura, della durata di più mesi e già citate nei paragrafi precedenti (si veda la fig. 2.6), che hanno consentito di registrare l'andamento delle correnti nella zona antistante la costa. I dati ottenuti da tali campagne sono stati presenti nel Sistema Informativo Ambientale (SIA), mediante il quale sono stati estratti ed elaborati i relativi dati.

La prima campagna, denominata Campagna oceanografica nella costa a Sud di Brindisi, fa riferimento al tratto di costa tra Punta S. Cataldo e Punta Penne e comprende l'area del porto di Brindisi ed avendo avuto una durata ininterrotta da marzo 1976 a febbraio 1977, consente di valutare gli andamenti stagionali nell'arco di un intero anno. La posizione dei 5 correntometri utilizzati nella suddetta campagna, tuttavia, è limitata al tratto di costa tra Torre S. Gennaro e Punta della Contessa, a Sud del porto nella zona di mare prospiciente la centrale di Brindisi Sud, come si può vedere in fig. 2.15.

La seconda campagna, denominata Campagna oceanografica nell'area costiera salentina, fa riferimento al tratto di costa tra Torre Pazzella e Torre Testa a Nord del porto di Brindisi ed avendo avuto una durata ininterrotta da gennaio 1985 a ottobre 1985, consente anch'essa di valutare gli andamenti stagionali nell'arco di un intero anno.

L'andamento delle correnti ambientali, in assenza di perturbazioni, è tipicamente determinato dalla circolazione generale dell'Adriatico, che come già detto nel paragrafo precedente, ha un andamento diversificato secondo le stagioni. Più precisamente, nel periodo invernale si ha un fronte freddo a pochi chilometri dalla costa che comporta il convogliamento lungo la costa di acque fredde provenienti dall'Alto Adriatico mentre nel periodo estivo si ha la presenza lungo la costa di acque più calde che seguono la batimetrica con direzione prevalente verso lo Ionio.

Le analisi correntometriche eseguite a Sud di Brindisi nella prima campagna consentono di affermare che in generale le correnti più intense e frequenti sono quelle dirette verso meridione e più precisamente lungo la direzione della batimetrica locale vicino alla costa e lungo la congiungente Capo di Torre Cavallo con Torre Specchiola più al largo (direzione NW - SE). Quest'ultimo dato è molto importante in quanto la corrente che interessa la zona antistante il porto di Brindisi è quella determinata dalla componente al largo. Pertanto ciò che interessa sono i dati dei correntometri esterni, ed in particolare del correntometro E di fig. 2.15, riassunti nella tabella tab. 2.6, dai quali si vede una prevalenza della corrente nell'intorno delle direzioni N-NW e S-SE, con una intensità equamente ripartita tra l'intervallo 2-10 cm/s e 11-20 cm/s.

Le considerazioni sopra riportate sono confermate nella sostanza dalle misure effettuate nella seconda campagna, le cui catene correntometriche sono riportate in fig. 2.16. Analizzando in particolare i dati dei correntometri G ed F, e tenendo conto dell'orientamento della costa a Nord, rimangono confermate nella sostanza le conclusioni sopra tratte.

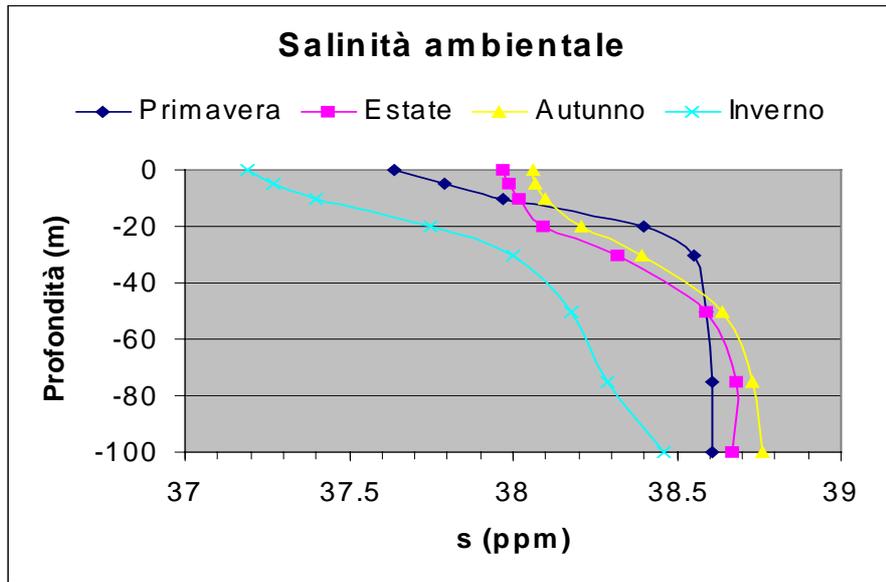


fig. 2.13 - Andamento della salinità misurata nelle campagne oceanografiche a sud di Brindisi

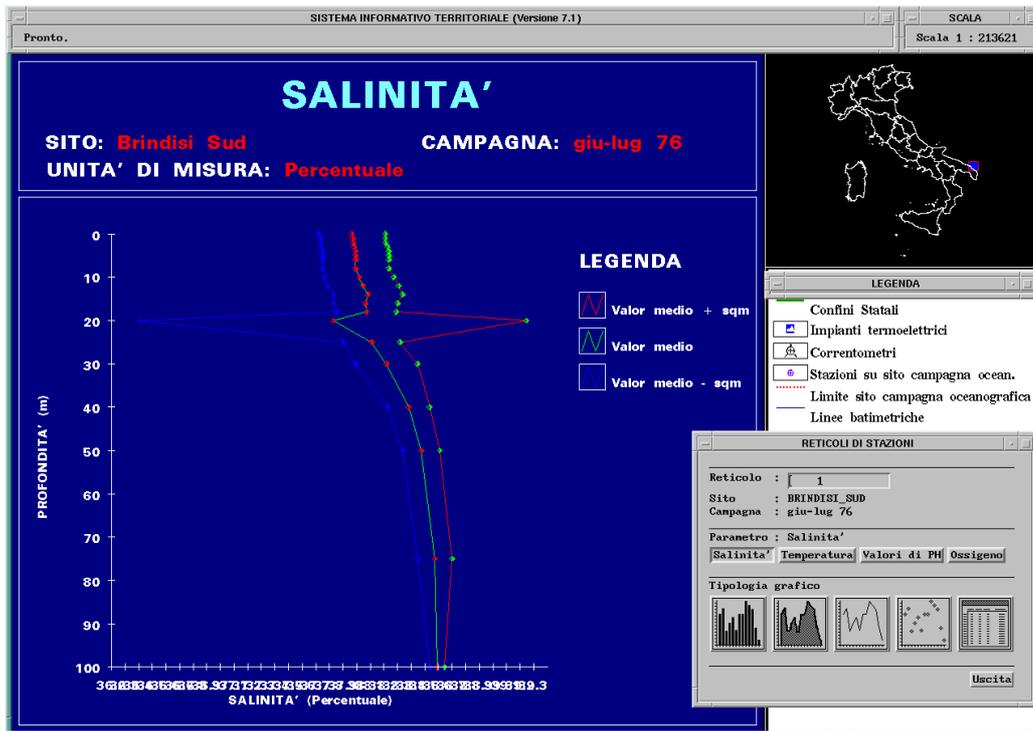


fig. 2.14 - Salinità nella campagna estiva a Sud di Brindisi

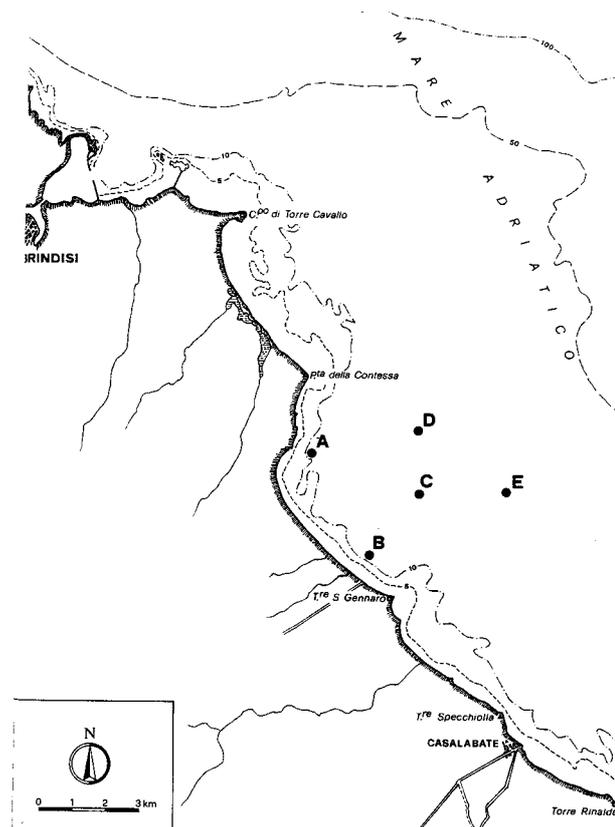


fig. 2.15 - Posizione dei correntometri per la campagna oceanografica a Sud di Brindisi

tab. 2.6 – Andamento delle frequenze complessive di corrente (Brindisi Sud)

Correntometro	Velocità Cm/s	Direzione												Totale
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
A	2÷10	12.61	12.31	5.02	4.35	4.25	5.42	15.91	9.78	5.32	3.95	3.09	4.40	86.41
	11÷20	1.77	1.62			0.51	2.07	2.63	1.97	0.25	0.10	0.05		10.97
	21÷30					0.15	1.06	0.86						2.07
	31÷40						0.30	0.20	0.05					0.55
	<b>Totale</b>	<b>14.38</b>	<b>13.93</b>	<b>5.02</b>	<b>4.35</b>	<b>4.91</b>	<b>8.85</b>	<b>19.60</b>	<b>11.80</b>	<b>5.57</b>	<b>4.05</b>	<b>3.14</b>	<b>4.40</b>	<b>100</b>
Ore di registrazione: 2105 – ore di calma: 130														
B	2÷10	1.39	0.64	1.28	4.00	24.57	18.23	5.71	2.72	1.71	4.26	6.56	3.36	74.43
	11÷20			0.05	0.59	13.33	3.25	0.96	0.27	0.16	0.21	1.01	0.85	20.68
	21÷30				0.27	3.61	0.59						0.21	4.68
	31÷40					0.16	0.05							0.21
	<b>Totale</b>	<b>1.39</b>	<b>0.64</b>	<b>1.33</b>	<b>4.86</b>	<b>41.67</b>	<b>22.12</b>	<b>6.67</b>	<b>2.99</b>	<b>1.87</b>	<b>4.47</b>	<b>7.57</b>	<b>4.42</b>	<b>100</b>
Ore di registrazione: 2397 – ore di calma: 521														
C	2÷10	9.56	3.16	1.81	1.6	3.24	7.37	7.95	4.00	4.25	3.28	4.67	10.73	61.62
	11÷20	2.82	0.21	0.13	0.46	1.98	8.54	9.22	1.64	0.46	0.38	0.72	5.68	32.24
	21÷30	0.59				0.63	2.95	0.55					1.34	6.06
	31÷40							0.08						0.08
	<b>Totale</b>	<b>12.97</b>	<b>3.37</b>	<b>1.94</b>	<b>2.06</b>	<b>5.85</b>	<b>18.86</b>	<b>17.80</b>	<b>5.64</b>	<b>4.71</b>	<b>3.66</b>	<b>5.39</b>	<b>17.75</b>	<b>100</b>
Ore di registrazione: 2392 – ore di calma: 16														
D	2÷10	9.37	6.25	4.24	2.68	4.69	7.47	8.04	4.46	3.02	2.23	3.63	5.52	61.60
	11÷20	4.58	1.62	0.17	0.79	2.84	8.98	7.09	2.40	0.56	0.33	0.22	2.12	31.70
	21÷30	0.56				1.51	3.12	1.17	0.06				0.28	6.70
	31÷40													
	<b>Totale</b>	<b>14.51</b>	<b>7.87</b>	<b>4.41</b>	<b>3.47</b>	<b>9.04</b>	<b>19.57</b>	<b>16.30</b>	<b>6.92</b>	<b>3.58</b>	<b>2.56</b>	<b>3.85</b>	<b>7.92</b>	<b>100</b>
Ore di registrazione: 1827 – ore di calma: 35														
E	2÷10	7.56	3.42	1.88	2.05	2.56	2.98	4.56	5.24	4.13	4.64	4.73	6.39	50.14
	11÷20	8.09	1.11	0.90	0.72	2.59	7.84	6.71	4.35	2.21	1.10	1.62	5.20	42.44
	21÷30	1.40			0.04	0.72	2.93	0.89	0.25	0.13	0.04	0.13	0.89	7.42
	31÷40													
	<b>Totale</b>	<b>17.05</b>	<b>4.53</b>	<b>2.78</b>	<b>2.81</b>	<b>5.87</b>	<b>13.75</b>	<b>12.16</b>	<b>9.84</b>	<b>6.47</b>	<b>5.78</b>	<b>6.48</b>	<b>12.48</b>	<b>100</b>
Ore di registrazione: 2348 – ore di calma: 3														

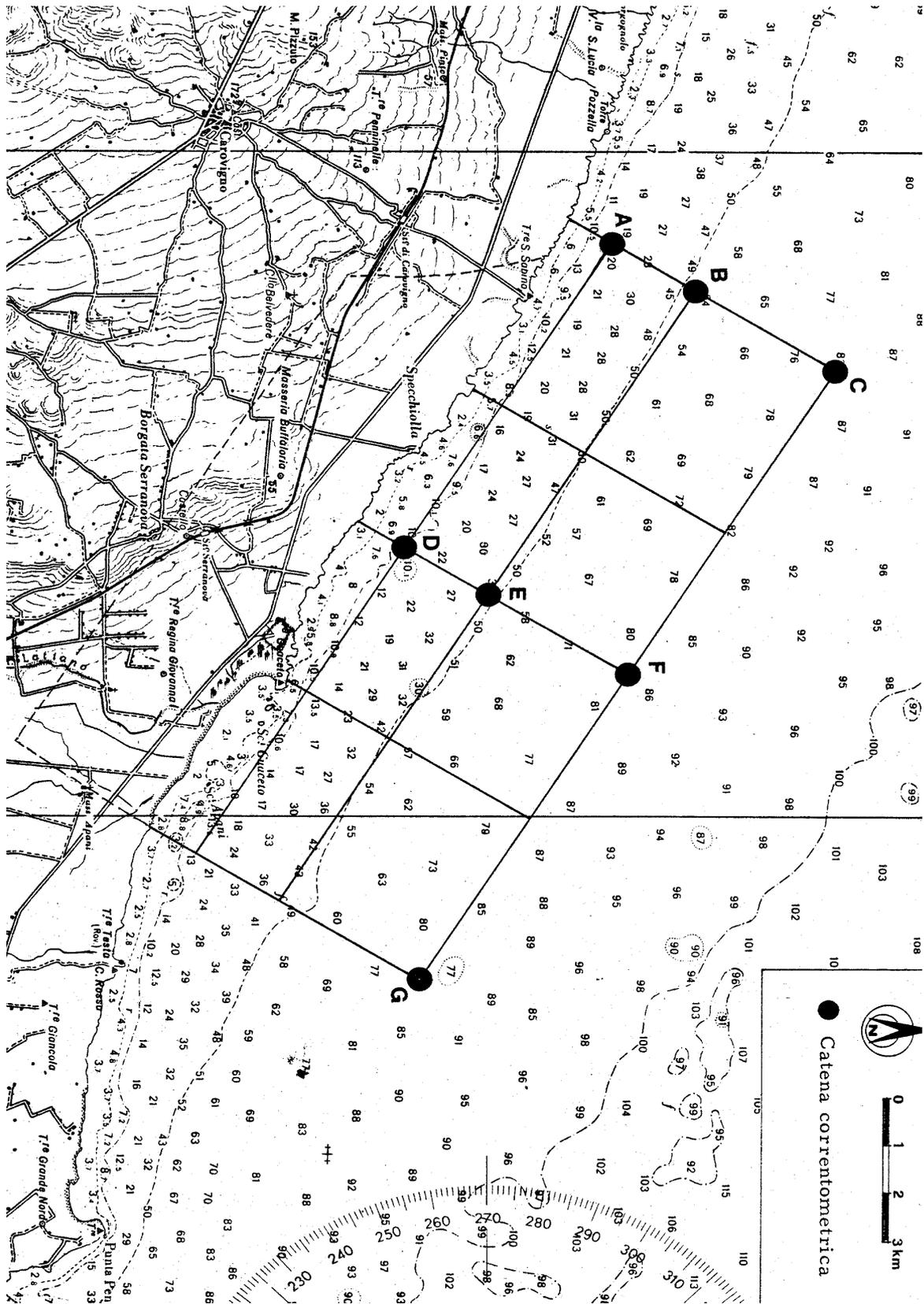


fig. 2.16 - Posizione dei correntometri per la campagna oceanografica a Nord di Brindisi

Dalla banca dati SIA più volte citata è possibile comunque valutare anche gli andamenti di corrente mediati sui correntometri, come mostrato in fig. 2.17, in cui si vede che le direzioni sono più disperse per effetto delle variazioni in prossimità della costa, ma le direzioni prevalenti rimangono quelle citate. Non ci sono particolari variazioni nelle altre stagioni.

Dal punto di vista dello studio, si è tenuto conto del fatto che le correnti risultano più intense e frequenti verso SE, ma tale corrente dal punto di vista della situazione del porto è una corrente che scorre all'esterno della diga di Punta Riso senza imboccare il porto, e quindi tende a favorire l'uscita dell'acqua dal porto stesso. Viceversa, la corrente che fluisce nella direzione opposta, seppur meno frequente, tende ad ostacolare la fuoriuscita dell'acqua dalla zona del Porto Esterno, e quindi a creare condizioni più limitanti ai fini della dispersione del pennacchio termico. Inoltre non sono state riscontrate tendenze stagionali particolari, per cui quanto sopra detto rimane valido in ogni condizione. Per quanto riguarda l'intensità della corrente stessa, essa è compresa in genere tra i 5 ed i 10 cm/s; in particolare viene assunto il valore superiore in modo da poter considerare conservativi i risultati dello studio rispetto a questo parametro

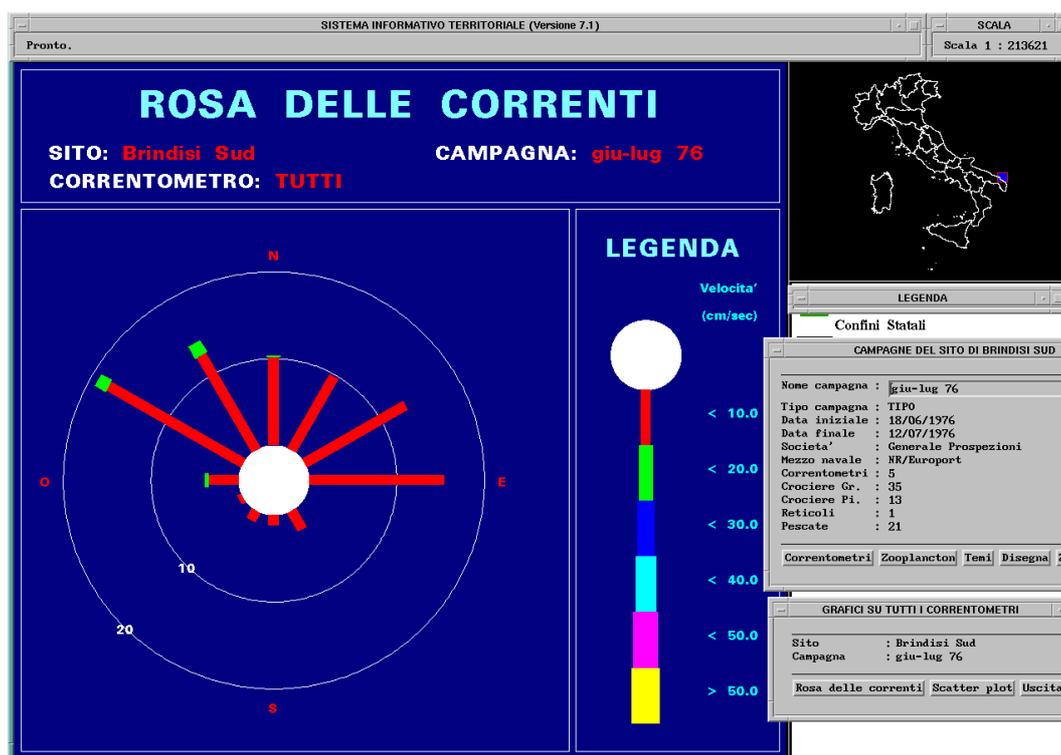


fig. 2.17 - Rosa delle correnti

### 2.6.6 Il livello marino e le oscillazioni di marea

Il livello del mare, fondamentale per gli scopi dello studio dalle oscillazioni di marea, è importante in quanto, essendo gli scarichi a pelo libero, da esso dipende l'ampiezza della sezione di efflusso e quindi la velocità allo scarico.

La definizione degli andamenti tipici di marea è stata in primo luogo ricavata dai rilievi del livello marino condotti nelle campagne oceanografiche già citate in precedenza. Dall'analisi di tali rilievi sperimentali sono state tratte le seguenti conclusioni:

- la differenza tra il livello medio marino (SLMM) e lo zero IGM della località è risultato di circa 26 cm più basso rispetto allo zero IGM
- le componenti mareali fondamentali ricavate dai dati sono in linea con quelle stimate dall'Istituto Idrografico della Marina per il Porto di Brindisi e con le caratteristiche mareali generali del Mediterraneo ed in particolare del basso Adriatico, e non emergono amplificazioni delle escursioni mareali attribuibili a specifiche conformazioni geografiche o batimetriche. In particolare, nel grafico di fig. 2.18 è riportato l'andamento mareale ricostruito, sulla base delle armoniche misurate sperimentalmente durante le campagne, per 360 ore a partire dal 1° gennaio 1990, che dà un'idea dell'andamento tipico del fenomeno. Come si può notare, l'escursione massima è di circa 35 cm con un semiperiodo di circa 6 ore.

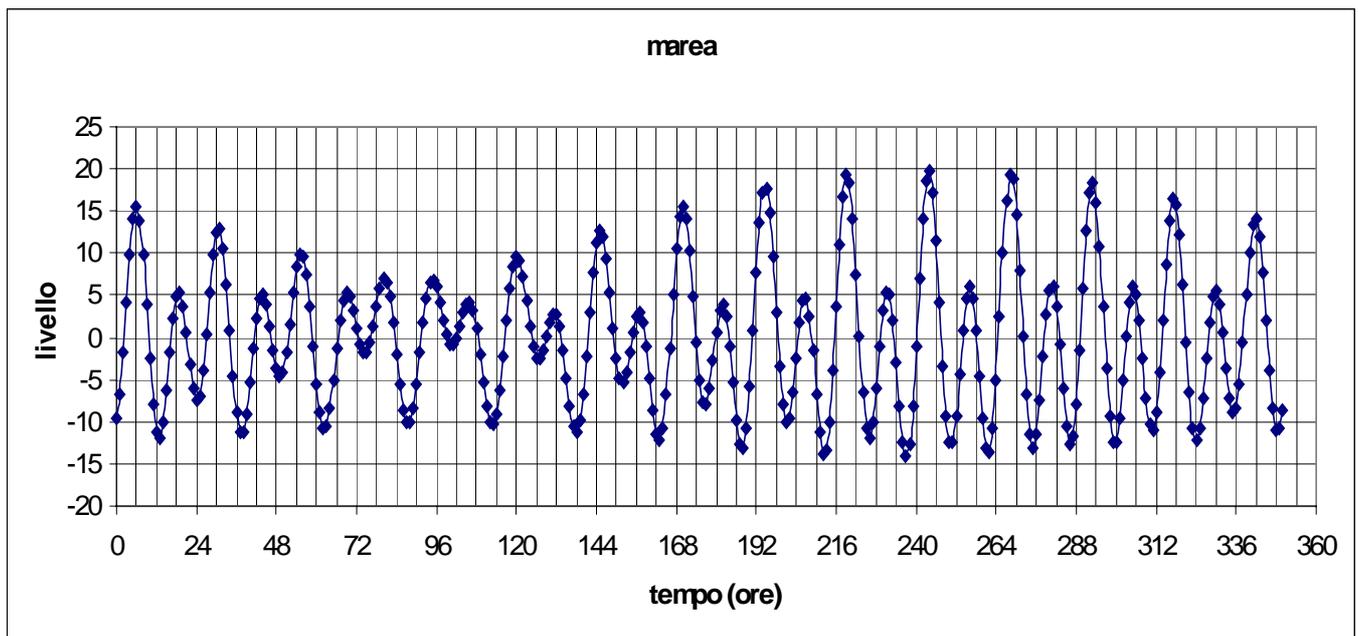


fig. 2.18 – Andamento tipico della marea dalle campagne oceanografiche

Il dato ricavato dalle osservazioni durante le campagne oceanografiche è sostanzialmente in accordo con quanto riportato in [8], che fornisce una escursione massima di 44 cm alle sizigie, e con quanto si ricava dal simulatore di marea WXTIDE32 [11], che fornisce valori di marea compresi tra +30 e -27 cm, inclusa però anche la componente meteorologica. Un esempio del livello marino valutato a Brindisi è riportato in fig. 2.19.

Per quanto riguarda lo studio in oggetto, dovendosi in ogni caso valutare condizioni stazionarie di distribuzione del pennacchio, e non essendo l'escursione media di marea particolarmente sensibile, si è optato per una simulazione nelle condizioni di medio mare, cioè con un livello marino medio tra le condizioni di alta e bassa marea.

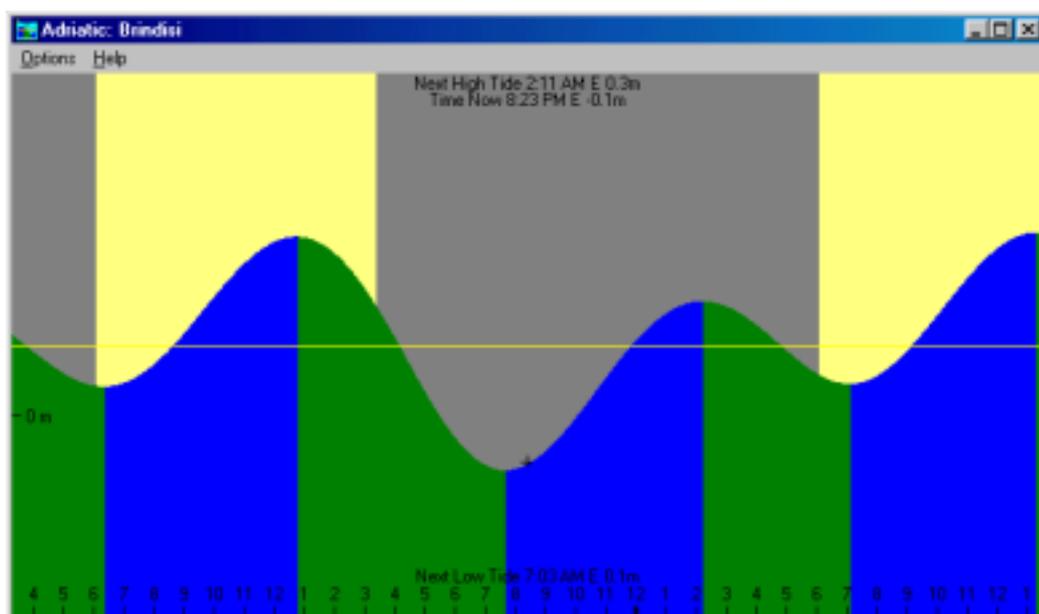


fig. 2.19 – Andamento mareale tipico nella zona di Brindisi secondo WXTIDE32

### 2.6.7 Direzione ed intensità del vento

I dati meteorologici necessari allo studio fanno riferimento in particolare alle condizioni di temperatura e di vento nei bassi strati dell'atmosfera, rilevati in prossimità del sito. 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, e per valutare correttamente lo sforzo superficiale determinato dal vento stesso.

Naturalmente, durante le campagne oceanografiche più volte citate nelle sezioni precedenti del documento sono state fatte misure di intensità del vento, quali ad esempio quelle riportate in tab. 2.7 per le campagne di Brindisi Sud del 1976-1977.

tab. 2.7 – Frequenze percentuali dei venti osservate nelle campagne 1976-77

Velocità (nodi)	Direzione di provenienza												Totale
	0	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
2÷5	0.92	0.92	0.23	0.92	0.69	1.15	1.85	0.69	0.23	1.38	3.45	1.61	14.04
6÷10	2.99	2.99	1.83	1.84	2.53	4.61	2.30	1.61	0.46	2.53	5.75	6.45	35.89
11÷15	2.07	1.37		0.23	1.61	1.38	0.92	0.46			3.22	6.68	17.94
16÷20	1.15				0.23			0.46			2.07	1.16	5.07
21÷25												0.23	0.23
totale	7.13	5.28	2.06	2.99	5.06	7.14	5.97	3.22	0.69	3.91	14.49	16.13	73.13
Ore totali di osservazione 1744													
Ore di calma ( $v < 2$ nodi) = 26.83 %													

Tali dati, tuttavia, hanno il difetto di coprire un arco temporale troppo limitato per poter esprimere dati di tendenza e non necessariamente coprono tutti i possibili valori di intensità. Va comunque notato come vi sia una prevalenza dei venti da N e NW (IV quadrante), in accordo con i dati tendenziali di corrente verso S e SE lungo la batimetrica locale.

Una conferma si ricava anche dai dati meteorologici misurati nel corso della campagna oceanografica Salentino-Adriatica del 1985, dalla cui analisi si evince che per circa il 90% dei periodi esaminati la velocità del vento si mantiene entro i 30 km/h ovvero 16.2 nodi, con un accumulo del 50% dei valori nella classe compresa tra 10 e 20 km/h (5.4 e 10.8 nodi). Per quanto riguarda le direzioni, esse risultano distribuite abbastanza uniformemente su tutta la rosa dei venti, con un incremento della frequenza fino al 25% per direzioni attorno a 180° durante il periodo invernale e primaverile, mentre durante il periodo estivo vi è una prevalenza del 35% del vento da Nord (300°÷360°).

Per avere dati mediamente più stabili, si è ricorsi alla banca dati Enel-AM contenente le osservazioni della stazione meteorologica di Brindisi dal 1951 al 1991. Relativamente ai dati di vento, sono state estratte le tabelle stagionali e la tabella annuale, riportate nelle successive fig. 2.20e fig. 2.21. Analizzando tali dati, si riscontra in ogni stagione una dominanza dei venti provenienti dal IV quadrante (NW, NNW), con una significativa frequenza anche dei venti provenienti dal II quadrante (S, SSE), ma non sembra possibile correlare in maniera stabile la direzione del vento prevalente con la direzione della corrente e le circolazioni tipiche. Ciò sembra comportare un trattamento indipendente di tali variabili.

Anche l'intensità mostra una notevole variabilità, con una significativa percentuale di calma (dal 13% al 18%), e frequenze medie intorno al 31% per il settore centrato sulla direzione NW, con intensità comprese tra 8 e 16 nodi, e intorno al 19% per quello centrato sulla direzione SSE con intensità comprese tra 5 e 16 nodi. Ulteriori informazioni sono reperibili sul sito Internet [19] per le principali località pugliesi tra cui Brindisi, che sostanzialmente confermano le considerazioni sopra esposte, come si può notare in fig. 2.22. La terza direzione in ordine di importanza è quella da NE, che ha una frequenza intorno all'8%, ma che rappresenta una condizione critica per la dispersione termica in quanto tende a mantenere il pennacchio caldo entro l'area portuale.

Pertanto, si è ritenuto di considerare per lo studio la presenza di vento da NE, di intensità pari a 10 nodi (5.144 m/s), che risulta comunque tra i venti dominanti anche secondo il Portolano [8]. In tali condizioni, il coefficiente di scambio termico con l'atmosfera può essere assunto pari a 33 W m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

D'altra parte, la presenza della aspirazione dalla presa adiacente al molo Canale, con una portata comparabile con quella della centrale, altera sensibilmente le condizioni idrodinamiche dell'area adiacente al molo Polimeri, interessata maggiormente dal pennacchio in condizioni di calma di vento, per cui anche tale condizione deve essere esaminata, rappresentando inoltre una notevole percentuale nello spettro di frequenza del vento.

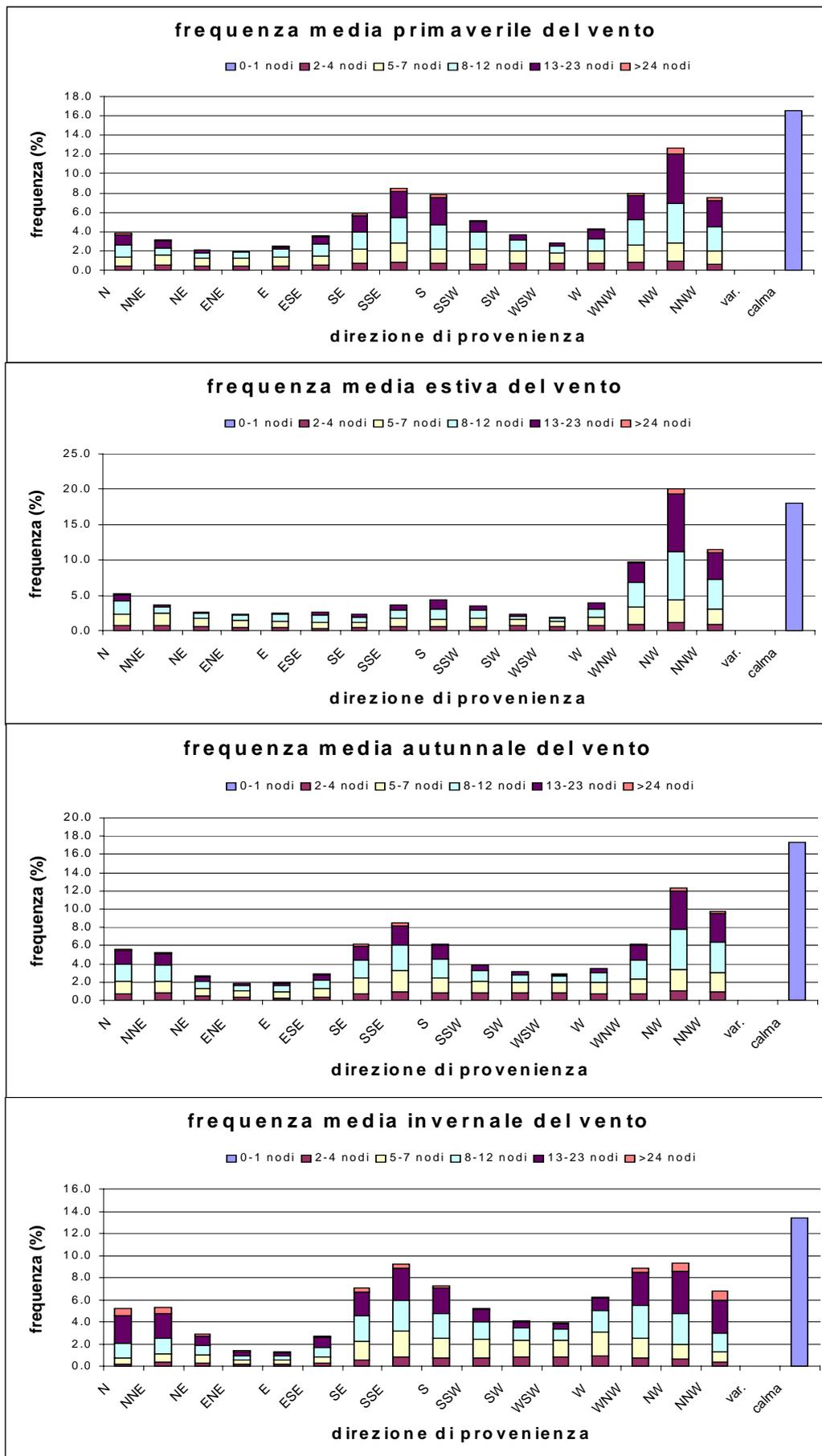


fig. 2.20 - Frequenze ed intensità stagionali del vento (Enel-AM)

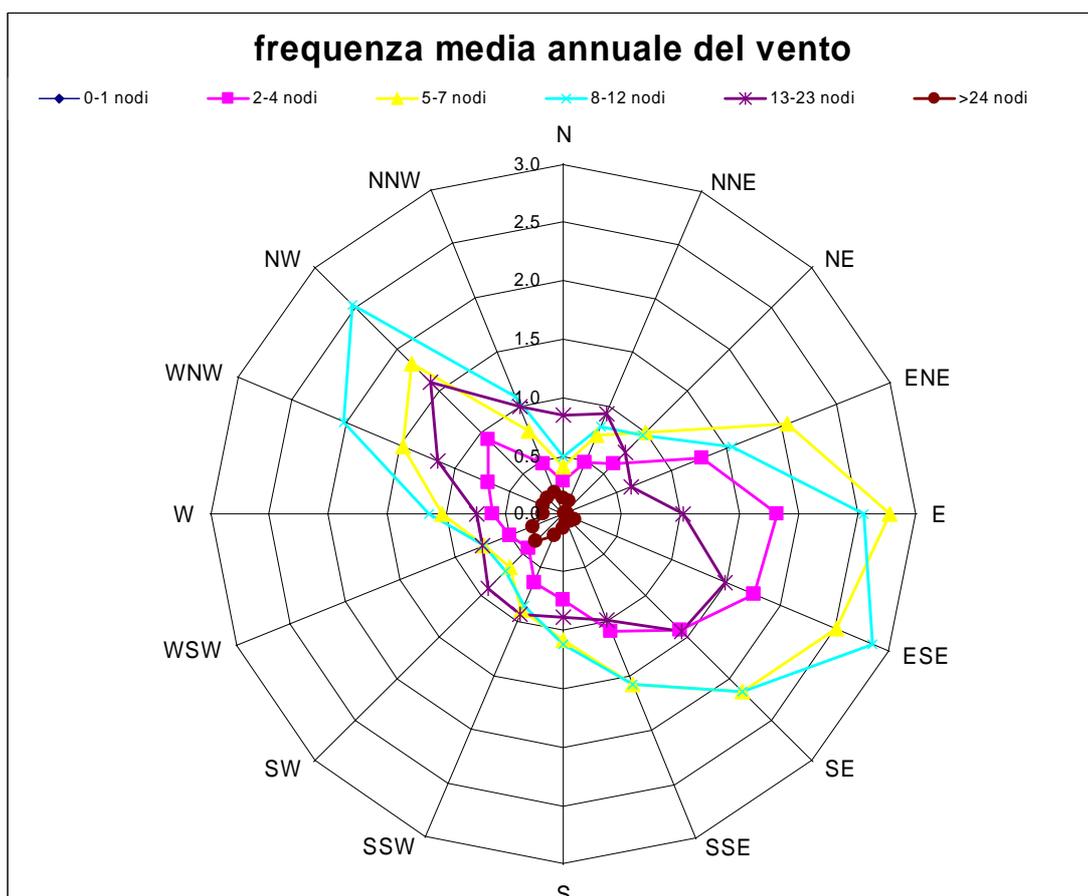


fig. 2.21 – Frequenze, intensità e direzioni medie annuali del vento (Enel-AM)

## 2.7 Definizione di una possibile opera di presa sommersa

La presenza di un sensibile ricircolo termico alla presa della centrale, già riscontrabile nella situazione attuale con due gruppi a carbone in esercizio e che potrebbe peggiorare in corrispondenza al futuro assetto dei gruppi, con l'aggiunta di un ciclo combinato, ha suggerito di valutare eventuali soluzioni alternative coerenti con le progettate modifiche al porto di Brindisi.

L'analisi condotta mediante il modello numerico ha da un lato confermato quanto sopra rilevato a proposito del ricircolo, soprattutto quando siano presenti condizioni di vento da NE (si veda il successivo capitolo 4), e dall'altro ha evidenziato la possibilità di sfruttare i dragaggi previsti per la costruzione del nuovo molo Enel per prelevare acqua più fredda in profondità. Infatti, come emerso dall'analisi dei casi 1 e 2 eseguiti in presenza del molo stesso, vi è disponibilità di acqua fredda ad una profondità superiore ai 10 m in prossimità della radice del molo stesso.

Si è pertanto ipotizzato di realizzare un'opera di presa sommersa, opportunamente dimensionata per poter usufruire della stessa vasca di carico e delle pompe attualmente in esercizio, posizionata in modo da non interferire con il movimento delle navi al molo, in modo da poter valutare gli eventuali benefici in termini di dispersione termica di una soluzione di questo tipo.

Gli studi di fattibilità e le verifiche di perdite idrauliche sono state condotte in modo da minimizzare il percorso, le perdite di carico e le modifiche strutturali che tale soluzione comporta.

La nuova opera di presa, mostrata in sezione in fig. 2.23 ed in pianta in fig. 2.24, si suppone costituita da 5 tubi in vetroresina di diametro 2 m e lunghezza 140 m. Tale lunghezza è conseguenza del fatto che non è consigliabile il minimo percorso dalla vasca al molo per non collocare le bocche di aspirazione nella zona di attracco, bensì esse si suppongono collocate nella banchina di costa in prossimità della radice del molo Enel. In tale zona il fondo è dragato a -12 m, ma si considera una quota minima di aspirazione non inferiore ai -10.5 m per evitare inconvenienti dovuti a sabbia o alghe presenti sul fondale.



fig. 2.22 - Frequenze ed intensità stagionali del vento (Regione Puglia)

I tubi devono convogliare una portata massima di  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , per cui si convogliano  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  per ogni tubo, corrispondenti ad una velocità media di  $2.5 \text{ m/s}$ .

Al fine di ridurre le perdite di carico e le velocità sia alla presa a mare che in vasca di carico si prevede di dotare le tubazioni di opportune espansioni alle estremità ed in particolare:

1. alla presa a mare ogni tubo si espande da  $2 \text{ m}$  a  $4 \text{ m}$  di diametro con quota inferiore, in corrispondenza dello sbocco sul mare, a  $-10.50 \text{ m s.l.m.}$  in modo da garantire un'ideale temperatura dell'acqua convogliata. In tal modo la velocità alla presa risulta essere di  $0.6 \text{ m/s}$ , valore accettabile nelle condizioni ipotizzate;
2. allo sbocco in vasca di carico invece, ogni tubo è caratterizzato da un diffusore di sezione rettangolare di altezza  $2 \text{ m}$  (coincidente col diametro del tubo) e larghezza  $4 \text{ m}$  con quota inferiore del diffusore pari a  $-3.35 \text{ m s.l.m.}$  La velocità con cui l'acqua entra nella vasca di carico risulta pari a  $1.0 \text{ m/s}$ . Questa espansione con cambiamento di forma è resa necessaria per non abbassare ulteriormente il livello minimo in vasca (fig. 2.25)

Con queste caratteristiche dell'opera di presa le perdite di carico  $\Delta H$  dell'opera di presa risultano stimabili in  $0.35 \text{ m}$ .

Tenendo presenti le attuali condizioni che influenzano l'aspirazione e cioè:

1. livello minimo bassa marea ( $Z_{\text{mare}}$ ) =  $-0.5 \text{ m s.l.m.}$

2. margine di sicurezza ( $\Delta H_{\text{sic}}$ ) = 0.5 m
3. diametro tubi ( $D_{\text{tubi}}$ ) = 2 m
4. altezza minima per appoggio tubi ( $\Delta H_{\text{appoggio}}$ ) = 0.10 m
5. perdite di carico idrauliche ( $\Delta H$ ) = 0.35 m

si ritiene che la nuova quota del fondo della vasca di carico ( $Z_{\text{fondo}}$ ) debba essere posta a quota  $-3.45$  m s.l.m.m. (anziché alla quota attualmente prevista di  $-2.30$  m s.l.m.m.) :

$$(Z_{\text{fondo}} = Z_{\text{mare}} - \Delta H_{\text{sic}} - D_{\text{tubi}} - \Delta H_{\text{appoggio}} - \Delta H = -3.45 \text{ m s.l.m.m.})$$

Le ulteriori modifiche strutturali che si renderebbero necessarie per poter operare con tale soluzione sono illustrate ancora in fig. 2.24, e prevedono in sostanza la chiusura della attuale bocca di aspirazione e lo spostamento delle griglie per consentire la collocazione delle espansioni dei tubi. Non sono viceversa previste modifiche alla posizione delle pompe.

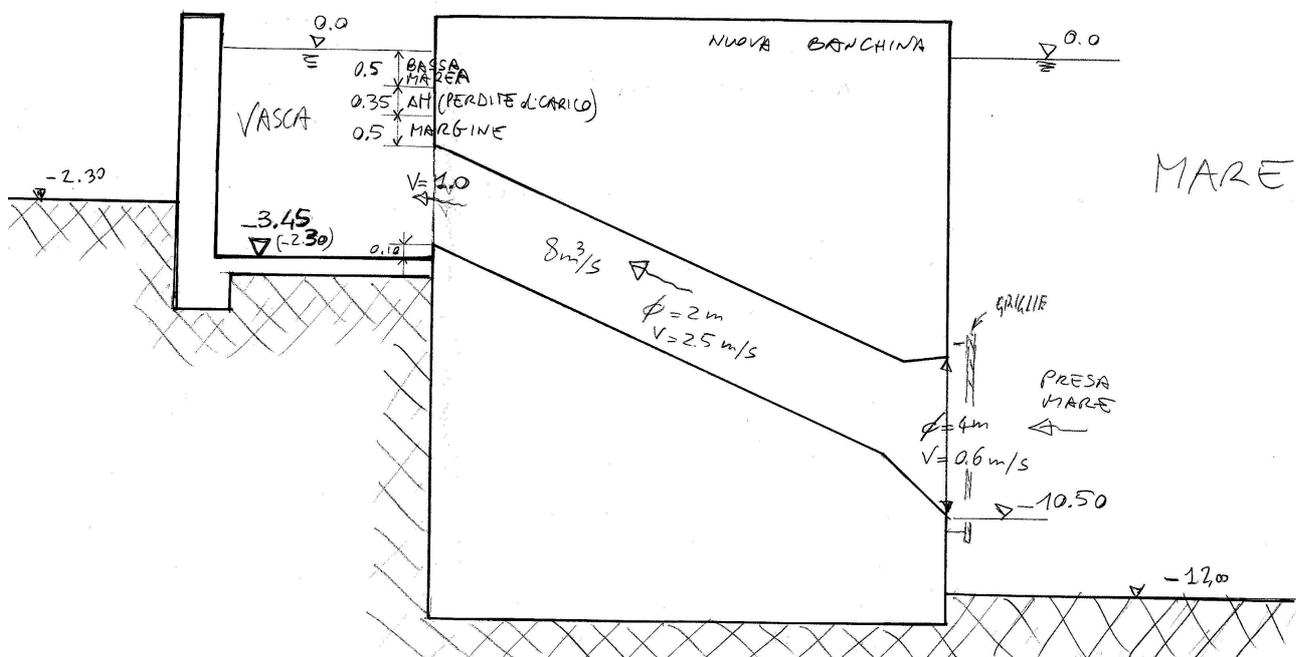


fig. 2.23 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Enel (sezione)

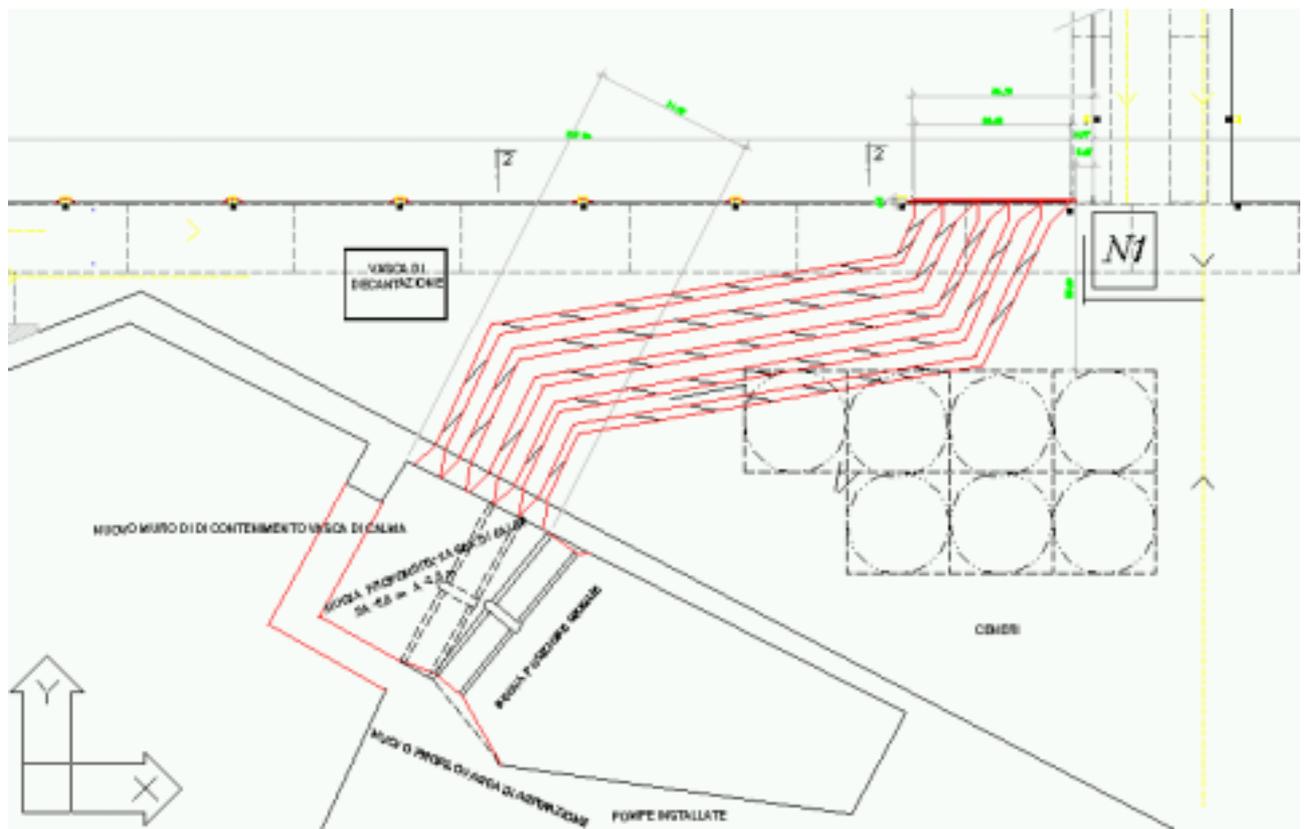


fig. 2.24 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Enel (pianta)

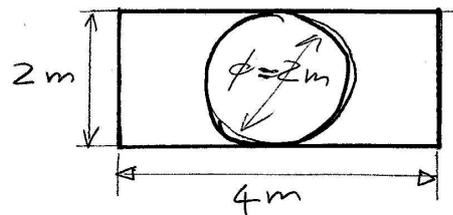


fig. 2.25 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Enel (dettaglio di espansione alla vasca di carico)

Una valutazione di questo tipo, tuttavia, presenta dal punto di vista realizzativo due aspetti sfavorevoli:

1. la necessità dello spostamento delle griglie nella vasca di carico, il che rappresenta un notevole onere anche perché richiederebbe una fermata prolungata della centrale stessa;
2. la collocazione della sezione di aspirazione alla radice del nuovo molo Enel vincola di fatto la possibile realizzazione di una tale presa sommersa alla realizzazione del molo stesso.

Di conseguenza è stata valutata una diversa soluzione, che prevede la collocazione della presa sommersa in un apposito cassone adiacente all'attuale molo di Costa Morena, in corrispondenza al collegamento con la nuova banchina di riva Enel. Tale soluzione ha il pregio di poter essere realizzata indipendentemente dal nuovo molo Enel ma, quando questo sia realizzato, si inserisce perfettamente nel progetto dello stesso; inoltre, non risulta più necessario lo spostamento delle griglie.

La soluzione ipotizzata è rappresentata in pianta in fig. 2.26. Potendo ora disporre di una maggiore profondità in corrispondenza della vasca di calma, si è optato per una soluzione con due tubi in vetroresina di diametro 3.2 m e lunghezza 220 m.

Come nella precedente soluzione, i tubi devono convogliare una portata di 40 m<sup>3</sup>/s (20 m<sup>3</sup>/s per ogni tubo, corrispondenti ad una velocità media di 2.5 m/s).

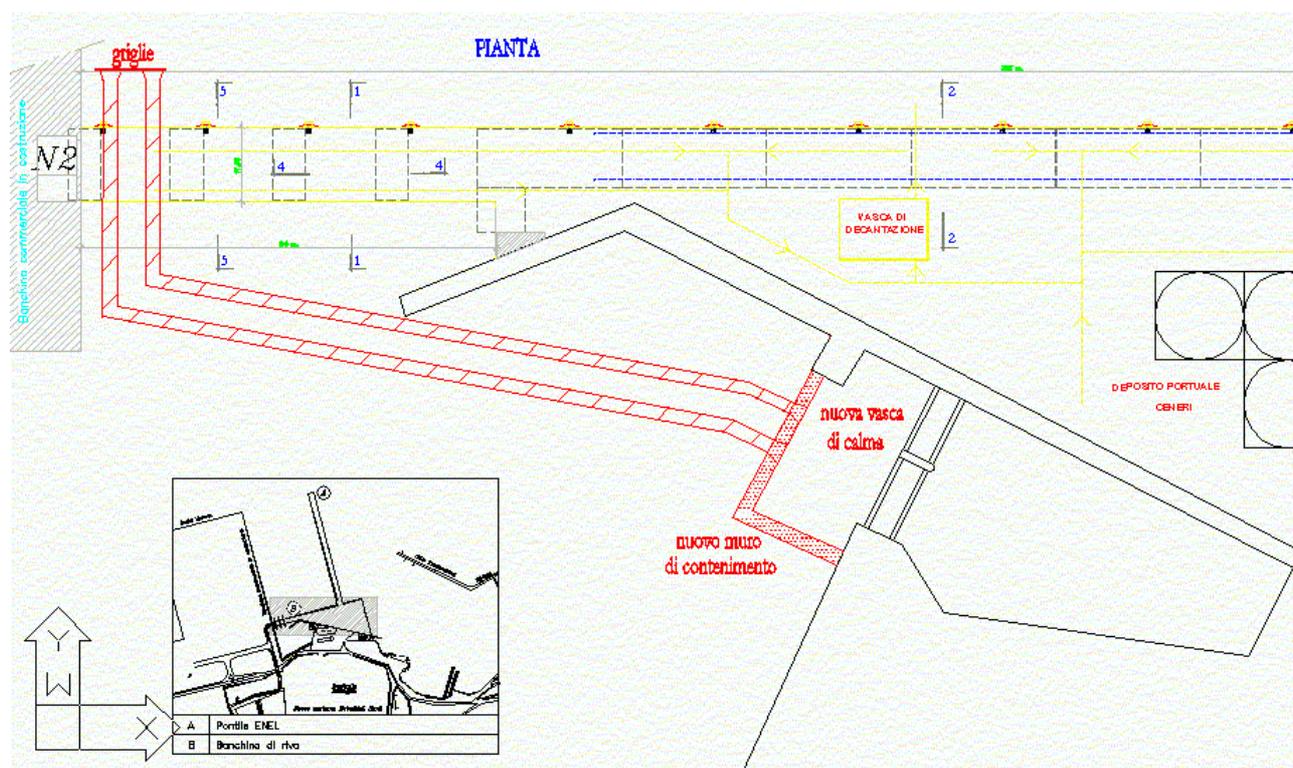


fig. 2.26 – Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Costa Morena (pianta)

Al fine di ridurre le perdite di carico e le velocità sia alla presa a mare che allo sbocco in vasca di carico si prevede di dotare le tubazioni di espansioni vale a dire :

- alla presa a mare ogni tubo si espande da 3.2 m a 5 m di diametro con quota inferiore, in corrispondenza dello sbocco sul mare, collocata a -11.0 m s.l.m.m. (almeno 1 m sopra la quota del fondale per evitare trasporto solido) così da garantire un'ideale temperatura dell'acqua convogliata. La velocità alla presa risulta essere di 1.0 m/s;
- allo sbocco in vasca di carico invece, ogni tubo è caratterizzato da un diffusore di sezione rettangolare di altezza 3.2 m (coincidente col diametro del tubo) e larghezza 6.15 m con quota inferiore del diffusore pari a -4.50 m s.l.m.m. La velocità con cui l'acqua entra nella vasca di carico risulta pari a 1.0 m/s.

Con queste caratteristiche dell'opera di presa le perdite di carico  $\Delta H$  dell'opera di presa risultano stimabili in 0.30 m, e quindi leggermente inferiori a quelle stimate per la precedente soluzione.

Tenendo presenti le attuali condizioni che influenzano l'aspirazione e cioè :

1. livello minimo bassa marea ( $Z_{\text{mare}}$ ) = -0.5 m s.l.m.m.
2. margine di sicurezza ( $\Delta H_{\text{sic}}$ ) = 0.5 m
3. diametro tubi ( $D_{\text{tubi}}$ ) = 3.2 m
4. altezza minima per appoggio tubi ( $\Delta H_{\text{appoggio}}$ ) = 0.10 m
5. perdite di carico idrauliche ( $\Delta H$ ) = 0.30 m

si ritiene che la nuova quota del fondo della vasca di carico ( $Z_{\text{fondo}}$ ) debba essere posta a quota -4.60 m s.l.m.m. (anziché alla quota attualmente prevista di -2.30 m s.l.m.m.) :

$$(Z_{\text{fondo}} = Z_{\text{mare}} - \Delta H_{\text{sic}} - D_{\text{tubi}} - \Delta H_{\text{appoggio}} - \Delta H = -4.60 \text{ m s.l.m.m.})$$

In fig. 2.27 è riportata la vista in sezione dell'opera di presa sommersa così definita.

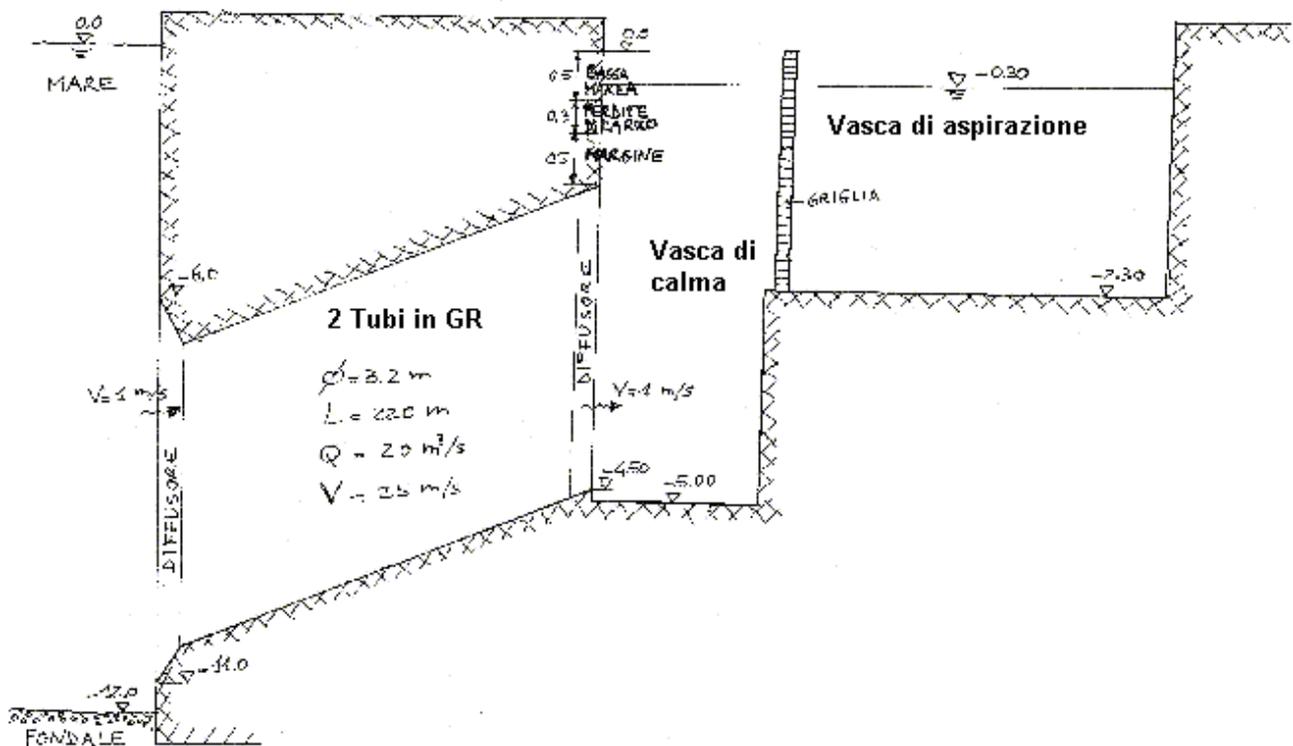


fig. 2.27 - Nuova opera di presa sommersa. Soluzione adiacente al molo Costa Morena (sezione)

### 3 Definizione del modello di simulazione numerica

#### 3.1 Cenni sulle caratteristiche del codice TRIMDI 3.0

Nel seguito si riassumono la teoria e i procedimenti numerici che sono alla base del codice di calcolo TRIMDI, sorvolando per brevità su tutti i dettagli matematici per i quali si rimanda a [21]. Il codice TRIMDI è adatto per simulare la dispersione del calore (o di inquinanti non reagenti) all'interno di corpi d'acqua a superficie libera (fiumi, laghi, mare).

Le ipotesi di base del modello sono le seguenti:

- Si assume che tutti gli scarichi e le opere di presa immettano o prelevino acqua con quantità di moto prevalentemente orizzontale, in modo che la componente verticale della forza d'inerzia risulti sempre trascurabile rispetto alla forza di gravità. Ciò ha come conseguenza che la distribuzione della pressione in direzione verticale segue la legge idrostatica;
- La variazione della densità dell'acqua, con la temperatura, è considerata solo nell'equazione del moto in direzione verticale (ipotesi di Boussinesq); ciò è sufficiente per la modellazione dei gradienti di pressione che danno origine alle forze di galleggiamento e quindi alle stratificazioni.

La componente verticale della velocità non è trascurata, sebbene sia supposta essere piccola rispetto a quelle orizzontali. Questo permette la simulazione della circolazione verticale dovuta al trascinamento orizzontale o ai gradienti di densità.

Le equazioni rappresentative del modello sono:

- l'equazione di bilancio della massa per fluidi incomprimibili:

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}} = 0$$

in cui si è indicato con  $\bar{\mathbf{u}}$  il vettore velocità e con  $\nabla$  l'operatore divergenza;

- l'equazione di bilancio della quantità di moto, scritta in forma vettoriale e mediata nei riguardi delle fluttuazioni turbolente:

$$\frac{\partial \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} + \bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla \bar{\mathbf{u}} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \frac{1}{\rho_0} \nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\tau}} + \frac{\rho}{\rho_0} \bar{\mathbf{g}}$$

dove  $\bar{\boldsymbol{\tau}}$  è il tensore degli sforzi di Reynolds,  $\rho_0$  la densità dell'acqua e  $p$  la pressione;

- per le ipotesi citate l'equazione di bilancio della quantità di moto nella direzione verticale  $z$  si riduce all'equazione dell'equilibrio idrostatico:

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\rho}{\rho_0} \mathbf{g} = 0$$

- l'equazione di bilancio della quantità di calore (o di una qualunque altra sostanza disciolta).

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla T = -\frac{1}{\rho_0 c_p} \nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\phi}}$$

in cui si è indicata con  $\bar{\boldsymbol{\phi}}$  il vettore dei flussi turbolenti, con  $c_p$  il calore specifico a pressione costante e  $T$  è la temperatura dell'acqua.

Gli sforzi di Reynolds che compaiono nelle equazioni della quantità di moto orizzontale vengono modellati con l'introduzione di termini viscosi turbolenti; in modo analogo vengono trattati i flussi di calore legati all'agitazione turbolenta che compaiono nell'equazione di bilancio termico.

$$\tau_{i,j} = \rho_0 \nu_e \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad ; \quad \phi_i = \rho_0 c_p \alpha_e \frac{\partial T}{\partial x_i}$$

dove  $\nu_e$  è la viscosità efficace (molecolare + turbolenta) e  $\alpha_e$  la diffusività efficace.

Un semplice modello di turbolenza, del quale si parlerà in seguito, lega la viscosità e la diffusività turbolente alla velocità locale. Viene inoltre introdotta l'equazione di stato del fluido che fa dipendere la densità dalla temperatura o dalla concentrazione della sostanza disciolta; questo consente di riprodurre i gradienti di densità caratteristici dei moti stratificati.

Le condizioni al contorno, tra cui quella sulla superficie libera rappresentata dalla ben nota condizione cinematica, completano la formulazione matematica. La condizione sulla superficie libera è così descritta:

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y}$$

in cui  $u$ ,  $v$  e  $w$  sono le tre componenti del vettore  $\bar{u}$  e  $\zeta$  è l'elevazione della superficie libera.

Per la trattazione numerica delle equazioni, si suddivide la regione di interesse in strati orizzontali mediante piani paralleli al piano  $x, y$ . Tutti gli strati hanno spessore costante, indipendente da  $x, y$  e dal tempo  $t$ , con esclusione dello strato superficiale, che è delimitato superiormente dalla superficie libera. Una prima discretizzazione si ottiene integrando le equazioni di base sull'altezza dei singoli strati e sostituendo, alle variabili in esse contenute, i loro valori medi su tale altezza. Se dunque  $L$  è il numero degli strati, le incognite del sistema, funzioni di  $x, y$  e  $t$  sono  $u_k, v_k, w_k$  (componenti della velocità),  $T_k$  (temperatura),  $p_k$  (pressione), per  $k=1, \dots, L$  e la funzione  $\zeta(x, y, t)$  quota della superficie libera. Le variabili ausiliarie  $\rho$  (densità),  $\nu$  (viscosità turbolenta) e  $\alpha$  (diffusività turbolenta) si ottengono poi direttamente dalle variabili principali. Per la soluzione numerica delle equazioni viene adottato uno schema alle differenze finite, che utilizza un sistema di tre griglie nel piano orizzontale sfalsate tra loro (staggered grid).

Il metodo di integrazione temporale è del tipo Crank-Nicolson implicito. La non linearità delle equazioni di base conduce ad un sistema di equazioni algebriche non lineari, la cui soluzione rende necessario il ricorso ad un ciclo iterativo interno ad ogni passo temporale. In particolare, quello adottato nel TRIMDI è una estensione del ben noto metodo SIMPLE.

Il modello di turbolenza si basa sul concetto di lunghezza di mescolamento che viene correlata con il passo spaziale locale del reticolo. I valori locali della viscosità e della diffusività, definiti dal modello di turbolenza, vengono poi ridotti in base al grado di stratificazione, misurato dal numero di Richardson locale, utilizzando le note relazioni semiempiriche.

Un ulteriore meccanismo riprodotto dal modello è lo scambio di calore con l'atmosfera attraverso la superficie libera dell'acqua. Questo fenomeno viene rappresentato, in forma linearizzata, per mezzo di un coefficiente di scambio il cui valore è stato oggetto di indagini sia teoriche che sperimentali. Maggiori dettagli sui diversi aspetti del modello numerico accennati in precedenza possono essere tratti da [22], [23], [24], [25], [26].

La procedura di simulazione numerica utilizzata nel presente studio è già stata ampiamente utilizzata allo scopo di analizzare problemi connessi a scarichi termici da impianti termoelettrici, anche in zone portuali [27], [28], [29], [30].

### 3.2 Caratteristiche del modello numerico

Per la simulazione numerica è stato utilizzato un modello matematico tridimensionale implementato con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI, le cui caratteristiche di modellazione sono state riassunte nel precedente paragrafo. 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.

I risultati ottenuti nelle diverse simulazioni numeriche eseguite sono poi stati esaminati e valutati attraverso strumenti di post processamento grafici ad analitici 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.

#### 3.2.1 Il dominio di calcolo

L'analisi delle alterazioni termiche causate dalla presenza dello scarico è stata svolta eseguendo la simulazione numerica in tutti gli scenari definiti al paragrafo 2.1, nelle condizioni a pieno carico corrispondenti all'assetto della centrale per ciascuno di essi.

I diversi scenari, tuttavia, considerano diverse configurazioni relative alle opere portuali, che si riconducono a tre diverse situazioni:

1. *situazione attuale*. Tale situazione è stata considerata allo scopo di avere un riferimento che, nella attuale configurazione portuale, prefiguri la situazione di alterazione termica e di eventuale ricircolo attualmente esistente. Il corrispondente modello di calcolo è stato utilizzato, sempre con riferimento agli scenari di paragrafo 2.1, per la simulazione numerica dei casi 3 e 4;
2. *situazione futura*. E' la situazione che analizza le condizioni di alterazione termica e di eventuale ricircolo che verranno a realizzarsi in presenza delle nuove opere portuali e nel nuovo assetto della centrale. Il corrispondente modello di calcolo è stato utilizzato, sempre con riferimento agli scenari di paragrafo 2.1, per la simulazione numerica dei casi 1 e 2;
3. *situazione futura con presa sommersa*. E' la situazione che analizza le condizioni di alterazione termica e di eventuale ricircolo che verranno a realizzarsi in presenza delle nuove opere portuali e nel nuovo assetto della centrale, nell'ipotesi di considerare la presa della centrale collocata ad una certa profondità rispetto all'opera

attuale, come ipotizzato nel paragrafo 2.7. Il corrispondente modello di calcolo è stato utilizzato, sempre con riferimento agli scenari di paragrafo 2.1, per la simulazione numerica del caso 5.

Di conseguenza, è stato necessario predisporre per ciascuna simulazione un dominio di calcolo opportunamente strutturato, allo scopo di meglio approssimare i fenomeni di dispersione. Tuttavia, allo scopo di poter effettuare confronti tra le diverse situazioni, i corrispondenti reticoli di calcolo hanno mantenuto le stesse dimensioni del dominio e la medesima struttura verticale.

Pertanto, il dominio di calcolo considerato in tutti i casi ha un'estensione planimetrica di  $6000 \times 5000 \text{ m}^2$ , pari a  $30 \text{ km}^2$ , per una profondità massima di 25 m. Esso è stato discretizzato nella direzione verticale in 15 strati orizzontali sovrapposti le cui caratteristiche sono riportate nella tab. 3.1. La tabella riporta, per ogni strato, 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 gli scarichi e le prese attuali, mentre il simbolo ◆ indica le quote a cui è posizionata, nel caso 5, la presa sommersa.

La dimensione dei vari strati in cui viene suddiviso il dominio di calcolo in direzione verticale è stata determinata considerando l'altezza dei diversi scarichi, la profondità delle prese 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 degli scarichi;
- 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 nel piano, l'area di interesse è stata discretizzata con  $148 \times 133$  celle. La griglia di calcolo, di cui in fig. 3.1 è riprodotta la vista prospettica, è costituita complessivamente da circa 295260 celle per un totale pari a circa 1500000 incognite di calcolo. Escludendo le celle di terra, il campo termico ed il campo di moto vengono calcolati in un totale di 167922 nodi di calcolo appartenenti ad un totale di 146176 elementi. Le zone in prossimità degli scarichi e delle prese, così come quelle in prossimità delle nuove opere 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 rappresentare la complessa geometria delle strutture e per ottenere una valutazione più accurata dei fenomeni fisici che in queste zone hanno luogo.

### 3.2.2 Parametri fisici, condizioni iniziali e condizioni al contorno

In base alle considerazioni esposte nel capitolo 2, i diversi casi considerati nello studio sono stati eseguiti nelle stesse condizioni di intensità e direzione della corrente marina, modificando di volta in volta le condizioni di esercizio, la temperatura ambientale e le condizioni di vento.

L'insieme dei parametri fisici, da cui dipendono le condizioni al contorno utilizzate per la simulazione numerica, risulta perciò caratterizzato come segue:

1. condizioni invernali di temperatura pari a  $11.9 \text{ }^\circ\text{C}$ , e condizioni estive di temperatura pari a  $23.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
2. condizioni di salinità di  $37.2 \text{ g/l}$  per il periodo invernale e di  $38.2 \text{ g/l}$  per quello estivo;
3. corrente ambientale diretta verso NNW, di intensità pari a  $0.1 \text{ m/s}$ ;
4. vento proveniente da NE, di intensità pari a 10 nodi, e calma di vento;
5. condizioni di medio mare.

Gli altri parametri fisici imposti nei calcoli sono riportati in tab. 3.2.

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 al contorno assegnate nei vari casi sono invece riportate in tab. 3.3. Le simulazioni, a partire dalle condizioni iniziali di quiete, sono state fatte proseguire fino a 15 giorni di tempo reale, in modo da garantire la condizione di stazionarietà del campo di temperatura; ove tale condizione non fosse ritenuta sufficientemente stabilizzata, la simulazione è stata estesa a 20 giorni.

Infine occorre osservare che i reticoli di calcolo sono stati generati ottimizzando le condizioni di scarico, e quindi orientando il sistema di riferimento in modo da avere l'asse  $y$  parallelo allo scarico e l'origine al centro della sezione di scarico stessa. Pertanto le condizioni di vento e corrente sono state date in tale sistema di riferimento, con opportune componenti, considerando l'orientamento del sistema stesso rispetto al Nord geografico, come mostrato in fig. 3.2.

tab. 3.1 – Caratteristiche degli strati verticali

K	$\Delta Z$ (m)	Z (m)	Z <sub>m</sub> (m)	Scarico centrale	Presca centrale	Scarico Policen.	Presca esistente
		0.00					
15	0.20	-0.20	-0.1	●	●	●	●
14	0.26	-0.46	-0.23	●	●	●	●
13	0.46	-0.92	-0.69	●	●	●	●
12	0.58	-1.5	-1.21	●	●	●	●
11	0.5	-2.00	-1.75	●	●		●
10	0.89	-2.89	-2.445				●
9	1.25	-4.14	-3.515				
8	1.70	-5.84	-4.990				
7	1.80	-7.64	-6.740		◆		
6	1.86	-9.5	-9.570		◆		
5	2.00	-11.5	-10.500		◆		
4	2.50	-14.00	-12.750				
3	4.00	-18.00	-16.000				
2	4.00	-22.00	-20.000				
1	3.00	-25.00	-23.500				

tab. 3.2 - 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. 3.3 – Sintesi delle condizioni al contorno imposte

<i>Lato ingresso corrente costiera</i>	<i>Situazione attuale</i>	<i>Situazione futura</i>	<i>Situazione futura con presa sommersa</i>
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.1	0.1	0.1
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.06	0.06	0.06
Temperatura acqua (T) [°C]	11.9	11.9 (23.8) <sup>(3)</sup>	11.9
<i>Lato uscita corrente costiera</i>			
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.15	0.15	0.15
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.09	0.09	0.09
Temperatura acqua (T) [°C]	11.9 <sup>(1)</sup>	11.9 (23.8) <sup>(1,3)</sup>	11.9 <sup>(1)</sup>
<i>Lato mare aperto</i>			
Gradiente normale di u [s-1]	0.0	0.0	0.0
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.0	0.0	0.0
Gradiente norm. di T [°C/m]	0.0	0.0	0.0
<i>Lato della linea di costa</i>			
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.0	0.0	0.0
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.0	0.0	0.0
Gradiente norm. di T [°C/m]	0.0	0.0	0.0
<i>Scarico Policentrica Ovest</i>			
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.	0.	0.
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.4836 <sup>(2)</sup>	0.34018 <sup>(2)</sup>	0.34018 <sup>(2)</sup>
Temperatura acqua (T) [°C]	17.9	17.9 (29.8) <sup>(3)</sup>	17.9
<i>Presa adiacente Molo Canale</i>			
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.47057 <sup>(2)</sup>	0.47057 <sup>(2)</sup>	0.47057 <sup>(2)</sup>
Gradiente normale di v [s-1]	0.0	0.0	0.0
Gradiente norm. di T [°C/m]	0.0	0.0	0.0
<i>Scarico Brindisi Nord</i>			
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.525 <sup>(2)</sup>	0.7775 <sup>(2)</sup>	0.7775 <sup>(2)</sup>
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.0	0.0	0.0
Temperatura acqua (T) [°C]	21.9	22.06 (33.96) <sup>(3)</sup>	22.06
<i>Presa Brindisi Nord</i>			
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.3 <sup>(2)</sup>	0.4443 <sup>(2)</sup>	0.785 <sup>(2)</sup>
Gradiente normale di v [s-1]	0.0	0.0	0.0
Gradiente norm. di T [°C/m]	0.0	0.0	0.0

- (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 e presa si è utilizzata l'usuale algebra vettoriale a partire dai valori assoluti di velocità assunti normali alle sezioni di flusso.
- (3) Tra parentesi, la temperatura in condizioni estive

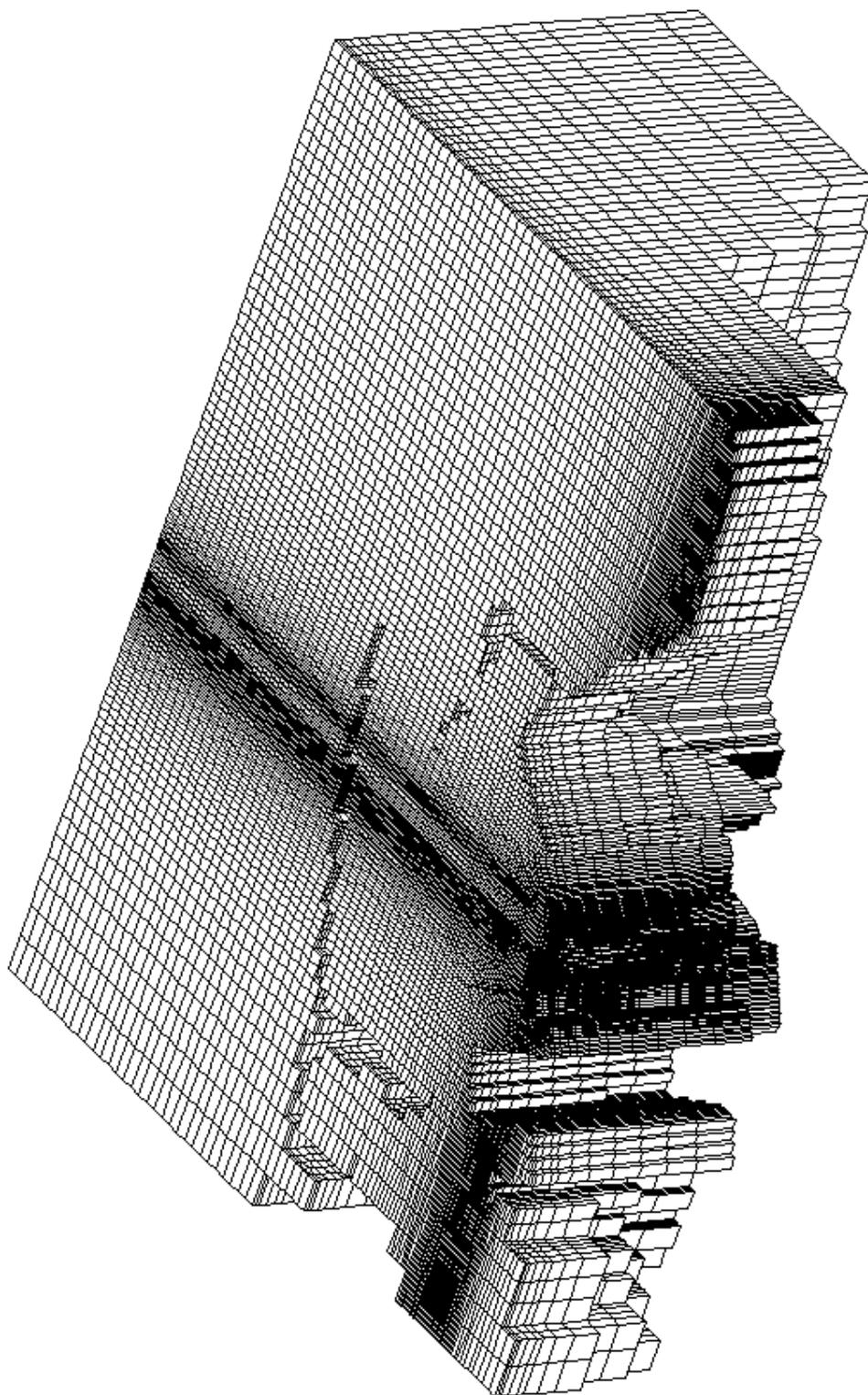


fig. 3.1 - Vista prospettica del reticolo di calcolo per la situazione futura

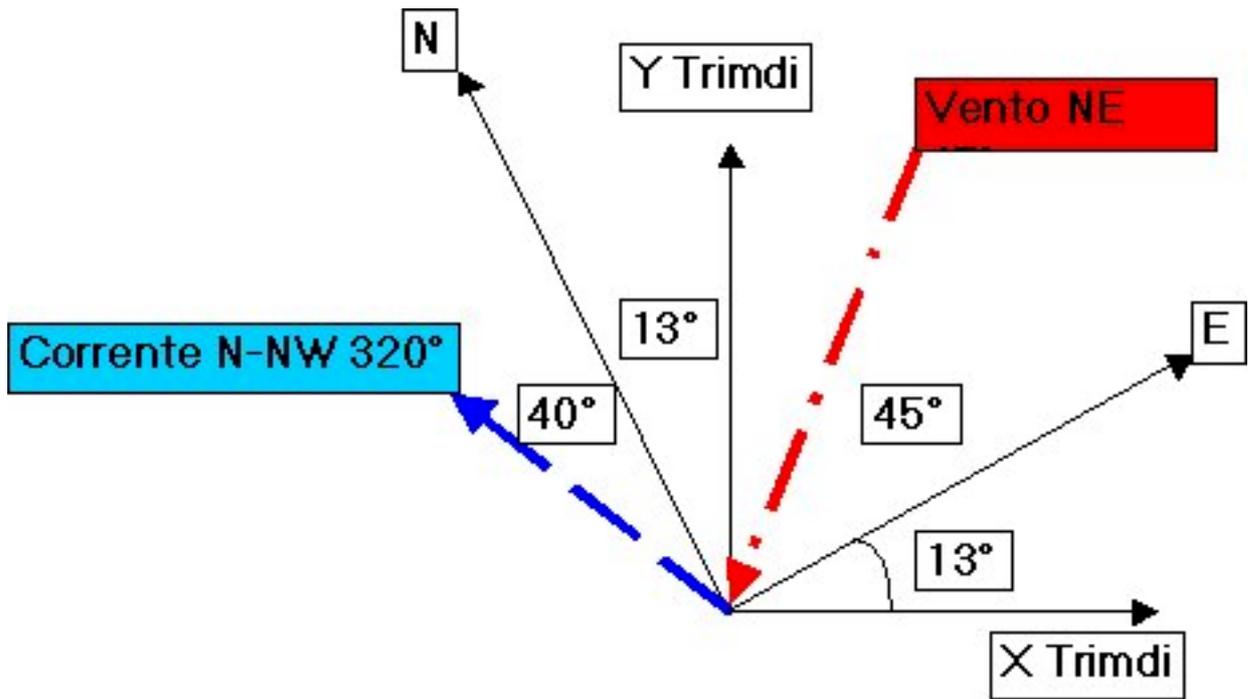


fig. 3.2 – Orientamento del sistema di riferimento del reticolo rispetto al Nord geografico

## 4 Analisi dei risultati

### 4.1 Considerazioni generali

I risultati relativi a ciascuno dei casi considerati nello studio sono stati analizzati sia graficamente sia mediante il modulo di post processamento dei risultati per estrarre l'insieme delle informazioni atte a caratterizzare esaurientemente le condizioni di scarico e dell'intera zona di mare da esso interessata. In particolare, per ogni caso sono stati riprodotti:

- 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;
- i campi di moto in superficie, allo scopo di valutare l'effetto del nuovo molo Enel e delle opere previste nel progetto di ristrutturazione;

Allo scopo poi di valutare l'eventuale presenza di ricircolo termico alla presa della centrale di Brindisi Nord, sono stati calcolati i flussi termici ed è stato riportato l'eventuale sovrizzo termico calcolato dal codice TRIMDI. Analoga valutazione è stata fatta all'imbocco della presa adiacente il Molo Canale.

Infine per ogni caso è stata fatta la valutazione del sovrizzo termico per l'arco a 1000 m secondo la metodologia prevista dalla legge [2].

### 4.2 Caso 1 – Situazione futura in presenza di vento

#### 4.2.1 Caratteristiche del calcolo

Il caso 1, denominato "Situazione futura in presenza di vento", rappresenta di fatto la situazione prevista per il funzionamento futuro, con la centrale in assetto a due gruppi a carbone, con una portata scaricata complessiva di 21 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10 °C più un ciclo combinato con una portata di 10.1 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10.5 °C. Per quanto riguarda le opere portuali, vengono considerate tutte le opere previste per il porto compreso il nuovo molo Enel, il molo Montecatini è considerato nella sua forma attuale, sono considerati tutti i dragaggi previsti ed infine l'opera di presa della Polimeri Europa adiacente il molo Canale è considerata nella sua attuale posizione mentre lo scarico Policentrica Ovest, situato nella zona di interrimento che realizza l'area industriale viene considerato spostato fino al limite della stessa zona di interrimento.

Il reticolo di calcolo utilizzato in questo caso è mostrato in fig. 4.1, mentre in fig. 4.2 è riportato il dettaglio dello stesso in corrispondenza delle opere di scarico e presa.

#### 4.2.2 Caso estivo

Questo caso è stato eseguito, nelle condizioni future di assetto della centrale e del porto, nelle condizioni tipiche estive per quanto riguarda le condizioni meteomarine, allo scopo di poter analizzare l'effetto delle modifiche progettuali in queste condizioni.

Il caso assume infatti che sia presente una condizione di vento da NE, di intensità pari a 10 nodi, tale da esercitare uno sforzo sulla superficie del pennacchio diretto verso il molo attuale di Costa Morena e verso la presa della centrale; di fatto, questa condizione ambientale tende a mantenere l'acqua calda in prossimità della parte interna della darsena, così che si realizzano condizioni di massimo ricircolo termico in corrispondenza della presa della centrale. Questa situazione potrebbe invece favorire l'aspirazione di acqua superficiale più fredda in corrispondenza della presa adiacente il molo Canale.

Le condizioni di temperatura considerate per l'acqua di mare corrispondono alle condizioni medie estive riscontrate per il sito (si veda il paragrafo 2.6) e pari a 23.8 °C.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.3 alla fig. 4.6, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.3 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, l'effetto concomitante della corrente e soprattutto del vento tende ad ostacolare la dispersione del pennacchio. L'area calda, caratterizzata da differenze di temperatura superiori ai 3 °C, si localizza sostanzialmente tra l'attuale molo Costa Morena, il molo Montecatini e la zona dello scarico e della presa della centrale, assorbendo completamente lo scarico Policentrica Ovest, di modesta entità. La presenza del nuovo molo Enel tende a deviare il pennacchio caldo verso la zona esterna del porto ed a "schermare" la presa della centrale, ma l'effetto del vento finisce comunque per prevalere e spingere parte del

pennacchio caldo stesso nella zona tra il molo Costa Morena e il nuovo molo Enel; il pennacchio caldo finisce per interessare in parte anche l'imbocco del porto Medio. La forte presenza di acqua ancora piuttosto calda in superficie in corrispondenza della zona della presa della centrale, determina di conseguenza una situazione di forte ricircolo termico. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, si ha un sovrizzo di temperatura in superficie dell'ordine di  $1.5 \div 2.0$  °C, sempre rispetto alla temperatura del mare imperturbata;

- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.4, l'andamento è sostanzialmente lo stesso del campo superficiale, con un lieve restringimento dell'area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C, con un valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale intorno ai 26 °C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 2.25 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 12.4 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti il persistere del pennacchio caldo nella zona dello scarico favorisce l'estendersi del pennacchio caldo anche nella direzione verticale, in quanto il vento ne riduce la dispersione. L'elevato valore di sovrizzo termico allo scarico indotto dalla presenza di un forte ricircolo può portare, dal momento che queste condizioni di vento si manifestano in condizioni estive, al superamento del limite di 35 °C allo scarico. Inoltre, l'isoterma a + 3 °C raggiunge i 1000 m dal punto di scarico, ma per il calcolo dei limiti di legge occorre riferirsi al punto freddo sull'arco e non alla temperatura imperturbata, per cui il rispetto o meno di tali limiti verrà valutato correttamente nel successivo paragrafo 4.2.5. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, il sovrizzo di temperatura medio è ancora compreso tra 1.5 °C ed 2.0 °C;
- c. è stata poi fatta una analisi, mostrata in fig. 4.5, del campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale. E' immediato constatare come in corrispondenza della presa si ha l'aspirazione di acqua ad una temperatura superiore di almeno 1.5 °C rispetto alla temperatura dell'acqua fredda del fondo, anche se la parte più calda del pennacchio in questa zona rimane in prossimità del molo Costa Morena;
- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.6 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso. Infatti la circolazione calda generata dallo scarico viene di fatto deviata, per la presenza del molo Montecatini e l'effetto concomitante del vento, verso l'attuale molo Costa Morena, aggirando di fatto il nuovo molo Enel. L'effetto di richiamo esercitato dalla presa adiacente il molo Canale coinvolge così acqua già abbastanza fredda perché proveniente da aree di mare meno interessate dal pennacchio caldo, con la formazione di un ampio vortice, ma a bassi valori di velocità, tra il molo Montecatini, l'area interrata e lo sbarramento delle Pedagne. Viceversa, la presa della centrale richiama acqua direttamente dalla zona di scarico, soprattutto negli strati superficiali, questo andamento giustifica ancora una volta la presenza di un forte effetto di ricircolo verso la presa della centrale.

Nel successivo paragrafo 4.2.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.2.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge[2].

### 4.2.3 Caso invernale

Questo caso è stato eseguito, nelle condizioni future di assetto della centrale e del porto, nelle condizioni tipiche invernali per quanto riguarda le condizioni meteomarine, allo scopo di poter analizzare l'effetto delle modifiche progettuali in queste condizioni.

Il caso assume infatti che sia ancora presente una condizione di vento da NE, di intensità pari a 10 nodi, tale da esercitare uno sforzo sulla superficie del pennacchio diretto verso il molo attuale di Costa Morena e verso la presa della centrale; di fatto, questa condizione ambientale tende a mantenere l'acqua calda in prossimità della parte interna della darsena, così che si realizzano condizioni di massimo ricircolo termico in corrispondenza della presa della centrale. Le condizioni invernali poi accentuano in generale tale aspetto a causa della maggior spinta al galleggiamento dovuta alla maggior densità dell'acqua fredda.

Le condizioni di temperatura considerate per l'acqua di mare corrispondono alle condizioni medie invernali riscontrate per il sito (si veda il paragrafo 2.6) e pari a 11.9 °C.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.7 alla fig. 4.10, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.7 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, l'effetto concomitante della corrente e soprattutto del vento tende ad ostacolare la dispersione del pennacchio. L'area calda, caratterizzata da differenze di temperatura superiori ai 3 °C, si localizza ancora tra l'attuale molo Costa Morena, il molo Montecatini e la zona dello scarico e della presa della centrale, ma ora le condizioni invernali determinano una maggior estensione di tale area, in quanto aumenta la spinta al galleggiamento del pennacchio stesso per effetto della aumentata differenza di

densità e diminuisce per lo stesso motivo il miscelamento turbolento con acqua fredda; inoltre occorre tenere presente che il raffreddamento dovuto allo scambio termico con l'atmosfera è proporzionale alla differenza di temperatura tra l'aria sovrastante e la superficie del mare, e non dipende dal valore assoluto della temperatura dell'aria. Rispetto alle condizioni estive (punto (a) del precedente paragrafo 4.2.2), si ha un maggior riscaldamento della zona di presa, una maggior intrusione del pennacchio anche nel Porto Medio ed un sovrizzo termico alla presa adiacente il molo Canale più alto di circa 0.5 °C rispetto alla situazione estiva stessa;

- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.8, l'andamento è sostanzialmente lo stesso del campo superficiale, con un lieve restringimento dell'area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C, con un valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale intorno ai 14.8 °C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 2.9 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 13.1 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. Anche in questo caso, come nella condizione estiva (punto (b) del precedente paragrafo 4.2.2), l'isoterma a + 3 °C raggiunge i 1000 m dal punto di scarico, ma per il calcolo dei limiti di legge occorre riferirsi al punto freddo sull'arco e non alla temperatura imperturbata, per cui il rispetto o meno di tali limiti verrà valutato correttamente nel successivo paragrafo 4.2.5. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, il sovrizzo di temperatura medio è ora compreso tra 2.0 °C ed 2.5 °C;
- c. è stata poi fatta una analisi, mostrata in fig. 4.9, del campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale. E' immediato constatare come in corrispondenza della presa si ha ancora l'aspirazione di acqua ad una temperatura superiore di almeno 1.5 °C rispetto alla temperatura dell'acqua fredda del fondo, in modo molto simile a quanto già riscontrato in condizioni estive (punto (c) del precedente paragrafo 4.2.2), ed anche in questo caso la parte più calda del pennacchio rimane in prossimità del molo Costa Morena. Si può concludere che la dipendenza delle condizioni di aspirazione dalle condizioni stagionali di temperatura non è particolarmente rilevante;
- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.10 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso, e di fatto non si discosta in maniera sensibile da quello rilevato in condizioni estive, per cui valgono le medesime considerazioni sviluppate al punto (e) del precedente paragrafo 4.2.2.

Nel successivo paragrafo 4.2.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.2.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge[2]

#### **4.2.4 Analisi dei flussi termici e del ricircolo**

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle elaborazioni sui risultati ottenuti dal calcolo col fine di determinare i flussi termici nell'intero dominio di calcolo e l'eventuale ricircolo di acqua dallo scarico alla presa.

Per quanto riguarda i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tab. 4.1, nella quale appaiono le quote percentuali dei flussi termici che vengono dispersi verso i contorni e verso l'atmosfera. Inoltre sono anche riportate le quote di ricircolo termico, in termini percentuali, allo scopo di individuare potenziali situazioni critiche.

La somma delle colonne relative al contorno, all'atmosfera e alla presa adiacente al molo Canale è relativa al flusso di calore totale che lascia il sistema e quindi corrisponde al calore totale immesso nel sistema dagli scarichi del Porto Esterno, e tiene conto del fatto che parte dall'aspirazione di quest'ultima viene scaricata mediante opere esterne al porto stesso; le percentuali riportate nella colonna relativa al ricircolo sulla presa della centrale rappresentano la frazione del calore immesso che rimane nel sistema per effetto del ricircolo stesso.

E' evidente come nel caso 1 la presenza di vento comporta una alta efficacia dello scambio termico con l'atmosfera, pur riducendosi l'area superficiale di scambio.

La presa della centrale presenta un flusso termico maggiore nelle condizioni invernali rispetto a quelle estive, a causa del maggior galleggiamento del pennacchio caldo in queste condizioni. Per quanto riguarda il ricircolo di acqua dallo scarico alla presa della centrale, si nota in generale la presenza di un ricircolo termico, la cui entità è comunque legata alle condizioni meteorologiche e marine presenti.

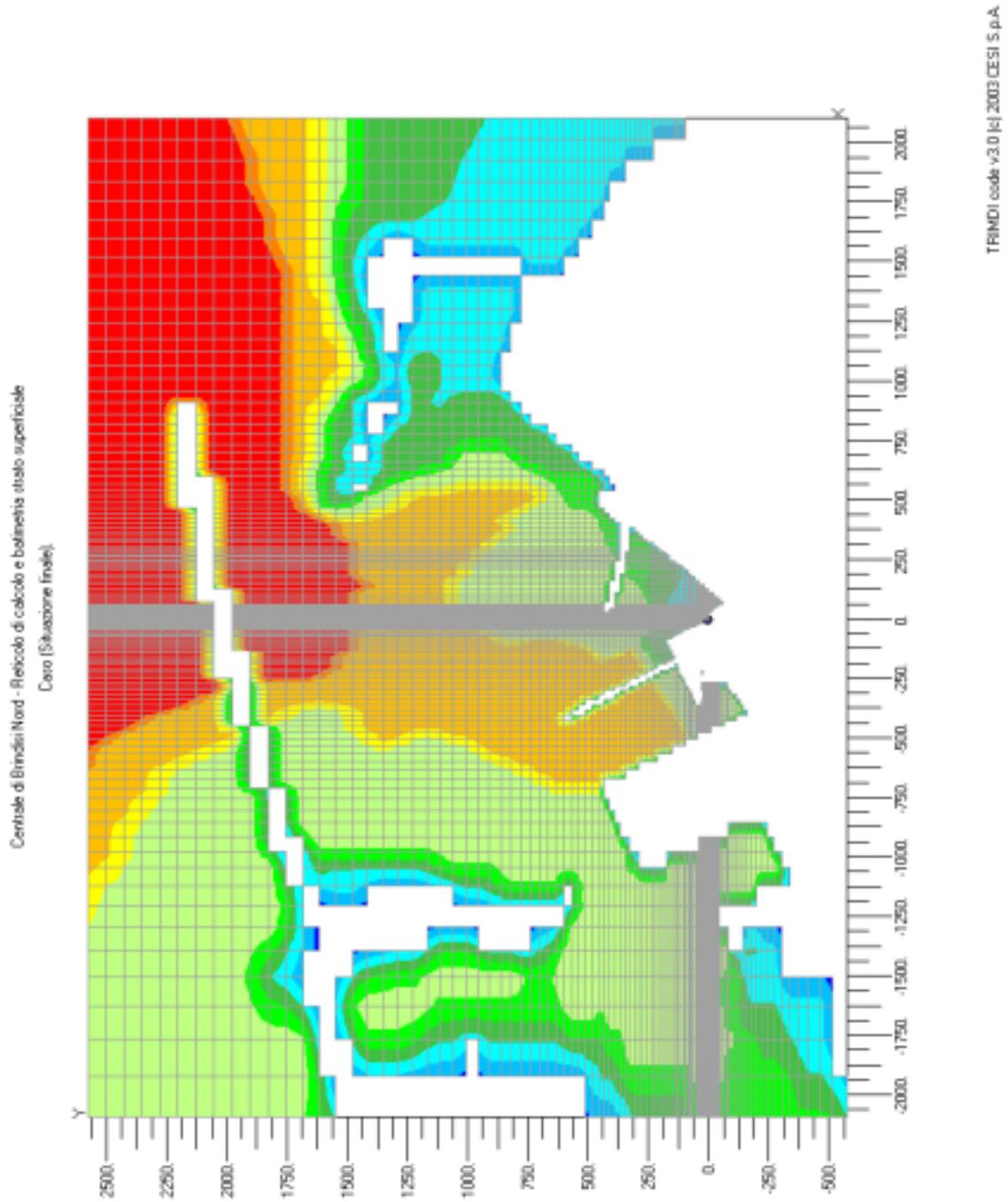
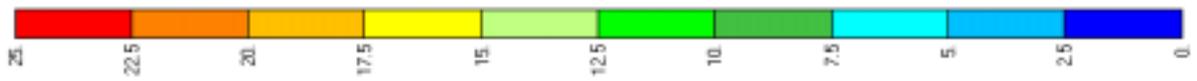


fig. 4.1 – Caso 1. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m)

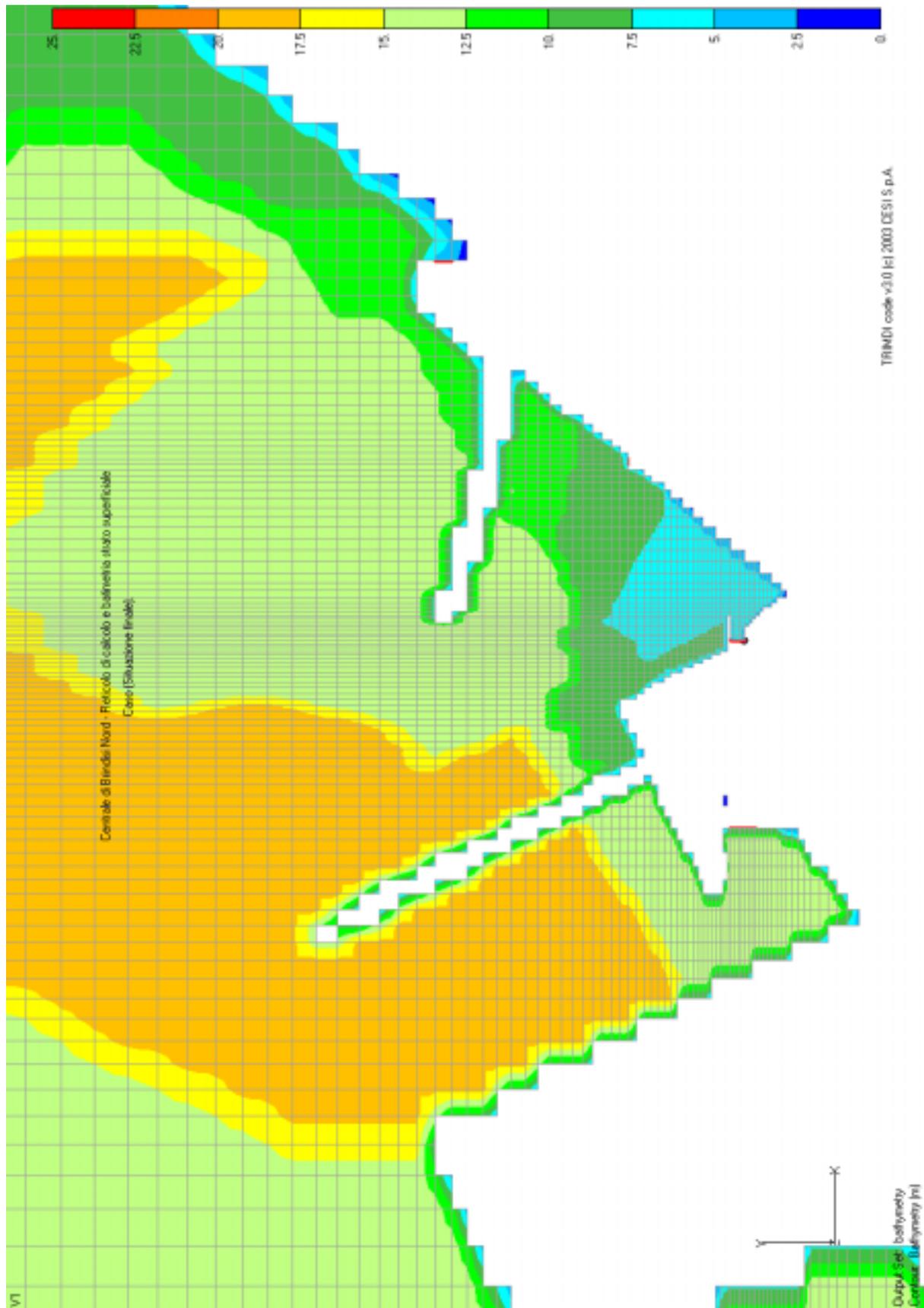
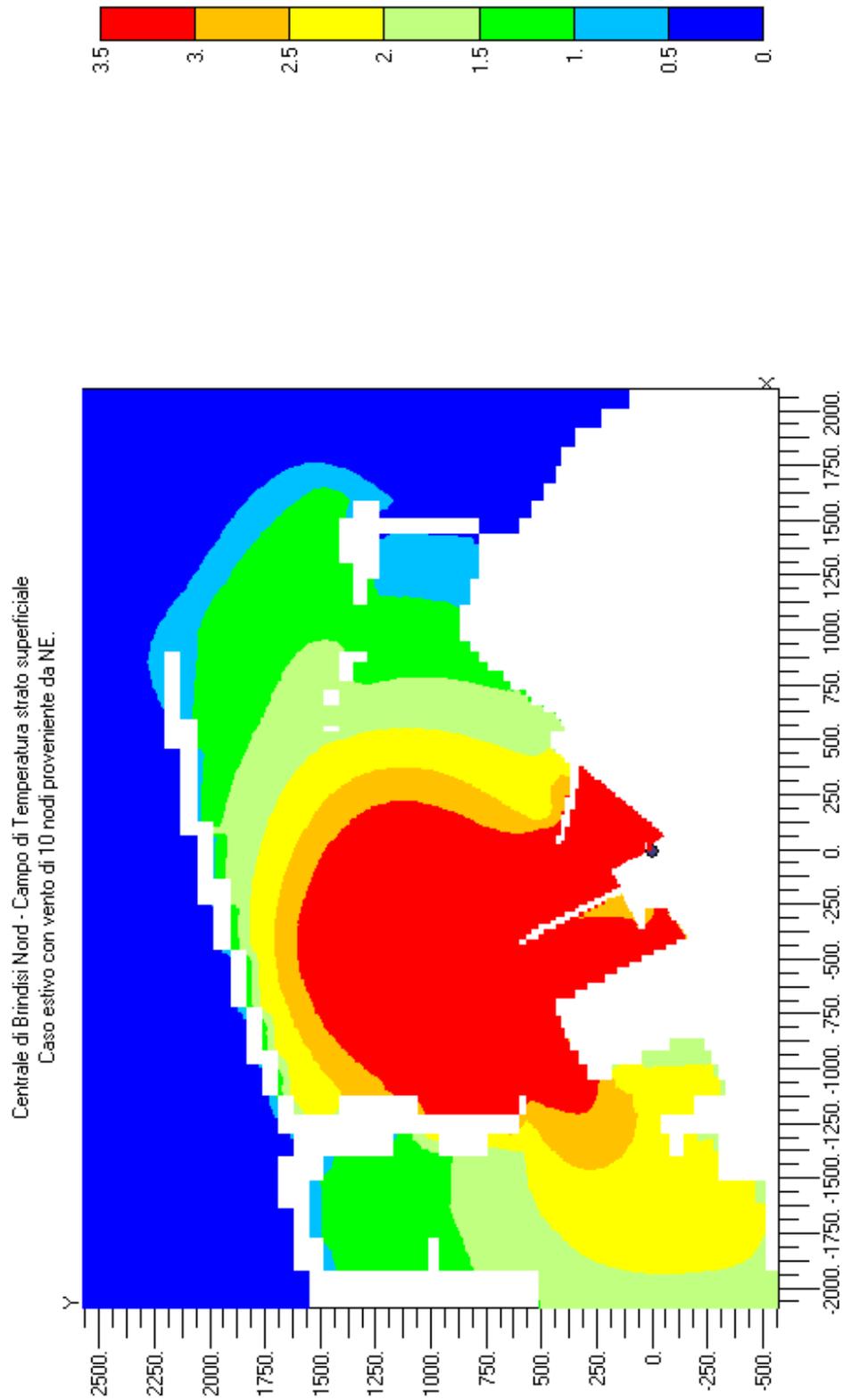
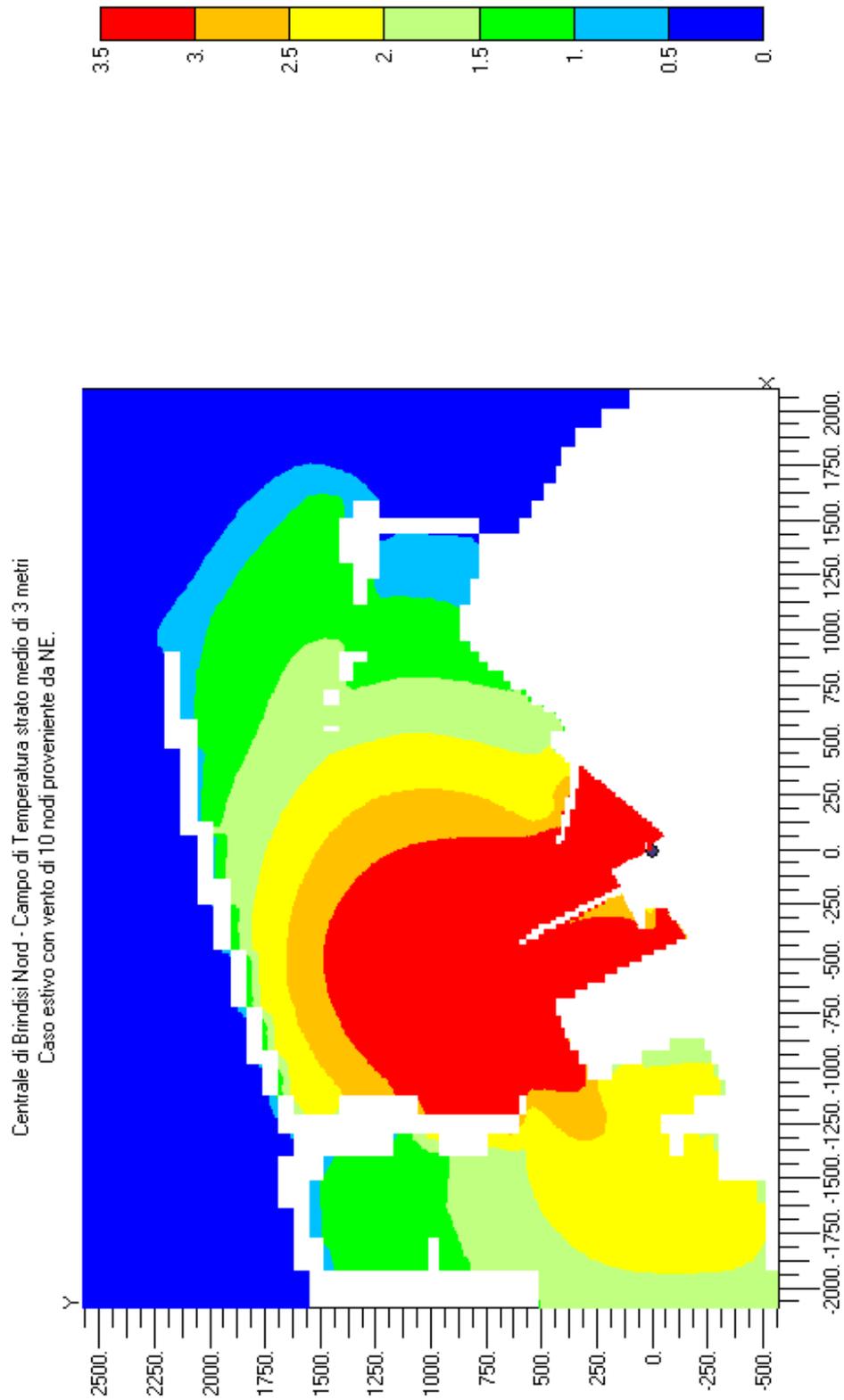


fig. 4.2 – Caso 1. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m)



TRIMIDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.3 – Caso 1 estivo. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)



TRIMIDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.4 - Caso 1 estivo. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

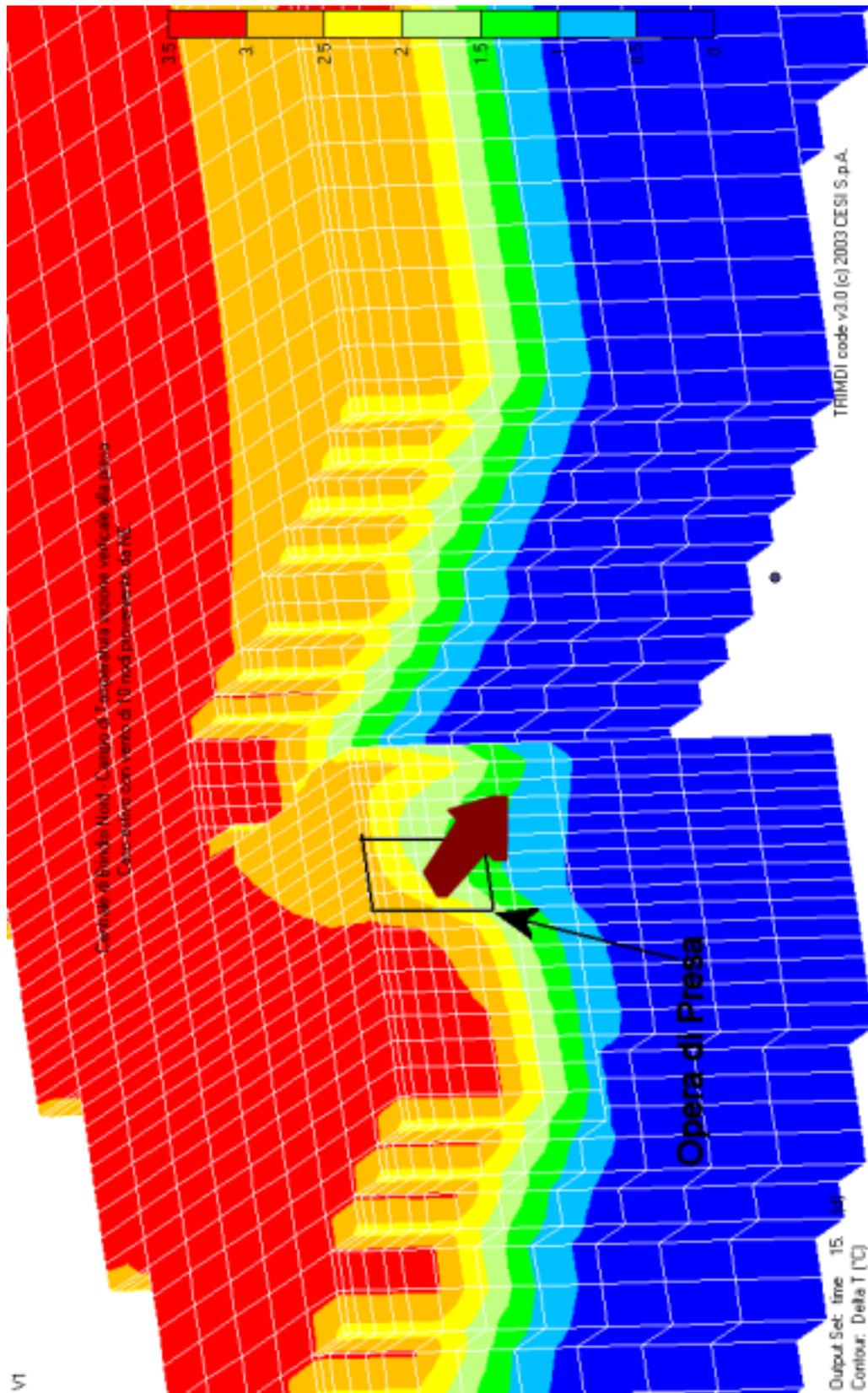


fig. 4.5 - Caso 1 estivo. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)

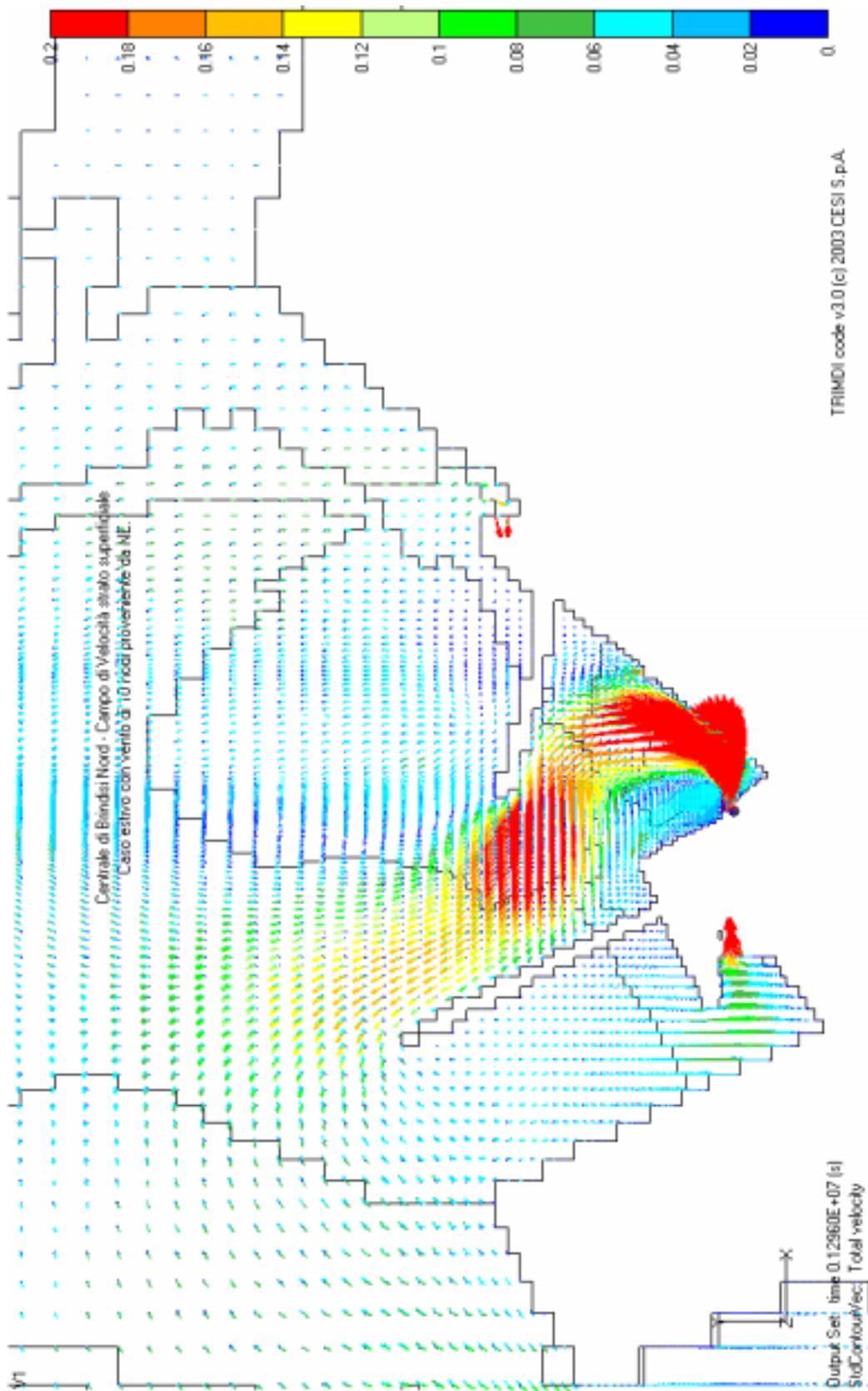
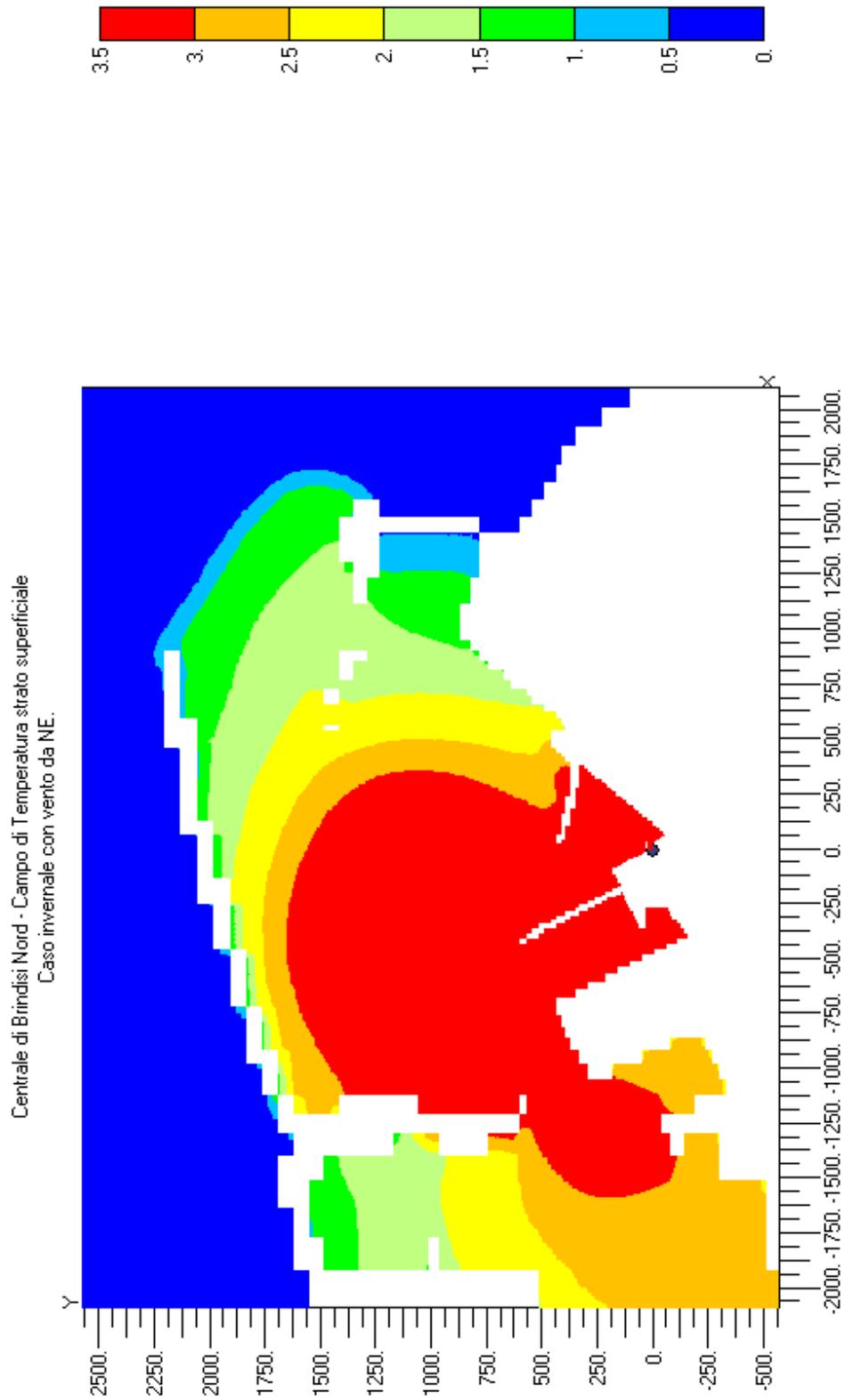
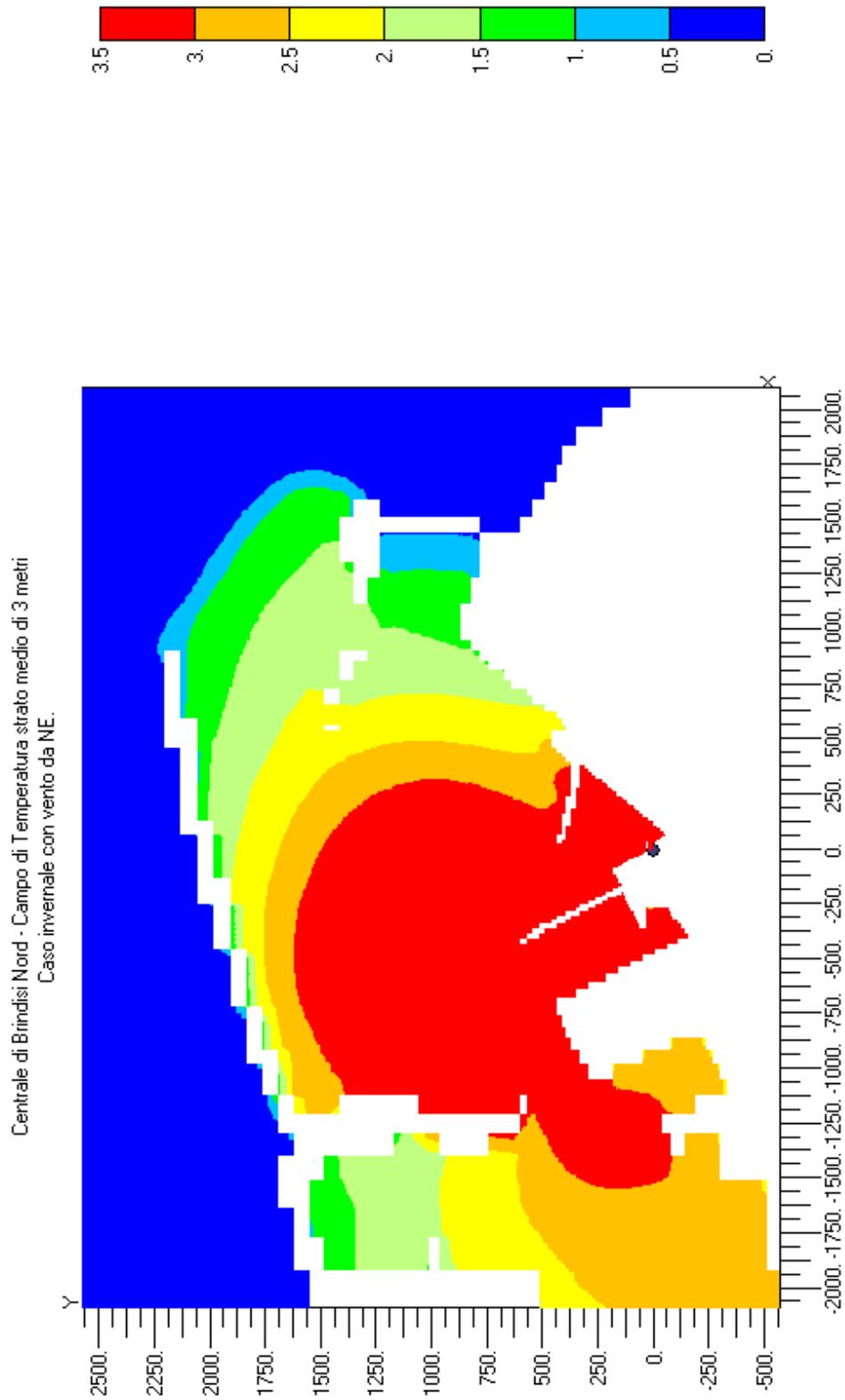


fig. 4.6 - Caso 1 estivo. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale



TRIMDI Code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.7 – Caso 1 invernale. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)



TRIMDI code v3.0 (c) CESI S.p.A.

fig. 4.8 - Caso 1 invernale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

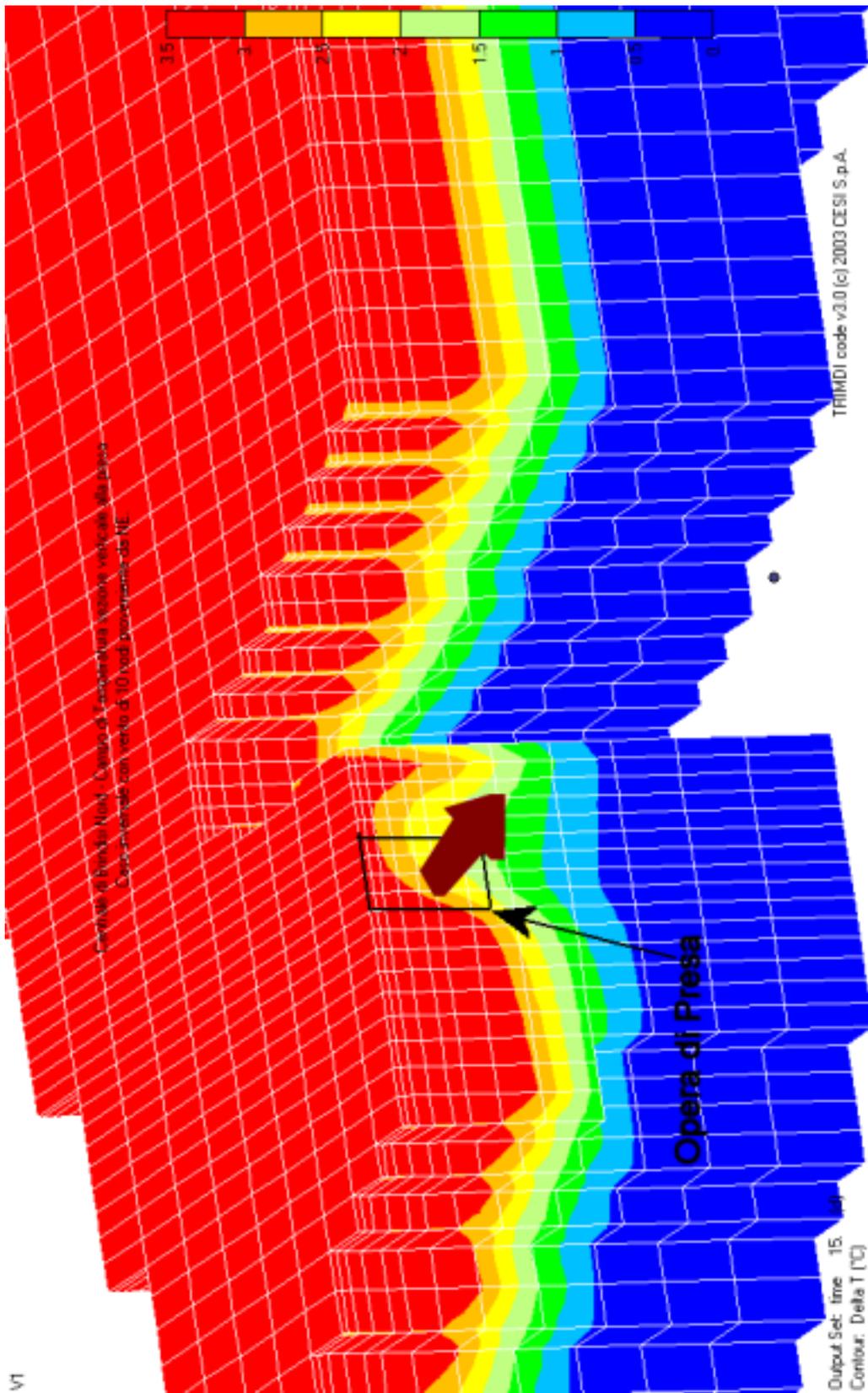


fig. 4.9 - Caso 1 invernale. Andamento verticale del sovrariscaldamento in corrispondenza della presa (°C)

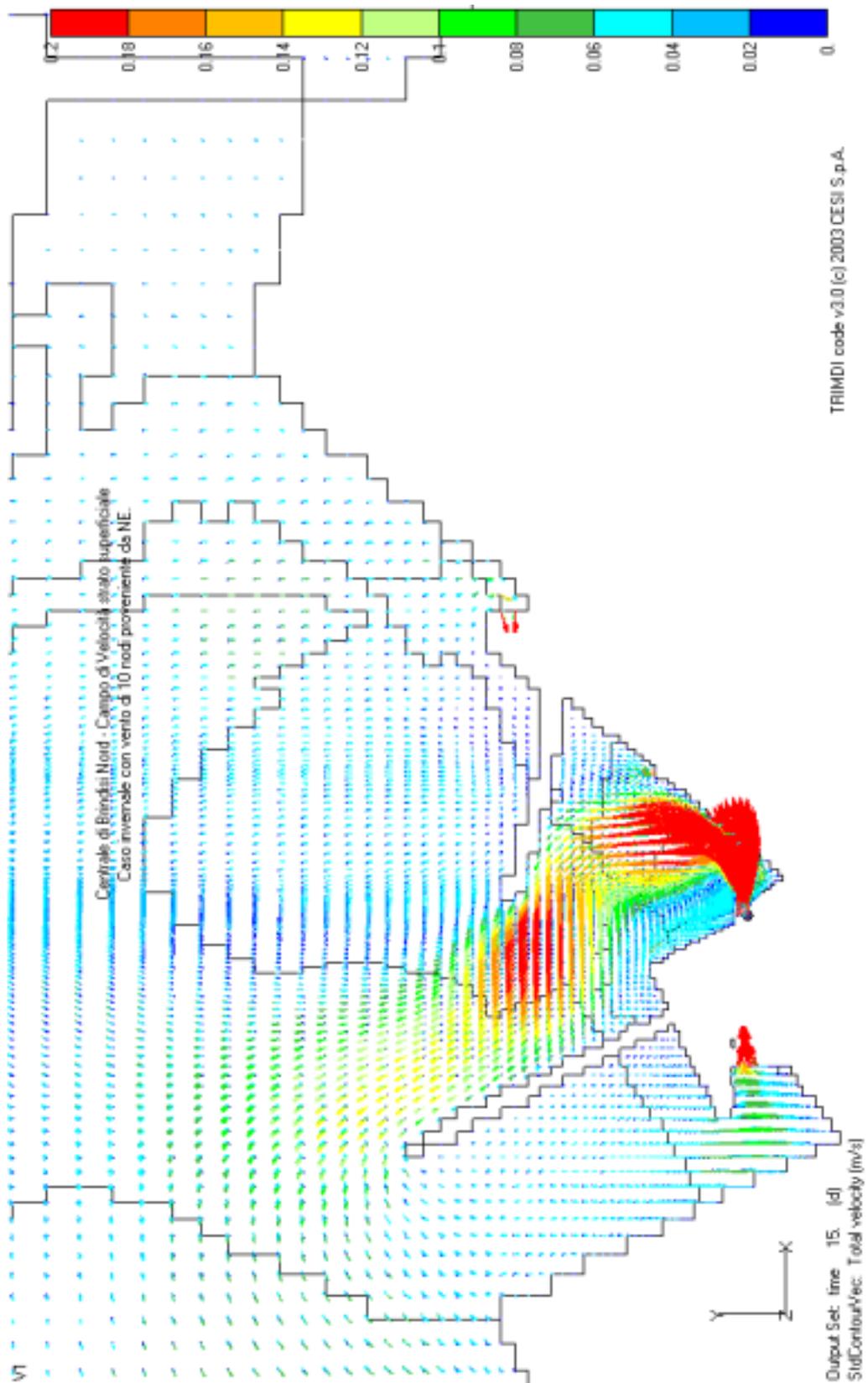


fig. 4.10 - Caso 1 invernale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

tab. 4.1 – Caso 1. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi

Caso 1	Potenza termica scambiata (MW)	Ricircolo Presa centrale %	Flusso totale uscente		
			Prelievo Presa molo Canale %	Contorno %	Atmosfera %
estivo	1316.87	20.6	15.6	44.8	56.3
invernale	1316.87	26.7	20.1	35.0	31.3

Nei casi valutati, il valore del sovrizzo termico medio alla presa della centrale è riportato nella seguente tab. 4.2, unitamente alla stima dell'incremento termico che si presenta anche alla presa adiacente il molo Canale ed al sovrizzo termico allo scarico della centrale conseguente alla presenza del ricircolo.

tab. 4.2 – Caso 1. Andamento dei sovrizzi termici alle opere di presa e scarico

Caso 1	$\Delta T$ [°C] alla presa molo Canale	$\Delta T$ [°C] alla presa centrale	$\Delta T$ [°C] allo scarico centrale
estivo	1.6	2.2	12.4
invernale	2.0	2.9	13.1

L'analisi dei valori in tab. 4.2, pone in evidenza una situazione di persistente ricircolo alla presa della centrale, più elevato in condizioni invernali. Tuttavia si manifesta, come risulta evidente se si confrontano i risultati di questo caso con quelli valutati nella attuale condizione di scarico a parità di condizioni di vento (caso 3, paragrafo 4.4.4), un certo effetto di schermo dovuto alla presenza del nuovo molo Enel ed alle aumentate profondità del fondale, che porta ad una riduzione dell'entità del ricircolo stesso.

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, anche tale presa risente dalla presenza del pennacchio termico; con valori di temperatura superiori di 1.5÷2.0 °C rispetto al valore imperturbato.

Le condizioni di vento persistente da NE qui considerate sono le più critiche, e d'altra parte sono comuni nella zona, per cui si può ritenere che i valori di ricircolo ottenuti nello studio, nella situazione futura qui esaminata, siano conservative.

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

La normativa di legge vigente [1] 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 di attuazione [2] 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 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 e la media tra le temperature valutate nei tre punti di misura più freddi lungo l'arco.

Allo scopo di valutare il rispetto di tali limiti nella situazione di scarico futura in presenza del nuovo molo Enel e delle progettate nuove opere a mare, si è calcolato l'andamento del sovrizzo termico sull'arco a 1000 m dallo scarico, riportato in fig. 4.11, partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione numerica.

La tab. 4.3 e la tab. 4.4 includono i valori calcolati sull'arco, rispettivamente nelle condizioni estiva ed invernale, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1,F2,F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi  $T_m$  e della sua deviazione standard (2SF). L'incremento termico risultante valutato sull'intero arco secondo le procedure di legge [2] è anch'esso evidenziato nella tabella.

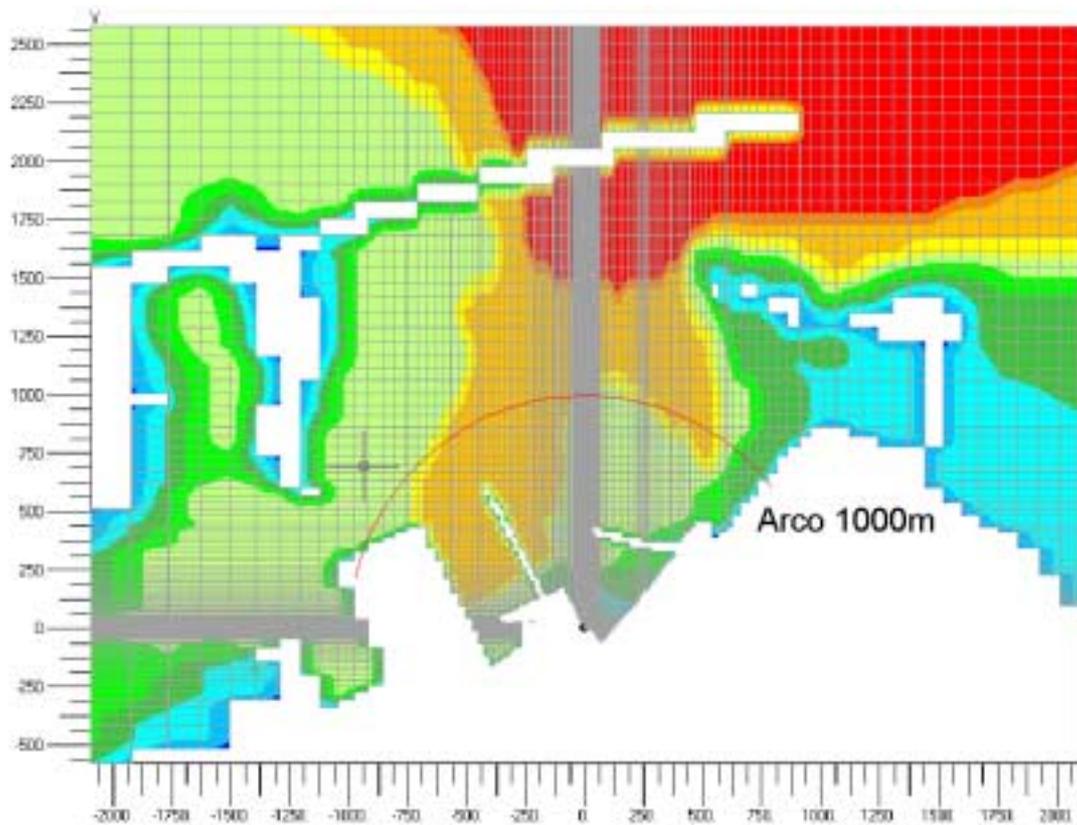


fig. 4.11 – Arco di misura a 1000 m dallo scarico nella situazione futura

Nella fig. 4.12 e nella fig. 4.13 sono poi riportati, ancora nelle condizioni estiva ed invernale rispettivamente, gli andamenti grafici 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.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

- in tutte le condizioni, l'incremento termico massimo sull'arco a 1000 m è inferiore al limite di legge di  $3$  °C;
- la situazione più critica è quella relativa alle condizioni invernali, con un incremento termico di  $2.71$  °C contro i  $2.17$  °C della condizione estiva;
- l'analisi del campo termico condotta nei precedenti paragrafi 4.2.2 e 4.2.3 aveva evidenziato la vicinanza dell'isoterma media a  $+3$  °C al limite dei 1000 m, ma ciò è risultato non critico in quanto la procedura di legge prevede di calcolare il sovrizzo termico del punto più caldo rispetto ai tre punti più freddi dell'arco; poiché però tutto l'arco risulta mediamente in una situazione più calda rispetto alla temperatura ambientale, anche la temperatura di riferimento dei punti freddi si alza leggermente, compensando l'incremento del punto caldo.

tab. 4.3 – Caso 1 estivo. 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	
						Staz. C	27.682
1	27.256	27.246	26.639	27.047		2SC	0.0000
2	27.342	27.334	26.793	27.156			
3	27.441	27.383	26.669	27.164		Staz. F 1	25.237
4	27.545	27.469	26.686	27.233		Staz. F 2	25.333
5	27.653	27.52	26.611	27.261		Staz. F 3	25.415
6	27.87	27.638	26.513	27.340		T m	25.3286
7	28.047	27.706	26.415	27.389		2SF	0.1785
8	28.252	27.744	26.319	27.438			
9	28.474	27.754	26.245	27.491		Incr. term.	2.1749
10	28.813	27.727	26.175	27.572			
11	28.958	27.741	26.15	27.616			
12	29.146	27.721	26.118	27.662			
13	29.294	27.665	26.087	27.682	C		
14	29.299	27.625	25.999	27.641			
15	29.254	27.564	25.921	27.580			
16	29.007	27.487	25.837	27.444			
17	28.816	27.392	25.758	27.322			
18	28.483	27.327	25.672	27.161			
19	27.96	27.237	25.565	26.921			
20	27.713	27.178	25.505	26.799			
21	27.44	27.079	25.479	26.666			
22	27.093	26.94	25.535	26.523			
23	26.858	26.754	25.554	26.389			
24	26.667	26.59	25.565	26.274			
25	26.459	26.408	25.571	26.146			
26	26.247	26.213	25.619	26.026			
27	26.101	26.077	25.596	25.925			
28	25.91	25.897	25.589	25.799			
29	25.795	25.788	25.545	25.709			
30	25.657	25.653	25.502	25.604			
31	25.579	25.577	25.478	25.545			
32	25.435	25.435	25.376	25.415	F3		
33	25.347	25.349	25.304	25.333	F2		
34	25.233	25.239	25.239	25.237	F1		

tab. 4.4 – Caso 1 invernale. 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	16.697
1	16.195	16.177	15.645	16.006	C	2SC	0.0000
2	16.29	16.274	15.844	16.136		Staz. F 1	13.669
3	16.381	16.31	15.695	16.129		Staz. F 2	13.781
4	16.503	16.411	15.717	16.210		Staz. F 3	13.877
5	16.617	16.465	15.616	16.233		T m	13.7756
6	16.862	16.61	15.498	16.323		2SF	0.2089
7	17.062	16.702	15.383	16.382			
8	17.284	16.767	15.264	16.438			
9	17.517	16.804	15.168	16.496			Incr. term. 2.7123
10	17.866	16.818	15.069	16.584			
11	18.01	16.852	15.03	16.631			
12	18.183	16.861	14.981	16.675			
13	18.323	16.824	14.943	16.697			
14	18.276	16.801	14.828	16.635			
15	18.217	16.726	14.739	16.561			
16	17.907	16.625	14.621	16.384			
17	17.668	16.505	14.522	16.232			
18	17.29	16.426	14.41	16.042			
19	16.877	16.25	14.276	15.801			
20	16.608	16.155	14.206	15.656			
21	16.282	16.004	14.182	15.489			
22	15.897	15.787	14.263	15.316			
23	15.598	15.527	14.29	15.138			
24	15.354	15.3	14.298	14.984			
25	15.088	15.052	14.295	14.812			
26	14.842	14.82	14.323	14.662			
27	14.655	14.643	14.273	14.524			
28	14.439	14.432	14.219	14.363			
29	14.303	14.298	14.137	14.246			
30	14.149	14.145	14.042	14.112			
31	14.063	14.061	13.986	14.037			
32	13.896	13.896	13.84	13.877		F3	
33	13.795	13.796	13.751	13.781		F2	
34	13.666	13.671	13.669	13.669		F1	

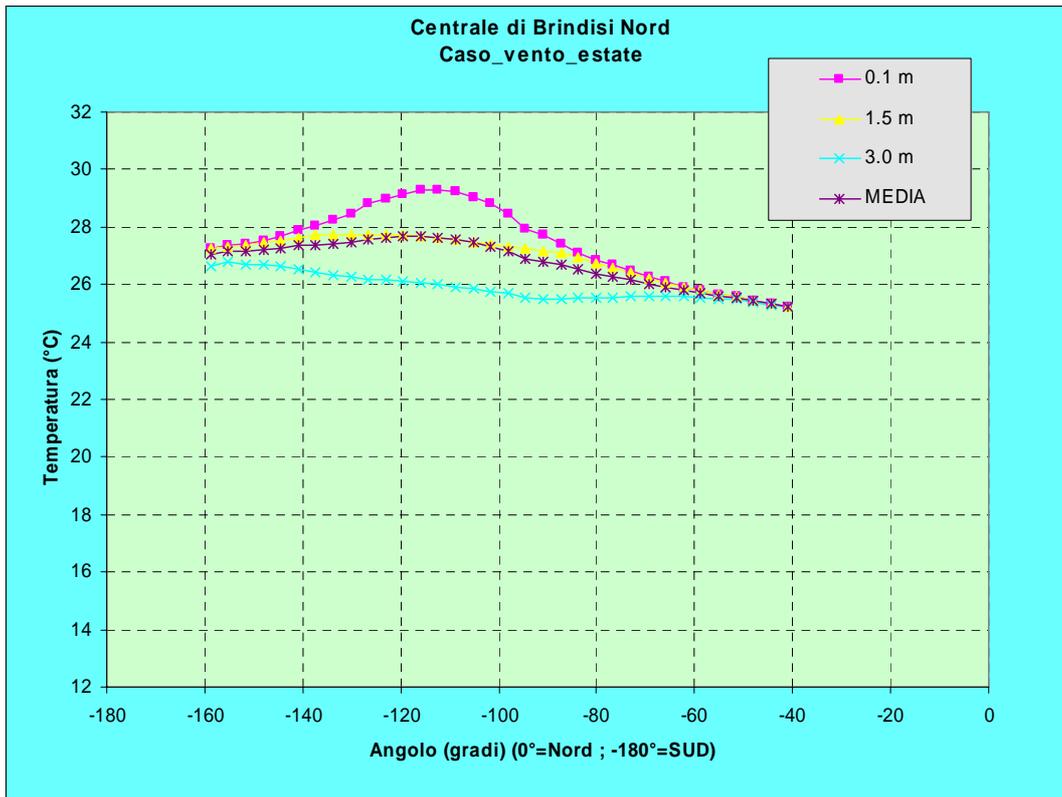


fig. 4.12 – Caso 1 estivo. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m

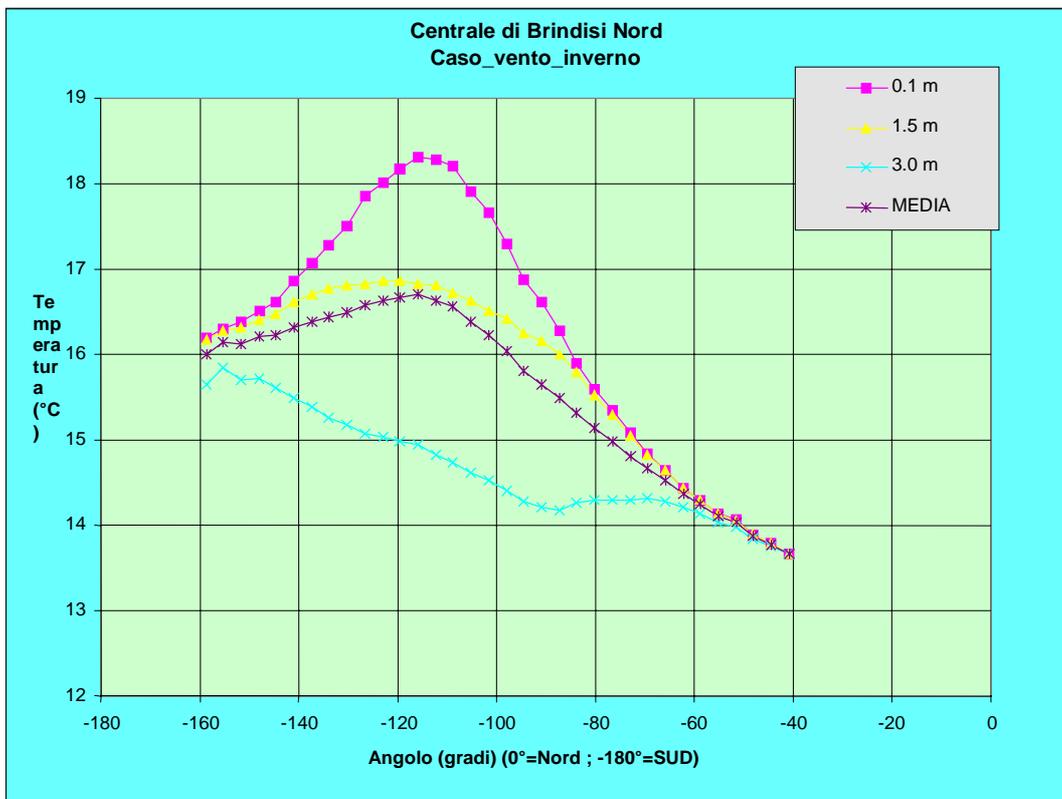


fig. 4.13 – Caso 1 invernale. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m

### 4.3 Caso 2 – Situazione futura in assenza di vento

#### 4.3.1 Caratteristiche del calcolo

Il caso 2, denominato “Situazione futura in assenza di vento”, rappresenta di fatto la situazione prevista per il funzionamento futuro, con la centrale in assetto a due gruppi a carbone, con una portata scaricata complessiva di  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  ed un sovrizzo termico allo scarico pari a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  più un ciclo combinato con una portata di  $10.1 \text{ m}^3/\text{s}$  ed un sovrizzo termico allo scarico pari a  $10.5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Per quanto riguarda le opere portuali, vengono considerate tutte le opere previste per il porto compreso il nuovo molo Enel, il molo Montecatini è considerato nella sua forma attuale, sono considerati tutti i dragaggi previsti ed infine l’opera di presa della Polimeri Europa adiacente il molo Canale è considerata nella sua attuale posizione mentre lo scarico Policentrica Ovest, situato nella zona di interrimento che realizza l’area industriale viene considerato spostato fino al limite della stessa zona di interrimento.

Il reticolo di calcolo utilizzato in questo caso è mostrato in fig. 4.14, mentre in fig. 4.15 è riportato il dettaglio dello stesso in corrispondenza delle opere di scarico e presa.

#### 4.3.2 Caso estivo

Questo caso è stato eseguito, nelle condizioni future di assetto della centrale e del porto, nelle condizioni tipiche estive per quanto riguarda le condizioni meteomarine, allo scopo di poter analizzare l’effetto delle modifiche progettuali in queste condizioni.

Il caso assume infatti una condizione di calma di vento, che ha una frequenza pari al 16%, e quindi non trascurabile. Esso è stato considerato poiché in un bacino semichiuso qual è quello del Porto Esterno il campo di moto in assenza di vento è determinato dalle strutture portuali presenti e dalla dinamica forzata dalle opere di aspirazione e scarico presenti. Nel nostro caso, la considerazione della presa adiacente al Molo Canale, con una portata di aspirazione non trascurabile, può indurre il pennacchio termico, per il quale risulta ridotto l’effetto di raffreddamento per scambio termico con l’atmosfera, ad estendersi verso tale presa, con conseguente possibilità di riscaldamento all’aspirazione. Inoltre, la diffusione del pennacchio caldo ad una distanza maggiore rispetto al punto di scarico, pur aumentando la superficie di scambio con l’atmosfera, potrebbe portare al superamento dei limiti di legge imposti sull’arco a 1000 m.

Le condizioni di temperatura considerate per l’acqua di mare corrispondono alle condizioni medie estive riscontrate per il sito (si veda il paragrafo 2.6) e pari a  $23.8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.16 alla fig. 4.19, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.16 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, si nota immediatamente come il pennacchio termico diffonda nell’area portuale verso la bocca di porto, fuoriuscendo anzi da esso per essere trascinato dalla corrente verso Nord. Il Porto Esterno è ora interessato totalmente dal campo termico, ma con temperatura mediamente più basse che non in presenza di vento da NE (si veda il paragrafo 4.2.2), e la zona della presa della centrale risulta anch’essa interessata da valori di temperatura decisamente più bassi rispetto al caso con vento. Inoltre diventa evidente l’effetto di schermo dovuto alla presenza del nuovo molo Enel, che di fatto porta il pennacchio caldo in una zona del porto più lontana dalla zona di presa, favorendo in tal modo l’aspirazione di acqua mediamente più fredda di quanto non sarebbe in assenza del molo stesso. La presa adiacente al molo Canale, poi, provoca una corrente di aspirazione che tende a spostare il pennacchio verso di essa, con un sovrizzo termico in superficie dell’ordine di  $2.0 \text{ }^\circ\text{C}$  rispetto al valore imperturbato di temperatura;
- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.17, l’andamento è ora assai modificato sia rispetto al campo superficiale discusso al precedente punto (a), sia rispetto alla analoga situazione estiva in presenza di vento discussa al paragrafo 4.2.2. Questo può essere attribuito al fatto che in assenza di vento la diffusione superficiale è molto più efficace, con un conseguente notevole restringimento dell’area riferita allo strato di 3 m avente un incremento di temperatura superiore ai  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Il valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale è ora intorno ai  $24.6 \text{ }^\circ\text{C}$ , con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa  $0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa  $10.9 \text{ }^\circ\text{C}$  rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti l’efficacia della diffusione superficiale del pennacchio caldo nella zona dello scarico limita l’estendersi del pennacchio caldo nella direzione verticale, riducendo il valore del ricircolo alla presa. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, il sovrizzo di temperatura si riduce a circa  $1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- c. è stata poi fatta una analisi, mostrata in fig. 4.18, del campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale. E' immediato constatare come più di metà dell'area di aspirazione sia interessata da acqua fredda, e come il pennacchio in questo caso abbia una temperatura superficiale molto inferiore a quella riscontrata in presenza di vento ed uno spessore caldo anch'esso più ridotto (fig. 4.5 del paragrafo 4.2.2), spiegando così il valore di ricircolo assai limitati che si verifica in questa situazione;
- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.19, giustifica ancora una volta l'andamento del campo termico sopra discusso. Infatti la circolazione calda generata dallo scarico, inizialmente interessante l'area tra l'attuale molo Costa Morena e l'attuale molo Montecatini, si sposta verso la parte aperta del Porto Esterno. L'effetto di richiamo esercitato dalla presa della centrale coinvolge così acqua già abbastanza fredda perché proveniente da aree di mare meno interessate dal pennacchio caldo, ed inoltre risulta in queste condizioni più efficace l'effetto di richiamo della presa adiacente al Molo Canale, che peraltro riceve anch'essa acqua abbastanza fredda. Questo andamento fa prevedere la presenza di effetti di ricircolo assai modesti, come sarà riscontrato nell'analisi descritta al paragrafo 4.3.4.

Nel successivo paragrafo 4.3.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.3.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2].

### 4.3.3 Caso invernale

Questo caso è stato eseguito, nelle condizioni future di assetto della centrale e del porto, nelle condizioni tipiche invernali per quanto riguarda le condizioni meteomarine, allo scopo di poter analizzare l'effetto delle modifiche progettuali in queste condizioni.

Il caso assume infatti una condizione di calma di vento, che ha una frequenza pari al 16%, e quindi non trascurabile. Esso è stato considerato poiché in un bacino semichiuso qual è quello del Porto Esterno il campo di moto in assenza di vento è determinato dalle strutture portuali presenti e dalla dinamica forzata dalle opere di aspirazione e scarico presenti. Nel nostro caso, la considerazione della presa adiacente al Molo Canale, con una portata di aspirazione non trascurabile, può indurre il pennacchio termico, per il quale risulta ridotto l'effetto di raffreddamento per scambio termico con l'atmosfera, ad estendersi verso tale presa, con conseguente possibilità di riscaldamento all'aspirazione. Inoltre, la diffusione del pennacchio caldo ad una distanza maggiore rispetto al punto di scarico, pur aumentando la superficie di scambio con l'atmosfera, potrebbe portare al superamento dei limiti di legge imposti sull'arco a 1000 m.

Le condizioni di temperatura considerate per l'acqua di mare corrispondono alle condizioni medie invernali riscontrate per il sito (si veda il paragrafo 2.6) e pari a 11.9 °C.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.20 alla fig. 4.23, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.20 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, si nota un comportamento assai simile a quello ottenuto in condizioni estive, in cui però risulta esaltato l'effetto di trasporto del pennacchio verso la bocca di porto. L'area calda, caratterizzata da differenze di temperatura superiori ai 3 °C, interessa a maggior ragione l'intera area del porto Esterno, ed anche l'effetto di schermo del nuovo molo Enel risulta ridotto, anche se ancora efficace. Le condizioni invernali determinano in generale una maggior estensione di tale area, in quanto aumenta la spinta al galleggiamento del pennacchio stesso per effetto della aumentata differenza di densità e diminuisce per lo stesso motivo il miscelamento turbolento con acqua fredda; inoltre occorre tenere presente che il raffreddamento dovuto allo scambio termico con l'atmosfera è proporzionale alla differenza di temperatura tra l'aria sovrastante e la superficie del mare, e non dipende dal valore assoluto della temperatura dell'aria. Rispetto alle condizioni estive (punto (a) del precedente paragrafo 4.3.2), si ha un maggior riscaldamento della zona di presa, una maggior estensione del pennacchio oltre la bocca di porto ed un sovrizzo termico alla presa adiacente il molo Canale più alto di circa 0.5 °C rispetto alla situazione estiva stessa;
- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.21, l'andamento è ora assai modificato sia rispetto al campo superficiale discusso al precedente punto (a), sia rispetto alla analoga situazione invernale in presenza di vento discussa al paragrafo 4.2.3. L'area del pennacchio mediato sui 3 m avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C diventa ora leggermente più ampia che non nel caso estivo di fig. 4.17, mentre aumenta notevolmente la zona interessata dall'isoterma a + 2.5 °C. Il valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale è ora intorno ai 12.8 °C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 0.9 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 11.0 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti l'efficacia della diffusione superficiale del pennacchio caldo nella zona dello scarico limita ancora l'estendersi del pennacchio caldo nella direzione verticale, riducendo il valore del ricircolo alla presa, anche se con minore

efficacia rispetto a condizioni estive. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, il sovrizzo di temperatura si porta a circa 1.5 °C;

- c. è stata poi fatta una analisi, mostrata in fig. 4.22, del campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale. E' immediato constatare come più di metà dell'area di aspirazione sia interessata da acqua fredda, e come il pennacchio in questo caso abbia una temperatura superficiale molto inferiore a quella riscontrata in presenza di vento ed uno spessore caldo anch'esso più ridotto (fig. 4.9 del paragrafo 4.2.3), spiegando così il valore di ricircolo assai limitati che si verifica in questa situazione;
- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.23 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso, e di fatto non si discosta in maniera sensibile da quello rilevato in condizioni estive, per cui valgono le medesime considerazioni sviluppate al punto (e) del precedente paragrafo 4.3.2.

Nel successivo paragrafo 4.3.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.3.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge[2]

#### 4.3.4 Analisi dei flussi termici e del ricircolo

Anche in questo caso, per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle elaborazioni sui risultati ottenuti dal calcolo col fine di determinare i flussi termici nell'intero dominio di calcolo e l'eventuale ricircolo di acqua dallo scarico alla presa.

Per quanto riguarda i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tab. 4.5, nella quale appaiono le quote percentuali dei flussi termici che vengono dispersi verso i contorni e verso l'atmosfera. Inoltre sono anche riportate le quote di ricircolo termico, in termini percentuali, allo scopo di individuare potenziali situazioni critiche.

tab. 4.5 – Caso 2. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi

Caso 2	Potenza termica scambiata (MW)	Ricircolo Presa centrale %	Flusso totale uscente		
			Prelievo Presa molo Canale %	Contorno %	Atmosfera %
estivo	1316.87	7.1	7.4	60.1	32.5
invernale	1316.87	8.2	8.6	66.5	24.9

La somma delle colonne relative al contorno, all'atmosfera e alla presa adiacente al molo Canale è relativa al flusso di calore totale che lascia il sistema e quindi corrisponde al calore totale immesso nel sistema dagli scarichi del Porto Esterno, e tiene conto del fatto che parte dall'aspirazione di quest'ultima viene scaricata mediante opere esterne al porto stesso; le percentuali riportate nella colonna relativa al ricircolo sulla presa della centrale rappresentano la frazione del calore immesso che rimane nel sistema per effetto del ricircolo stesso.

E' evidente come nel caso di assenza di vento l'efficacia dello scambio termico con l'atmosfera diminuisca sensibilmente, pur aumentando l'area superficiale di scambio, come si può immediatamente constatare da un confronto con la tab. 4.1 relativa a condizioni analoghe ma in presenza di vento. Ciò è dovuto al fatto che lo scambio con l'atmosfera dipende dalla differenza di temperatura tra l'aria e la superficie del mare, che ora è interessata da un pennacchio più ampio ma in generale meno caldo. In condizioni di calma di vento, quindi, la maggior parte del calore viene disperso per diffusione nel corpo idrico.

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, l'assenza di vento fa sì che le condizioni dell'acqua alla presa stessa siano determinate esclusivamente dalle condizioni di moto dovute all'aspirazione, diminuendo in generale la quantità di acqua calda che viene aspirata.

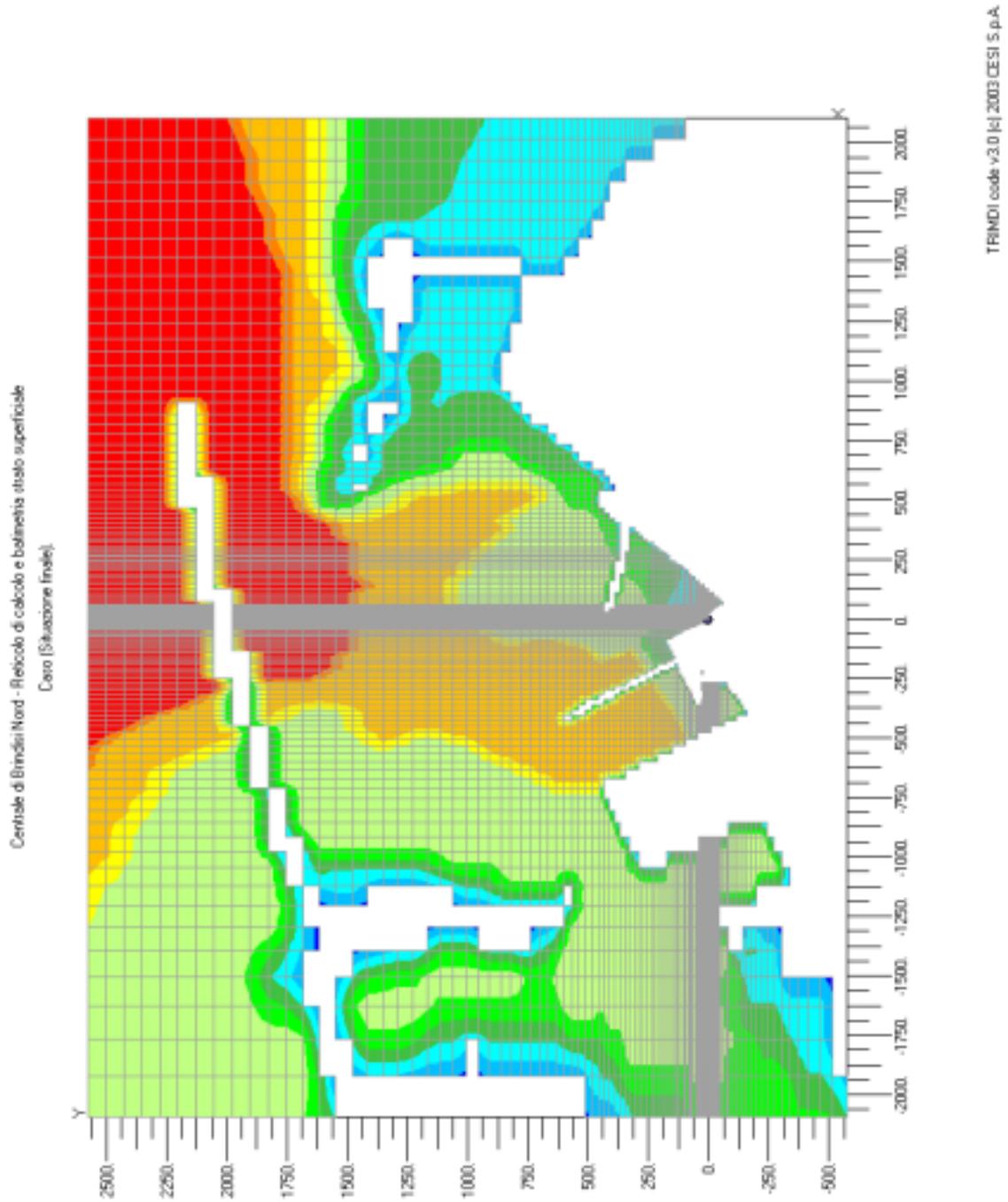
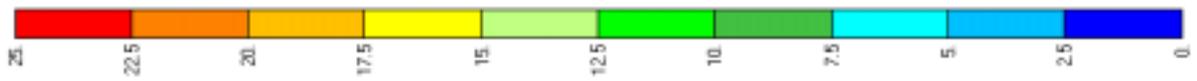


fig. 4.14 – Caso 2. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m)

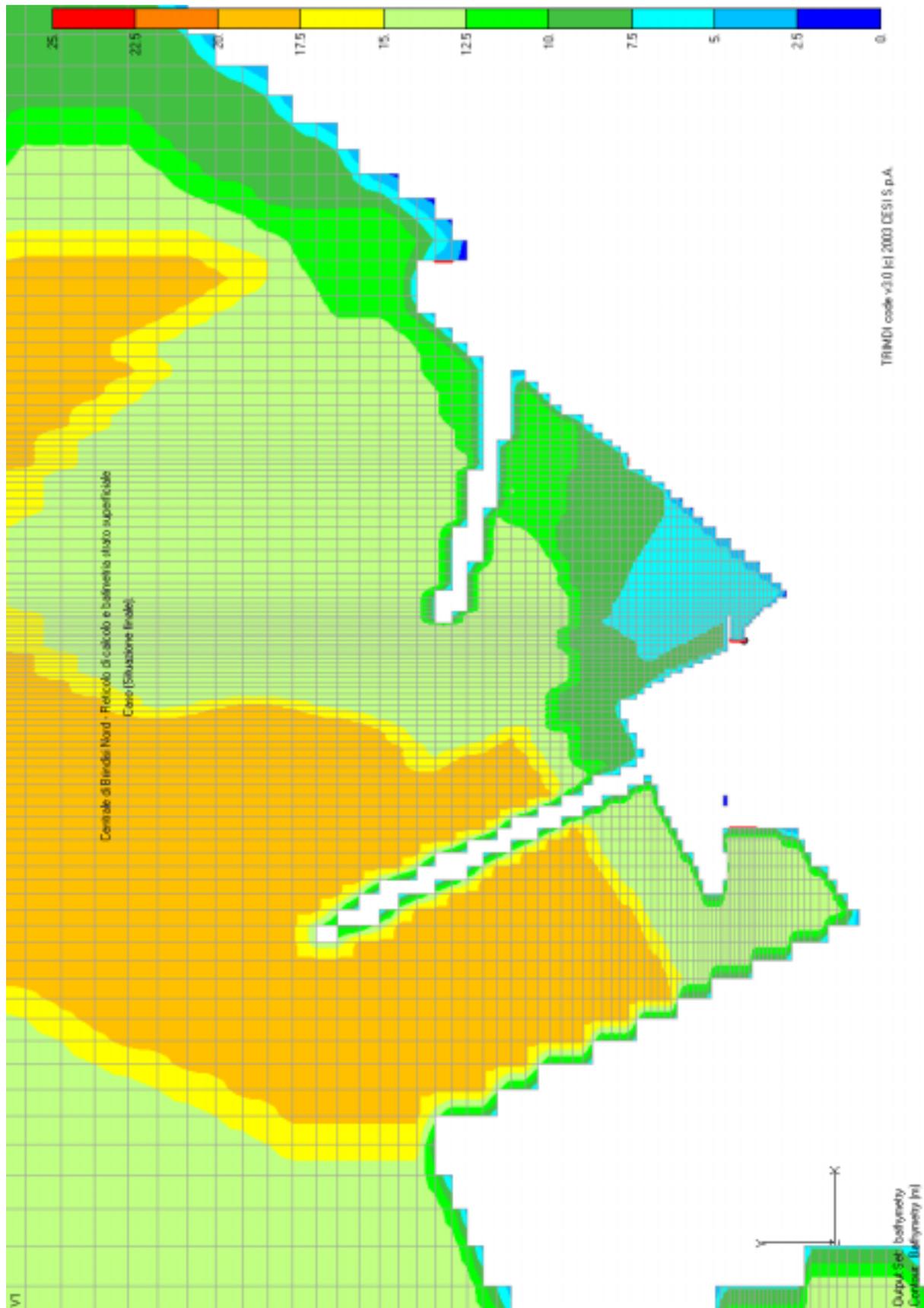


fig. 4.15 – Caso 2. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m)

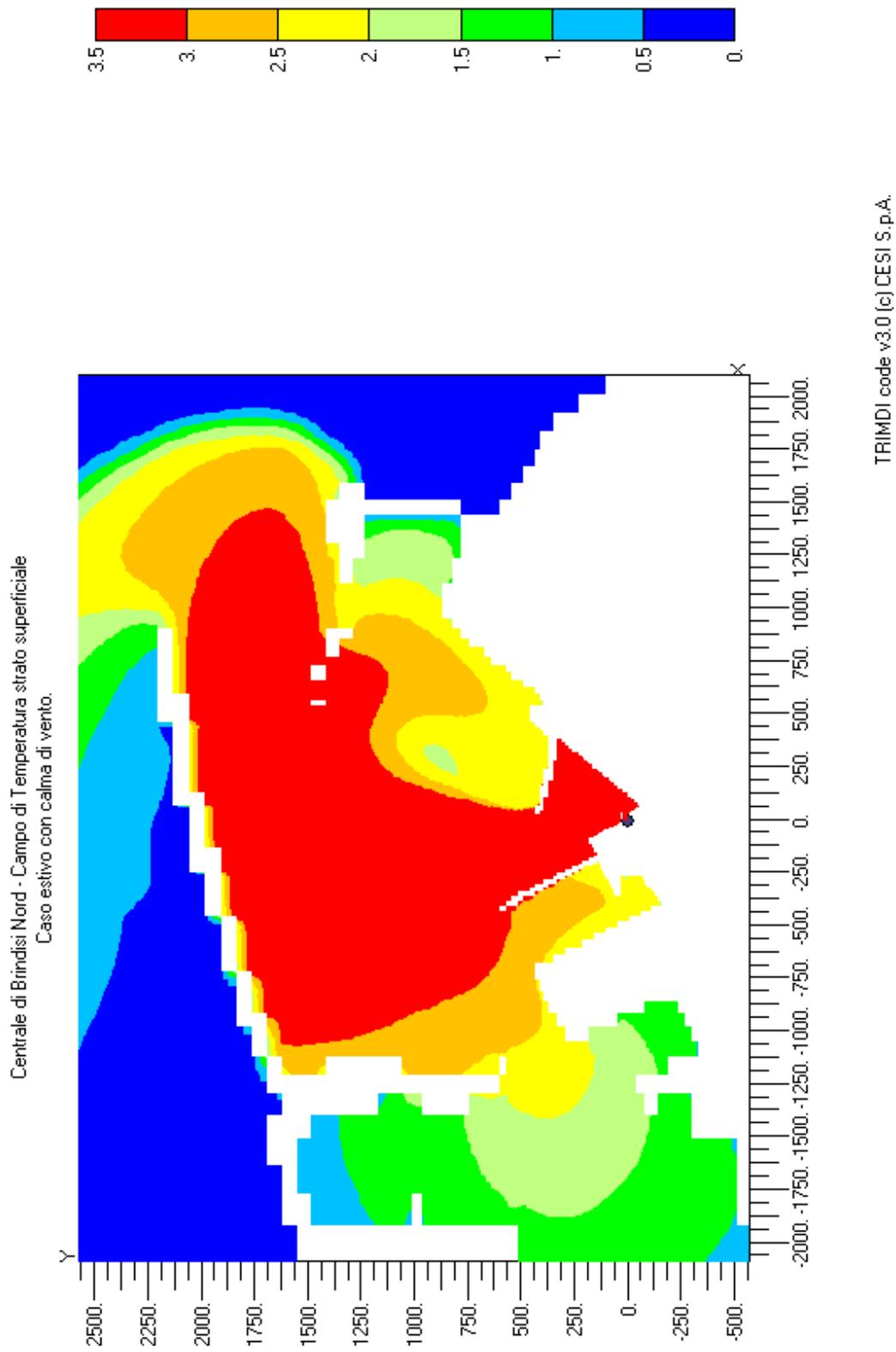


fig. 4.16 – Caso 2 estivo. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)

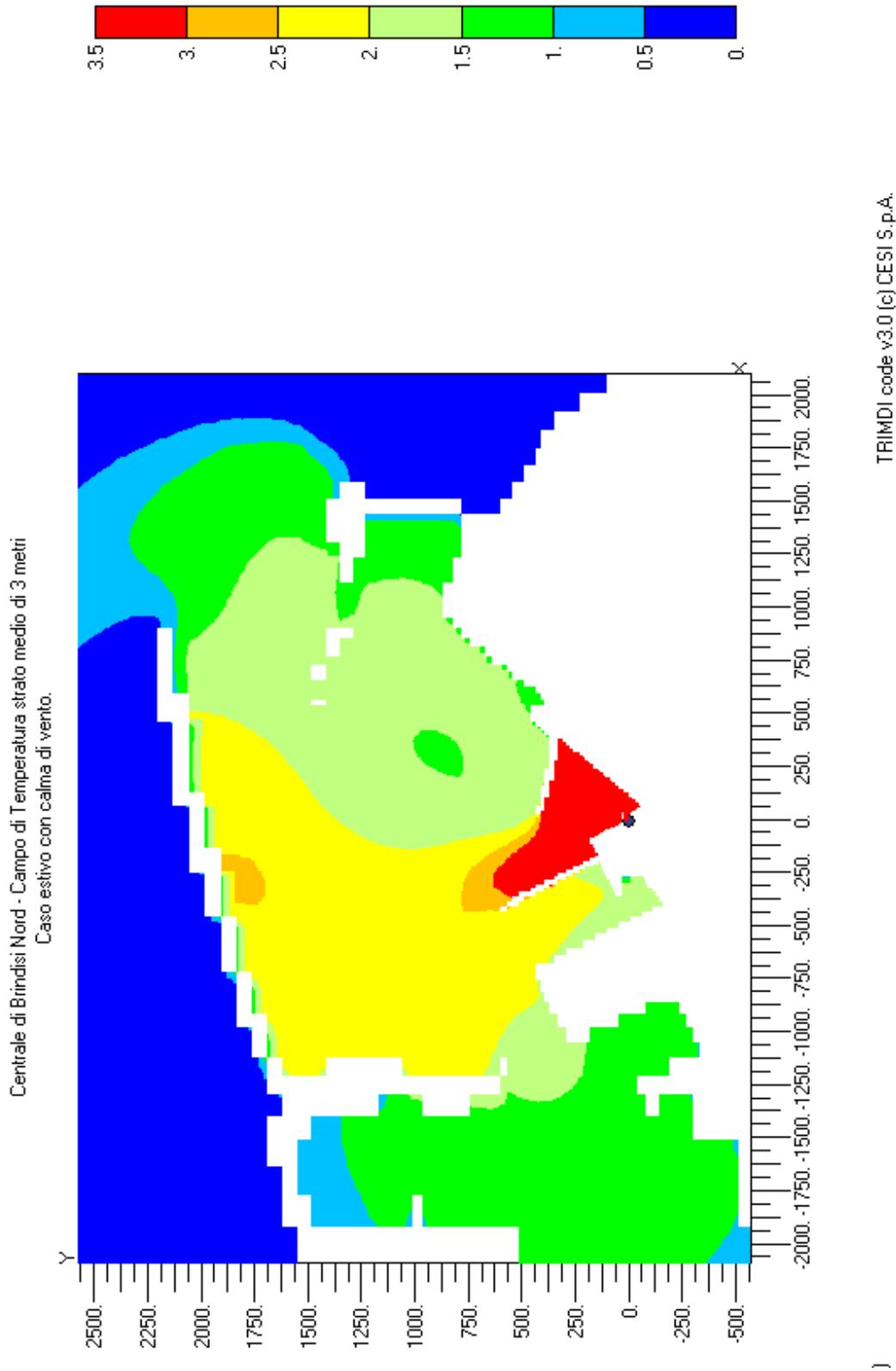


fig. 4.17 - Caso 2 estivo. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

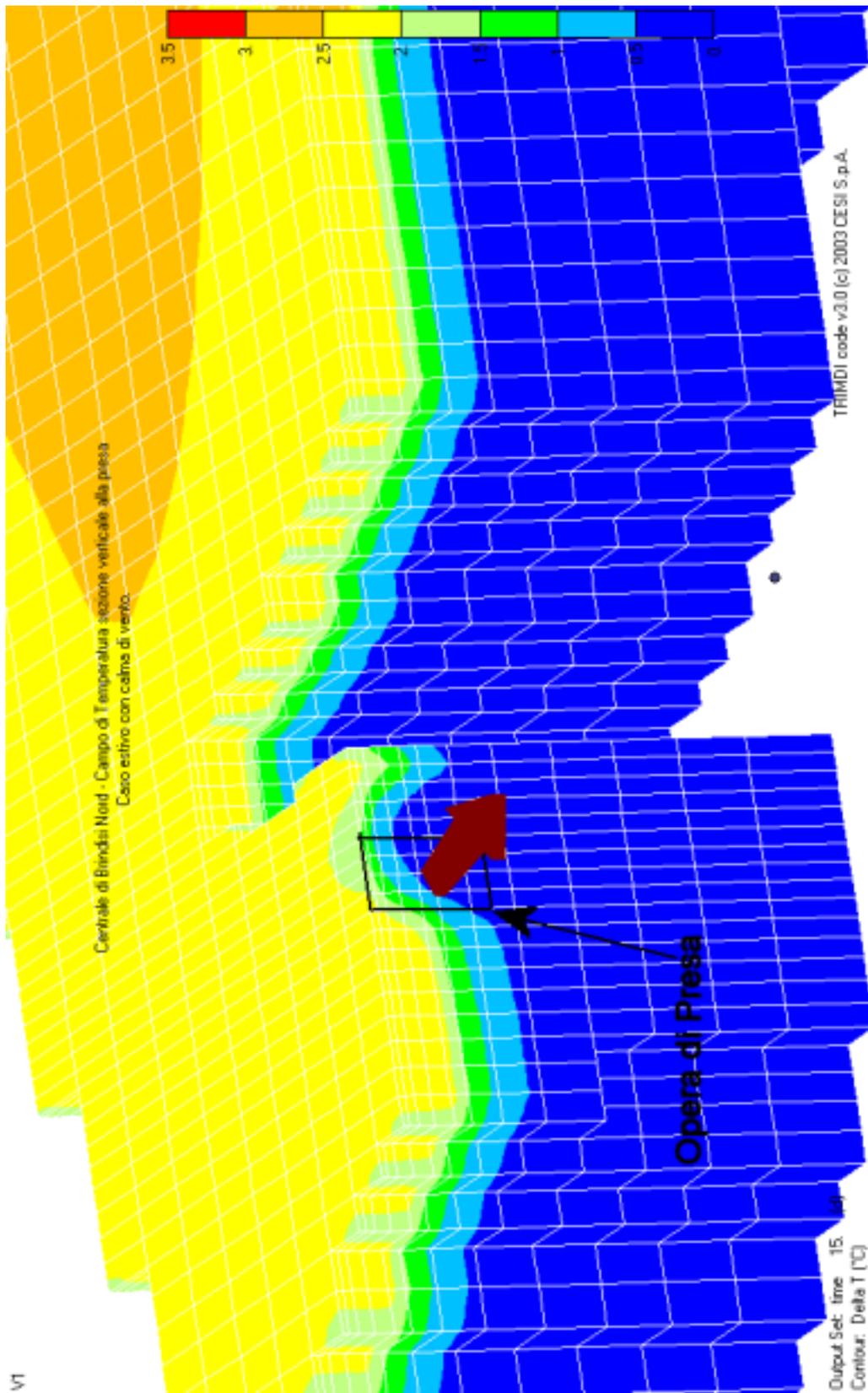


fig. 4.18 - Caso 2 estivo. Andamento verticale del sovralzso termico in corrispondenza della presa (°C)

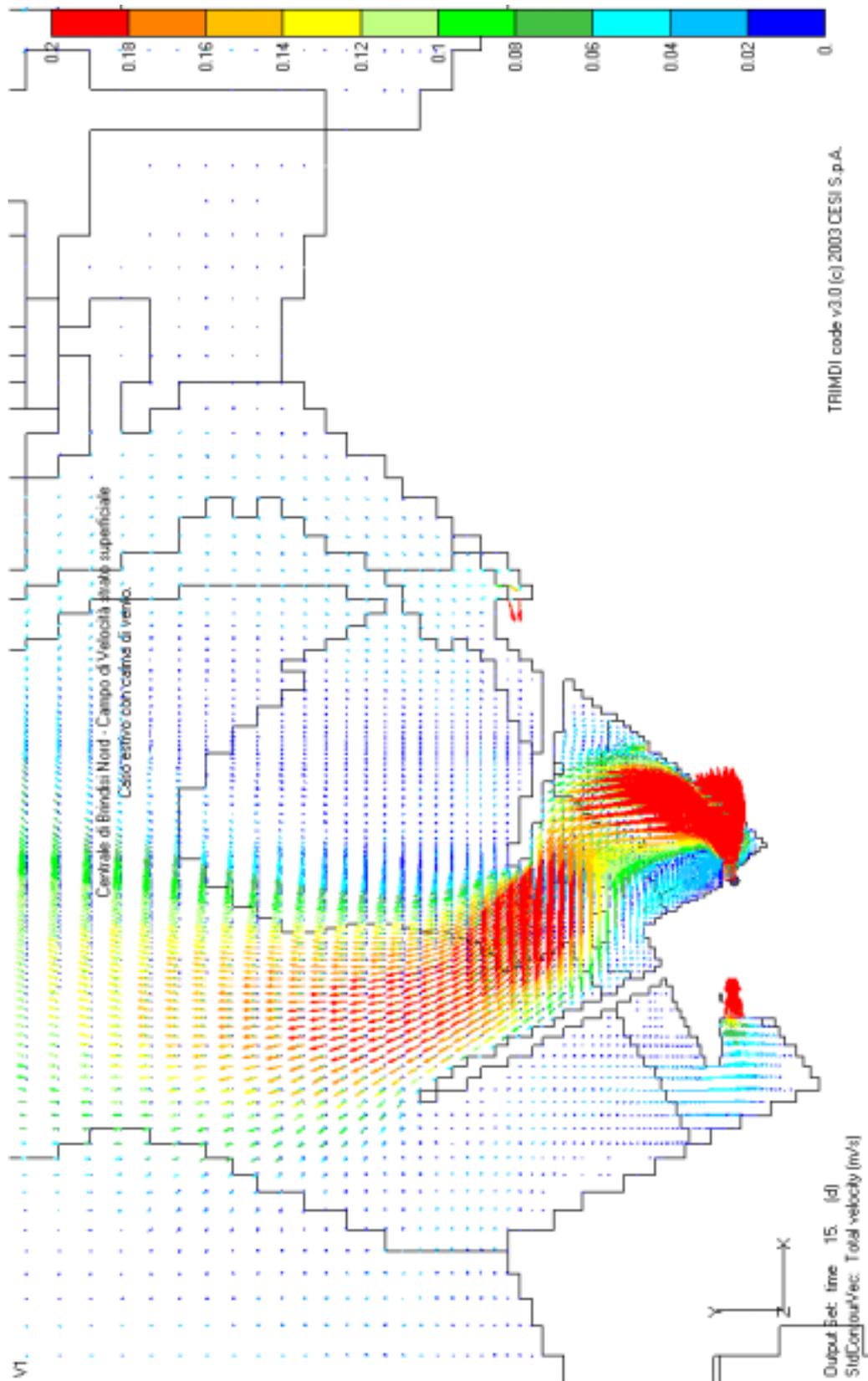


fig. 4.19 - Caso 2 estivo. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

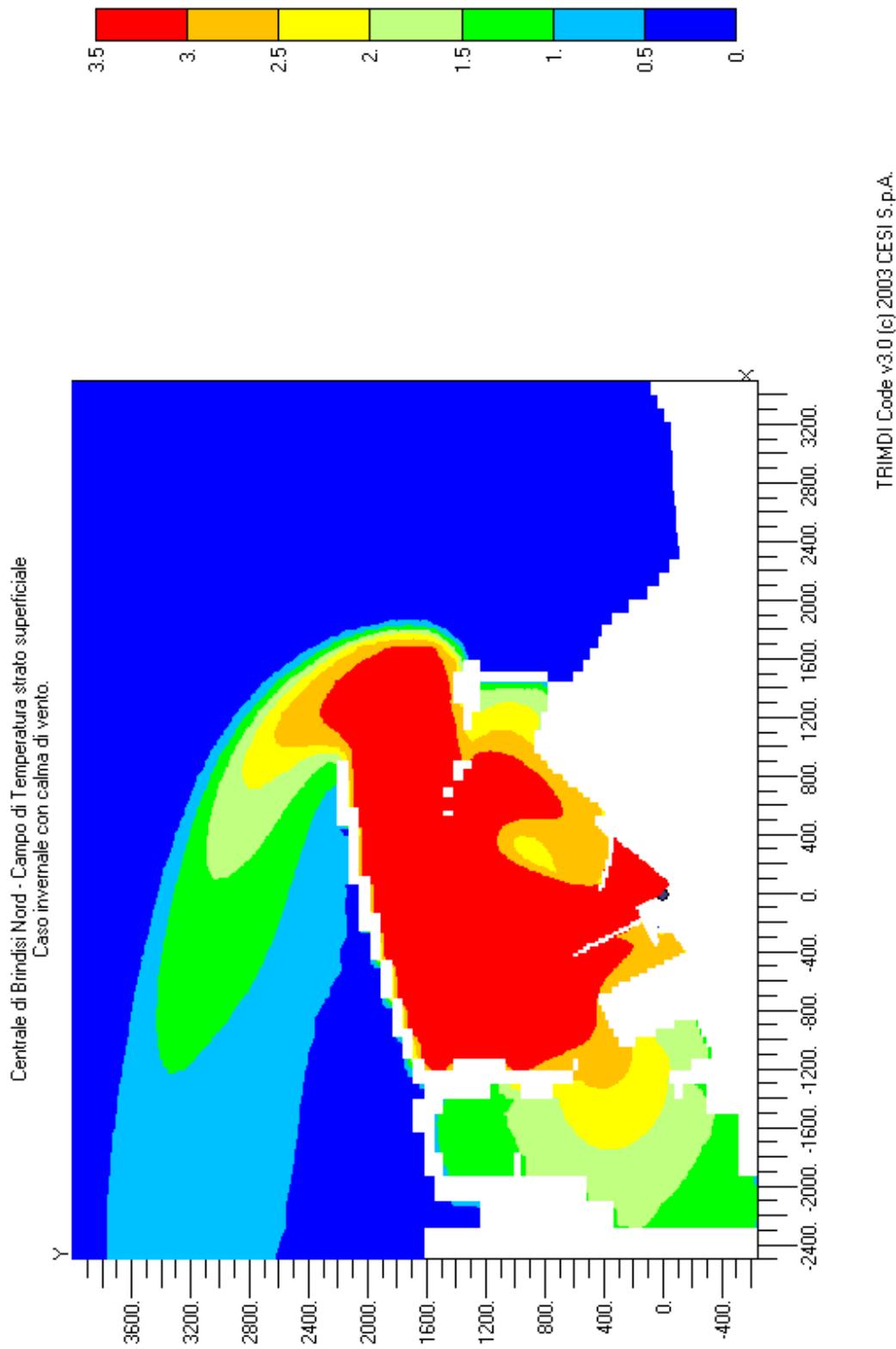
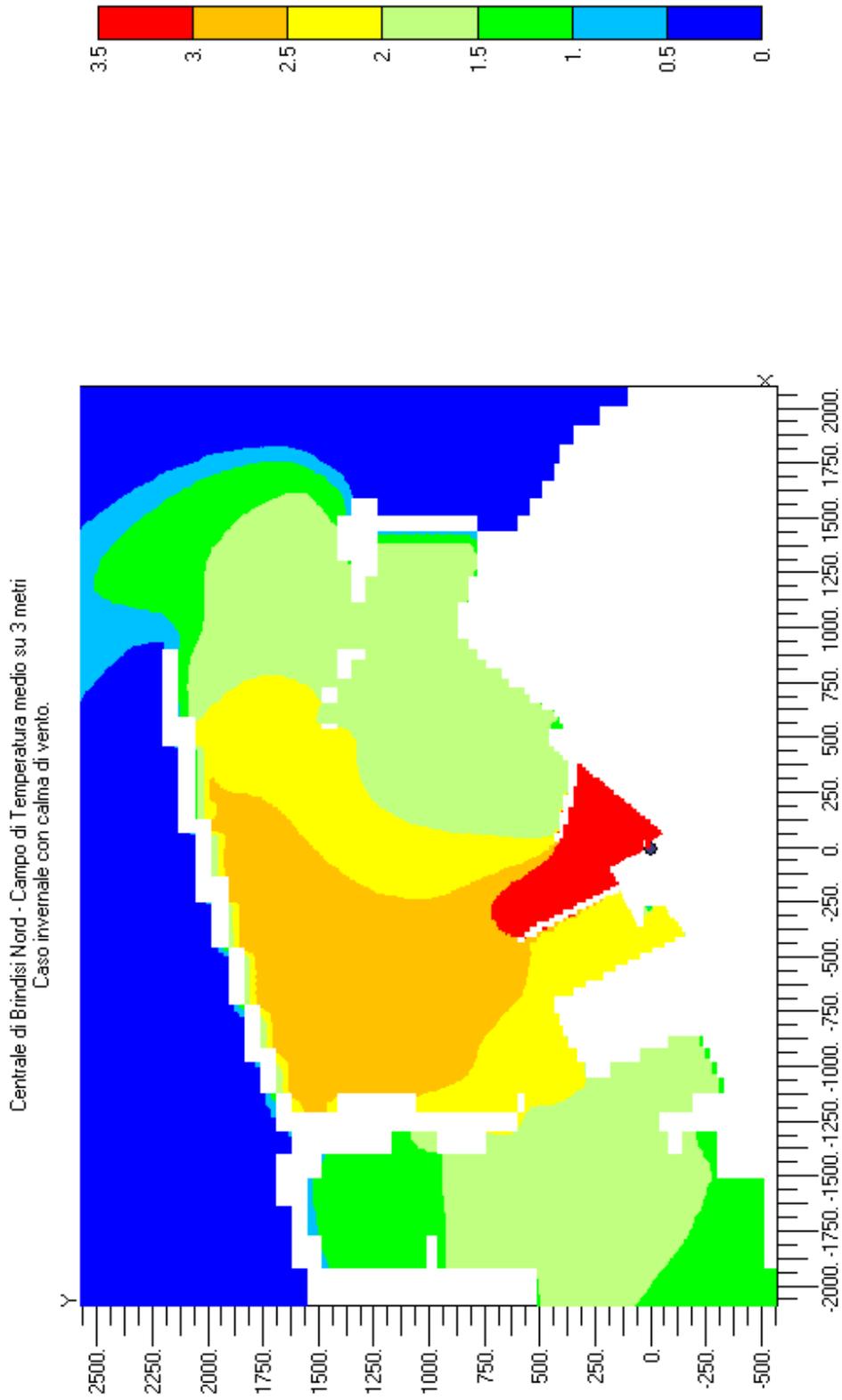


fig. 4.20 – Caso 2 invernale. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)



TRIMDI Code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.21 - Caso 2 invernale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

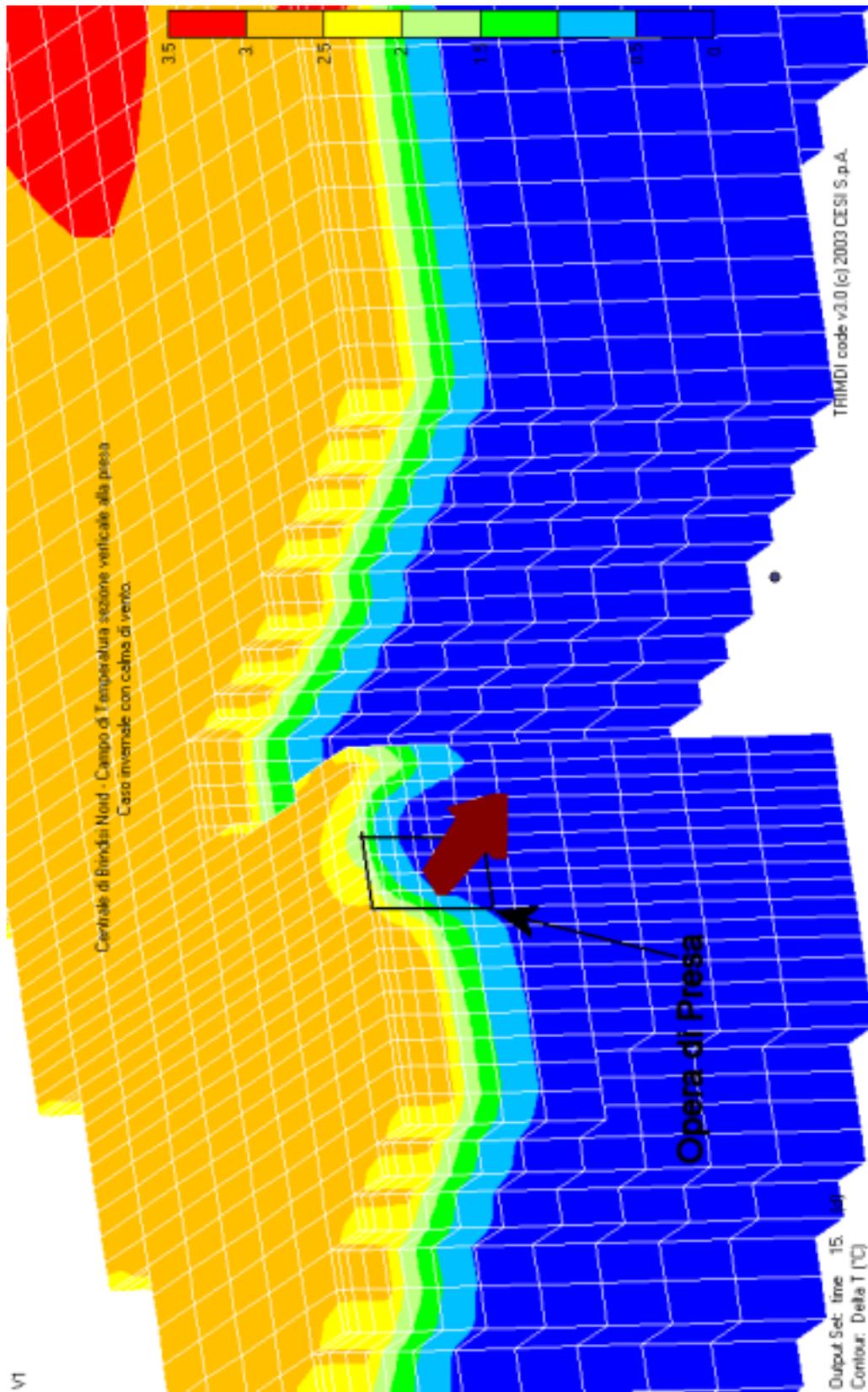


fig. 4.22 - Caso 2 invernale. Andamento verticale del sovralzo termico in corrispondenza della presa (°C)

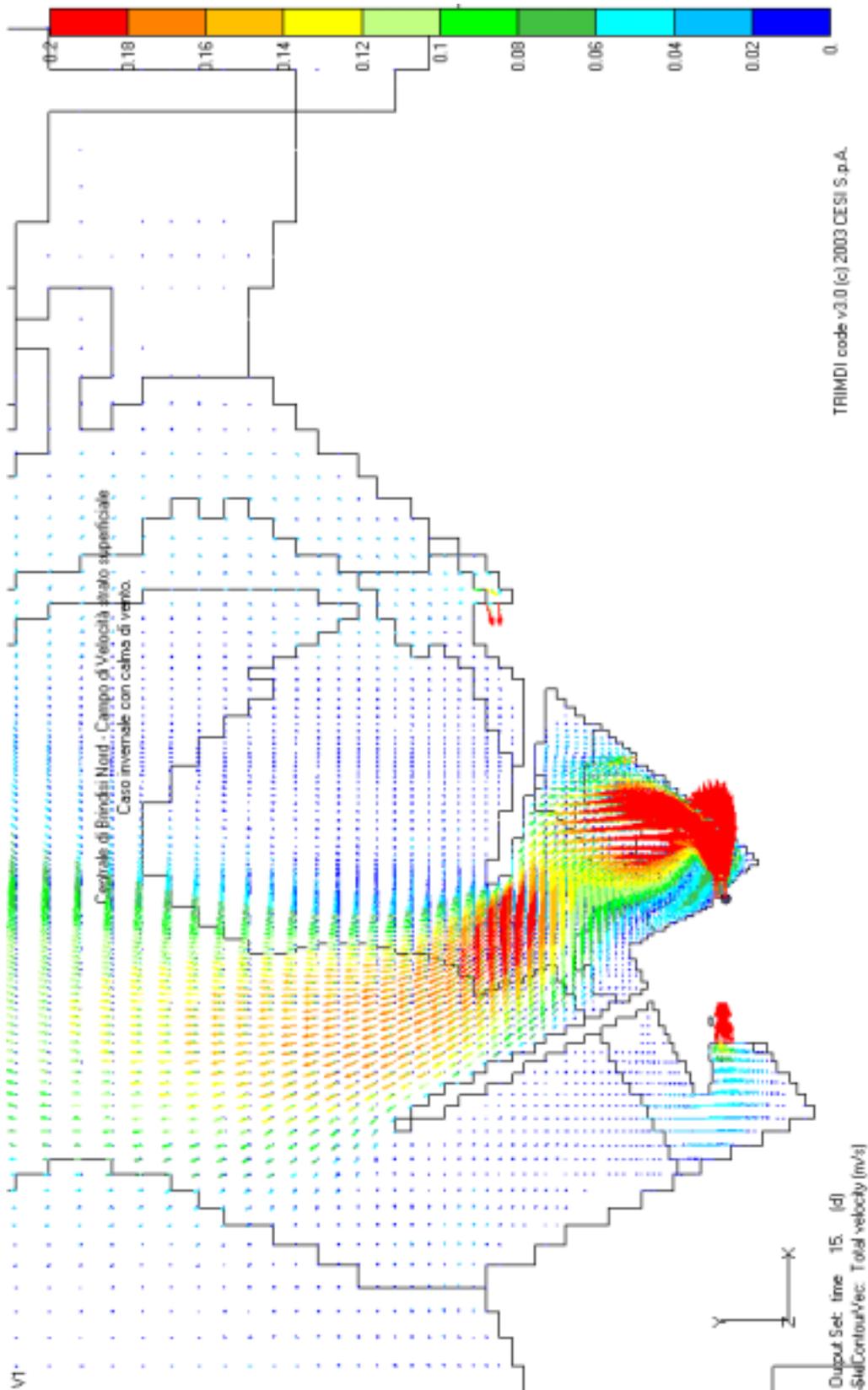


fig. 4.23 - Caso 2 invernale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

Per quanto riguarda il ricircolo di acqua dallo scarico alla presa della centrale, si nota in generale la presenza di un ricircolo termico molto più limitato rispetto alle condizioni con vento, dell'ordine di 1.5÷2.0 °C in meno, come riportato in tab. 4.6.

tab. 4.6 – Caso 2. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico

Caso 2	$\Delta T$ [°C] alla presa molo Canale	$\Delta T$ [°C] alla presa centrale	$\Delta T$ [°C] allo scarico centrale
estivo	0.7	0.8	10.9
invernale	0.9	0.9	11.0

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, anche tale presa risente dalla presenza del pennacchio termico, con valori di incremento termico più ridotti in assenza di vento; si tratta comunque di valori dell'ordine al massimo di 0.9 °C.

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

La normativa di legge vigente [1] 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 di attuazione [2] 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 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 e la media tra le temperature valutate nei tre punti di misura più freddi lungo l'arco.

Allo scopo di valutare il rispetto di tali limiti nella situazione di scarico futura in presenza del nuovo molo Enel e delle progettate nuove opere a mare, si è calcolato l'andamento del sovrizzo termico sull'arco a 1000 m dallo scarico, ancora riportato in fig. 4.11, partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione numerica.

La tab. 4.7 e la tab. 4.8 includono i valori calcolati sull'arco, rispettivamente nelle condizioni estiva ed invernale, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1,F2,F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi  $T_m$  e della sua deviazione standard (2SF). L'incremento termico risultante valutato sull'intero arco secondo le procedure di legge [2] è anch'esso evidenziato nella tabella.

Nella fig. 4.24 e nella fig. 4.25 sono poi riportati, ancora nelle condizioni estiva ed invernale rispettivamente, gli andamenti grafici 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.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

- in tutte le condizioni, l'incremento termico massimo sull'arco a 1000 m è inferiore al limite di legge di 3 °C;
- la situazione più critica è ancora quella relativa alle condizioni invernali, come in presenza di vento, ma con un incremento termico di 1.19 °C contro i 1.13 °C della condizione estiva e quindi con differenze non particolarmente sensibili;
- l'analisi del campo termico condotta nei precedenti paragrafi 4.3.2 e 4.3.3 aveva evidenziato che l'isoterma media a + 3 °C si mantiene costantemente ben lontana dal limite dei 1000 m, per cui l'incremento termico medio risulta in ogni caso inferiore ad 1.5 °C.

tab. 4.7 – Caso 2 estivo. 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	26.381
1	26.236	25.906	24.624	25.589		2SC	0.0000
2	26.314	26.031	24.638	25.661			
3	26.415	26.025	24.643	25.694		Staz. F 1	25.160
4	26.464	26.082	24.641	25.729		Staz. F 2	25.195
5	26.534	26.091	24.628	25.751		Staz. F 3	25.216
6	26.672	26.111	24.605	25.796		T m	25.1904
7	26.822	26.09	24.596	25.836		2SF	0.0573
8	27.016	26.06	24.592	25.889			
9	27.322	26.045	24.59	25.986		Incr. term.	1.1329
10	27.858	26.076	24.58	26.171			
11	28.072	26.111	24.578	26.254			
12	28.347	26.11	24.576	26.344			
13	28.538	26.042	24.562	26.381	C		
14	28.665	25.899	24.501	26.355			
15	28.766	25.785	24.411	26.321			
16	28.736	25.657	24.359	26.251			
17	28.712	25.545	24.299	26.185			
18	28.599	25.45	24.264	26.104			
19	28.35	25.389	24.251	25.997			
20	28.069	25.388	24.232	25.896			
21	27.679	25.425	24.215	25.773			
22	27.055	25.492	24.202	25.583			
23	26.555	25.521	24.191	25.422			
24	26.209	25.535	24.188	25.311			
25	25.925	25.535	24.189	25.216	F3		
26	25.737	25.539	24.203	25.160	F1		
27	25.937	25.437	24.212	25.195	F2		
28	26.178	25.348	24.225	25.250			
29	26.343	25.317	24.232	25.297			
30	26.429	25.3	24.252	25.327			
31	26.423	25.3	24.263	25.329			
32	26.354	25.309	24.277	25.313			
33	26.238	25.323	24.282	25.281			
34	26.092	25.358	24.286	25.245			

tab. 4.8 – Caso 2 invernale. 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	14.799
1	14.75	14.396	12.964	14.037		2SC	0.0000
2	14.831	14.527	12.979	14.112			
3	14.94	14.525	12.985	14.150		Staz. F 1	13.525
4	14.984	14.586	12.984	14.185		Staz. F 2	13.569
5	15.053	14.601	12.97	14.208		Staz. F 3	13.573
6	15.179	14.631	12.947	14.252		T m	13.5554
7	15.316	14.613	12.938	14.289		2SF	0.0529
8	15.485	14.58	12.935	14.333			
9	15.755	14.562	12.934	14.417		Incr. term.	1.1907
10	16.281	14.587	12.927	14.598			
11	16.488	14.622	12.926	14.679			
12	16.757	14.617	12.926	14.767			
13	16.937	14.554	12.906	14.799	C		
14	17.07	14.428	12.818	14.772			
15	17.181	14.306	12.707	14.731			
16	17.176	14.163	12.635	14.658			
17	17.176	14.035	12.555	14.589			
18	17.089	13.915	12.507	14.504			
19	16.859	13.83	12.484	14.391			
20	16.584	13.823	12.457	14.288			
21	16.19	13.866	12.433	14.163			
22	15.537	13.949	12.414	13.967			
23	14.998	13.982	12.4	13.793			
24	14.619	14.002	12.395	13.672			
25	14.309	14.015	12.394	13.573	F3		
26	14.16	14.006	12.409	13.525	F1		
27	14.41	13.874	12.422	13.569	F2		
28	14.728	13.767	12.436	13.644			
29	14.912	13.729	12.443	13.695			
30	15.012	13.707	12.466	13.728			
31	15.012	13.705	12.48	13.732			
32	14.95	13.712	12.497	13.720			
33	14.831	13.724	12.503	13.686			
34	14.656	13.75	12.508	13.638			

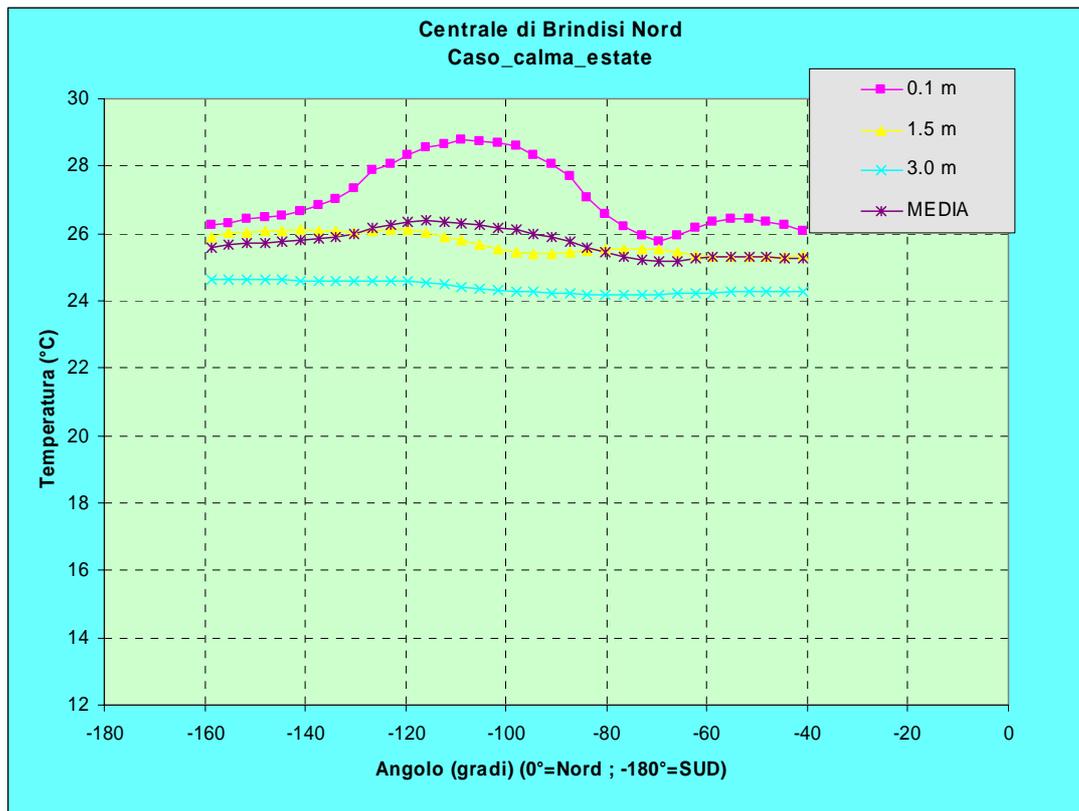


fig. 4.24 – Caso 2 estivo. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

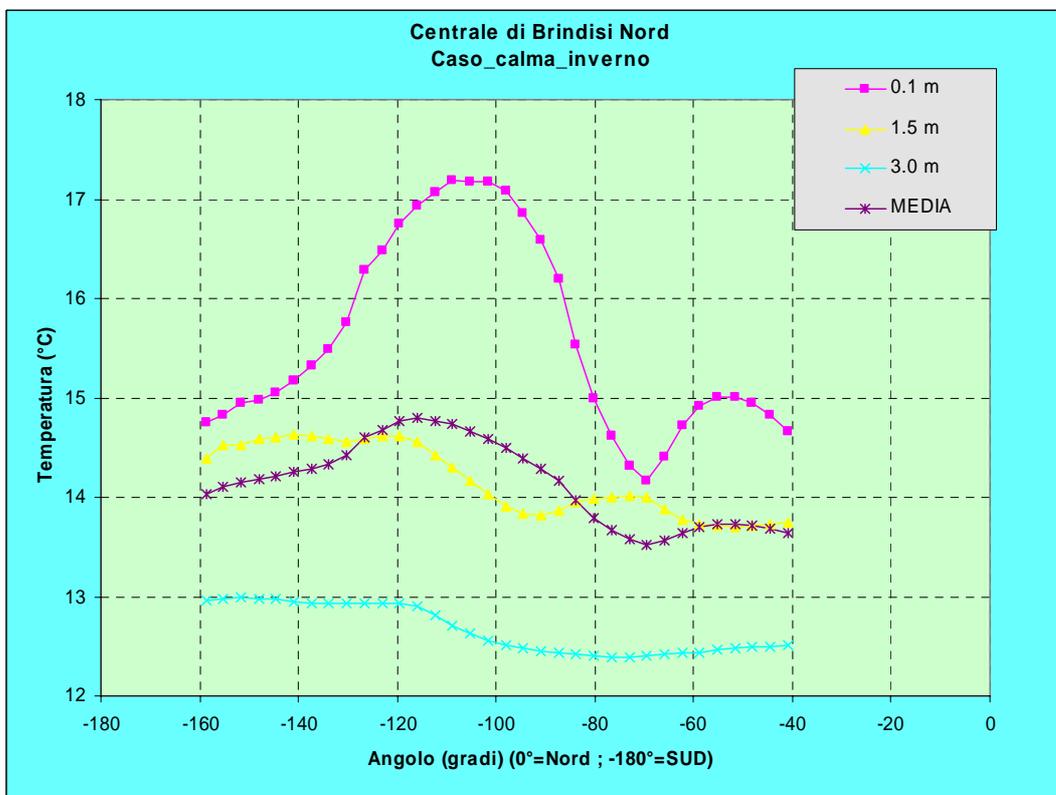


fig. 4.25 – Caso 2 invernale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

## 4.4 Caso 3 – Situazione attuale

### 4.4.1 Caratteristiche del calcolo

Il caso 3, denominato “Situazione attuale”, rappresenta di fatto la situazione così come si presenta ora, con la centrale di Brindisi in assetto a due gruppi a carbone, con una portata scaricata complessiva di  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  ed un sovrizzo termico allo scarico pari a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Per quanto riguarda le opere portuali, non vengono considerate le opere previste per il porto né il nuovo molo Enel, il molo Montecatini è considerato nella sua forma attuale, non sono previsti dragaggi ed infine le opere di scarico e presa della Polimeri Europa sono considerate nella loro attuale posizione.

Il reticolo di calcolo utilizzato in questo caso è mostrato in fig. 4.26, mentre in fig. 4.27 è riportato il dettaglio dello stesso in corrispondenza delle opere di scarico e presa.

### 4.4.2 Caso con vento

Questo caso è stato eseguito, nelle condizioni attuali di assetto della centrale e del porto, nelle stesse condizioni del caso 1 per quanto riguarda le condizioni meteomarine, allo scopo di poter analizzare l'effetto delle modifiche progettuali in queste condizioni.

Il caso assume infatti che sia presente una condizione di vento da NE, di intensità pari a 10 nodi, tale da esercitare uno sforzo sulla superficie del pennacchio diretto verso il molo attuale di Costa Morena e verso la presa della centrale; di fatto, questa condizione ambientale tende a mantenere l'acqua calda in prossimità della parte interna della darsena, così che si realizzano condizioni di massimo ricircolo termico in corrispondenza della presa della centrale. Questa situazione potrebbe invece favorire l'aspirazione di acqua superficiale più fredda in corrispondenza della presa adiacente il molo Canale.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.28 alla fig. 4.31, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.28 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, l'effetto concomitante della corrente e soprattutto del vento tende ad ostacolare la dispersione del pennacchio. L'area calda si localizza sostanzialmente tra l'attuale molo Costa Morena, il molo Montecatini e la zona dello scarico e della presa della centrale, assorbendo completamente l'attuale scarico Policentrica Ovest, di modesta entità. Il pennacchio finisce per interessare in parte anche l'imbocco del porto Medio, e comunque si ha una forte presenza di acqua ancora piuttosto calda in superficie in corrispondenza della zona della presa della centrale, determinando di conseguenza una situazione di forte ricircolo termico. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, si ha un sovrizzo di temperatura dell'ordine di  $1.0 \div 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$  sempre rispetto alla temperatura del mare imperturbata;
- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.29, l'andamento è sostanzialmente lo stesso del campo superficiale, con un lieve restringimento dell'area avente un incremento di temperatura superiore ai  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ , con un valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale intorno ai  $15.9 \text{ }^\circ\text{C}$ , con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa  $13.5 \text{ }^\circ\text{C}$  rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti il persistere del pennacchio caldo nella zona dello scarico favorisce l'estendersi del pennacchio caldo anche nella direzione verticale, in quanto il vento ne riduce la dispersione. L'elevato valore di sovrizzo termico allo scarico indotto dalla presenza di un forte ricircolo può portare, qualora queste condizioni di vento si manifestassero in condizioni estive, al superamento del limite di  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  allo scarico. Inoltre, l'isoterma a  $+3 \text{ }^\circ\text{C}$  raggiunge i 1000 m dal punto di scarico, ma per il calcolo dei limiti di legge occorre riferirsi al punto freddo sull'arco e non alla temperatura imperturbata, per cui il rispetto o meno di tali limiti verrà valutato correttamente nel successivo paragrafo 4.4.5. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, il sovrizzo di temperatura è ancora compreso tra  $1.0 \text{ }^\circ\text{C}$  ed  $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- c. è stata poi fatta una analisi, mostrata in fig. 4.30, del campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale. Si nota come le condizioni di forte ricircolo già evidenziate in questo caso siano dovute alla dimensione verticale del pennacchio caldo anche in corrispondenza della presa;
- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.31 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso. Infatti la circolazione calda generata dallo scarico viene di fatto deviata per la presenza del molo Montecatini e l'effetto concomitante del vento verso l'attuale molo Costa Morena. L'effetto di richiamo esercitato dalla presa adiacente il molo Canale coinvolge così acqua già abbastanza fredda perché proveniente da aree di mare meno interessate dal

pennacchio caldo, mentre viceversa la presa della centrale richiama acqua direttamente dalla zona di scarico, soprattutto negli strati superficiali, manifestato anche dal vortice antiorario che si viene a localizzare in corrispondenza del molo Montecatini. Questo andamento giustifica ancora una volta la presenza di un forte effetto di ricircolo verso la presa della centrale.

Nel successivo paragrafo 4.4.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.4.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2].

#### 4.4.3 *Caso con calma di vento*

Questo caso è stato eseguito, nelle condizioni attuali di assetto della centrale e del porto, nelle stesse condizioni del caso 2 per quanto riguarda le condizioni meteomarine, allo scopo di poter analizzare l'effetto delle modifiche progettuali in queste condizioni.

Il caso assume infatti una condizione di calma di vento, che ha una frequenza pari al 16%, e quindi non trascurabile. Esso è stato considerato poiché in un bacino semichiuso qual è quello del Porto Esterno il campo di moto in assenza di vento è determinato dalle strutture portuali presenti e dalla dinamica forzata dalle opere di aspirazione e scarico presenti. Nel nostro caso, la considerazione della presa adiacente al Molo Canale, con una portata di aspirazione non trascurabile, può indurre il pennacchio termico, per il quale risulta ridotto l'effetto di raffreddamento per scambio termico con l'atmosfera, ad estendersi verso tale presa, con conseguente possibilità di riscaldamento all'aspirazione. Inoltre, la diffusione del pennacchio caldo ad una distanza maggiore rispetto al punto di scarico, pur aumentando la superficie di scambio con l'atmosfera, potrebbe portare al superamento dei limiti di legge imposti sull'arco a 1000 m.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.32 alla fig. 4.35, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a) per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.32 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, si nota immediatamente come il pennacchio termico diffonda nell'area portuale verso la bocca di porto, fuoriuscendo anzi da esso per essere trascinato dalla corrente verso Nord. Il Porto Esterno è ora interessato totalmente dal campo termico, ma con temperatura mediamente più basse del caso precedente in presenza di vento da NE, e la zona della presa della centrale risulta anch'essa interessata da valori di temperatura decisamente più bassi rispetto al caso con vento. La presenza della presa adiacente al Molo Canale, tuttavia, provoca una corrente di aspirazione che tende a spostare il pennacchio verso di essa, con un sovrizzo termico dell'ordine di  $1.5 \pm 2.0$  °C rispetto al valore imperturbato di temperatura;
- b) per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.33, l'andamento è assai modificato rispetto al campo superficiale, in quanto in assenza di vento la diffusione superficiale è molto più efficace, con un conseguente notevole restringimento dell'area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C. Il valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale è ora intorno ai 13.4°C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 1.5 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 11.0 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti l'efficacia della diffusione superficiale del pennacchio caldo nella zona dello scarico limita l'estendersi del pennacchio caldo nella direzione verticale, riducendo il valore del ricircolo alla presa. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, il sovrizzo di temperatura si riduce a circa 1.0 °C;
- c) è stata poi fatta una analisi, mostrata in fig. 4.34, del campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale. Come già riscontrato nel caso 2, l'assenza del vento riduce fortemente la dimensione verticale del pennacchio caldo, anche se le condizioni ora sono leggermente peggiori rispetto all'analoga situazione futura soprattutto per l'effetto di schermo esercitato dal nuovo molo Enel (si veda la fig. 4.22);
- d) il campo di moto mostrato in fig. 4.35, giustifica ancora una volta l'andamento del campo termico sopra discusso. Infatti la circolazione calda generata dallo scarico, inizialmente interessante l'area tra l'attuale molo Costa Morena e l'attuale molo Montecatini, si sposta verso la parte aperta del Porto Esterno. L'effetto di richiamo esercitato dalla presa della centrale coinvolge così acqua già abbastanza fredda perché proveniente da aree di mare meno interessate dal pennacchio caldo, ed inoltre risulta in queste condizioni più efficace l'effetto di richiamo della presa adiacente al Molo Canale, che peraltro riceve anch'essa acqua abbastanza fredda. Questo andamento fa prevedere la presenza di effetti di ricircolo assai modesti, come sarà riscontrato nell'analisi descritta al paragrafo 4.4.4.

Nel successivo paragrafo 4.4.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.4.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2].

#### 4.4.4 *Analisi dei flussi termici e del ricircolo*

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle elaborazioni sui risultati ottenuti dal calcolo col fine di determinare i flussi termici nell'intero dominio di calcolo e l'eventuale ricircolo di acqua dallo scarico alla presa.

Per quanto riguarda i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tab. 4.9, nella quale appaiono le quote percentuali dei flussi termici che vengono dispersi verso i contorni e verso l'atmosfera. Inoltre sono anche riportate le quote di ricircolo termico, in termini percentuali, allo scopo di individuare potenziali situazioni critiche.

tab. 4.9 – Caso 3. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi

Caso 3	Potenza termica scambiata (MW)	Ricircolo Presa centrale %	Flusso totale uscente		
			Prelievo Presa molo Canale %	Contorno %	Atmosfera %
con vento da NE	831.25	38.1	21.8	20.9	57.3
calma di vento	831.25	13.8	13.7	55.0	31.3

La somma delle colonne relative al contorno, all'atmosfera e alla presa adiacente al molo Canale è relativa al flusso di calore totale che lascia il sistema e quindi corrisponde al calore totale immesso nel sistema dagli scarichi del Porto Esterno, e tiene conto del fatto che parte dall'aspirazione di quest'ultima viene scaricata mediante opere esterne al porto stesso; le percentuali riportate nella colonna relativa al ricircolo sulla presa della centrale rappresentano la frazione del calore immesso che rimane nel sistema per effetto del ricircolo stesso.

E' evidente come nel caso di presenza di vento l'efficacia dello scambio termico con l'atmosfera aumenta sensibilmente, pur riducendosi l'area superficiale di scambio, mentre in condizioni di assenza di vento più della metà del calore immesso lascia il dominio per diffusione e trasporto.

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, la presenza del vento spinge il pennacchio verso SW, aumentando la quantità di acqua calda che viene aspirata.

Per quanto riguarda il ricircolo di acqua dallo scarico alla presa della centrale, si nota in generale la presenza di un ricircolo termico, la cui entità è fortemente legata alle condizioni meteorologiche e marine presenti.

Nei casi valutati, il valore del sovrizzo termico medio alla presa della centrale è riportato nella seguente tab. 4.10, unitamente alla stima dell'incremento termico che si presenta anche alla presa adiacente il molo Canale ed al sovrizzo termico allo scarico della centrale conseguente alla presenza del ricircolo.

L'analisi dei valori in tab. 4.10, pone in evidenza una situazione di persistente ricircolo alla presa di Brindisi Nord, di forte entità in presenza di condizioni di vento da NE. Ciò è dovuto al fatto che nulla ostacola di fatto la dislocazione del pennacchio verso l'attuale molo di Costa Morena determinato dal vento, e che il pennacchio stesso presenta in queste condizioni una maggior ampiezza verticale.

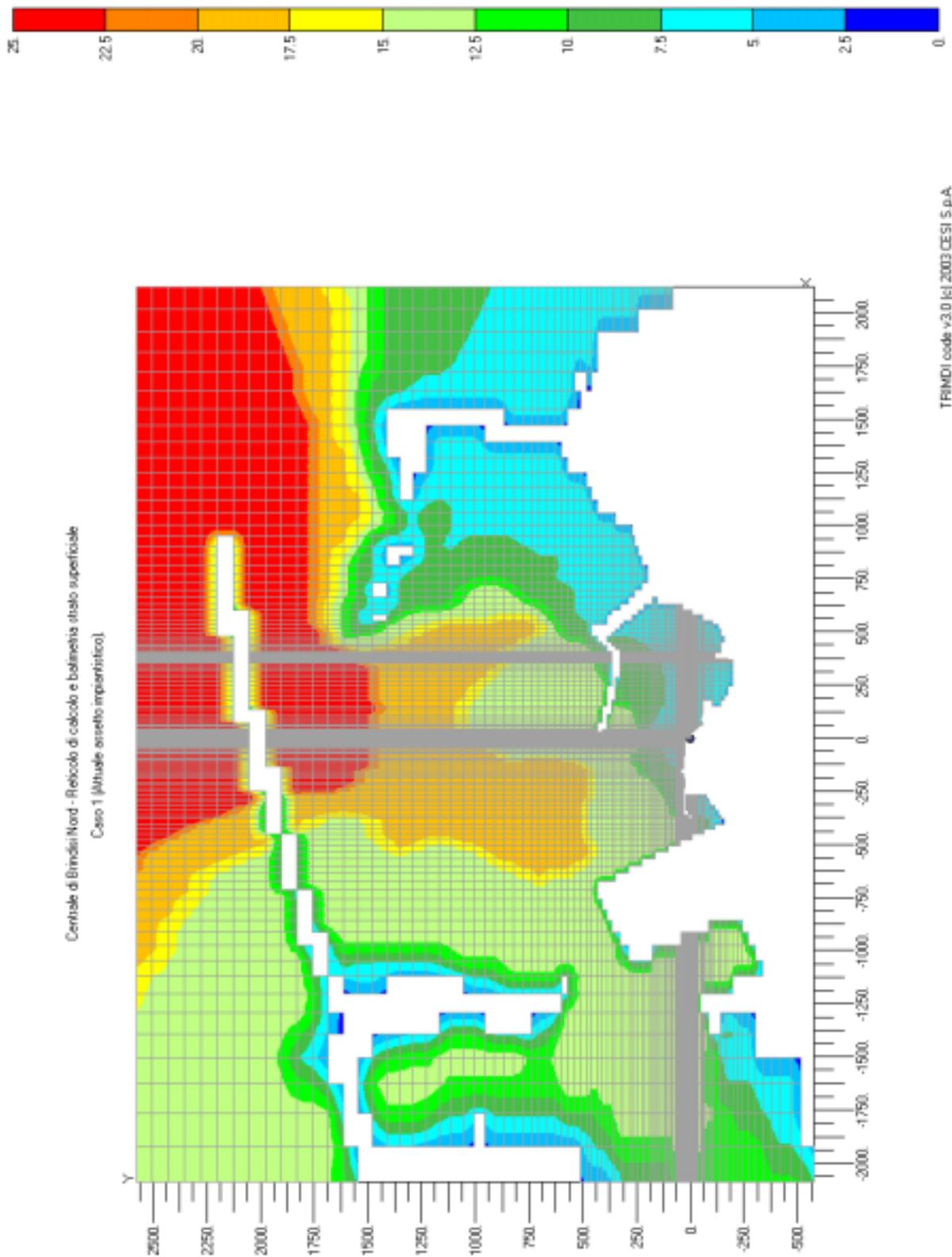


fig. 4.26 – Caso 3. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m)

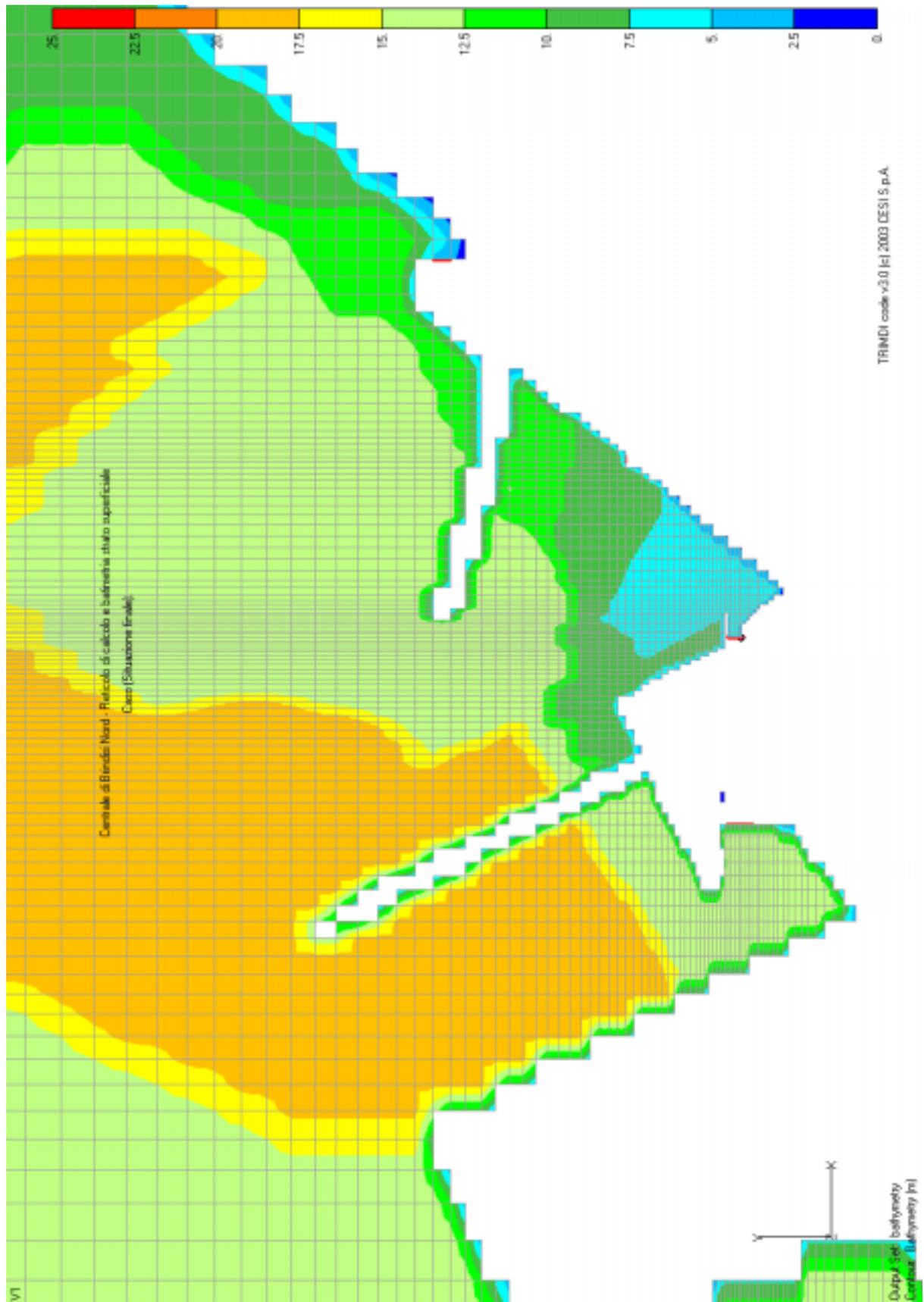
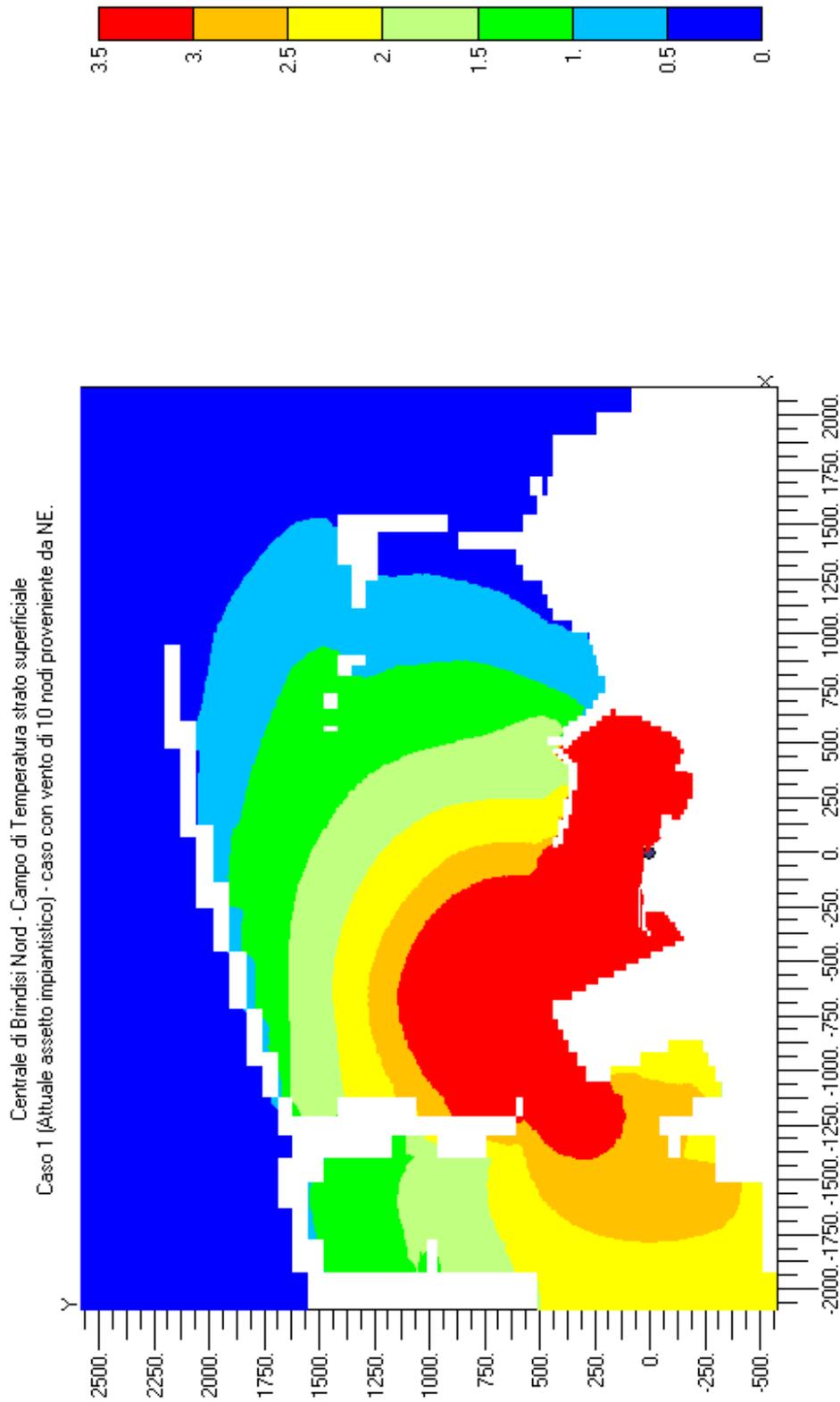
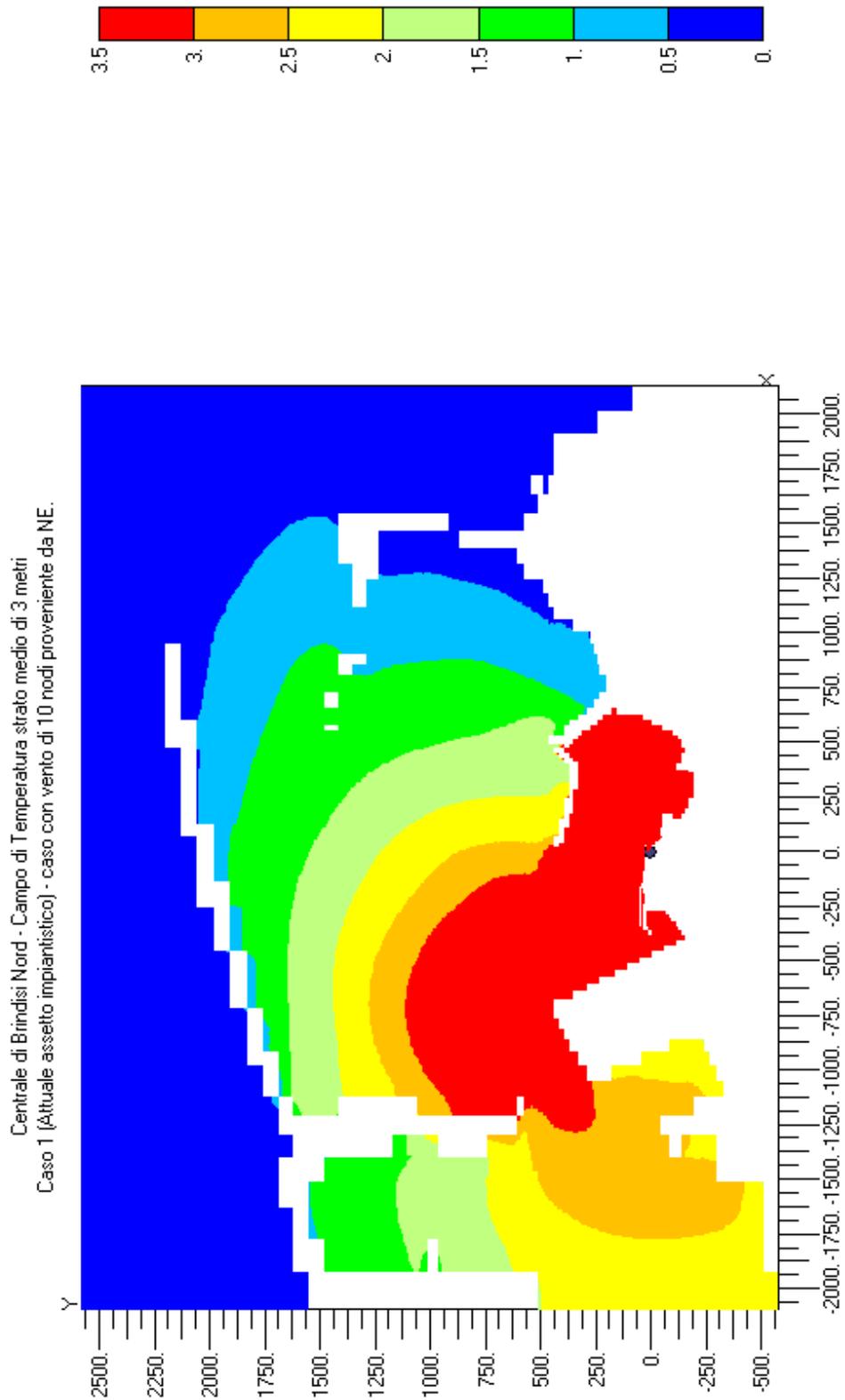


fig. 4.27 – Caso 3. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m)



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.28 – Caso 3 con vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)



Centrale di Brindisi Nord - Campo di Temperatura strato medio di 3 metri  
Caso 1 (Attuale assetto impiantistico) - caso con vento di 10 nodi proveniente da NE.

TRIMIDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.29 - Caso 3 con vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

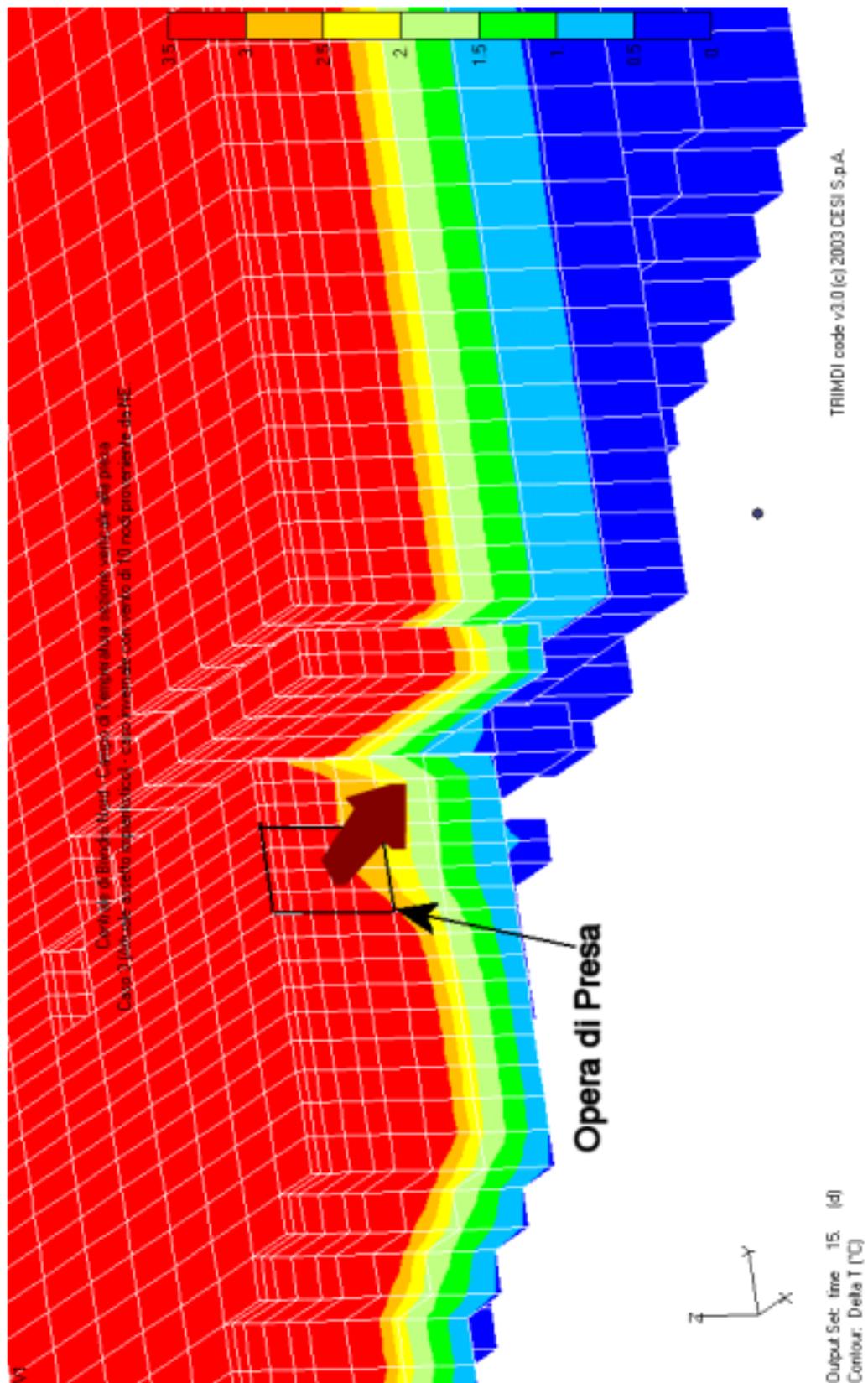


fig. 4.30 - Caso 3 con vento. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)

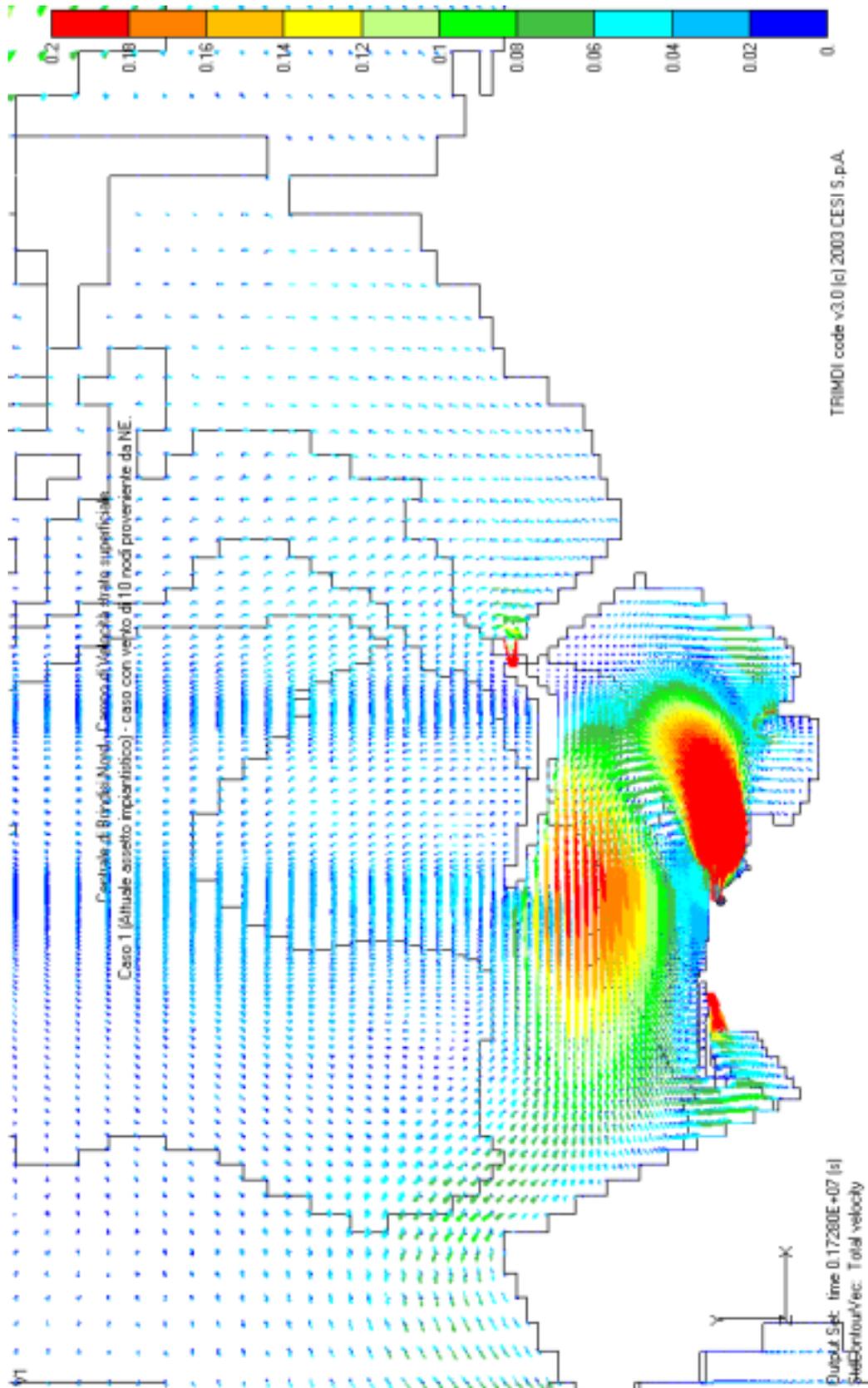


fig. 4.31 - Caso 3 con vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

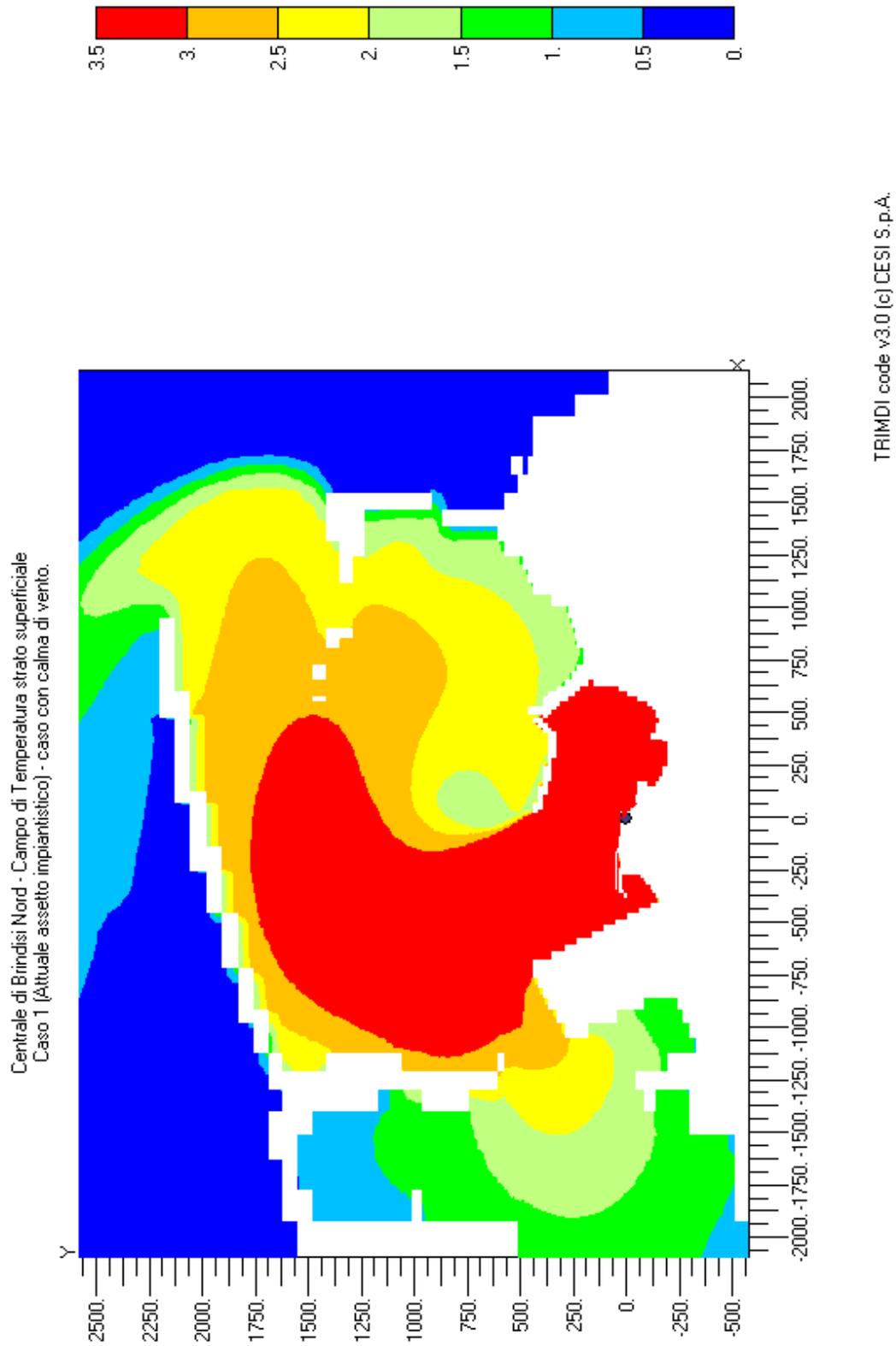
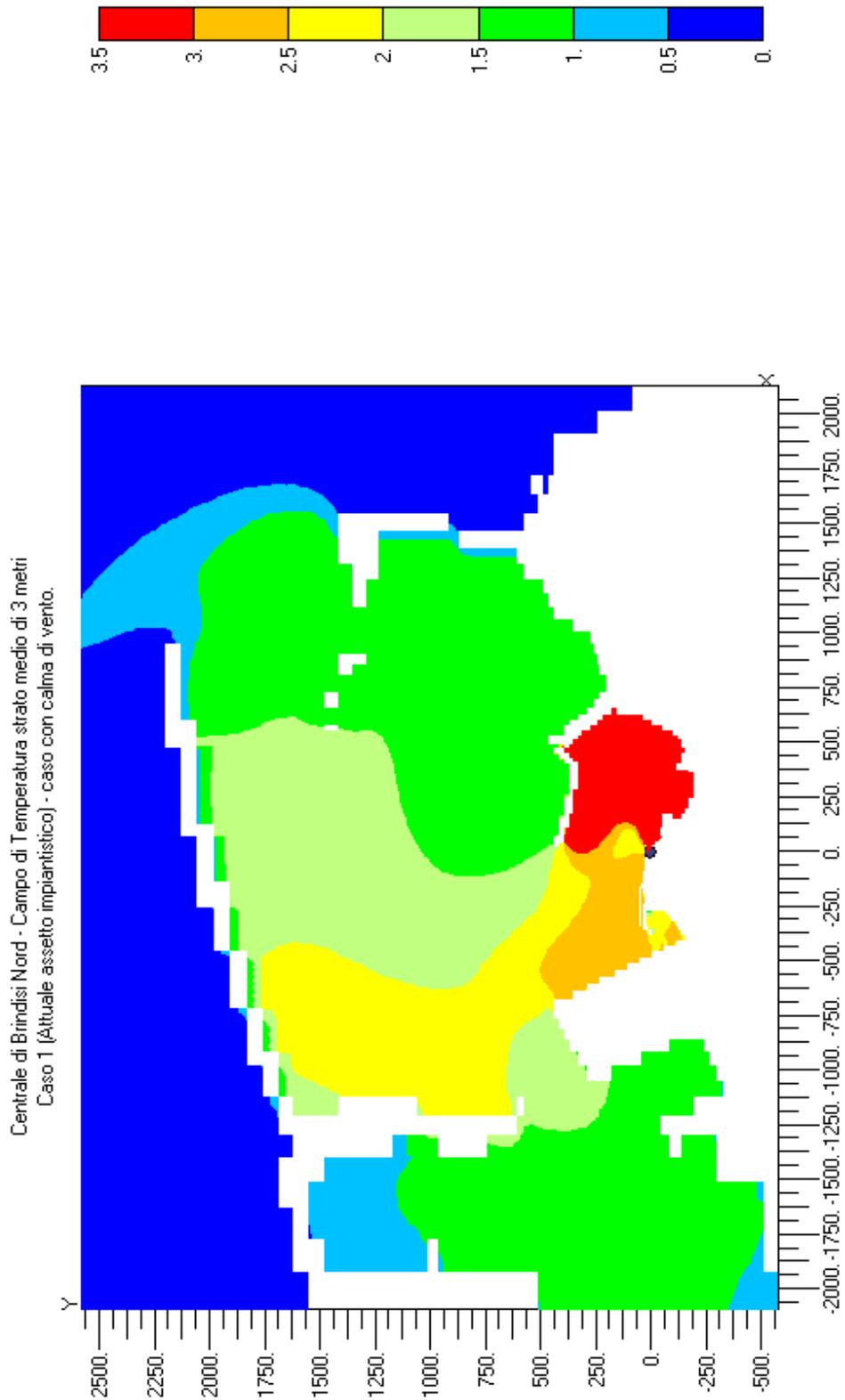


fig. 4.32 – Caso 3 con calma di vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)



TRIMDI code v3.0 (c) CESI S.p.A.

fig. 4.33 - Caso 3 con calma di vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

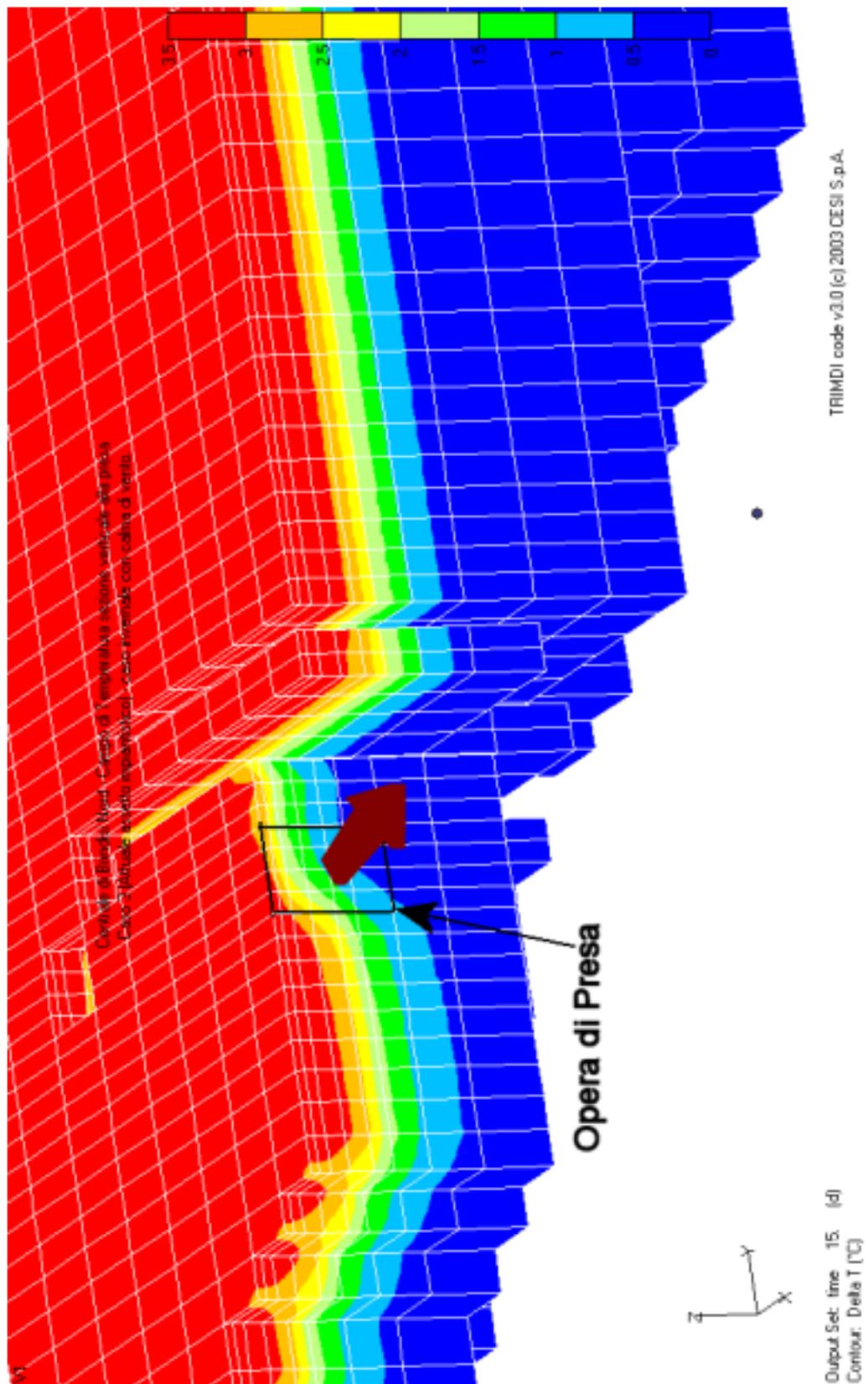


fig. 4.34 - Caso 3 con calma di vento. Andamento verticale del sovralzso termico in corrispondenza della presa (°C)

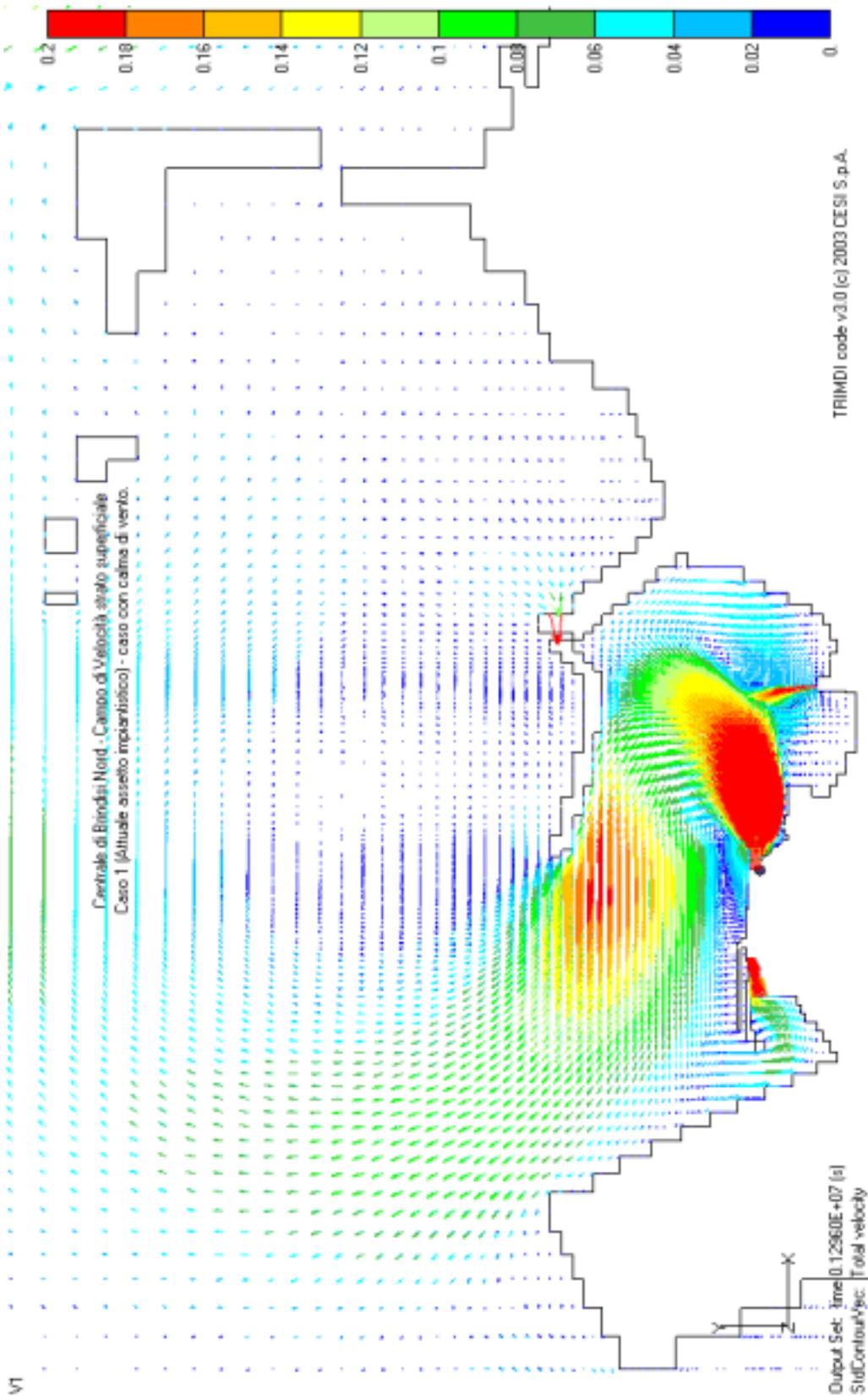


fig. 4.35 - Caso 3 con calma di vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

tab. 4.10 – Caso 3. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico

Caso 3	$\Delta T$ [°C] alla presa molo Canale	$\Delta T$ [°C] alla presa centrale	$\Delta T$ [°C] allo scarico centrale
con vento da NE	1.4	4.0	13.5
calma di vento	0.9	1.5	11.0

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, anche tale presa risente dalla presenza del pennacchio termico, con valori di incremento termico più ridotti in assenza di vento; si tratta comunque di valori dell'ordine al massimo di 1.4 °C.

Le condizioni di vento persistente da NE qui considerate sono le più critiche, e d'altra parte sono comuni nella zona, per cui si può ritenere che i valori di ricircolo ottenuti nello studio, nelle condizioni attuali, siano conservative.

#### 4.4.5 La valutazione del sovralto termico a 1000 m

La normativa di legge vigente [1] prevede un limite massimo di + 3 °C di sovralto 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 di attuazione [2] 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 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 sovralto termico viene stabilito per differenza tra tale temperatura media e la media tra le temperature valutate nei tre punti di misura più freddi lungo l'arco.

Allo scopo di valutare il rispetto di tali limiti nella situazione di scarico attuale in assenza del nuovo molo Enel e delle progettate nuove opere a mare, si è calcolato l'andamento del sovralto termico sull'arco a 1000 m dallo scarico, riportato in fig. 4.36, partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione numerica.

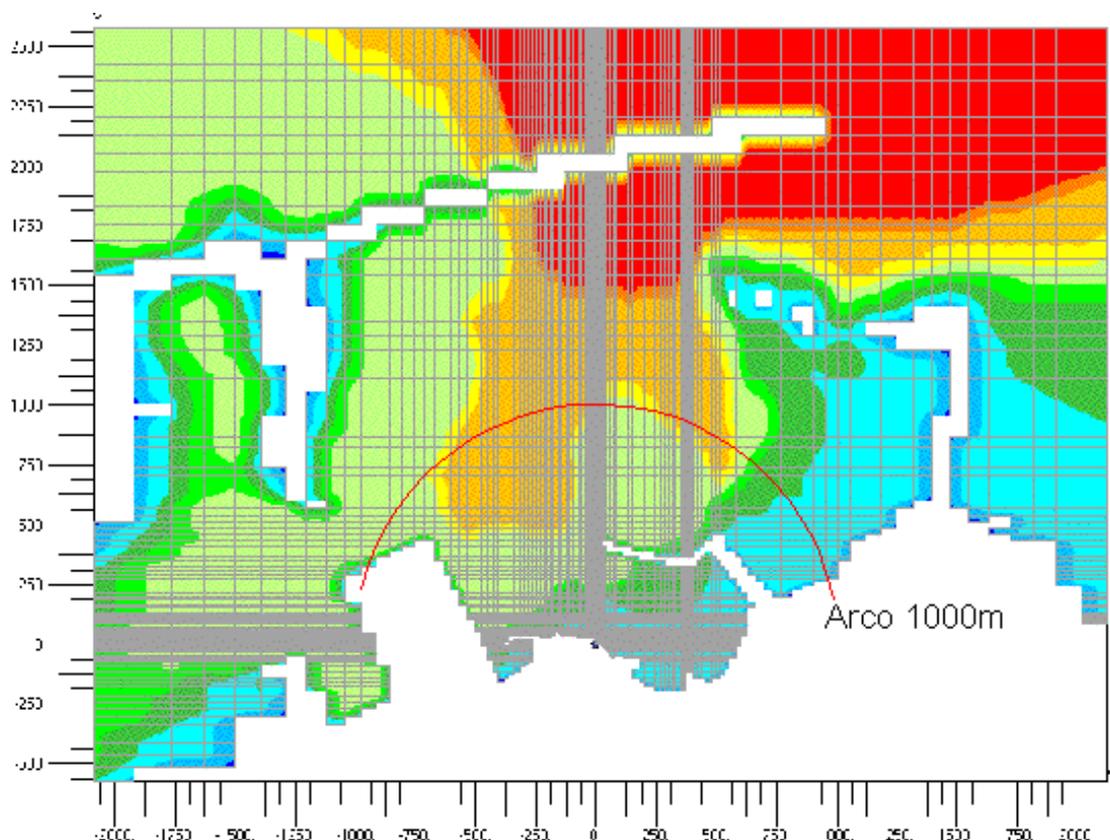


fig. 4.36 – Arco di misura a 1000 m dallo scarico nella situazione attuale

La tab. 4.11 e la tab. 4.12 includono i valori calcolati sull'arco, rispettivamente nelle condizioni di vento da NE e di calma di vento, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1,F2,F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi  $T_m$  e della sua deviazione standard (2SF). L'incremento termico risultante valutato sull'intero arco secondo le procedure di legge [2] è anch'esso evidenziato nella tabella.

Nella fig. 4.37 e nella fig. 4.38 sono poi riportati, ancora nelle condizioni di vento da NE e di calma di vento rispettivamente, gli andamenti grafici 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.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

- a. in tutte le condizioni, l'incremento termico massimo sull'arco a 1000 m è inferiore al limite di legge di 3 °C;
- b. la situazione più critica è quella relativa alle condizioni in presenza di vento, con un incremento termico di 2.50 °C contro i 0.71 °C della condizione con calma di vento. L'ordine di grandezza di tali valori di incremento termico rispecchia quelli ottenuti nella situazione futura invernale, sia in presenza di vento (paragrafo 4.2.3) che in condizioni di calma (paragrafo 4.3.3), con un minore valore assoluto in quanto l'assetto attuale della centrale opera senza il ciclo combinato previsto per l'assetto futuro;
- c. anche l'analisi del campo termico condotta nei precedenti paragrafi 4.4.2 e 4.4.3 evidenzia l'analogia di comportamento, dal punto di vista dei limiti termici, delle situazioni presente e futura, con un incremento termico sull'arco a 1000 m essenzialmente legato alle condizioni di vento più che all'assetto della centrale.

tab. 4.11 – Caso 3 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	15.751	
1	15.958	15.869	14.844	15.557	C	2SC	0.0000	
2	16.129	16.014	14.881	15.675				
3	16.223	15.977	14.772	15.657		Staz. F 1	12.392	
4	16.393	16.069	14.756	15.739		Staz. F 2	12.420	
5	16.351	16.074	14.785	15.737		Staz. F 3	12.970	
6	16.351	16.118	14.783	15.751		T m	12.5941	
7	16.34	16.134	14.748	15.741		2SF	0.6522	
8	16.273	16.104	14.681	15.686				
9	16.159	16.029	14.594	15.594			Incr. term.	2.5043
10	15.967	15.862	14.485	15.438				
11	15.787	15.689	14.406	15.294				
12	15.501	15.454	14.318	15.091				
13	15.376	15.347	14.28	15.001				
14	15.09	15.078	14.171	14.780				
15	14.946	14.939	14.114	14.666				
16	14.69	14.691	14.032	14.471				
17	14.541	14.545	13.986	14.357				
18	14.388	14.394	13.944	14.242				
19	14.149	14.158	13.855	14.054				
20	14.054	14.065	13.804	13.974				
21	13.952	13.964	13.748	13.888				
22	13.876	13.887	13.73	13.831				
23	13.794	13.805	13.69	13.763				
24	13.662	13.672	13.619	13.651				
25	13.556	13.567	13.548	13.557				
26	13.491	13.501	13.495	13.496				
27	13.399	13.408	13.405	13.404				
28	13.321	13.329	13.325	13.325				
29	13.247	13.255	13.251	13.251				
30	13.197	13.204	13.2	13.200				
31	13.134	13.141	13.136	13.137				
32	13.052	13.057	13.048	13.052				
33	13.008	13.014	13.006	13.009				
34	12.97	12.975	12.966	12.970	F3			
35	12.88	12.88	12.829	12.863				
36	12.668	12.664	12.644	12.659				
37	12.568	12.563	12.546	12.559				
38	12.502	12.498	12.486	12.495				
39	12.44	12.439	12.434	12.438				
40	12.417	12.42	12.423	12.420	F2			
41	12.391	12.392	12.393	12.392	F1			

tab. 4.12 – Caso 3 con calma di vento. 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	14.093	
1	14.667	13.669	12.64	13.659	C	2SC	0.0000	
2	14.649	13.729	12.636	13.671				
3	14.909	13.706	12.639	13.751		Staz. F 1	13.132	
4	15.298	13.734	12.637	13.890		Staz. F 2	13.176	
5	15.456	13.757	12.649	13.954		Staz. F 3	13.301	
6	15.683	13.783	12.66	14.042		T m	13.2030	
7	15.809	13.788	12.639	14.079		2SF	0.1755	
8	15.894	13.784	12.6	14.093				
9	15.942	13.765	12.56	14.089			Incr. term.	0.7141
10	15.984	13.713	12.497	14.065				
11	15.953	13.664	12.469	14.029				
12	15.889	13.591	12.422	13.967				
13	15.836	13.544	12.385	13.922				
14	15.656	13.483	12.348	13.829				
15	15.49	13.461	12.321	13.757				
16	15.295	13.45	12.306	13.684				
17	15.073	13.456	12.291	13.607				
18	14.818	13.464	12.283	13.522				
19	14.736	13.442	12.28	13.486				
20	14.609	13.437	12.279	13.442				
21	14.503	13.424	12.279	13.402				
22	14.239	13.424	12.281	13.315				
23	14.246	13.407	12.282	13.312				
24	14.288	13.382	12.282	13.317				
25	14.335	13.363	12.283	13.327				
26	14.266	13.354	12.287	13.302				
27	14.332	13.337	12.29	13.320				
28	14.318	13.328	12.297	13.314				
29	14.362	13.321	12.303	13.329				
30	14.34	13.319	12.313	13.324				
31	14.326	13.318	12.327	13.324				
32	14.307	13.322	12.341	13.323				
33	14.271	13.326	12.351	13.316				
34	14.201	13.335	12.367	13.301	F3			
35	14.164	13.344	12.383	13.297				
36	14.076	13.361	12.407	13.281				
37	14	13.383	12.414	13.266				
38	13.857	13.429	12.423	13.236				
39	13.712	13.471	12.425	13.203				
40	13.597	13.493	12.439	13.176	F2			
41	13.465	13.466	12.464	13.132	F1			

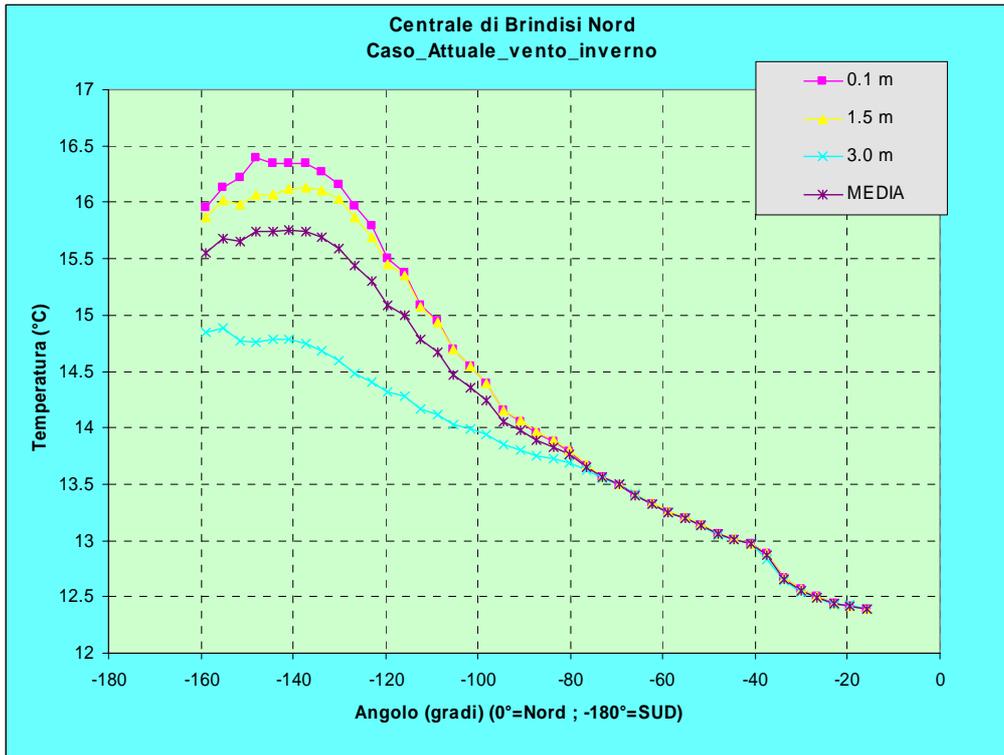


fig. 4.37 – Caso 3 con vento da NE. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

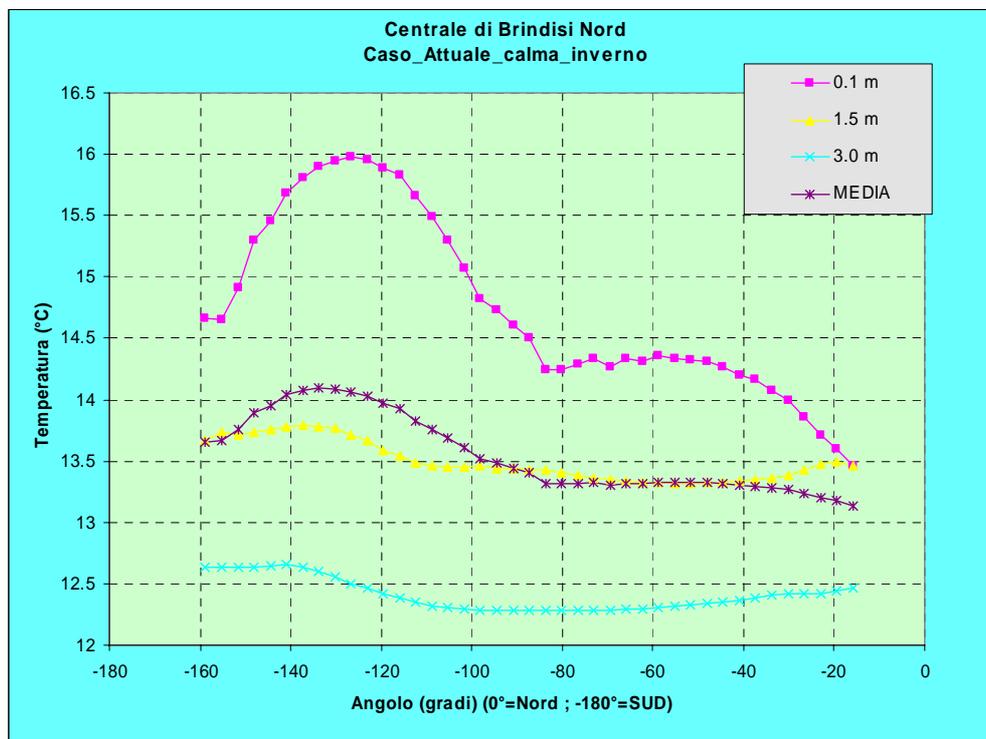


fig. 4.38 – Caso 3 con calma di vento. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

## 4.5 Caso 4 – Caso test

### 4.5.1 Caratteristiche del calcolo

Il caso 4, denominato “Caso test”, è stato simulato allo scopo di effettuare una validazione del modello numerico utilizzato per il presente studio, in modo da poter valutare l'accuratezza con cui i fenomeni legati alla diffusione termica vengono rappresentati nella configurazione specifica del porto di Brindisi.

In primo luogo, la configurazione cui ci si riferisce per questo caso è la situazione così come si presenta ora, con la centrale di Brindisi in assetto a due gruppi a carbone, con una portata scaricata complessiva di 21 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10 °C. Per quanto riguarda le opere portuali, non vengono considerate le opere previste per il porto né il nuovo molo Enel, il molo Montecatini è considerato nella sua forma attuale, non sono previsti dragaggi ed infine le opere di scarico e presa della Polimeri Europa sono considerate nella loro attuale posizione. Il reticolo di calcolo utilizzato in questo caso è ancora quello mostrato in fig. 4.26, mentre in fig. 4.27 è riportato il dettaglio dello stesso in corrispondenza delle opere di scarico e presa.

La situazione di scarico considerata fa riferimento ad una misura di incremento termico sull'arco a 1000 m effettuata il 21 agosto 2003, dalle ore 9:30 alle ore 11:05, le cui condizioni di misura sono state fornite dalla Centrale e sono riportate nelle successive fig. 4.39, fig. 4.40 e fig. 4.41.

Le condizioni di esercizio sono note in termini di potenza generata pari a 245 MW; ciò significa che un solo gruppo (3 o 4) era in funzione, e quindi si può ipotizzare una portata di acqua di raffreddamento pari a 10.5 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10. °C (come da tab. 2.1).

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine al momento della misura, i dati forniti riportano una temperatura di 29.8 °C per l'aria, con condizioni di vento da NNW, misurata a 10 m di altezza, pari a 6.5 m/s. Per la temperatura ambientale dell'acqua di mare, non avendosi dati diretti ed essendo i punti freddi sull'arco misurati comunque in condizioni perturbate dal pennacchio caldo, si è fatto ricorso ai dati della Rete Ondametrica Nazionale [14], utilizzando le rilevazioni della stazione di Monopoli, che forniscono un valore pari a 28.2 °C alla data del 21 agosto 2003 (si veda la fig. 4.42).

### 4.5.2 Analisi dei flussi termici e del ricircolo

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle elaborazioni sui risultati ottenuti dal calcolo col fine di determinare i flussi termici nell'intero dominio di calcolo e l'eventuale ricircolo di acqua dallo scarico alla presa, anche se non si dispone di misure relative a tali parametri

Per quanto riguarda i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tab. 4.13, nella quale appaiono le quote percentuali dei flussi termici che vengono dispersi verso i contorni e verso l'atmosfera. Inoltre sono anche riportate le quote di ricircolo termico, in termini percentuali, allo scopo di individuare potenziali situazioni critiche.

tab. 4.13 – Caso test. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi

Caso test	Potenza termica scambiata (MW)	Ricircolo Presa centrale %	Flusso totale uscente		
			Prelievo Presa molo Canale %	Contorno %	Atmosfera %
estivo	245.18	9.6	33.0	12.8	54.2

Nei casi valutati, il valore del sovrizzo termico medio alla presa della centrale è riportato nella seguente tab. 4.14, unitamente alla stima dell'incremento termico che si presenta anche alla presa adiacente il molo Canale ed al sovrizzo termico allo scarico della centrale conseguente alla presenza del ricircolo.

tab. 4.14 – Caso test. Andamento dei sovralti termici alle opere di presa e scarico

Caso test	$\Delta T$ [°C] alla presa molo Canale	$\Delta T$ [°C] alla presa centrale	$\Delta T$ [°C] allo scarico centrale
estivo	0.7	0.8	6.4

L'analisi dei valori in tab. 4.14, pone in evidenza una situazione di modesto ricircolo alla presa della centrale, dovuto essenzialmente alle condizioni di carico ridotto della centrale al momento delle misure, unitamente al fatto di trovarsi in condizioni estive; si manifesta inoltre un valore di ricircolo termico dello stesso ordine di grandezza anche alla presa adiacente il molo Canale, a significare un moderato riscaldamento generalizzato della zona del porto adiacente la costa..

Le condizioni di vento persistente da NNW qui considerate sono comuni nella zona ma non sono da considerarsi le più critiche, come si può dedurre anche dai limitati valori di ricircolo riscontrati.

#### 4.5.3 Verifica dell'incremento termico sull'arco

Il test di verifica è stato condotto avendo come solo termine di riscontro le misure dei valori di temperatura sull'arco a 1000 m. Le condizioni misurate sull'arco in termini di temperatura di fig. 4.39 sono state riportate in tab. 4.15 e graficate in fig. 4.43; il valore di incremento termico sull'arco a 1000 m misurato il 21 agosto 2003 è pari a 0.7969 °C.

Una prima simulazione numerica effettuata nelle condizioni sopra espone ha fornito un valore di incremento termico sull'arco a 1000 m pari invece a 0.5969, con un andamento sull'arco riportato in fig. 4.44. Tale valore è quindi inferiore di circa 0.2 °C, ma ciò che si nota è la forte diversità nella valutazione del punto caldo, ferma restando l'esatta collocazione. Dall'esame della fig. 4.43 si nota come si abbia un forte contributo dello strato superficiale al valore di temperatura in quel punto, il che fa supporre una diversa valutazione dell'effetto del vento, pur con una esatta dislocazione del pennacchio, mostrata in fig. 4.45.

Di conseguenza, è stata fatta una verifica accurata dell'andamento di tale parametro nel giorno della misura e nel giorno precedente, utilizzando la banca dati meteorologica satellitare di rif. [31]. Gli andamenti dei principali parametri atmosferici per i giorni 20 e 21 agosto 2003 sono riportati in fig. 4.46. Si nota immediatamente come il valore di intensità del vento di 6.5 m/s (23.4 km/h nella scala della figura) sono un valore di picco raggiunto proprio durante l'ora di misura, e quindi non è corretto simulare il pennacchio caldo ipotizzando una situazione stazionaria con una intensità del vento di tale valore. Infatti, nelle ore precedenti si è avuto un periodo di almeno 18 ore con velocità inferiori di cui 6 ore con velocità pari o inferiore a 8 km/h (2.22 m/s), prossime alle condizioni di calma di vento (< 2 m/s); solo nelle due ore antecedenti la misura il vento è rinforzato, con valori medi però dell'ordine di 12÷16 km/h. Per quanto riguarda la direzione del vento, invece, non si hanno informazioni, ed è stata supposta costantemente orientata da NNW.

Pertanto, la corretta simulazione delle condizioni di misura è stata effettuata eseguendo una simulazione stazionaria con vento di intensità pari a 2.22 m/s, e quindi simulando un transitorio di vento con un valore di 4.44 m/s, pari al valore medio nel periodo di transitorio.

L'andamento del campo termico mediato sullo strato di 3 m, in termini di sovralto termico, ottenuto al termine di tale simulazione è riportato in fig. 4.47; dal confronto con il caso stazionario nelle condizioni fisse di 6.5 m/s di fig. 4.45 si vede come ora il pennacchio si estenda maggiormente verso le Pedagne in quanto l'effetto di maggior raffreddamento dovuto al vento è stato correttamente considerato solo durante l'ultimo periodo di simulazione, come è nella realtà.

La valutazione dell'incremento termico sull'arco, i cui punti simulati sono riportati in tab. 4.16, fornisce ora un valore di 0.69 °C, con una differenza di -0.1 °C rispetto al valore misurato. Si possono fare, a questo proposito, una serie di considerazioni, supportate anche dal grafico di fig. 4.48 che riporta i valori calcolati sull'arco in condizioni di transitorio di vento:

- la posizione del punto caldo è ben localizzata, anche tenendo presente che il codice simula l'intero arco bagnato avente un'ampiezza pari a 143° con 41 punti calcolati, mentre i 26 punti di misura coprono un arco di 125°, non potendo la barca avvicinarsi troppo alle rive;



CENTRALE BRINDISI

INDAGINI TERMICHE A MARE

TAB. 1

		INDAGINI TERMICHE A MARE														
		POTENZA NOMINALE MW						PORTATA NOMINALE ACQUA DI RAFFREDDAMENTO (M3/SEC)								
		POTENZA GENERATA MW						% PORTATA NOMINALE ACQUA DI RAFFREDDAMENTO (M3/SEC)								
		DATA 21/08/2003														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
MISURAN*1																
STAZ.		9.30	9.33	9.36	9.39	9.42	9.45	9.48	9.51	9.54	9.57	10.00	10.03	10.06		
ORE/MIN		28.211	28.223	28.247	28.366	28.406	28.391	28.411	28.316	28.340	28.342	28.306	28.250	28.259		
0,10 mt		28.309	28.334	28.358	28.445	28.545	28.515	28.532	28.446	28.484	28.472	28.424	28.370	28.391		
1,50 mt		28.034	28.058	28.035	28.139	28.252	28.255	28.263	28.154	28.240	28.220	28.179	28.145	28.169		
3,00 mt		28.185	28.205	28.213	28.317	28.401	28.387	28.402	28.305	28.355	28.345	28.303	28.255	28.273		
MEDIA		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
STAZ.		10.09	10.12	10.15	10.18	10.21	10.24	10.27	10.30	10.33	10.36	10.39	10.42	10.45		
ORE/MIN		28.220	28.200	28.282	28.198	28.325	28.726	29.141	29.894	29.061	29.011	28.971	28.980	28.993		
0,10 mt		28.394	28.353	28.400	28.319	28.431	28.080	29.240	29.204	29.183	29.169	29.134	29.114	29.113		
1,50 mt		28.137	28.125	28.155	28.112	28.200	28.372	28.600	28.950	28.889	28.891	28.874	28.864	28.835		
3,00 mt		28.250	28.226	28.279	28.210	28.319	28.393	28.994	29.349	29.044	29.024	28.993	28.986	28.980		
MEDIA																
		CONDIZIONI METEOROLOGICHE														
<input checked="" type="checkbox"/>	SERENO	TEMPERATURA (°C) 29,8														
<input type="checkbox"/>	VARIABILE	VENTO debole														
<input type="checkbox"/>	NUVOLOSO	PROV. alt. 10m N-NO														
<input type="checkbox"/>	MOLTO NUV	VEL. (m/SEC.) 10m/50m 6,5														
<input type="checkbox"/>	PIOGGIA															
		CONDIZIONI MARINE						CANALE PRESA			CANALE SCARICO			RESPONSABILE MISURE		
		CALMO <input type="checkbox"/>						STAZ. P			S			INCARICATO EDIPOWER		
		QUASI CALMO <input checked="" type="checkbox"/>						ORE/MIN								
		LEGG. MOSSO <input type="checkbox"/>														
		MOSSO <input type="checkbox"/>														
		AGITATO <input type="checkbox"/>														

fig. 4.39 - Valori di temperatura misurati sull'arco a 1000 m il 21 agosto 2003



CENTRALE BRINDISI											
DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA MEDIA STAZIONE PIU' CALDA e di 2S1											
TAB. 3A	21.08/2003			11.05			CAMPAGNA N. 1			STAZIONE N. 21	
CENTRALE BRINDISI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
REPLICA											
0,1 m	29.156	29.135	29.120	29.111	29.100	29.130	29.123	29.100	29.105	29.112	
1,5 m	29.250	29.264	29.243	29.240	29.246	29.248	29.242	29.250	29.243	28.228	
3,0 m	28.637	28.580	28.907	28.802	28.898	28.979	28.937	29.920	28.820	28.915	
TEMPERATURA MEDIA $T_{mi}$	<b>29.014</b>	<b>28.993</b>	<b>29.090</b>	<b>29.051</b>	<b>29.081</b>	<b>29.119</b>	<b>29.101</b>	<b>29.423</b>	<b>29.056</b>	<b>28.752</b>	
$T_M = \frac{\sum T_{mi}}{10}$	29.068										
$(T_{mi} - T_M)$	-0.054	-0.075	0.022	-0.017	0.013	0.051	0.033	0.355	-0.012	-0.316	
$S_i = (T_{mi} - T_M)^2$	0.003	0.006	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.126	0.000	0.100	
$\sum S_i$											
$\sqrt{\sum S_i}$	0.240										
$2S1 = 0.67 \times \sqrt{\sum S_i}$	0.489										
	<b>0.328</b>										

RESPONSABILE MISURE
INCARICATO EDIPOWER

fig. 4.40 - Determinazione della temperatura al punto caldo (21 agosto 2003)



**CENTRALE BRINDISI**

**TAB. 3 DETERMINAZIONE DELL'INCREMENTO TERMICO**

		21/08/2003	CAMPAGNA N. 1		
STAZIONE N. O ALLEGATO N.	STAZIONE CALDA	2 x DEVIAZ. STANDARD STAZIONE CALDA	STAZIONI CONTEMP. PIU' BASSA		
	<b>21</b>	ALL.3A	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	Tj	281	F1	F2	F3
VALORE TEMPERATURA MEDIA	29.349	0.328	28.185	28.205	28.213
	$T_m = (F1 + F2 + F3) / 3$				
			28.201		
	$F1 - T_m$		-0.016	0.004	0.012
	$S = \sqrt{(F1 - T_m)^2}$		0.00026	0.00002	0.00015
	I \$	0.00043			
2 x DEVIAZ. STANDARD RIFERIM. ARCO	VI \$	0.021			
	$2S = 141 \cdot VI$	0.029			
PUNTO RIFERIM. FUORI ARCO	DEVIAZ. STANDARD RIFERIM. FUORI ARCO	INCREM. TERMICO RISPETTO ARCO	INCREM. TERMICO RISPETTO RIF.		
ALLEGATO N.	ALL.3B	ALL.3B			
	TRM	282	$DT1 = Tj - 281 - TRM$	$DT2 = Tj - 281 - TRM - 282$	
VALORE TEMPERATURA MEDIA			<b>0.791</b>		

L'INCARICATO EDIPOWER

fig. 4.41 –Determinazione dell'incremento termico (21 agosto 2003)

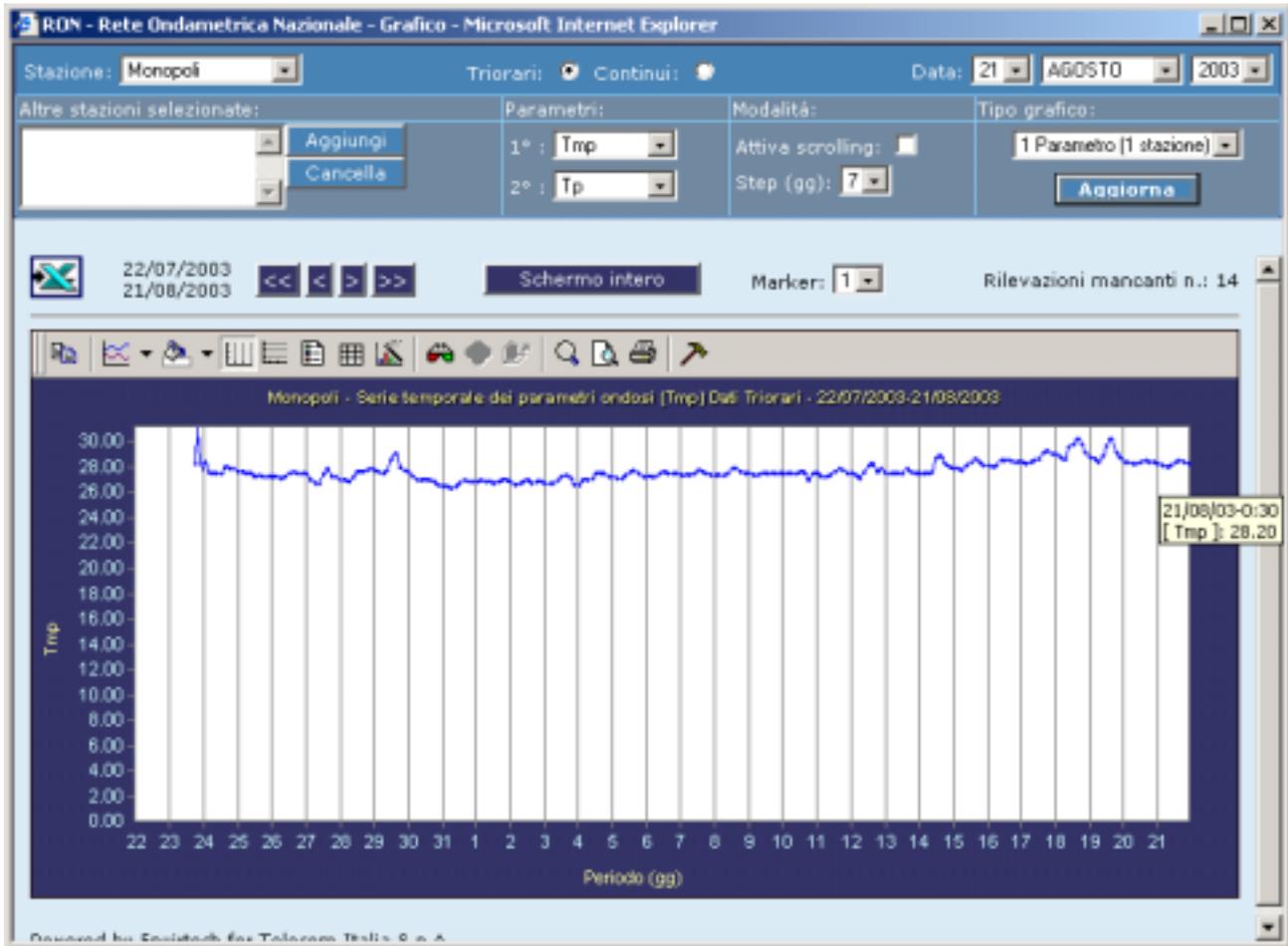


fig. 4.42 - Rete Ondametrica Nazionale. Stazione di Monopoli. Rilevazione della temperatura nel mese di agosto

- b. il valore del punto caldo è calcolato in leggero difetto, con 28.95 °C contro i 29.34 della misura. Va però considerato, come si vede dalla fig. 4.40, che le ripetizioni al punto caldo hanno tutte dato un valore inferiore, mediamente di 29.09 °C, e che ad aumentare il valore medio della prima misura concorre molto il valore anormalmente alto dello strato superficiale di 0.1 m, come si vede nella fig. 4.43
- c. i valori calcolati ai punti freddi, che risultano prossimi al molo di Costa Morena, come anche nelle condizioni di misura, sono prossimi al valore della temperatura naturale imperturbata, così come i valori misurati, per cui si può concludere che il transitorio simulato in condizioni di vento variabile coglie esattamente le condizioni di raffreddamento che si avevano all'atto della misura in campo.
- d. le condizioni di marea al momento della misura, riprodotte con il simulatore WXTIDE32 [11] in fig. 4.49, il giorno della misura erano tali da portare a fluttuazioni di solo qualche centimetro rispetto al livello medio del mare, e quindi non hanno nessuna influenza sull'andamento della diffusione del pennacchio.

tab. 4.15 – Sovralzo termico sull'arco a 1000 m misurato in centrale il 21 agosto 2003

Misure in centrale del 21/08/2003							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	Staz. C	29.349
1	28.211	28.309	28.034	28.185	F1	2SC	0.3261
2	28.223	28.334	28.058	28.205	F2		
3	28.247	28.358	28.035	28.213		Staz. F 1	28.185
4	28.366	28.445	28.139	28.317		Staz. F 2	28.205
5	28.406	28.545	28.252	28.401		Staz. F 3	28.210
6	28.391	28.515	28.255	28.387		T m	28.1998
7	28.411	28.532	28.263	28.402		2SF	0.0266
8	28.316	28.446	28.154	28.305			
9	28.34	28.484	28.24	28.355		Incr. term.	0.7969
10	28.342	28.472	28.22	28.345			
11	28.306	28.424	28.179	28.303			
12	28.25	28.37	28.145	28.255			
13	28.259	28.391	28.169	28.273			
14	28.22	28.394	28.137	28.250			
15	28.2	28.353	28.125	28.226			
16	28.282	28.4	28.155	28.279			
17	28.198	28.319	28.112	28.210	F3		
18	28.325	28.431	28.2	28.319			
19	28.726	28.08	28.372	28.393			
20	29.141	29.24	28.6	28.994			
21	29.894	29.204	28.95	29.349	C		
22	29.061	29.183	28.889	29.044			
23	29.011	29.169	28.891	29.024			
24	28.971	29.134	28.874	28.993			
25	28.98	29.114	28.864	28.986			
26	28.993	29.113	28.835	28.980			

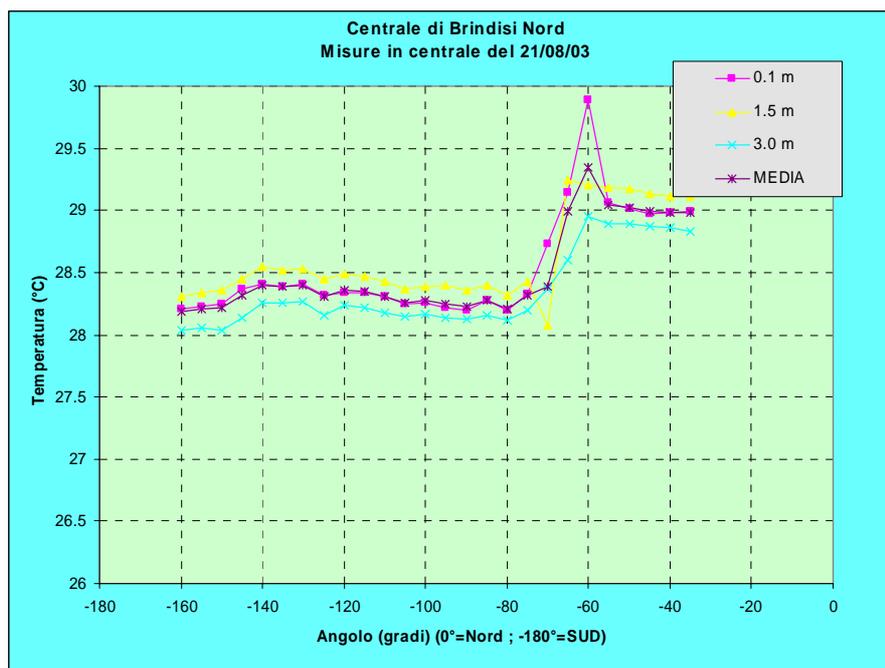


fig. 4.43 – Sovralzo termico a 1000 m misurato in centrale il 21 agosto 2003

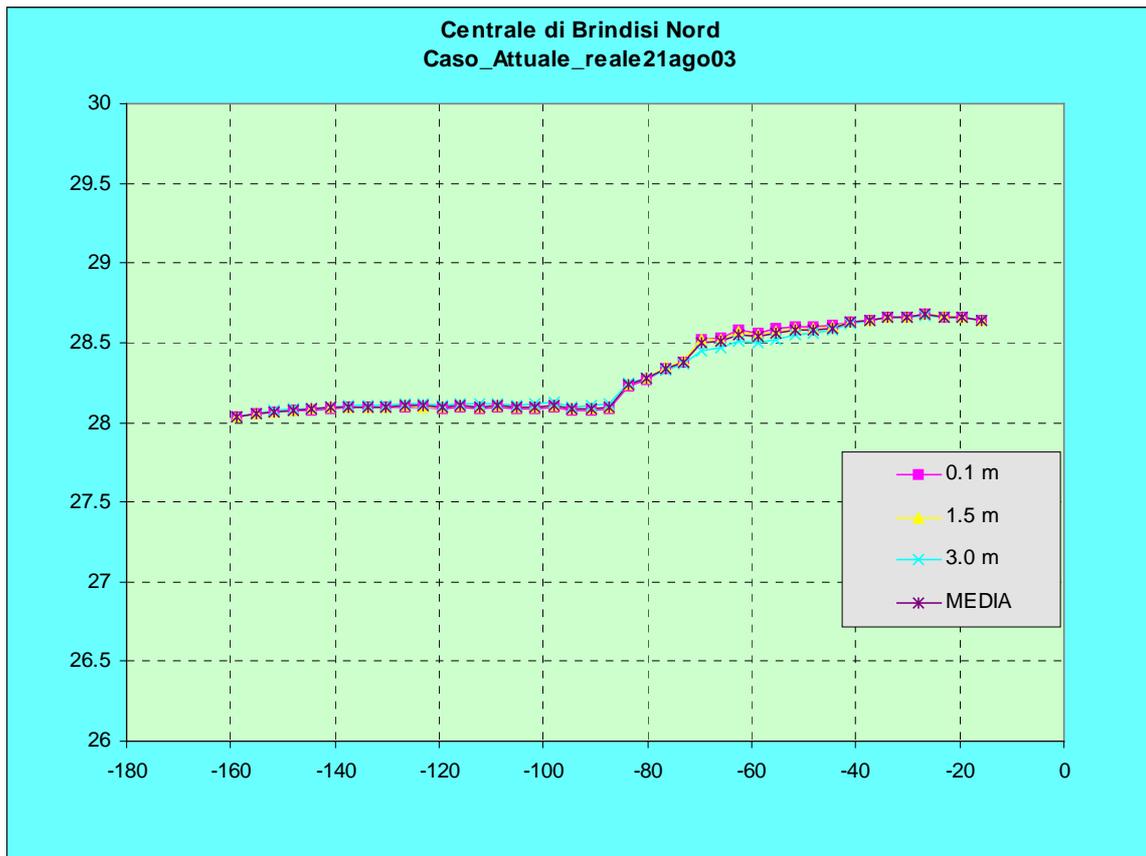


fig. 4.44 - Incremento termico calcolato dal modello nelle condizioni di misura stazionarie

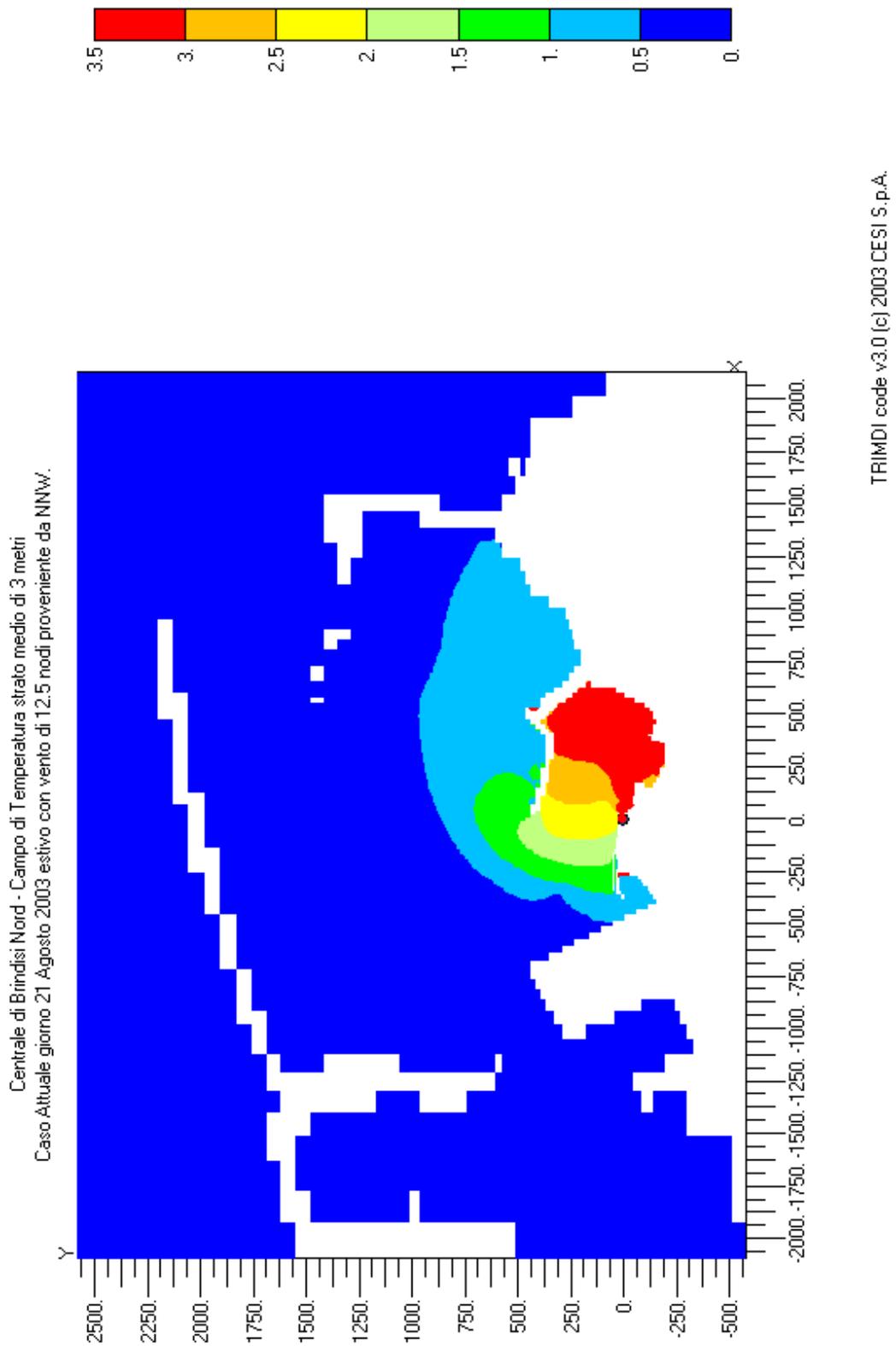


fig. 4.45 - Simulazione nelle condizioni di misura stazionarie. Sovralzo termico medio nello strato di 3 m

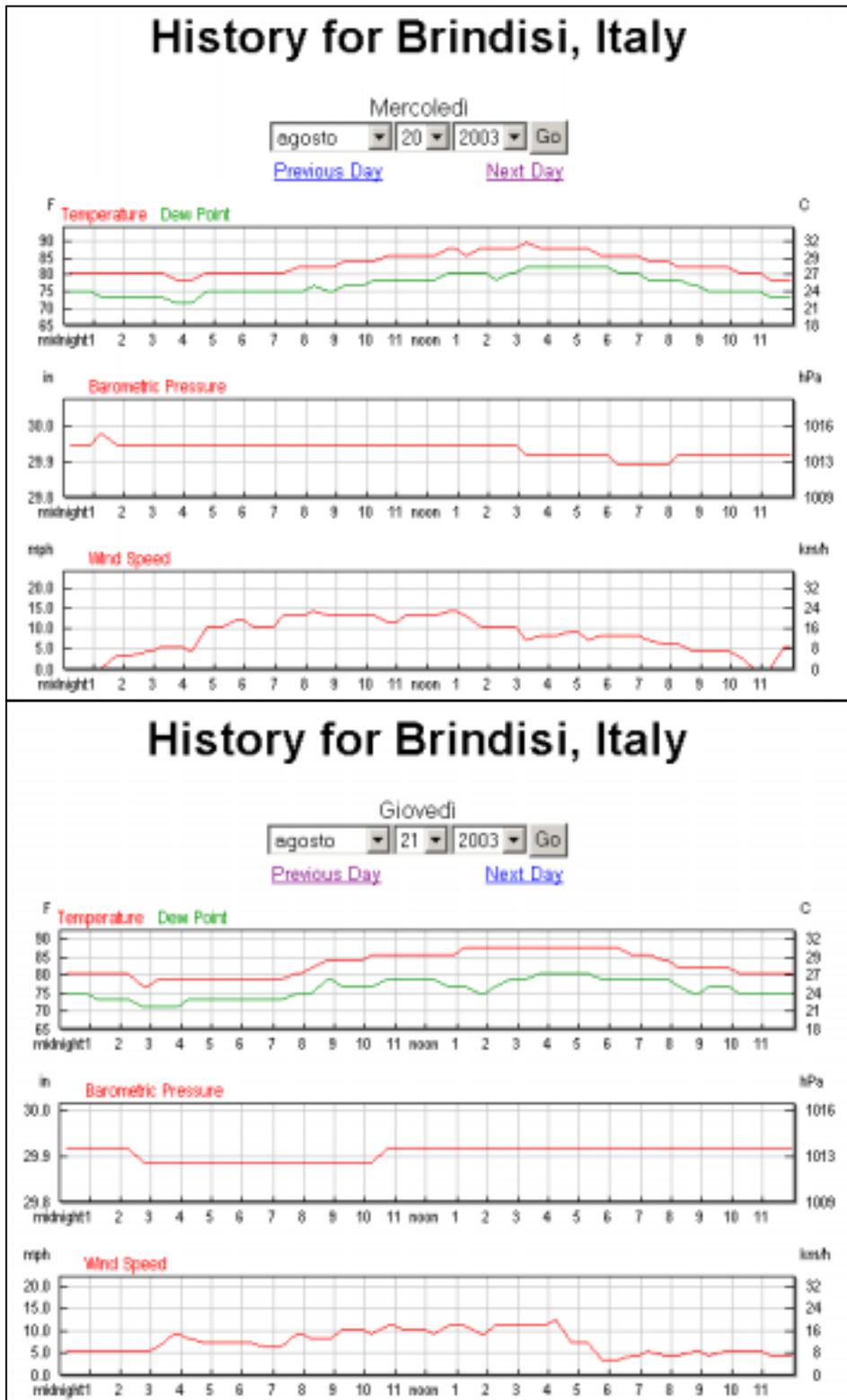
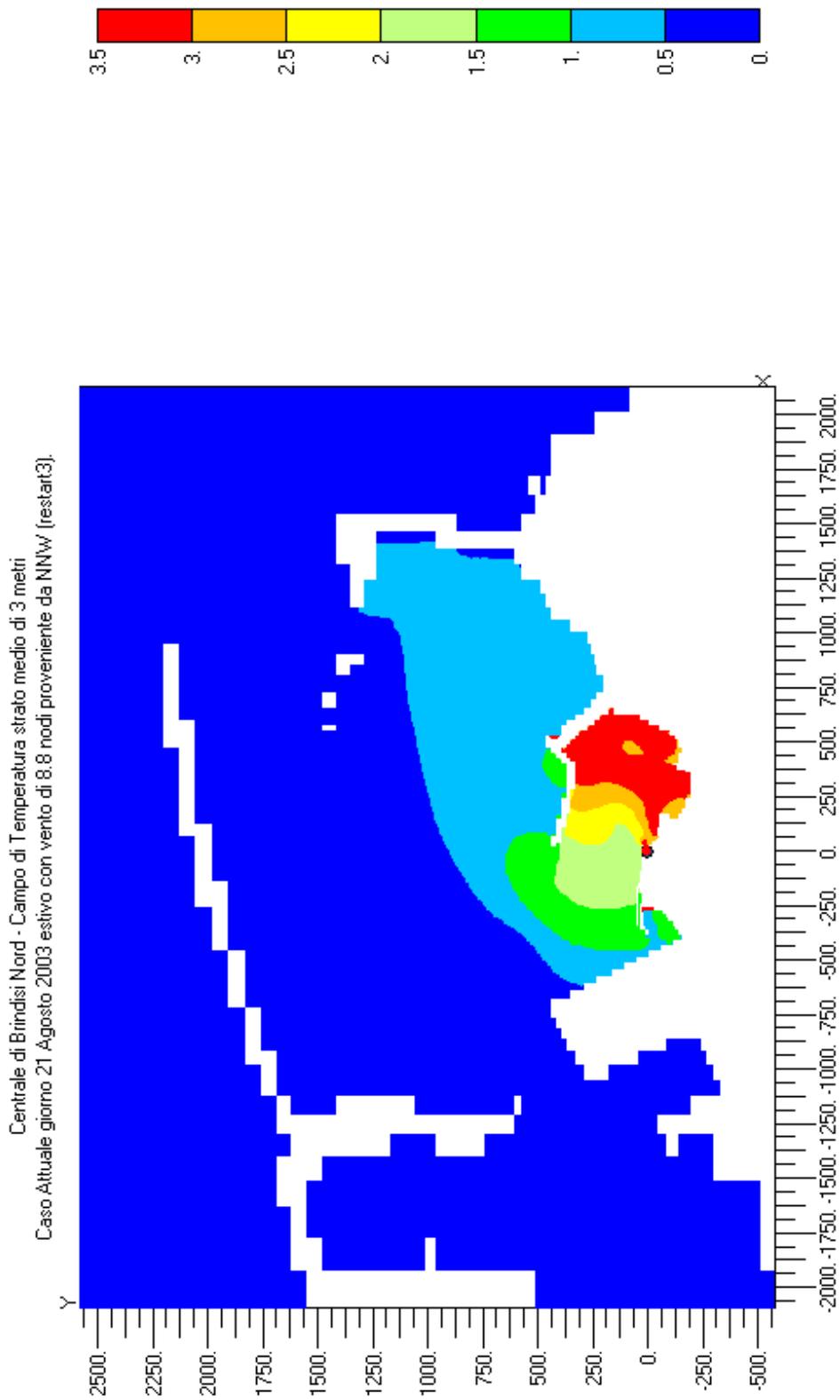


fig. 4.46 - Andamento dei parametri meteorologici nel periodo antecedente la misura del 21 agosto 2003



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.47 - Simulazione con transitorio di vento. Sovralzo termico medio nello strato di 3 m

tab. 4.16 – Caso test con transitorio di vento. 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	28.946
1	28.377	28.38	28.381	28.379		2SC	0.0000
2	28.366	28.368	28.366	28.367			
3	28.318	28.32	28.32	28.319		Staz. F 1	28.251
4	28.32	28.322	28.321	28.321		Staz. F 2	28.251
5	28.305	28.305	28.303	28.304		Staz. F 3	28.253
6	28.27	28.272	28.272	28.271		T m	28.2516
7	28.255	28.258	28.261	28.258		2SF	0.0020
8	28.251	28.253	28.256	28.253			
9	28.249	28.25	28.253	28.251	F1	Incr. term.	0.6927
10	28.252	28.253	28.256	28.254			
11	28.249	28.251	28.254	28.251	F2		
12	28.251	28.252	28.255	28.253	F3		
13	28.259	28.261	28.266	28.262			
14	28.262	28.265	28.269	28.265			
15	28.279	28.283	28.288	28.283			
16	28.275	28.279	28.284	28.279			
17	28.301	28.305	28.309	28.305			
18	28.342	28.346	28.347	28.345			
19	28.334	28.337	28.337	28.336			
20	28.382	28.383	28.375	28.380			
21	28.446	28.445	28.418	28.436			
22	28.652	28.628	28.498	28.593			
23	28.689	28.661	28.512	28.621			
24	28.731	28.704	28.538	28.658			
25	28.755	28.73	28.562	28.682			
26	28.878	28.836	28.604	28.773			
27	28.874	28.842	28.635	28.784			
28	28.942	28.903	28.679	28.841			
29	28.922	28.892	28.703	28.839			
30	28.955	28.923	28.735	28.871			
31	28.968	28.94	28.769	28.892			
32	28.959	28.94	28.8	28.900			
33	28.96	28.946	28.824	28.910			
34	28.972	28.965	28.876	28.938			
35	28.965	28.962	28.912	28.946	C		
36	28.95	28.946	28.925	28.940			
37	28.919	28.915	28.895	28.910			
38	28.893	28.889	28.868	28.883			
39	28.848	28.845	28.829	28.841			
40	28.816	28.815	28.803	28.811			
41	28.778	28.78	28.779	28.779			

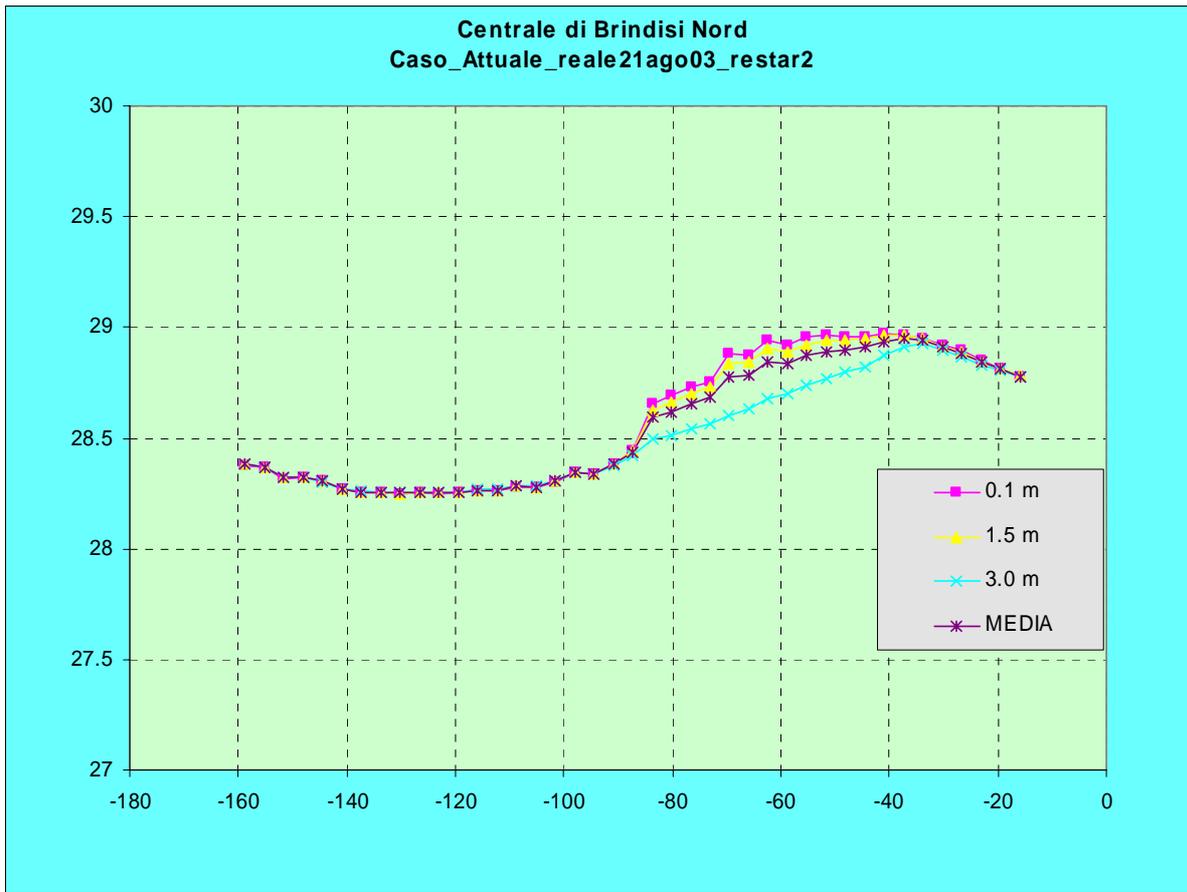


fig. 4.48 - Incremento termico calcolato dal modello nelle condizioni di transitorio di vento

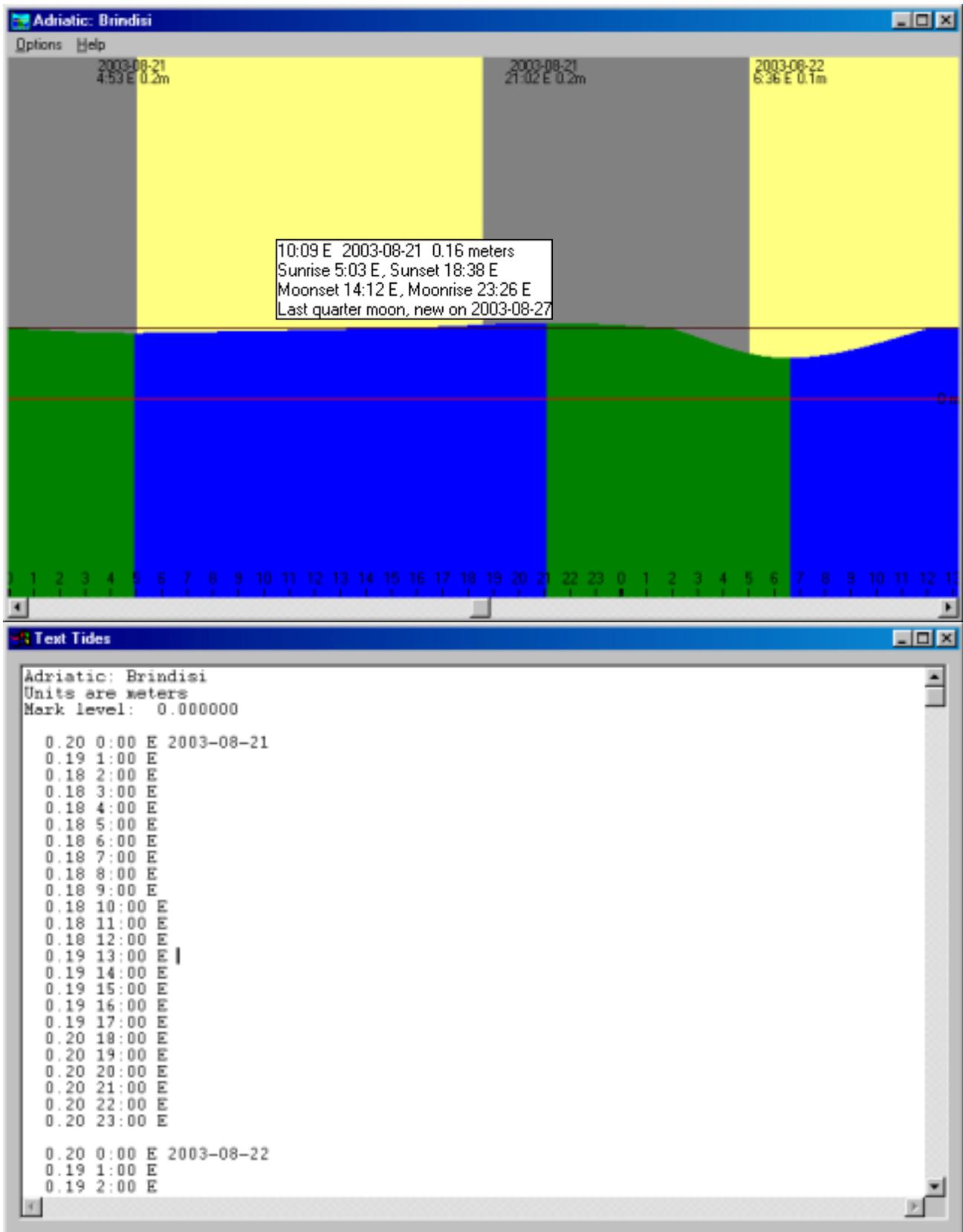


fig. 4.49 - Andamento della marea durante le misure del 21 agosto 2003

## 4.6 Caso 5 – Situazione futura con presa sommersa

### 4.6.1 Caratteristiche del calcolo

Il caso 5, denominato “Situazione futura con presa sommersa”, rappresenta di fatto la situazione prevista per il funzionamento futuro, con la centrale in assetto a due gruppi a carbone, con una portata scaricata complessiva di 21 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10 °C più un ciclo combinato con una portata di 10.1 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10.5 °C. Per quanto riguarda le opere portuali, vengono considerate tutte le opere previste per il porto compreso il nuovo molo Enel, il molo Montecatini è considerato nella sua forma attuale, sono considerati tutti i dragaggi previsti ed infine l’opera di presa della Polimeri Europa adiacente il molo Canale è considerata nella sua attuale posizione mentre lo scarico Policentrica Ovest, situato nella zona di interrimento che realizza l’area industriale viene considerato spostato fino al limite della stessa zona di interrimento.

La principale caratteristica di questo caso, rispetto ai casi 1 e 2 dei quali riprende le condizioni di assetto della centrale, di configurazione portuale e meteomarine, è la considerazione di un’opera di presa per la centrale collocata ad una certa profondità nelle immediate adiacenze della radice dell’attuale molo Costa Morena, esattamente secondo il dimensionamento di massima studiato e descritto al paragrafo 2.7 del presente documento. In particolare, come riportato anche in tab. 3.1, essa si colloca ad una profondità compresa tra -5.84 m e -11.5 m.

Il reticolo di calcolo utilizzato in questo caso è mostrato in fig. 4.50, mentre in fig. 4.51 è riportato il dettaglio dello stesso in corrispondenza delle opere di scarico e presa.

Infine, poiché dalle simulazioni condotte nei precedenti casi 1 e 2 è risultato che la situazione più critica risulta in ogni caso quella in condizioni invernali, il presente caso è stato simulato in queste condizioni, considerando la presenza di vento da NE e l’assenza di vento.

### 4.6.2 Caso con vento

Il caso assume che sia presente una condizione di vento da NE, di intensità pari a 10 nodi, tale da esercitare uno sforzo sulla superficie del pennacchio diretto verso il molo attuale di Costa Morena e verso l’area di presa della centrale; di fatto, questa condizione ambientale tende a mantenere l’acqua calda in prossimità della parte interna della darsena, ma la localizzazione profonda della presa dovrebbe consentire una forte riduzione del ricircolo termico.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.52 alla fig. 4.55, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.52 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, l’effetto concomitante della corrente e soprattutto del vento tende sempre ad ostacolare la dispersione del pennacchio. Operando un confronto con il corrispondente caso 1 con presa superficiale (fig. 4.7), si nota come la forma e la dislocazione del pennacchio in termini di isoterme non sia modificata in maniera sostanziale per lo strato superficiale, se non in corrispondenza all’imbocco del porto Medio, con una minore estensione dell’area con sovrizzo  $\geq 3$  °C; questo fatto è principalmente dovuto al ridotto valore di ricircolo e quindi ad una minore temperatura assoluta di scarico. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, si ha un sovrizzo di temperatura dell’ordine di circa 2.0 °C, sempre rispetto alla temperatura del mare imperturbata;
- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.53, l’andamento è sostanzialmente lo stesso del campo superficiale, con un lieve restringimento dell’area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C. La presenza della presa sommersa, però, consente ora di avere un valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale intorno ai 13.4 °C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 1.5 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 11.7 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti il persistere del pennacchio caldo nella zona dello scarico favorisce l’estendersi del pennacchio caldo anche nella direzione verticale, in quanto il vento ne riduce la dispersione, ma ora l’aspirazione di acqua più profonda riduce l’effetto di ricircolo di 1.5÷2.0 °C, pur non eliminando completamente il ricircolo stesso;
- c. la presenza di un certo ricircolo anche in presenza di presa sommersa si giustifica esaminando il campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale, mostrato in fig. 4.54. Si può notare, infatti, che la parte superiore della bocca di aspirazione è interessata comunque da acqua più calda richiamata dagli strati superiori ove il pennacchio termico, a causa dell’effetto del vento, è ancora assai presente, fino a profondità dell’ordine di 4 m. Poiché la quota minima di aspirazione è di 5.8 m, essa non è sufficiente ad evitare il richiamo di acqua calda dagli strati superiori. Nel caso, si potrebbe pensare ad una presa con una sezione di aspirazione

comunque più profonda, fermo restando il valore del dragaggio previsto in quella zona, ma ciò va progettato in accordo con le nuove future opere;

- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.55 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso e non si discosta in maniera sostanziale da quello già visto per il caso 1 (fig. 4.10) se non nelle immediate vicinanze della presa sommersa, ove si nota in aumento della vorticosità.

Nel successivo paragrafo 4.6.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.6.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2].

#### **4.6.3 Caso con calma di vento**

Il caso assume una condizione di calma di vento in una situazione del tutto analoga a quella del caso 2 ma considerando una condizione di presa profonda per la centrale, allo scopo di aspirare acqua più fredda possibile.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.56 alla fig. 4.59, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a) per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.56 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, valgono ancora in linea generale le medesime considerazioni fatte in presenza della attuale presa superficiale (fig. 4.20), con l'eccezione del fatto che il ridotto valore di ricircolo diminuisce il valore di temperatura assoluta allo scarico e quindi si riduce anche il calore nell'area dell'imbocco al porto Medio;
- b) per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.57, l'andamento è assai modificato rispetto al campo superficiale, in quanto in assenza di vento la diffusione superficiale è molto più efficace, con un conseguente notevole restringimento dell'area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C. Il valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale è ora intorno ai 12.5°C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 0.6 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 10.7 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti, la riduzione dello spessore verticale del pennacchio consente l'aspirazione, alla quota della presa profonda, di acqua pressoché alla temperatura naturale;
- c) quanto detto al precedente punto (b) per quanto riguarda le condizioni alla presa è meglio evidenziato nella una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale di fig. 4.58, dove si vede molto bene la separazione tra zona di pennacchio e zona di aspirazione;
- d) il campo di moto mostrato in fig. 4.59, giustifica ancora una volta l'andamento del campo termico sopra discusso, con lievi aumenti di valori di velocità nella zona di presa.

Nel successivo paragrafo 4.6.4 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.6.5 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2].

#### **4.6.4 Analisi dei flussi termici e del ricircolo**

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle elaborazioni sui risultati ottenuti dal calcolo col fine di determinare i flussi termici nell'intero dominio di calcolo e l'eventuale ricircolo di acqua dallo scarico alla presa.

Per quanto riguarda i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tab. 4.17, nella quale appaiono le quote percentuali dei flussi termici che vengono dispersi verso i contorni e verso l'atmosfera. Inoltre sono anche riportate le quote di ricircolo termico, in termini percentuali, allo scopo di individuare potenziali situazioni critiche.

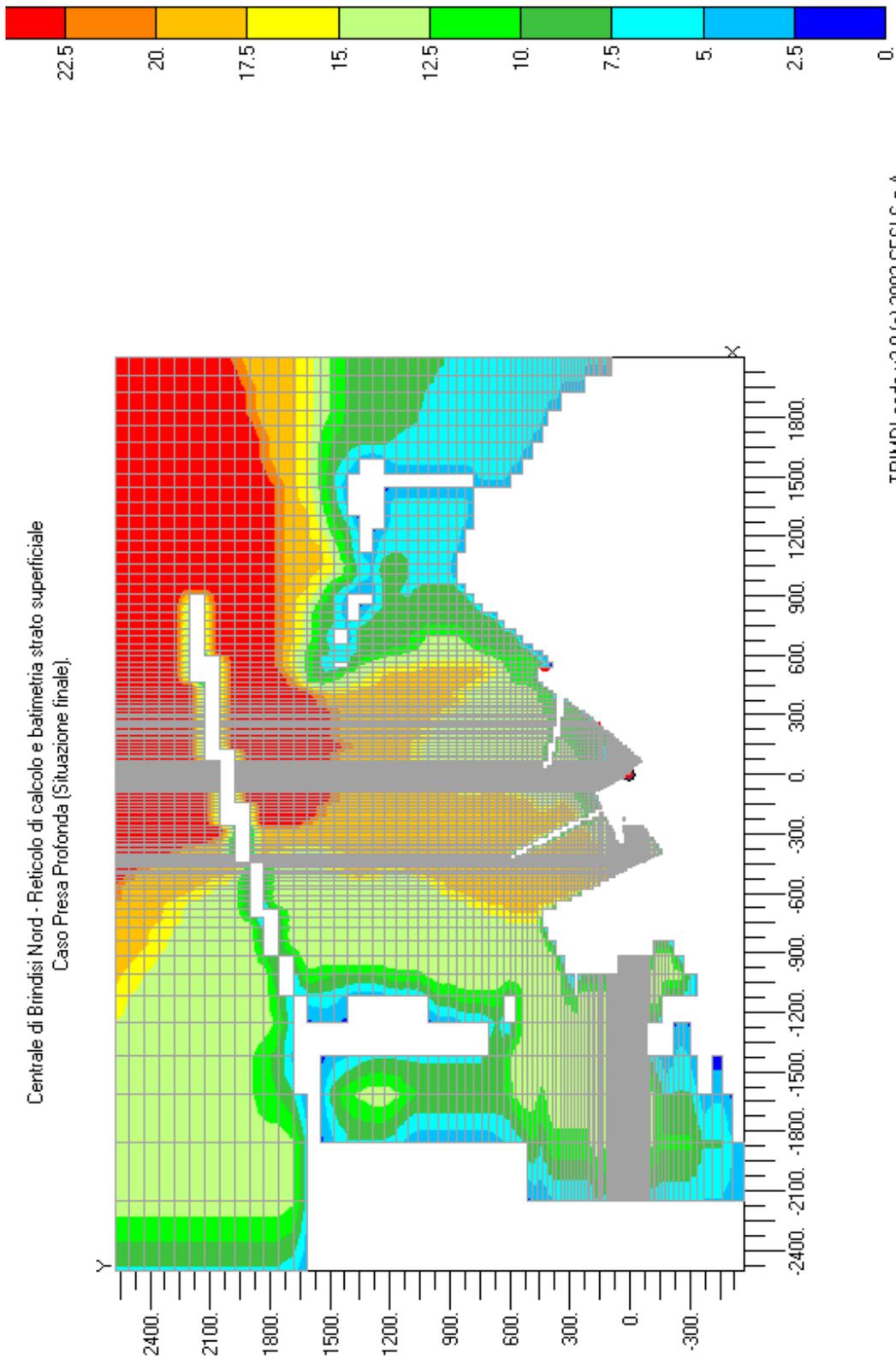


fig. 4.50 – Caso 5. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria (m)

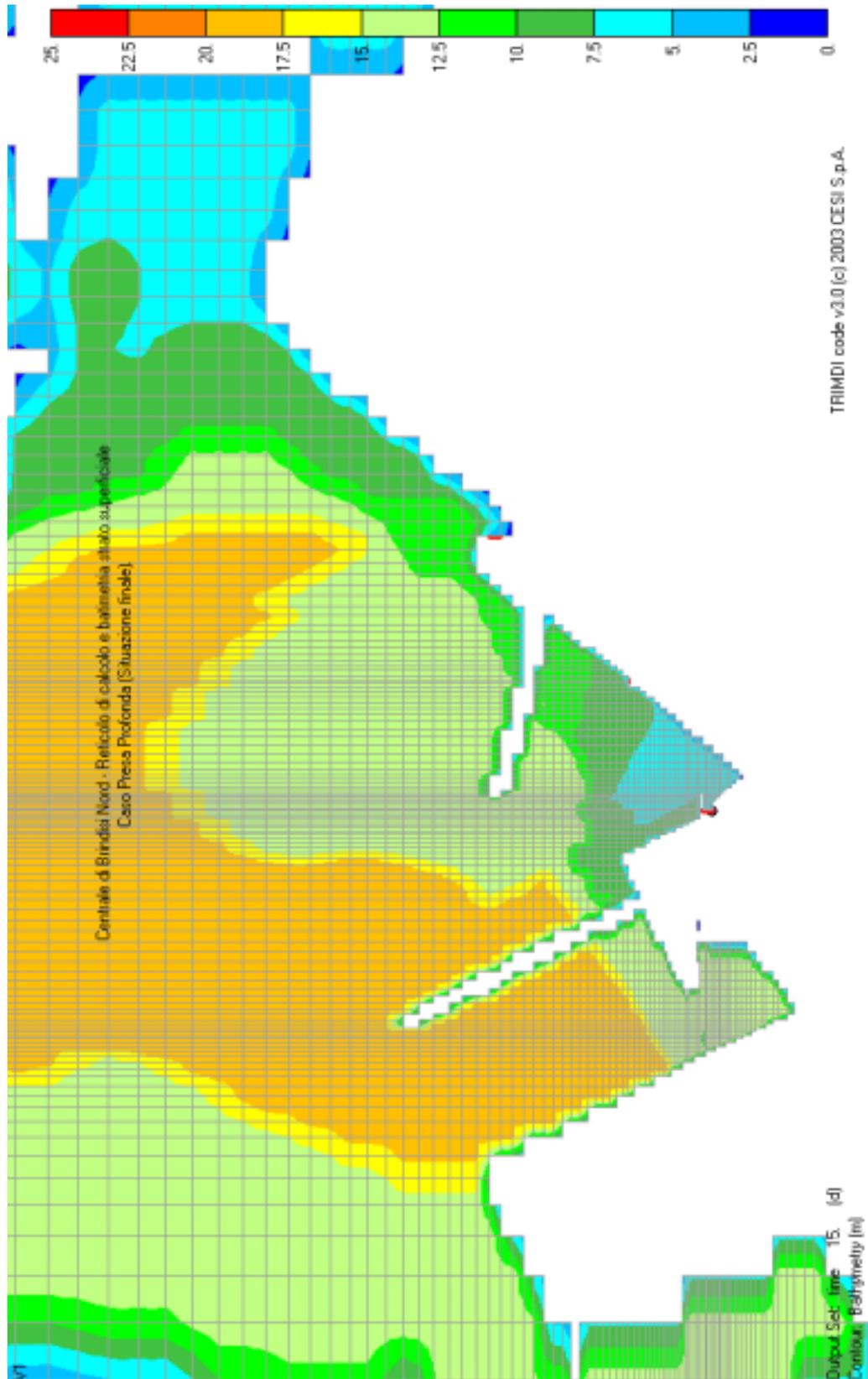


fig. 4.51 – Caso 5. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa (profondità in m)

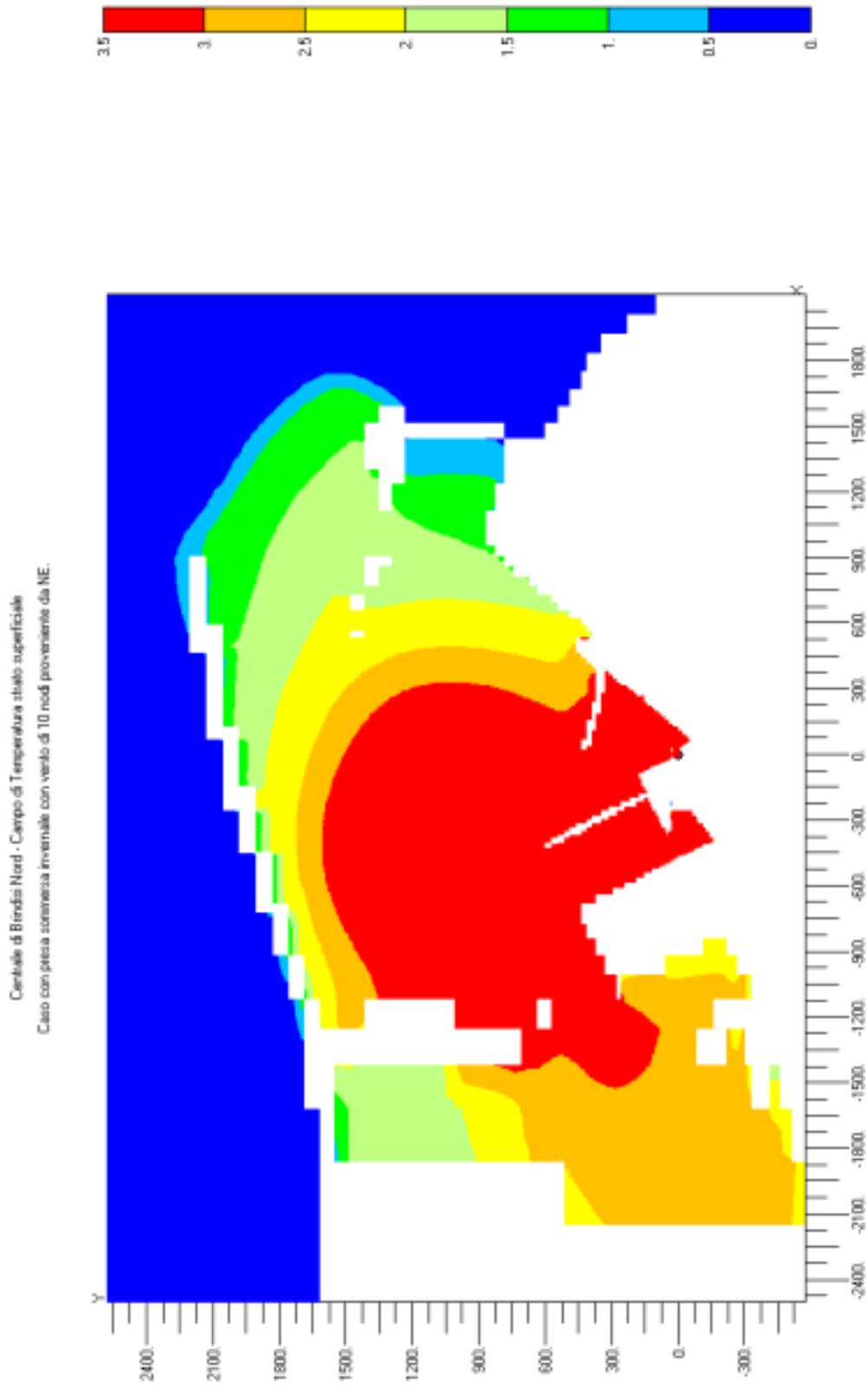


fig. 4.52 – Caso 5 con vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)

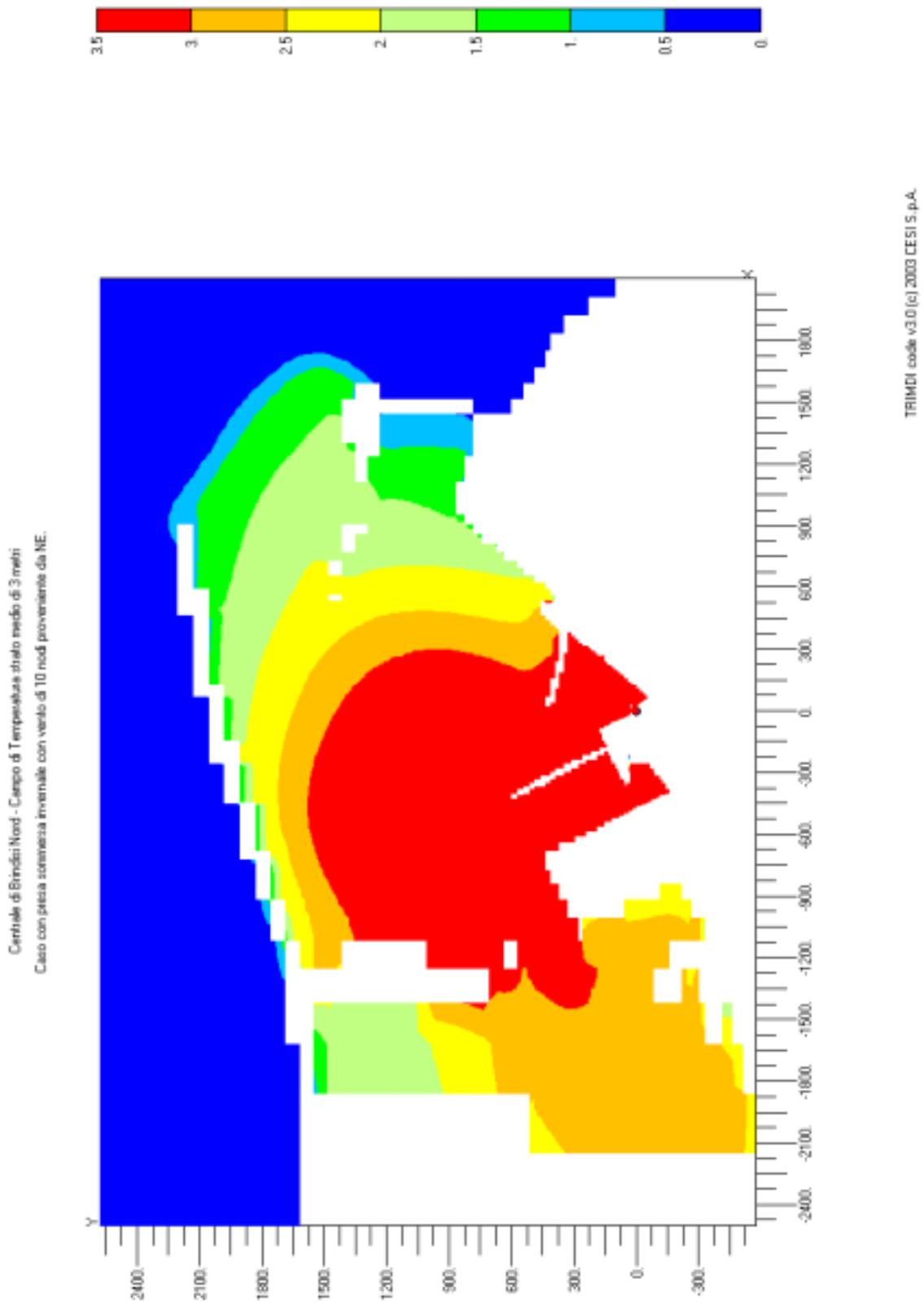


fig. 4.53 - Caso 5 con vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

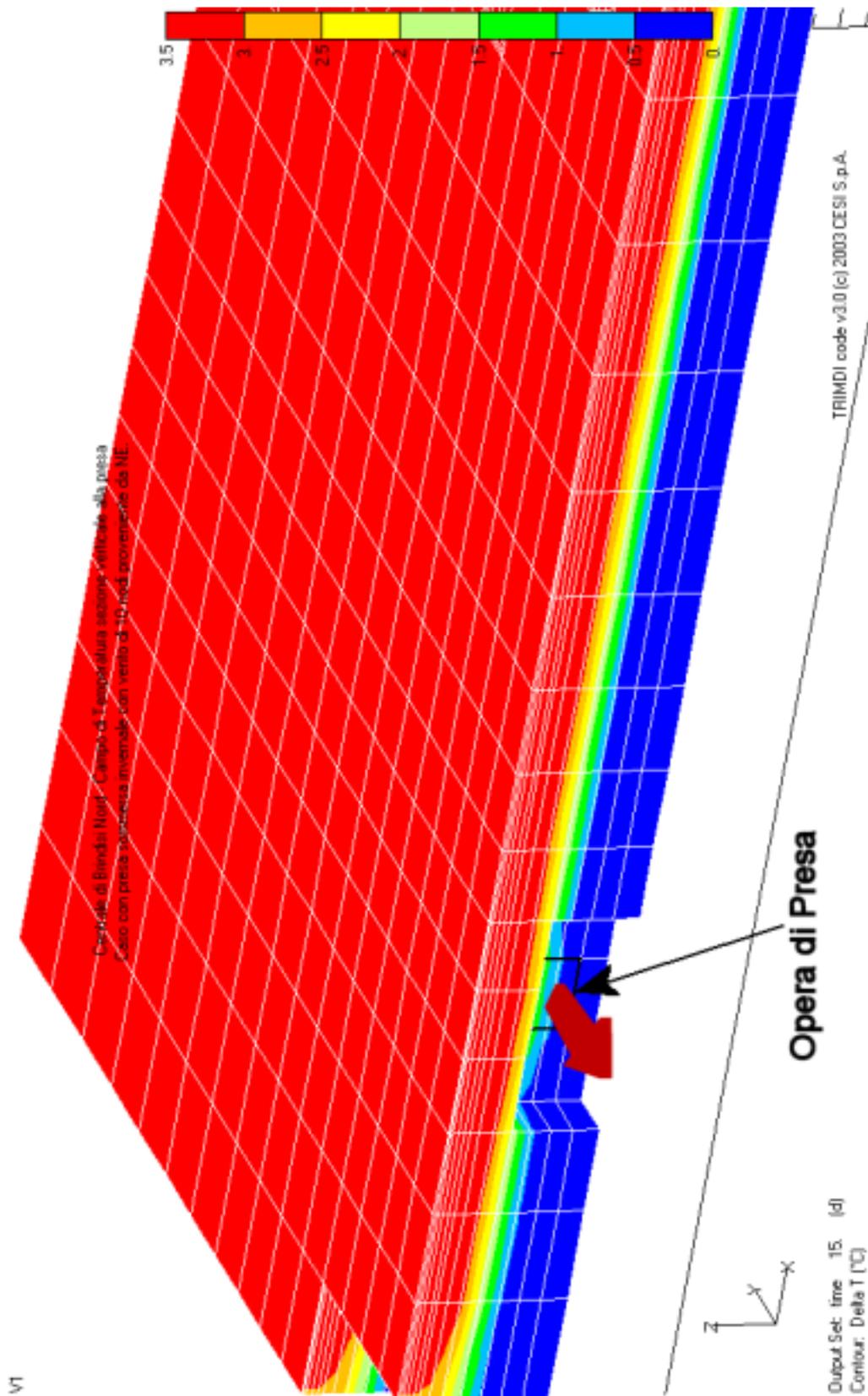


fig. 4.54 - Caso 5 con vento. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)

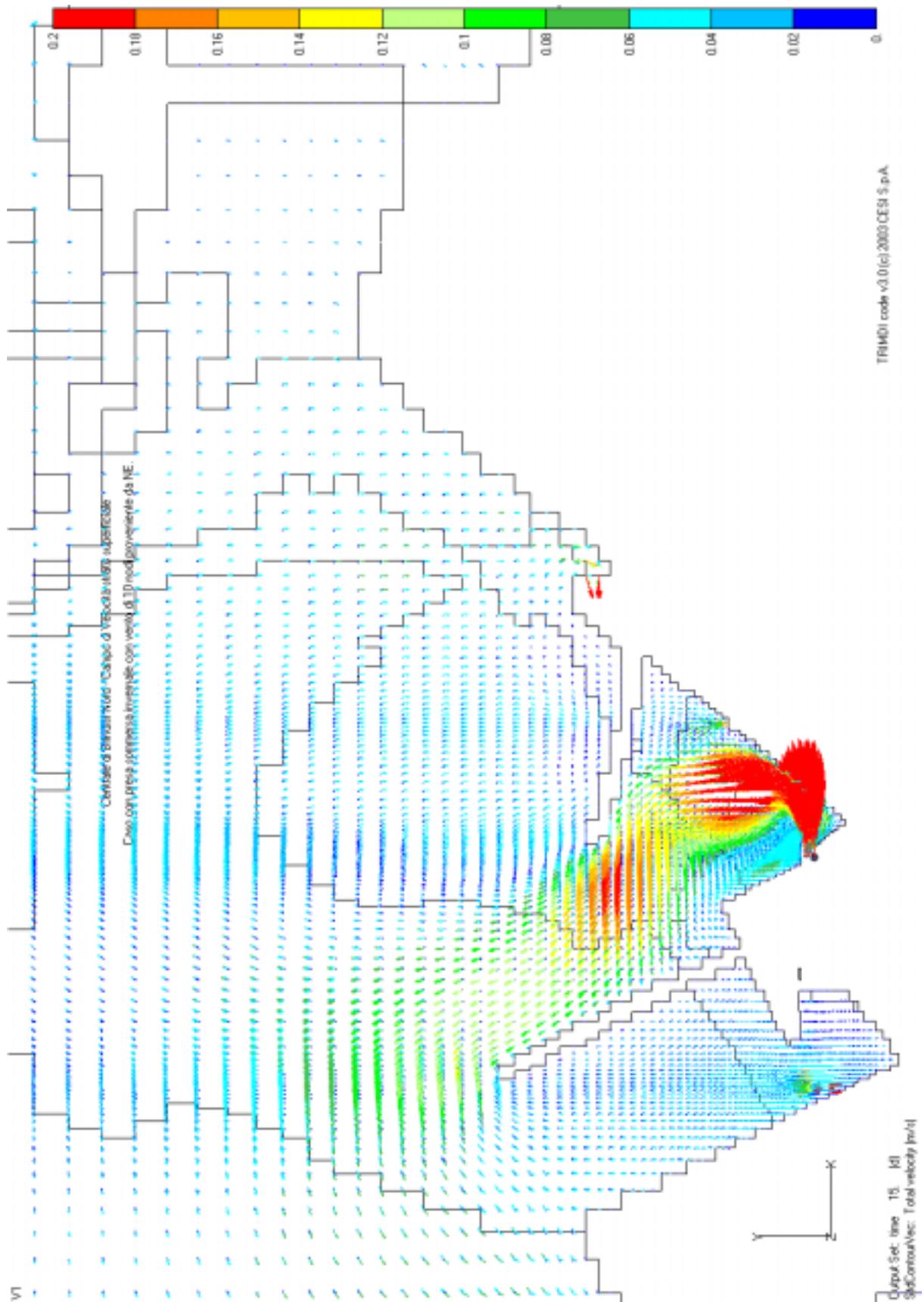


fig. 4.55 - Caso 5 con vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

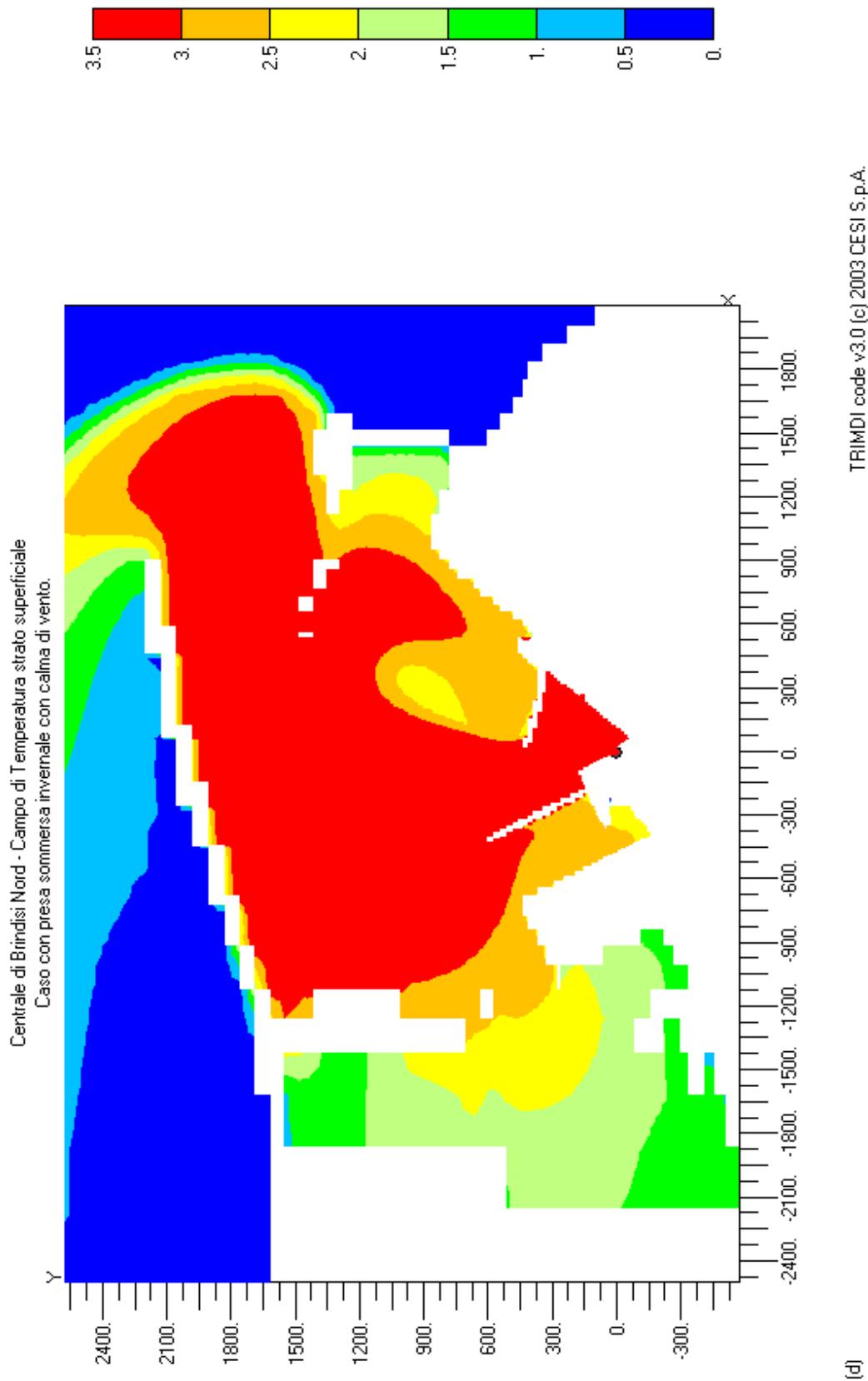


fig. 4.56 – Caso 5 con calma di vento. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)

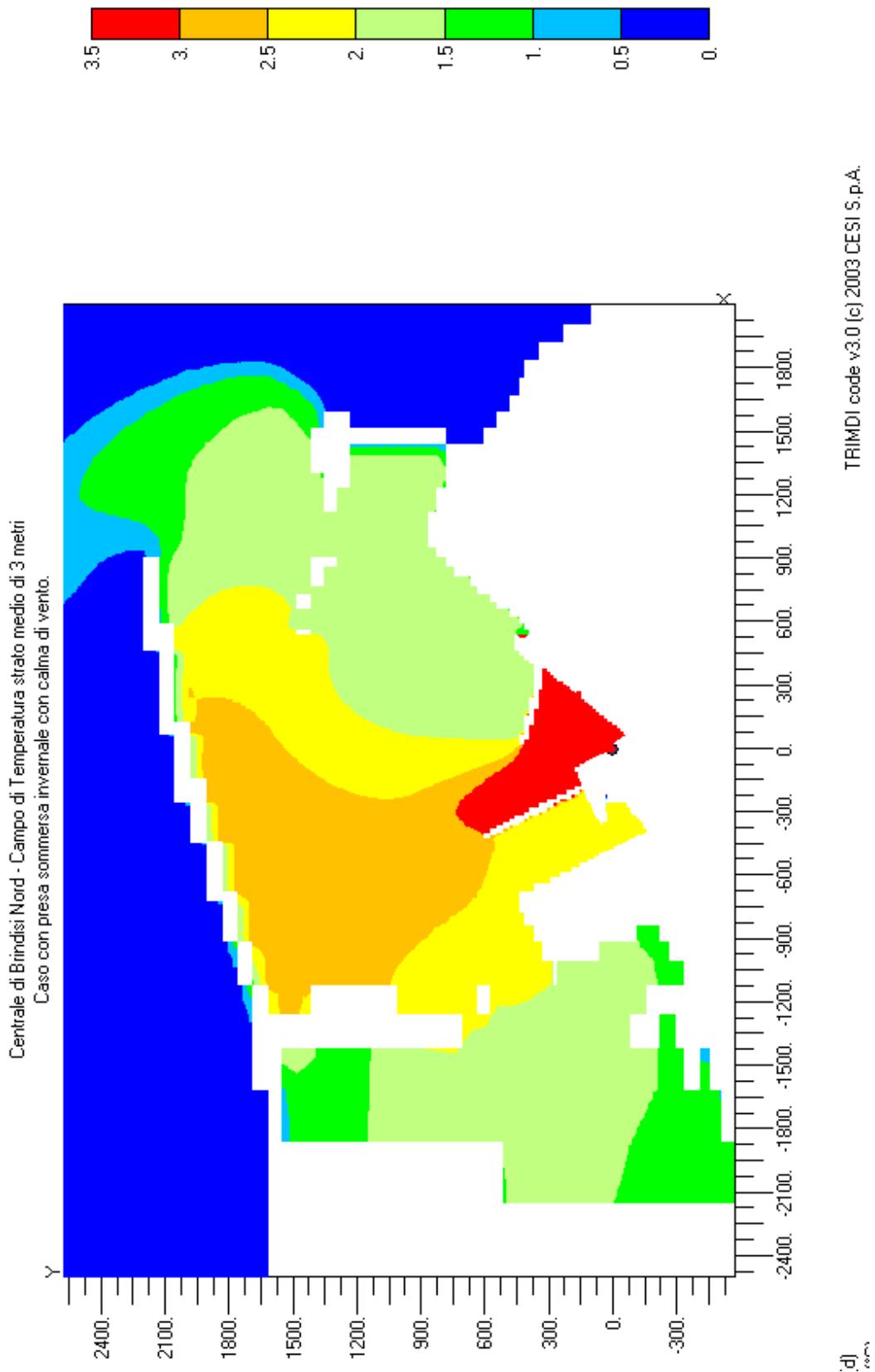


fig. 4.57 - Caso 5 con calma di vento. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

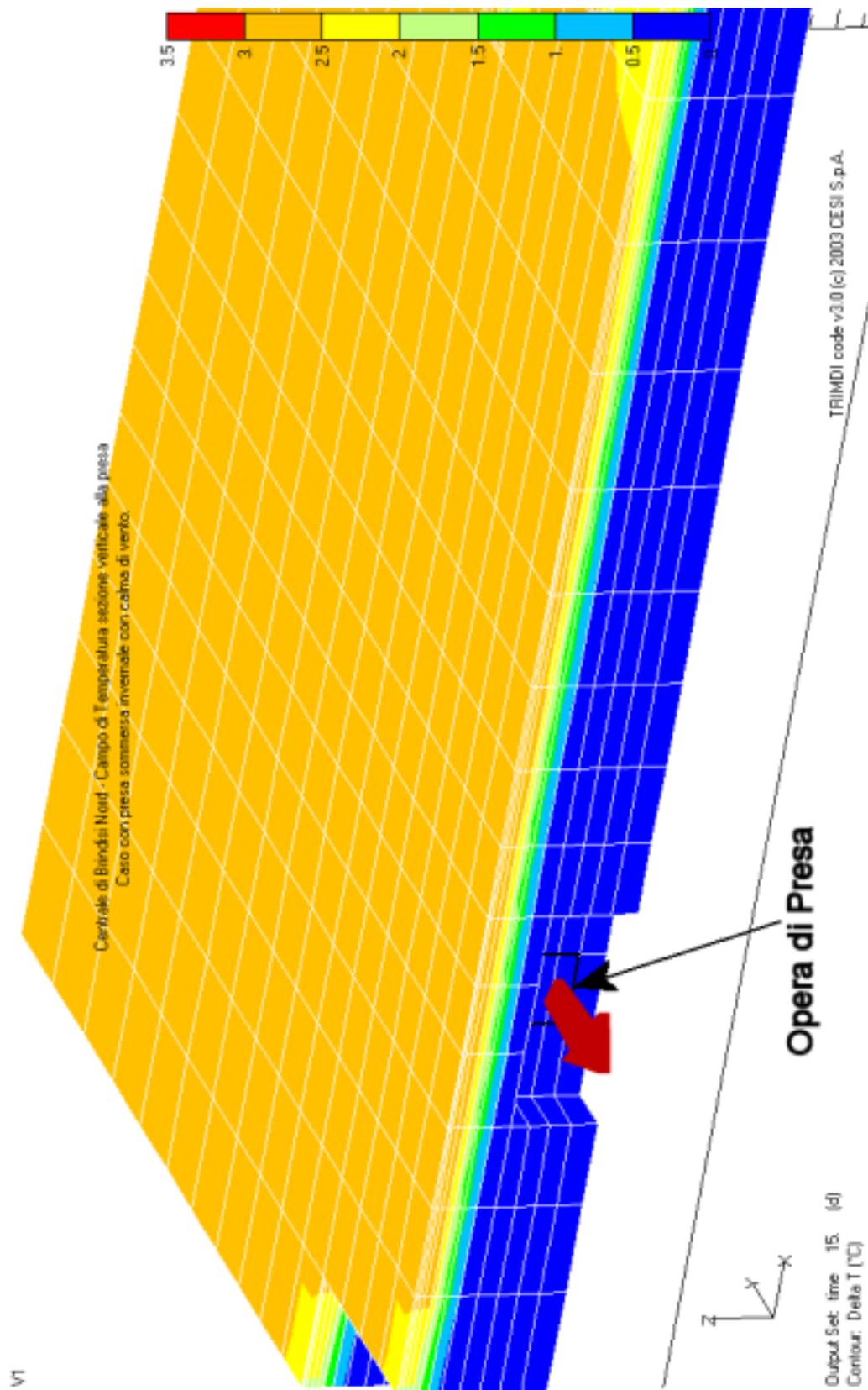


fig. 4.58 - Caso 5 con calma di vento. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)

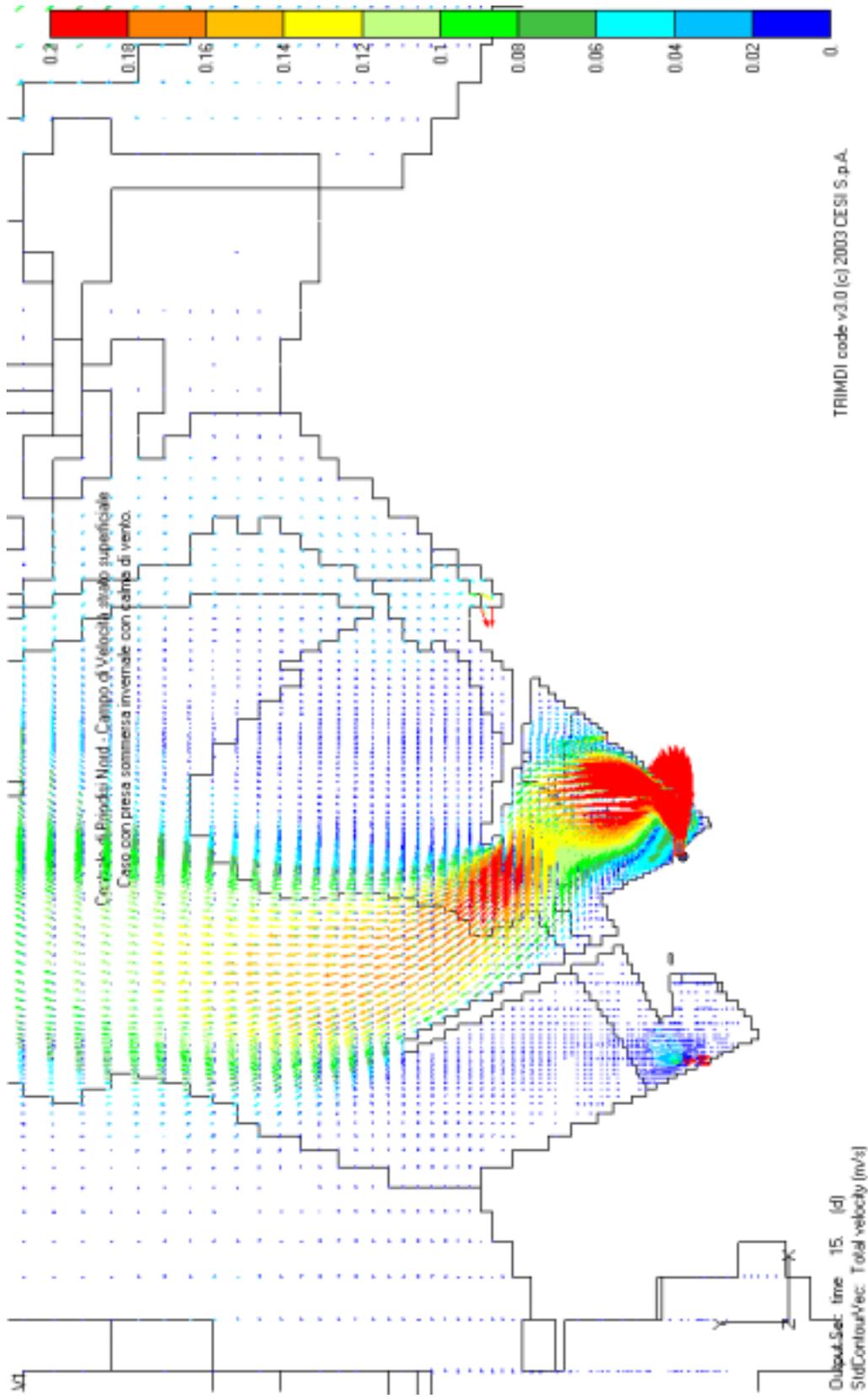


fig. 4.59 - Caso 5 con calma di vento. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

tab. 4.17 – Caso 5. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi

Caso 5	Potenza termica scambiata (MW)	Ricircolo Presa centrale %	Flusso totale uscente		
			Prelievo Presa molo Canale %	Contorno %	Atmosfera %
con vento da NE	1316.87	14.1	20.3	37.5	42.2
calma di vento	1316.87	5.6	8.9	66.5	24.6

La somma delle colonne relative al contorno, all'atmosfera e alla presa adiacente al molo Canale è relativa al flusso di calore totale che lascia il sistema e quindi corrisponde al calore totale immesso nel sistema dagli scarichi del Porto Esterno, e tiene conto del fatto che parte dall'aspirazione di quest'ultima viene scaricata mediante opere esterne al porto stesso; le percentuali riportate nella colonna relativa al ricircolo sulla presa della centrale rappresentano la frazione del calore immesso che rimane nel sistema per effetto del ricircolo stesso.

E' evidente come nel caso di presenza di vento l'efficacia dello scambio termico con l'atmosfera aumenta sensibilmente, pur riducendosi l'area superficiale di scambio, mentre in condizioni di assenza di vento più della metà del calore immesso lascia il dominio per diffusione e trasporto.

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, la presenza del vento spinge il pennacchio verso SW, aumentando la quantità di acqua calda che viene aspirata.

Nei casi valutati, il valore del sovrizzo termico medio alla presa della centrale è riportato nella seguente tab. 4.18, unitamente alla stima dell'incremento termico che si presenta anche alla presa adiacente il molo Canale ed al sovrizzo termico allo scarico della centrale conseguente alla presenza del ricircolo. L'effetto della presa profonda rispetto alla attuale presa superficiale, in termini di valore di ricircolo, può essere valutato confrontando i valori di tab. 4.18 con quelli di tab. 4.2 (condizioni invernali in presenza di vento) e di tab. 4.6 (condizioni invernali in assenza di vento). Si nota come in generale la considerazione di una presa sommersa migliori le condizioni di ricircolo ma senza annullarle, almeno alle quote di aspirazione qui considerate; più precisamente, in condizioni di presenza di vento si ha una riduzione del ricircolo alla presa dell'ordine di 1.5 °C, mentre in assenza di vento la riduzione è solo di qualche frazione di grado.

tab. 4.18 – Caso 5. Andamento dei sovrizzi termici alle opere di presa e scarico

Caso 5	$\Delta T$ [°C] alla presa molo Canale	$\Delta T$ [°C] alla presa centrale	$\Delta T$ [°C] allo scarico centrale
con vento da NE	2.0	1.5	11.7
calma di vento	0.9	0.6	10.8

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, non si hanno variazioni rispetto alla considerazione della attuale presa, in quanto si è già dimostrato durante l'analisi dei campi di moto che la presa profonda non altera le condizioni di circolazione nell'area interessata dalla presa adiacente il molo Canale.

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

La normativa di legge vigente [1] 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 di attuazione [2] 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 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 e la media tra le temperature valutate nei tre punti di misura più freddi lungo l'arco.

Allo scopo di valutare l'effetto della presa sommersa sul rispetto di tali limiti nella situazione di scarico futura in presenza del nuovo molo Enel e delle progettate nuove opere a mare, si è calcolato l'andamento del sovrizzo termico sull'arco a 1000 m dallo scarico, riportato in fig. 4.60, partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione numerica.

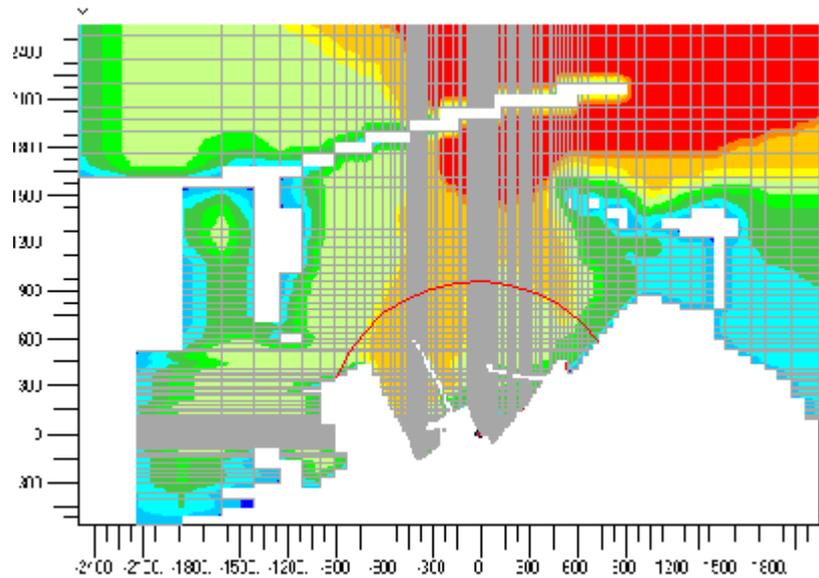


fig. 4.60 – Arco di misura a 1000 m dallo scarico nella situazione futura con presa sommersa

La tab. 4.19 e la tab. 4.20 includono i valori calcolati sull'arco, rispettivamente nelle condizioni di vento da NE e di calma di vento, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1,F2,F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi  $T_m$  e della sua deviazione standard (2SF). L'incremento termico risultante valutato sull'intero arco secondo le procedure di legge [2] è anch'esso evidenziato nella tabella.

Nella fig. 4.61 e nella fig. 4.62 sono poi riportati, ancora nelle condizioni di vento da NE e di calma di vento rispettivamente, gli andamenti grafici 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.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

- in tutte le condizioni, l'incremento termico massimo sull'arco a 1000 m è inferiore al limite di legge di 3 °C;
- la situazione più critica è quella relativa alle condizioni in presenza di vento, con un incremento termico di 2.53 °C contro 1.19 °C della condizione con calma di vento. L'ordine di grandezza di tali valori di incremento termico rispecchia quelli ottenuti nella situazione futura con l'attuale presa in assenza di vento (paragrafo 4.3.3), mentre in presenza di vento si ha una riduzione dell'ordine di 0.2 °C (paragrafo 4.3.3), di fatto, la presa sommersa non ha un impatto sostanziale sul valore dei limiti termici.

tab. 4.19 – Caso 5 con vento da NE estivo. 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	16.516
1	15.908	15.895	15.653	15.819		2SC	0.0000
2	16.033	16.022	15.732	15.929			
3	16.123	16.071	15.676	15.957		Staz. F 1	13.679
4	16.166	16.098	15.646	15.970		Staz. F 2	13.788
5	16.37	16.259	15.615	16.081		Staz. F 3	13.882
6	16.609	16.41	15.469	16.163		T m	13.7831
7	16.692	16.456	15.406	16.185		2SF	0.2032
8	16.898	16.544	15.294	16.245			
9	17.111	16.611	15.194	16.305		Incr. term.	2.5294
10	17.415	16.669	15.091	16.392			
11	17.617	16.712	15.034	16.454			
12	17.782	16.731	14.981	16.498			
13	17.907	16.7	14.94	16.516	C		
14	17.797	16.736	14.835	16.456			
15	17.764	16.702	14.775	16.414			
16	17.495	16.578	14.657	16.243			
17	17.311	16.446	14.563	16.107			
18	16.987	16.321	14.434	15.914			
19	16.676	16.149	14.324	15.716			
20	16.409	16.043	14.248	15.567			
21	16.11	15.898	14.222	15.410			
22	15.777	15.697	14.286	15.253			
23	15.495	15.444	14.31	15.083			
24	15.264	15.225	14.317	14.935			
25	15.009	14.984	14.313	14.769			
26	14.783	14.769	14.334	14.629			
27	14.608	14.602	14.282	14.497			
28	14.411	14.407	14.222	14.347			
29	14.285	14.282	14.14	14.236			
30	14.141	14.138	14.045	14.108			
31	14.06	14.058	13.989	14.036			
32	13.9	13.9	13.846	13.882	F3		
33	13.802	13.803	13.76	13.788	F2		
34	13.676	13.681	13.68	13.679	F1		

tab. 4.20 – Caso 5 con calma di vento. 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	14.795	
1	14.575	14.41	13.041	14.009	C	2SC	0.0000	
2	14.663	14.506	13.055	14.075				
3	14.784	14.521	13.054	14.120		Staz. F 1	13.524	
4	14.819	14.537	13.048	14.135		Staz. F 2	13.567	
5	14.945	14.625	13.024	14.198		Staz. F 3	13.569	
6	15.135	14.654	12.995	14.261		T m	13.5534	
7	15.201	14.651	12.987	14.280		2SF	0.0504	
8	15.395	14.617	12.982	14.331				
9	15.647	14.594	12.981	14.407			Incr. term.	1.1914
10	16.066	14.611	12.974	14.550				
11	16.372	14.654	12.967	14.664				
12	16.667	14.653	12.96	14.760				
13	16.888	14.565	12.933	14.795				
14	16.992	14.451	12.85	14.764				
15	17.072	14.374	12.759	14.735				
16	17.075	14.226	12.668	14.656				
17	17.079	14.093	12.581	14.584				
18	16.975	13.94	12.519	14.478				
19	16.791	13.863	12.499	14.384				
20	16.5	13.845	12.468	14.271				
21	16.108	13.885	12.443	14.145				
22	15.441	13.966	12.425	13.944				
23	14.901	13.999	12.411	13.770				
24	14.549	14.021	12.405	13.658				
25	14.263	14.035	12.404	13.567		F2		
26	14.136	14.019	12.418	13.524		F1		
27	14.387	13.888	12.431	13.569		F3		
28	14.707	13.778	12.446	13.644				
29	14.887	13.742	12.453	13.694				
30	14.989	13.719	12.476	13.728				
31	14.991	13.718	12.491	13.733				
32	14.932	13.724	12.508	13.721				
33	14.819	13.734	12.515	13.689				
34	14.652	13.76	12.52	13.644				

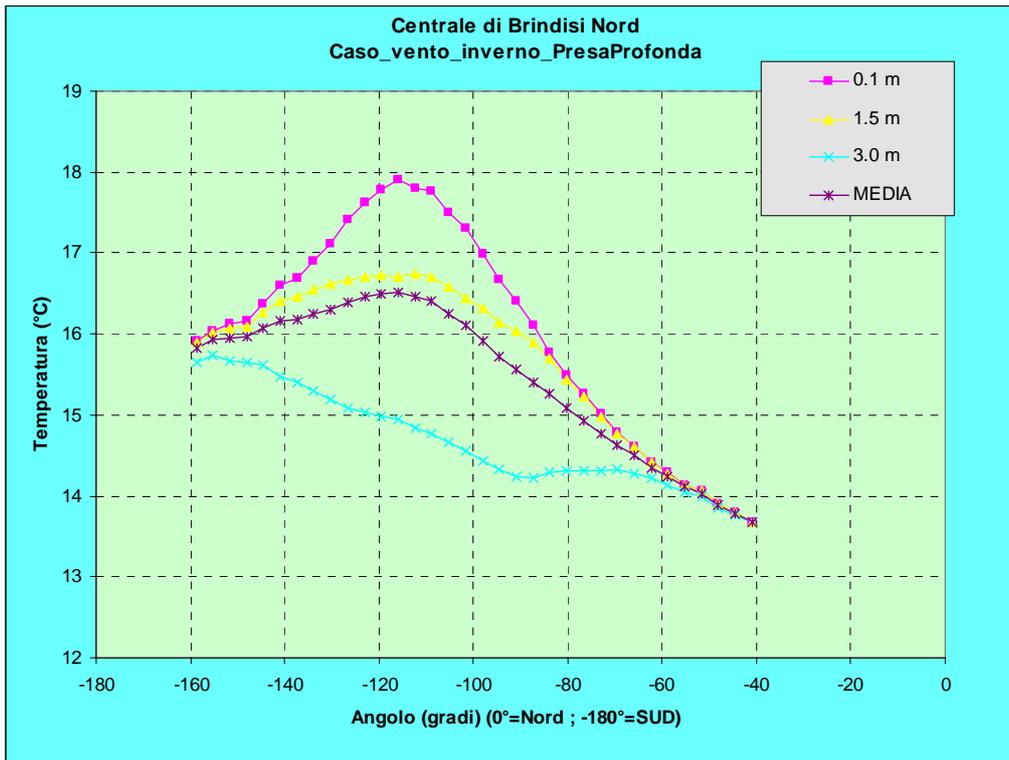


fig. 4.61 – Caso 5 con vento da NE. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m

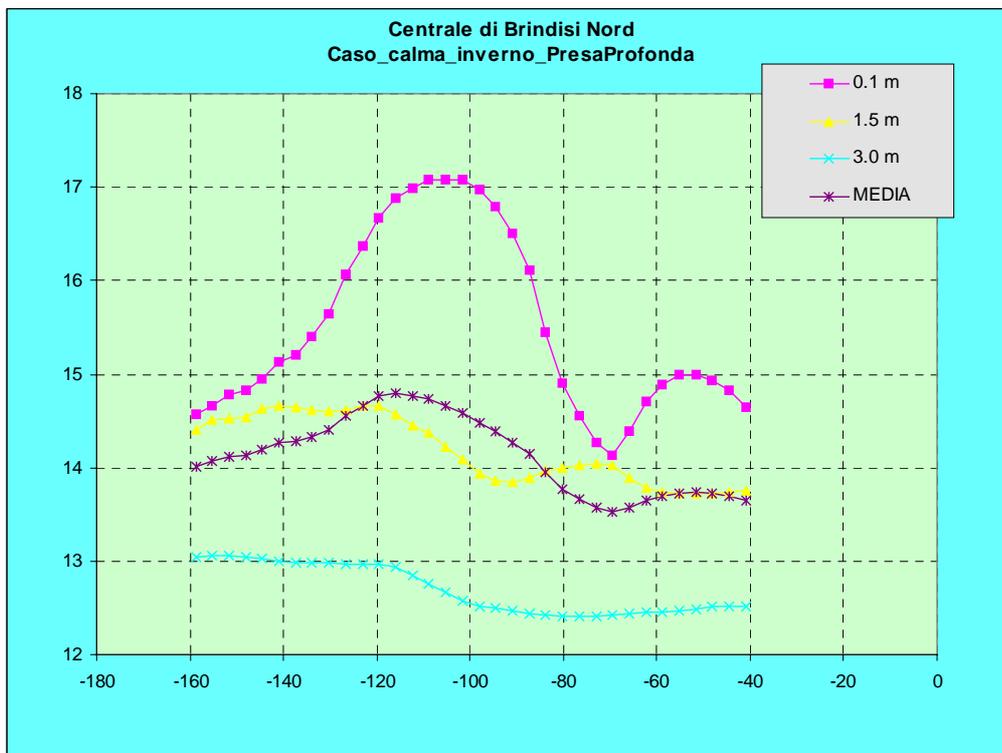


fig. 4.62 – Caso 5 con calma di vento. Sovralzo termico sull’arco a 1000 m

## 4.7 Caso 6 – Situazione futura in assenza di molo Enel

### 4.7.1 Caratteristiche del calcolo

Il caso 6, denominato “Situazione futura in assenza di molo Enel”, rappresenta di fatto la situazione prevista per il funzionamento futuro, con la centrale in assetto a due gruppi a carbone, con una portata scaricata complessiva di 21 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10 °C più un ciclo combinato con una portata di 10.1 m<sup>3</sup>/s ed un sovrizzo termico allo scarico pari a 10.5 °C. Per quanto riguarda le opere portuali, vengono considerate tutte le opere previste per il porto con la sola eccezione del nuovo molo Enel, il molo Montecatini è considerato nella sua forma attuale, sono considerati tutti i dragaggi previsti ed infine l’opera di presa della Polimeri Europa adiacente il molo Canale è considerata nella sua attuale posizione mentre lo scarico Policentrica Ovest, situato nella zona di interrimento che realizza l’area industriale viene considerato spostato fino al limite della stessa zona di interrimento.

La principale caratteristica di questo caso, rispetto ai casi 1, 2 e 5 dei quali riprende le condizioni di assetto della centrale, di configurazione portuale e meteomarine, è quella di considerare il futuro assetto della centrale nel solo contesto delle nuove opere portuali; poiché il molo Enel ha dimostrato di avere, specialmente nelle condizioni critiche di vento da NE, una funzione di barriera nei confronti della presa rispetto alla diffusione del pennacchio caldo, ci si aspetta che le condizioni termiche all’equilibrio risultino ancor più critiche rispetto a quanto evidenziato dai casi 1 e 2. Si è poi considerato l’effetto di mitigazione sia sul valore di ricircolo termico che sul valore di incremento termico sull’arco a 1000 m dell’opera di presa collocata ad una certa profondità nelle immediate adiacenze della radice dell’attuale molo Costa Morena, esattamente secondo il dimensionamento di massima studiato e descritto al paragrafo 2.7 del presente documento e già considerata per la simulazione numerica del caso 5.

Il reticolo di calcolo utilizzato in questo caso è mostrato in fig. 4.63 ed in fig. 4.64 per quanto riguarda la considerazione dell’attuale opera di presa superficiale, mentre nel caso in cui viene considerata la presa sommersa il reticolo è illustrato in fig. 4.65 e fig. 4.66 con le stesse modalità.

Infine, poiché dalle simulazioni condotte nei precedenti casi 1 e 2 è risultato che la situazione più critica risulta in ogni caso quella in condizioni invernali, il presente caso è stato simulato in queste condizioni, considerando la presenza di vento da NE e l’assenza di vento.

### 4.7.2 Caso con vento e presa superficiale

Il caso assume che sia presente una condizione di vento da NE, di intensità pari a 10 nodi, tale da esercitare uno sforzo sulla superficie del pennacchio diretto verso il molo attuale di Costa Morena e verso l’area di presa della centrale; di fatto, questa condizione ambientale tende a mantenere l’acqua calda in prossimità della parte interna della darsena, e quindi spingere il pennacchio caldo verso la presa superficiale che, in assenza del molo Enel, potrebbe essere sede di un forte ricircolo termico.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.67 alla fig. 4.70, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.67 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, l’effetto concomitante della corrente e soprattutto del vento tende sempre ad ostacolare la dispersione del pennacchio. Operando un confronto con il corrispondente caso 1 con presa superficiale (fig. 4.7), si nota come la forma e la dislocazione del pennacchio in termini di isoterme non sia modificata in maniera sostanziale per lo strato superficiale, se non in corrispondenza del porto Medio; in esso infatti, la temperatura superficiale si innalza sensibilmente in quanto la maggior quantità di calore scaricata nell’assetto futuro della centrale si traduce in un pennacchio più caldo che viene sospinto dal vento proprio entro il porto Medio, con una maggiore estensione dell’area con sovrizzo termico  $\geq 3$  °C. Oltre a ciò, l’assenza del molo Enel concorre ad aumentare il valore del ricircolo, come sarà discusso al successivo paragrafo 0, e quindi porta ad un ulteriore aumento della temperatura assoluta di scarico. Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, sempre in confronto a quanto rilevato nel caso 1, si ha un corrispondente aumento del sovrizzo di temperatura, sempre rispetto alla temperatura del mare imperturbata;
- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.68, l’andamento è sostanzialmente lo stesso del campo superficiale, con un lieve restringimento dell’area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C. Il valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale è intorno ai 16.7 °C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 4.8 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 15.0 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti il persistere del pennacchio caldo nella zona dello scarico favorisce l’estendersi del pennacchio caldo anche nella direzione verticale, in quanto il vento ne riduce la

dispersione, e la collocazione superficiale della presa finisce per aspirare soltanto acqua significativamente più calda rispetto al valore naturale, con un forte aumento del ricircolo termico stesso;

- c. la presenza di un forte valore di ricircolo si giustifica esaminando il campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale, mostrato in fig. 4.69. Si può notare, infatti, che tutta la bocca di aspirazione è interessata da acqua assai calda richiamata dagli strati superiori del pennacchio termico, posizionato stabilmente nella zona della presa a causa dell'effetto del vento e dell'assenza del molo Enel;
- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.70 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso ma decisamente più interessante risulta da questo punto di vista il confronto con da quello già visto per il caso 1 (fig. 4.10) da cui si discosta in maniera sostanziale. Infatti, l'effetto del vento sulla direzione del moto del pennacchio è tale da piegare lo stesso verso il molo Costa Morena, in ciò aiutato anche dalla presenza della zona di interrimento adiacente allo scarico stesso che determina comunque uno spostamento verso nord del pennacchio stesso. Anche i valori di velocità, non incontrando più ora il molo Enel, sono maggiori, in quanto oltre all'effetto di deviazione esercitato dal molo viene a mancare anche l'effetto di smorzamento sulla velocità stessa.

Nel successivo paragrafo 0 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.7.6 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2].

### 4.7.3 *Caso con calma di vento e presa superficiale*

Il caso assume una condizione di calma di vento in una situazione del tutto analoga a quella del caso 2, sempre considerando una condizione di presa superficiale per la centrale, ma in assenza del molo Enel. Rispetto al caso studiato nel precedente paragrafo 4.7.2 viene a mancare l'effetto di spostamento verso la presa causato dal vento, ma la diffusione termica più accentuata che si verifica con calma di vento può ugualmente portare a condizioni di forte ricircolo alla presa a causa della mancanza dell'effetto di schermo del molo Enel.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.71 alla fig. 4.74, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a) per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.71 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, valgono ancora in linea generale le medesime considerazioni fatte per il caso 2 in presenza del molo Enel (paragrafo 4.3.3, fig. 4.20), con la notevole eccezione rappresentata dalla zona antistante la presa della centrale. Infatti, l'assenza del molo Enel congiuntamente all'aumentato carico termico dovuto al futuro assetto della centrale porta a sovrizzi di temperatura ben maggiori di 3 °C anche nella zona di presa, che in fig. 4.20 era invece protetta dalla presenza del molo Enel. Questo fa prevedere un aumento del ricircolo termico, anche se in maniera più ridotta rispetto alla precedente situazione con vento, ed un aumento della temperatura superficiale anche nel porto Medio;
- b) per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.72, l'andamento è assai modificato rispetto al campo superficiale, in quanto in assenza di vento la diffusione superficiale è molto più efficace, con un conseguente notevole restringimento dell'area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C; questo comportamento è lo stesso riscontrato nel caso 2 ed è dovuto al maggior contributo del raffreddamento superficiale, e quindi indipendente dalla presenza del molo Enel, ma occorre ancora notare come l'area di presa sia comunque interessata da temperature assai elevate, a maggior ragione considerando che l'interrimento della zona di mare accanto allo scarico favorisce a sua volta la diffusione del pennacchio verso la presa. Il valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale è ora intorno ai 13.4 °C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 1.5 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 11.6 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti, la riduzione dello spessore verticale del pennacchio rispetto al caso precedente con vento consente l'aspirazione di acqua un po' meno calda;
- c) quanto detto al precedente punto (b) per quanto riguarda le condizioni alla presa è meglio evidenziato nella una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale di fig. 4.73, dove si vede molto bene la separazione tra le zone di pennacchio a diversa temperatura;
- d) il campo di moto mostrato in fig. 4.74 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso ma decisamente più interessante risulta da questo punto di vista il confronto con da quello già visto per il caso 2 (fig. 4.23) da cui si discosta in maniera sostanziale. Infatti, l'effetto della aspirazione della presa è ora tale da piegare il pennacchio verso il molo Costa Morena, mancando completamente l'effetto di sbarramento esercitato dal molo Enel nel caso di

fig. 4.23. Anche i valori di velocità, non incontrando più ora il molo Enel, sono maggiori, in quanto oltre all'effetto di deviazione esercitato dal molo viene a mancare anche l'effetto di smorzamento sulla velocità stessa.

Nel successivo paragrafo 0 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.7.6 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2]

#### 4.7.4 Caso con vento e presa profonda

L'analisi dei risultati ottenuti nei due casi precedenti con e senza vento, in assenza di molo Enel ma con assetto futuro della centrale e del porto, ha in generale evidenziato come l'assenza del molo Enel comporti in queste condizioni un aumento del valore di ricircolo termico alla presa particolarmente forte in presenza di vento. D'altra parte, il caso 5 discusso al paragrafo 4.6 del presente documento ha consentito di valutare l'effetto positivo che si ottiene ipotizzando la presa della centrale in posizione sommersa. Pertanto, il caso qui considerato ha lo scopo di valutare i possibili benefici che si possono realizzare con una tale configurazione in assenza del molo Enel, nel peggiore dei casi precedentemente esaminati

Il caso attuale perciò assume che sia presente una condizione di vento da NE, di intensità pari a 10 nodi, tale da esercitare uno sforzo sulla superficie del pennacchio diretto verso il molo attuale di Costa Morena e verso l'area di presa della centrale; di fatto, questa condizione ambientale tende a mantenere l'acqua calda in prossimità della parte interna della darsena, e quindi spingere il pennacchio caldo verso la presa.

Analizzando i risultati della simulazione numerica, elaborati graficamente nelle figure dalla fig. 4.75 alla fig. 4.78, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- a. per quanto riguarda il campo termico superficiale, mostrato in fig. 4.75 come differenza tra la temperatura locale ed il valore di temperatura del mare imperturbata per uno strato pari a 15 cm, l'effetto concomitante della corrente e soprattutto del vento tende sempre ad ostacolare la dispersione del pennacchio. Operando il confronto con il corrispondente caso con presa superficiale (fig. 4.67), si nota come la forma e la dislocazione del pennacchio in termini di isoterme non appaia modificata in maniera sostanziale per lo strato superficiale, se non in corrispondenza del porto Medio ove lo strato superficiale caldo sembra ora più esteso. In realtà, la presenza della presa profonda modifica la distribuzione delle temperature assolute, ed il pennacchio che, rappresentato con l'isoterma corrispondente a sovrizzi  $\geq 3$  °C appare non particolarmente diverso, si differenzia molto se vengono evidenziati, pur con una scala più ampliata, i valori superiori di sovrizzo termico. La fig. 4.79 e la fig. 4.80 per la presa superficiale e per la presa sommersa illustrano appunto tale concetto; è immediato constatare come in realtà la temperatura nell'area di aspirazione si riduca di oltre 2 °C alla superficie in presenza della presa sommersa, pur rimanendo valori di sovrizzo termico sempre in superficie  $> 4$  °C. Questo comportamento fa comunque prevedere una forte riduzione del valore di ricircolo termico in presenza della presa sommersa, con una efficacia relativa ancora maggiore rispetto al caso 5 che contemplava la presenza anche del molo Enel.;
- b. per quanto riguarda il campo termico calcolato come media sullo strato di 3 m come richiesto dalla normativa in vigore, e mostrato in fig. 4.76, l'andamento è sostanzialmente lo stesso del campo superficiale, con un lieve restringimento dell'area avente un incremento di temperatura superiore ai 3 °C. Il valore assoluto medio di temperatura nella zona di presa della centrale è però ora, per quanto detto al punto (a), intorno ai 13.5 °C, con un incremento termico rispetto alla temperatura naturale di circa 1.6 °C, ed un conseguente valore di temperatura allo scarico superiore di circa 11.8 °C rispetto alla temperatura del mare imperturbata. In effetti il persistere del pennacchio caldo nella zona dello scarico favorisce l'estendersi del pennacchio caldo anche nella direzione verticale, in quanto il vento ne riduce la dispersione, ma la collocazione profonda della presa consente di aspirare acqua a temperatura prossima al valore naturale, con una forte riduzione del ricircolo termico. L'aumentata efficienza della presa profonda rispetto al caso 5, effettuato a parità di condizioni ma con la presenza del molo Enel, si può spiegare col fatto che ora la zona di presa è collegata in profondità alla intera area del porto esterno, consentendo il richiamo in profondità di acqua fredda, che invece era impedito dalla presenza del molo;
- c. la presenza di un ridotto valore di ricircolo si giustifica esaminando il campo termico in una sezione verticale in corrispondenza della presa della centrale, mostrato in fig. 4.69. Si può notare, infatti, che tutta la bocca di aspirazione è interessata da acqua assai calda richiamata dagli strati superiori del pennacchio termico, posizionato stabilmente nella zona della presa a causa dell'effetto del vento e dell'assenza del molo Enel;
- d. il campo di moto mostrato in fig. 4.70 giustifica l'andamento del campo termico sopra discusso ma decisamente più interessante risulta da questo punto di vista il confronto con da quello già visto per il caso 1 (fig. 4.10) da cui si discosta in maniera sostanziale. Infatti, l'effetto del vento sulla direzione del moto del pennacchio è tale da piegare lo stesso verso il molo Costa Morena, in ciò aiutato anche dalla presenza della zona di interrimento adiacente allo

scarico stesso che determina comunque uno spostamento verso nord del pennacchio stesso. Anche i valori di velocità, non incontrando più ora il molo Enel, sono maggiori, in quanto oltre all'effetto di deviazione esercitato dal molo viene a mancare anche l'effetto di smorzamento sulla velocità stessa.

Nel successivo paragrafo 0 verranno valutati in dettaglio i valori dei flussi termici alle prese ed il relativo ricircolo, mentre nel paragrafo 4.7.6 viene eseguito il calcolo del sovrizzo sull'arco a 1000 m secondo la metodologia di legge [2].

#### 4.7.5 *Analisi dei flussi termici e del ricircolo*

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle elaborazioni sui risultati ottenuti dal calcolo col fine di determinare i flussi termici nell'intero dominio di calcolo e l'eventuale ricircolo di acqua dallo scarico alla presa.

Per quanto riguarda i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tab. 4.21, nella quale appaiono le quote percentuali dei flussi termici che vengono dispersi verso i contorni e verso l'atmosfera. Inoltre sono anche riportate le quote di ricircolo termico, in termini percentuali, allo scopo di individuare potenziali situazioni critiche.

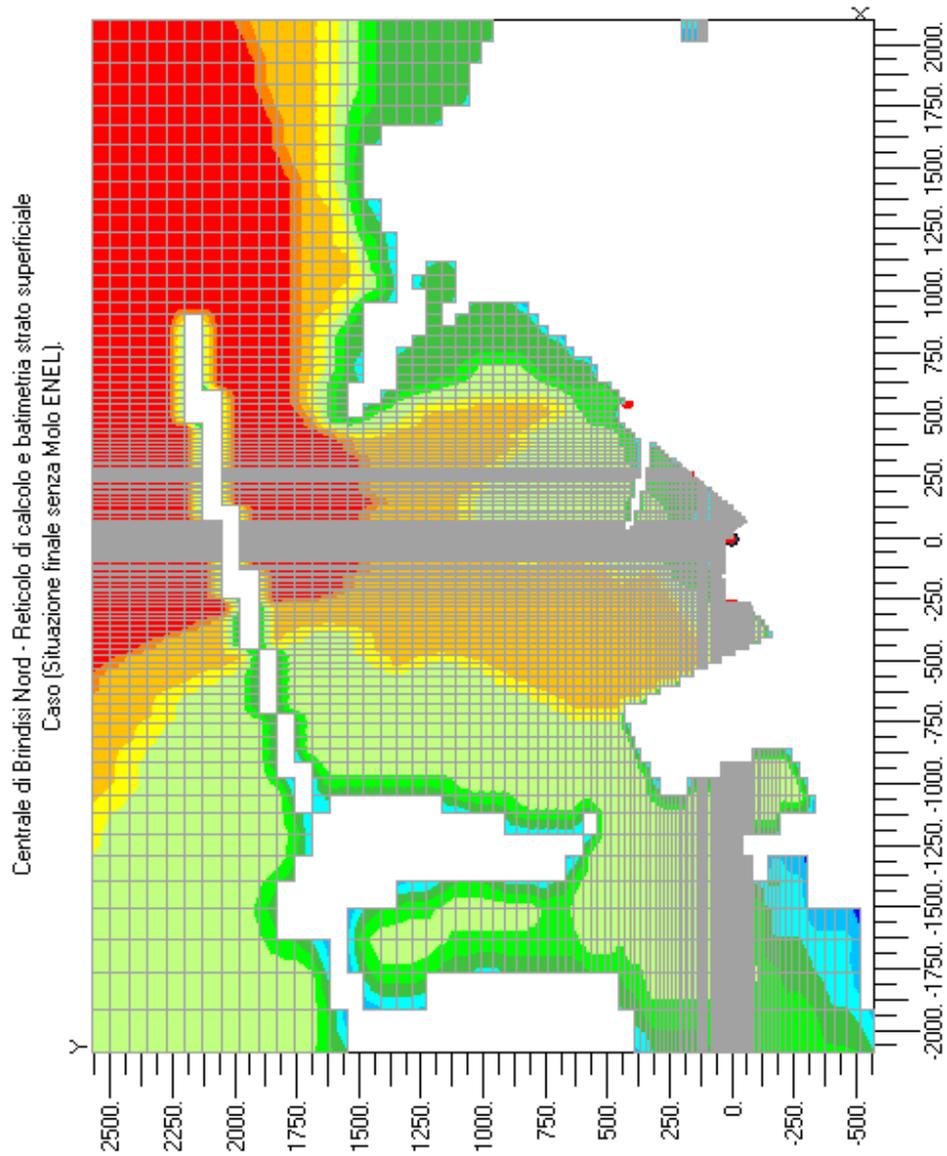
tab. 4.21 – Caso 6. Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi

Caso 6	Potenza termica scambiata (MW)	Ricircolo Presa centrale %	Flusso totale uscente		
			Prelievo Presa molo Canale %	Contorno %	Atmosfera %
con vento da NE e presa superficiale	1025.88	44.1	20.2	31.7	48.1
calma di vento e presa superficiale	1025.88	13.4	10	64.4	25.6
Con vento da NE e presa sommersa	1025.88	14.9	20.0	36.0	44.0

La somma delle colonne relative al contorno, all'atmosfera e alla presa adiacente al molo Canale è relativa al flusso di calore totale che lascia il sistema e quindi corrisponde al calore totale immesso nel sistema dagli scarichi del Porto Esterno, e tiene conto del fatto che parte dall'aspirazione di quest'ultima viene scaricata mediante opere esterne al porto stesso; le percentuali riportate nella colonna relativa al ricircolo sulla presa della centrale rappresentano la frazione del calore immesso che rimane nel sistema per effetto del ricircolo stesso.

E' evidente come nel caso di presenza di vento l'efficacia dello scambio termico con l'atmosfera aumenta sensibilmente, pur riducendosi l'area superficiale di scambio, mentre in condizioni di assenza di vento più della metà del calore immesso lascia il dominio per diffusione e trasporto. E' altresì evidente come la presenza di una presa superficiale o sommersa modifichi poco la ripartizione del calore tra atmosfera e contorno a parità di condizioni di vento, date le grandi superfici in gioco rispetto al volume di acqua interessato dalla aspirazione.

Per quanto riguarda la presa adiacente il molo Canale, l'assenza del molo non modifica le condizioni di flusso che la riguardano rispetto a quanto già discusso per i casi 1, 2 e 5 rispettivamente per condizioni di vento, di calma e con presa sommersa..



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.63 – Caso 6. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria per l'opera di presa superficiale(m)

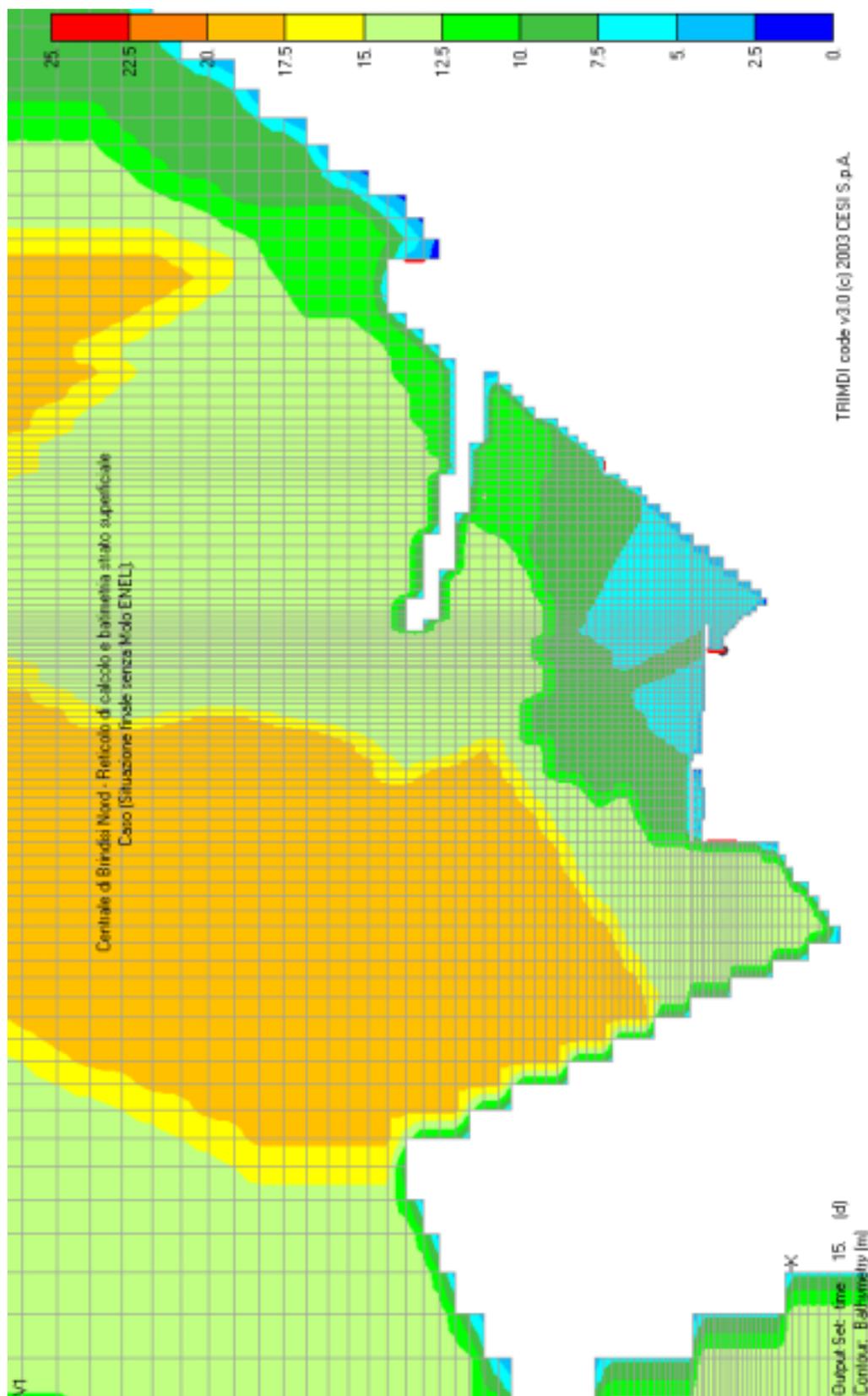
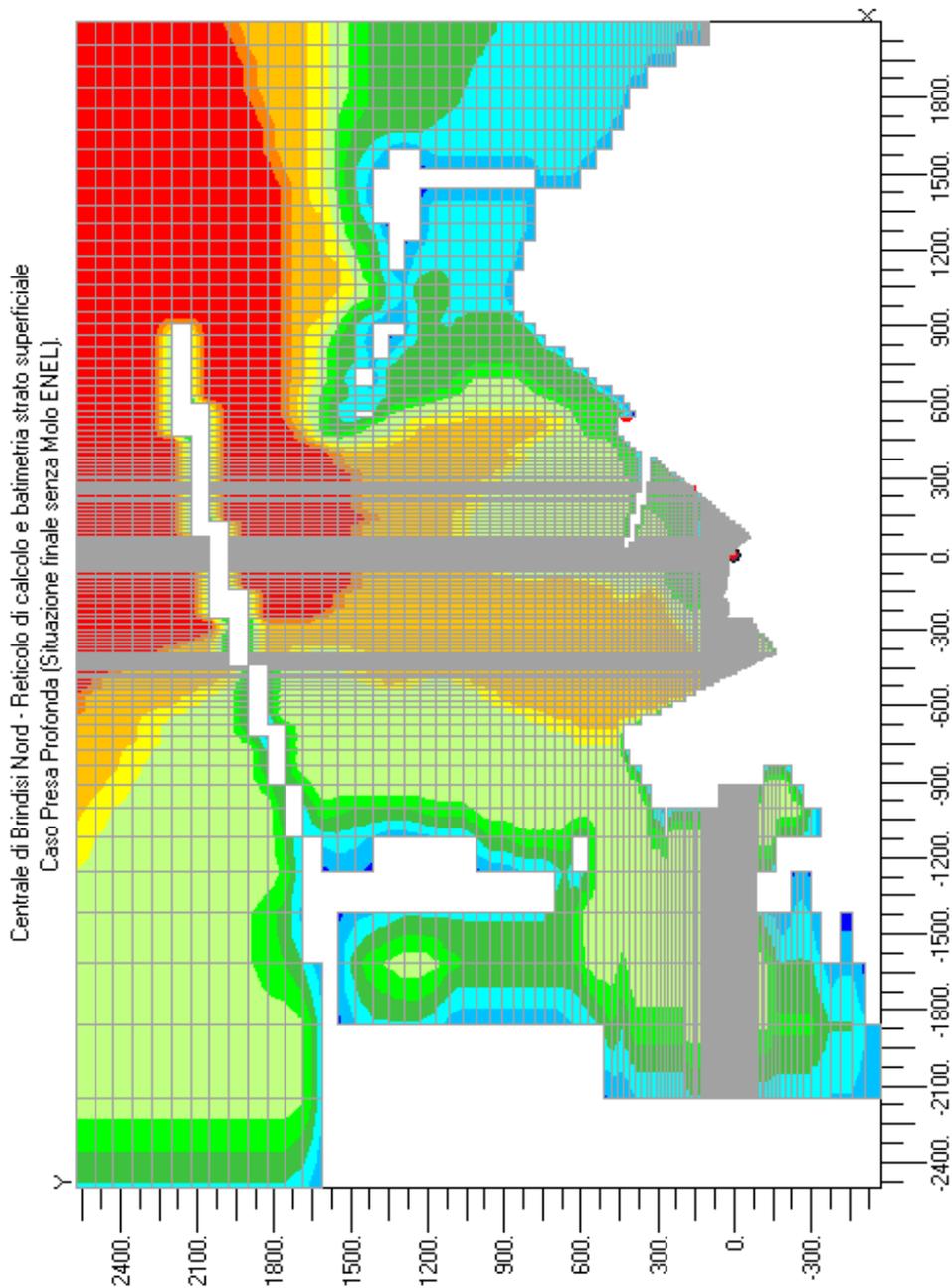


fig. 4.64 – Caso 6. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa, nel caso di presa superficiale (profondità in m)



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

f)

fig. 4.65 – Caso 6. Reticolo di discretizzazione del dominio e relativa batimetria per l'opera di presa sommersa(m)

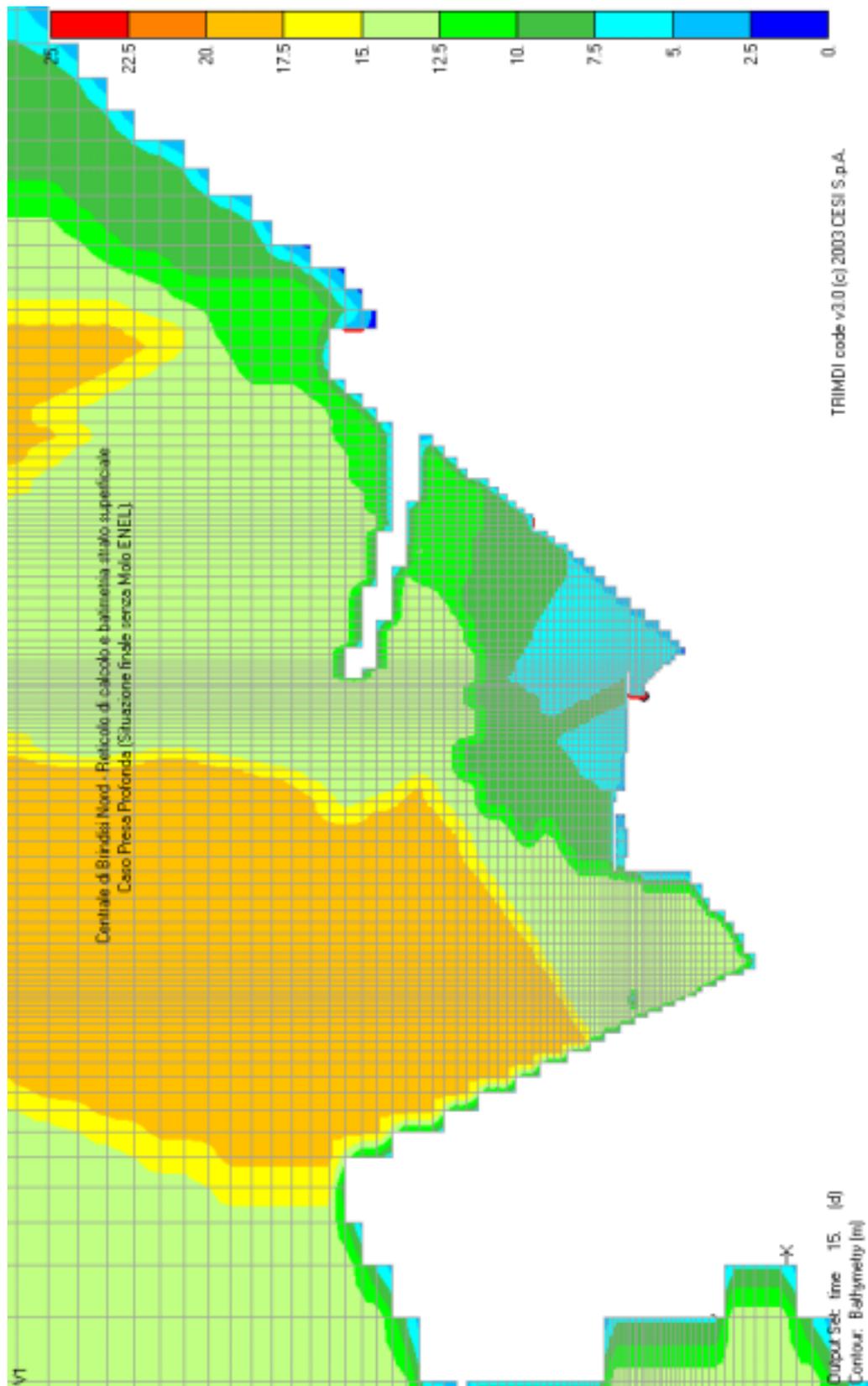
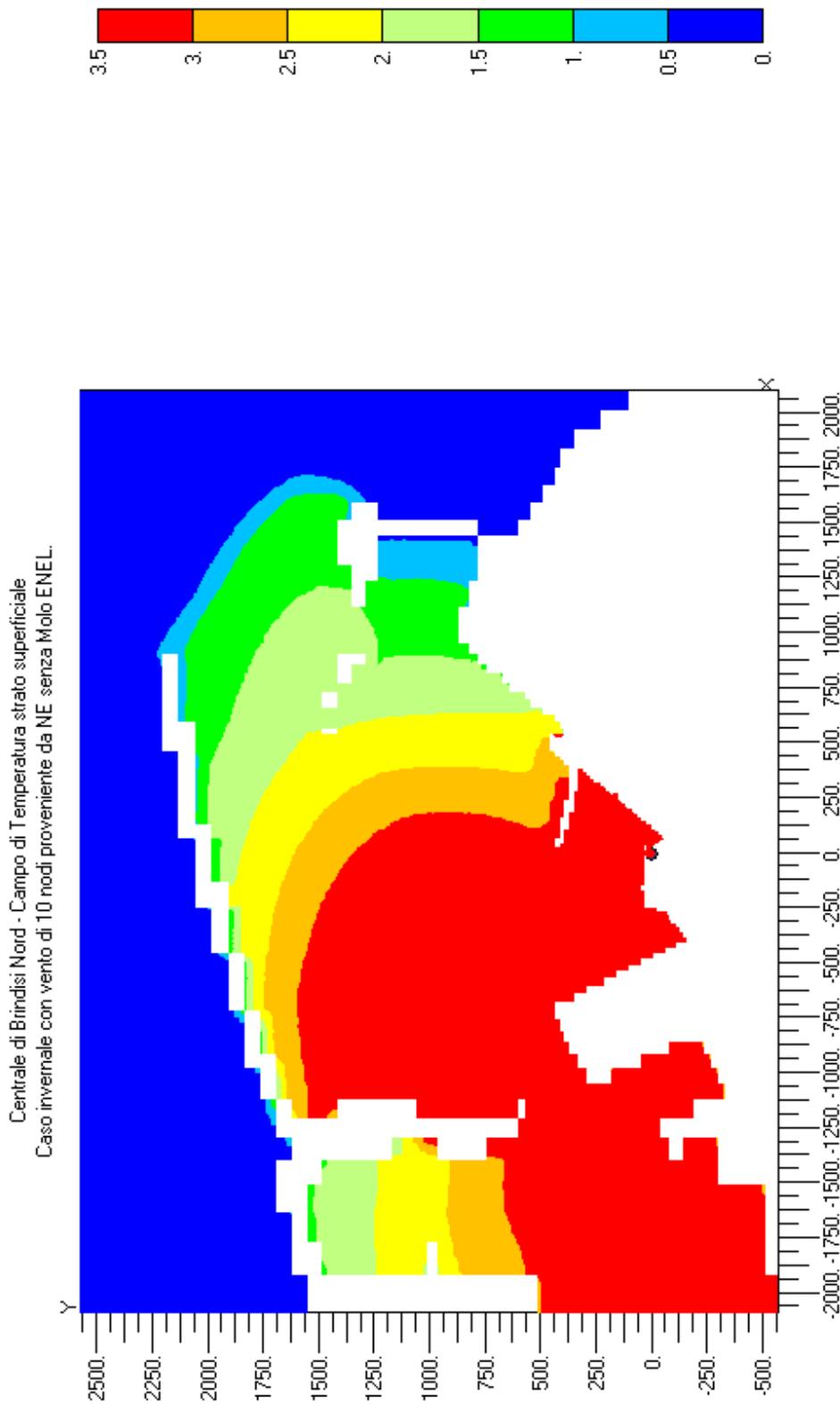
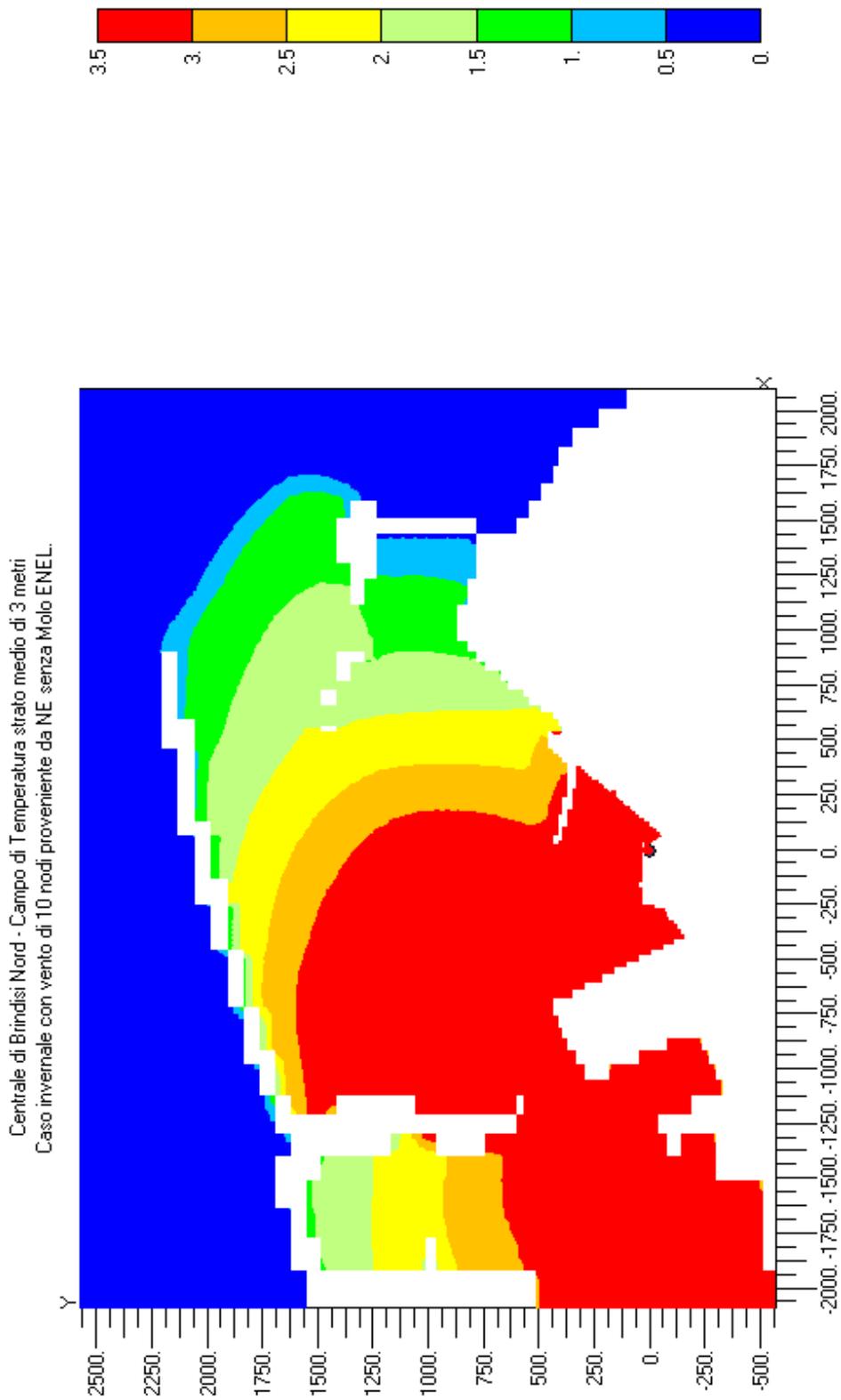


fig. 4.66 – Caso 6. Dettaglio del reticolo di discretizzazione per la zona interessata dalle opere di scarico e presa, nel caso di presa profonda (profondità in m)



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.67 – Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento superficiale del sovralzato termico (°C)



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.68 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

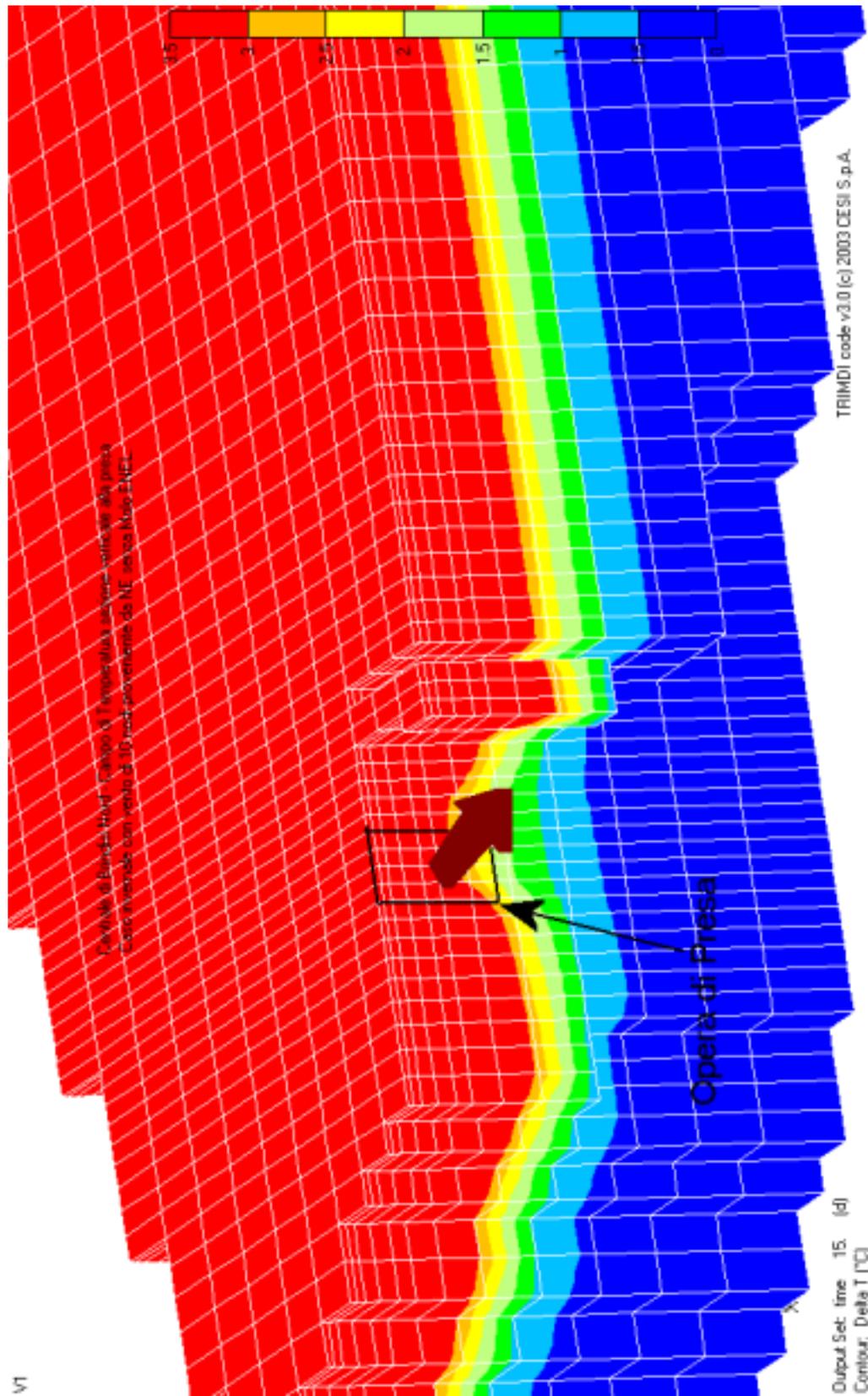


fig. 4.69 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)

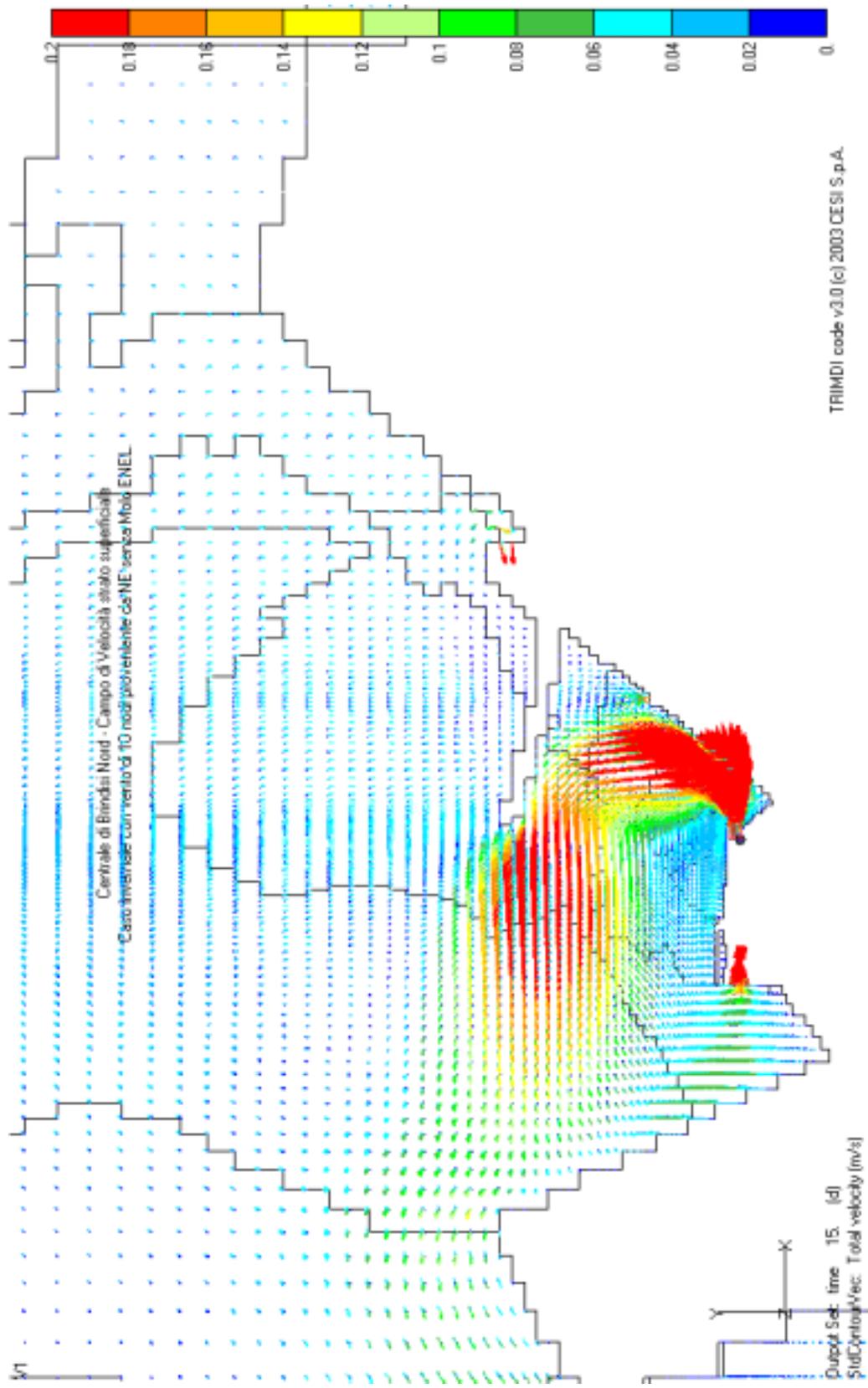
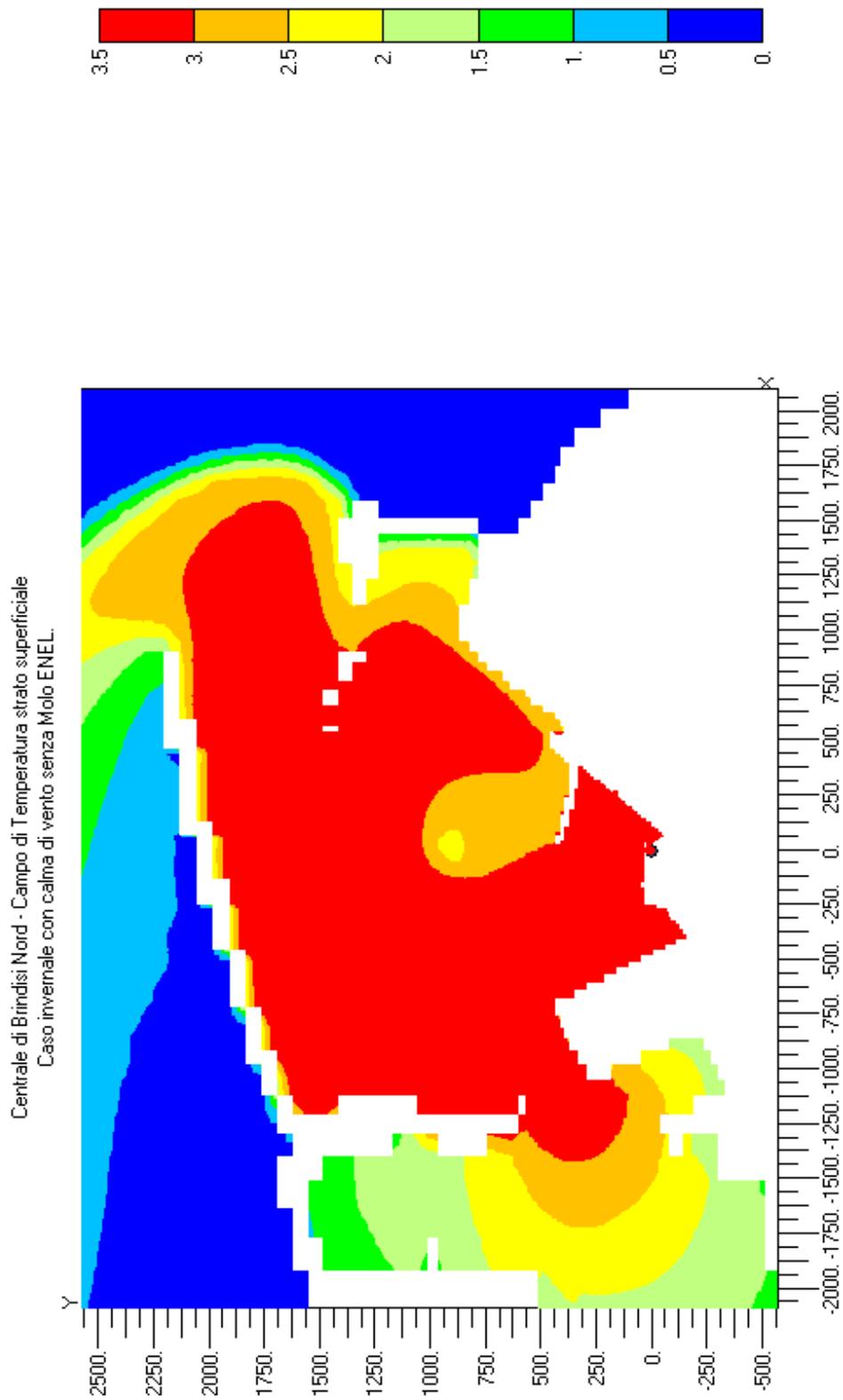
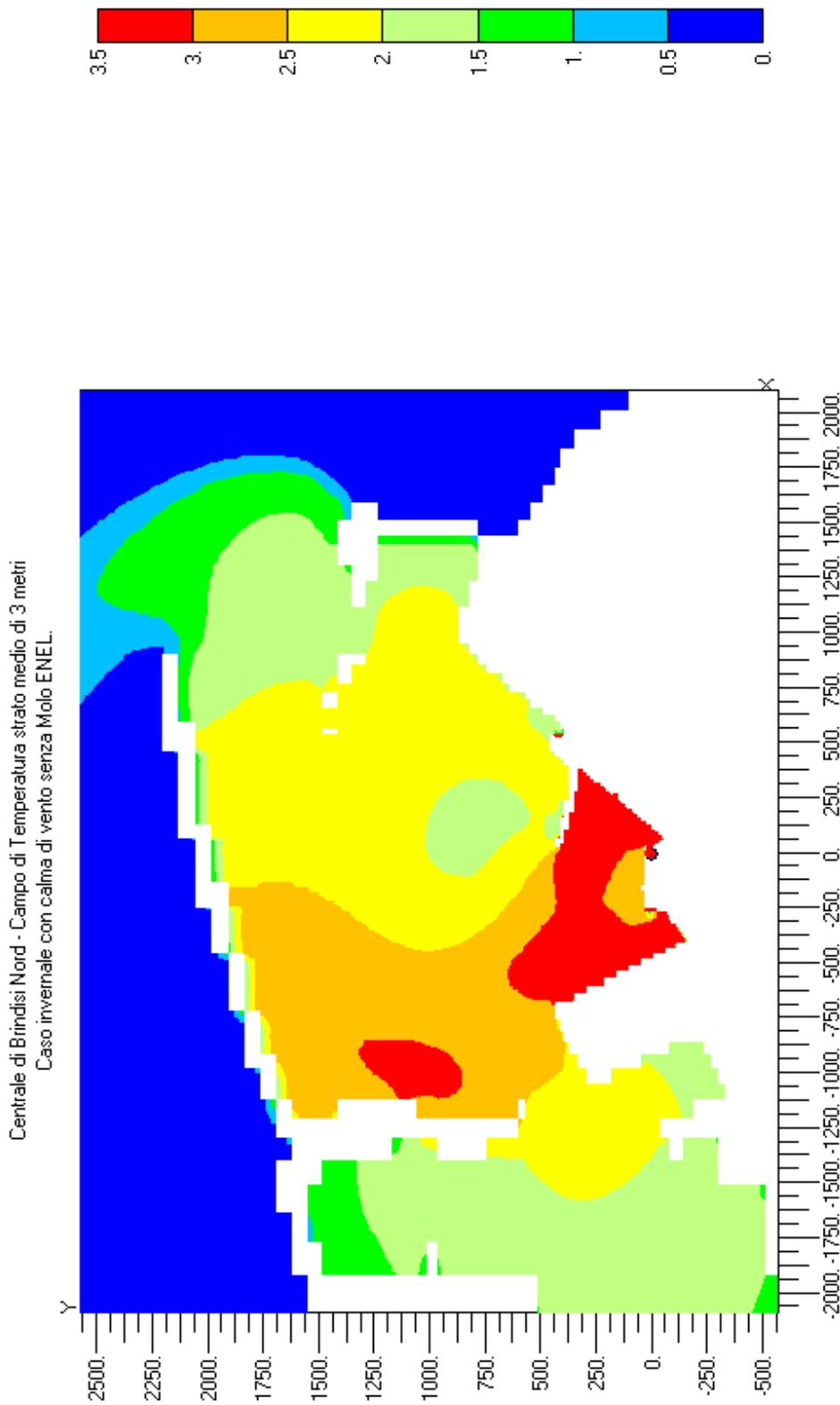


fig. 4.70 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.71 – Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento superficiale del sovrizzo termico (°C)



TRIMDI code v3.0 (c) 2003 CESI S.p.A.

fig. 4.72 - Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

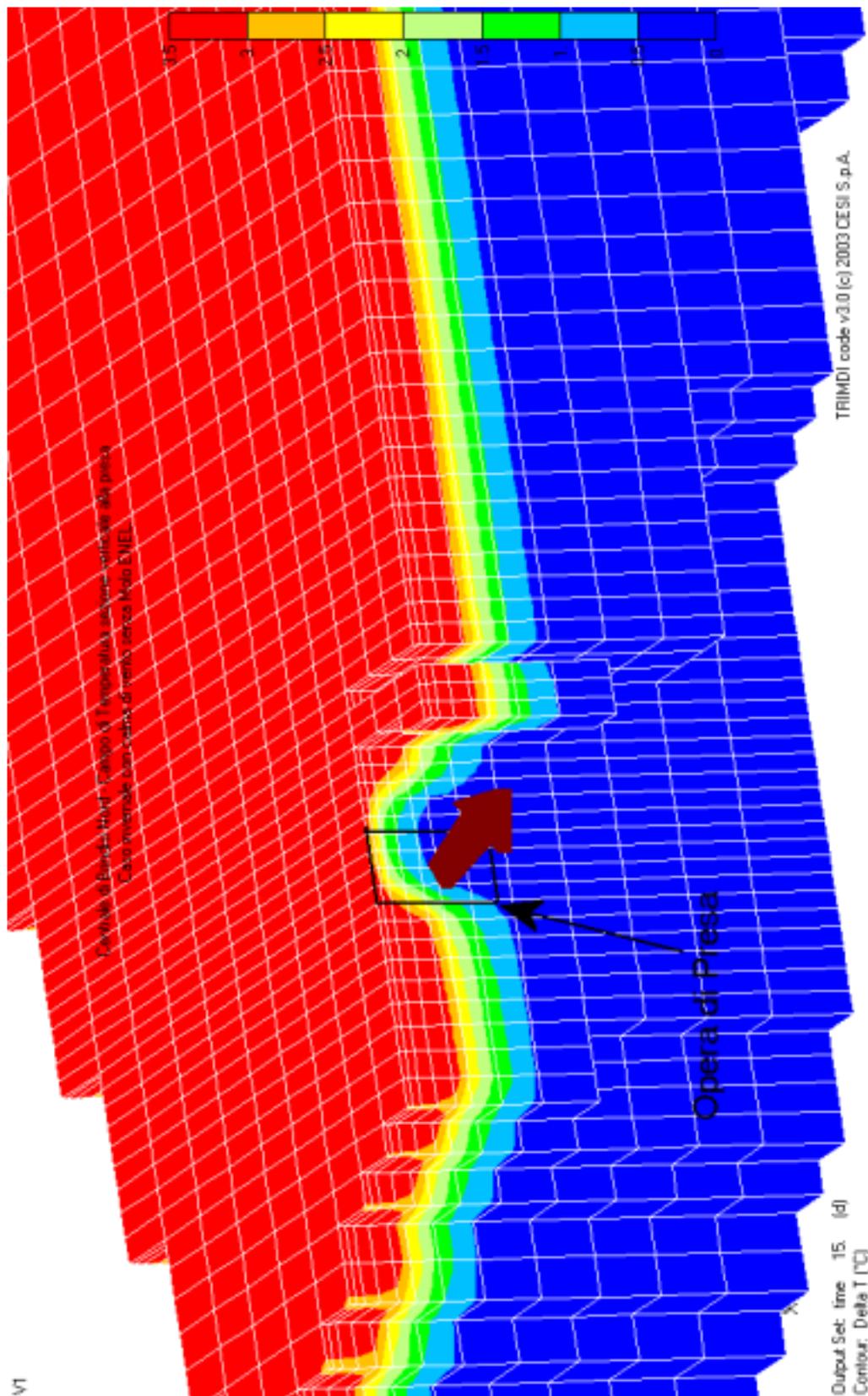


fig. 4.73 - Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento verticale del sovralzso termico in corrispondenza della presa (°C)

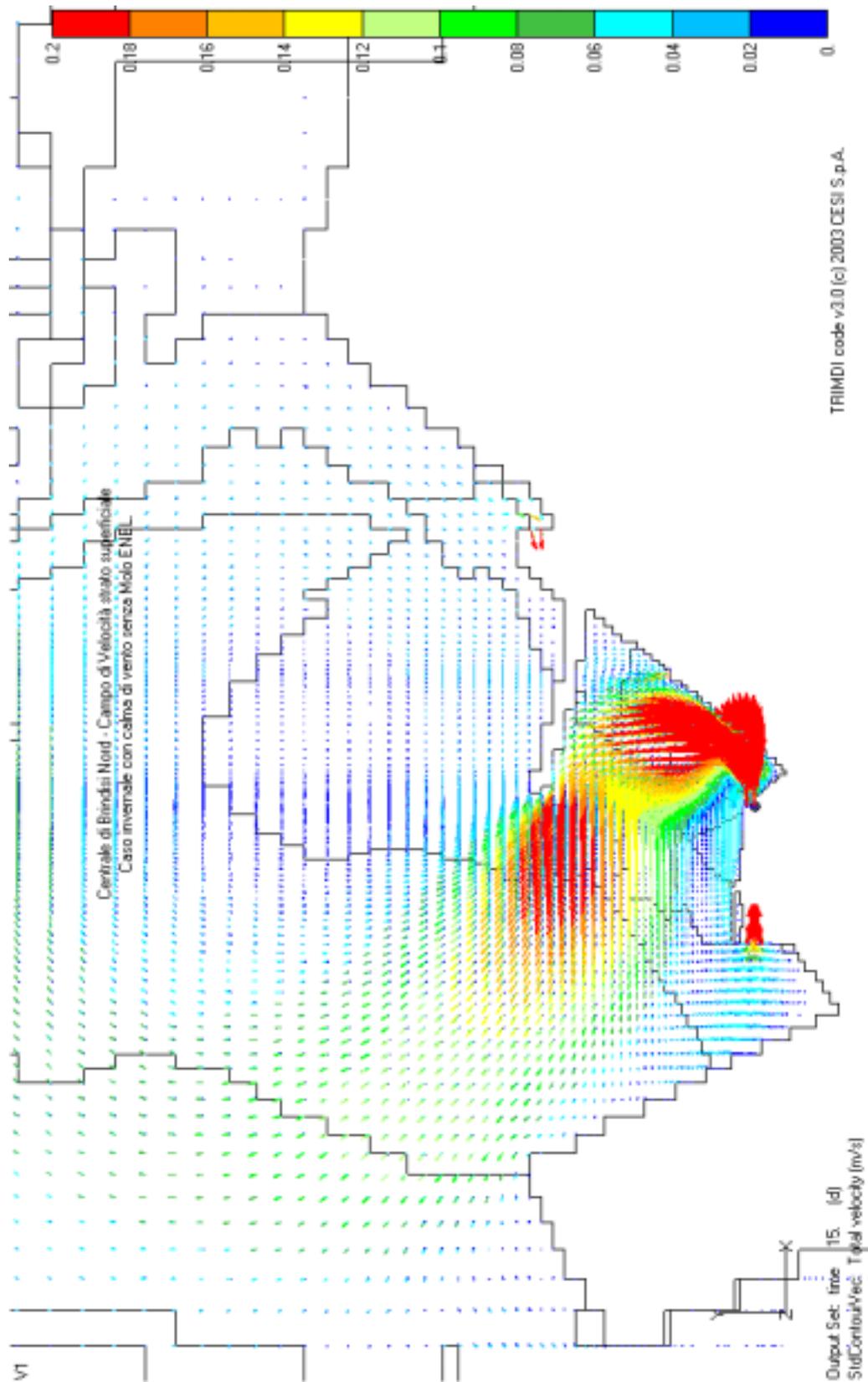


fig. 4.74 - Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

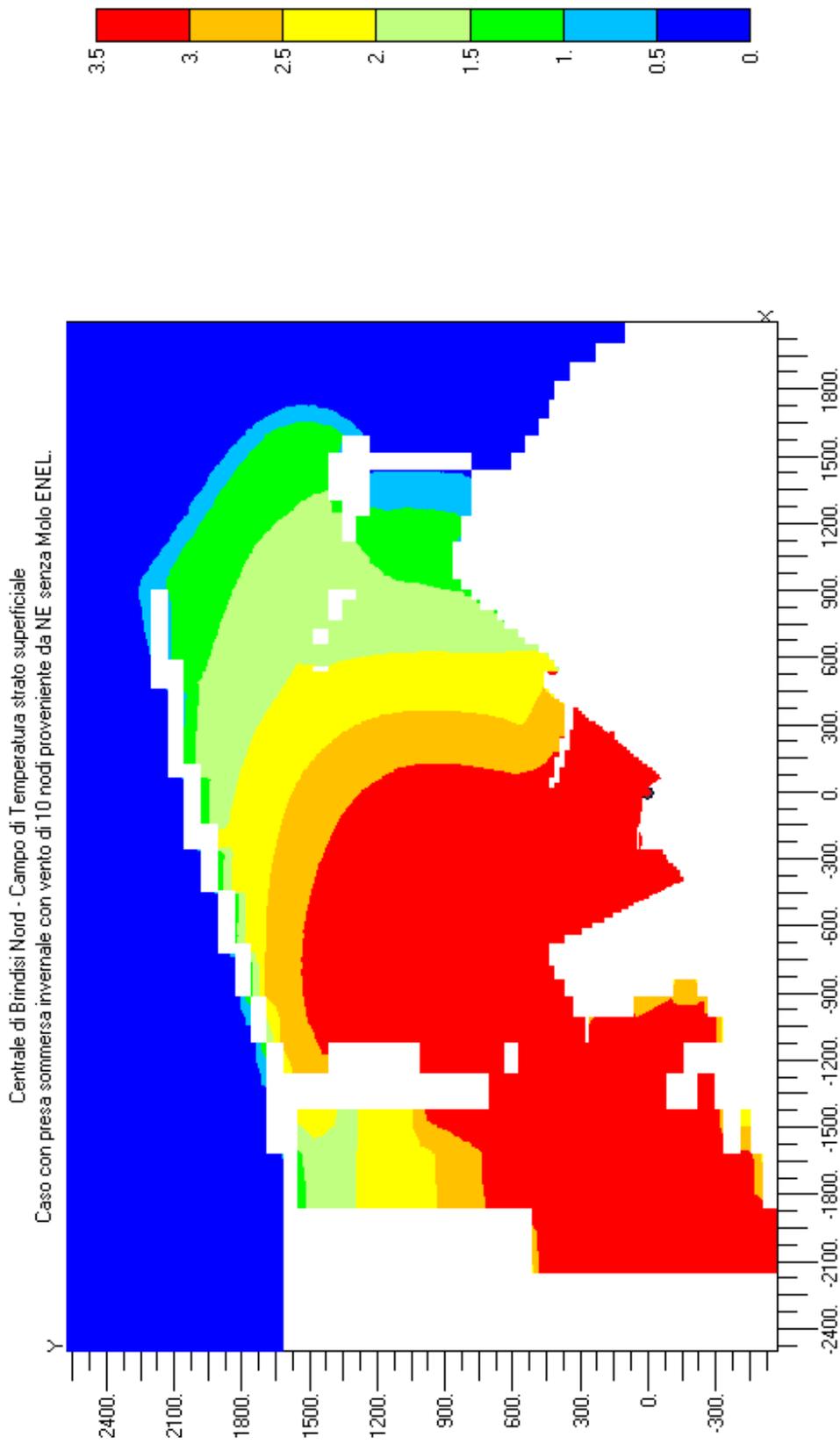


fig. 4.75 – Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento superficiale del sovralzso termico (°C)

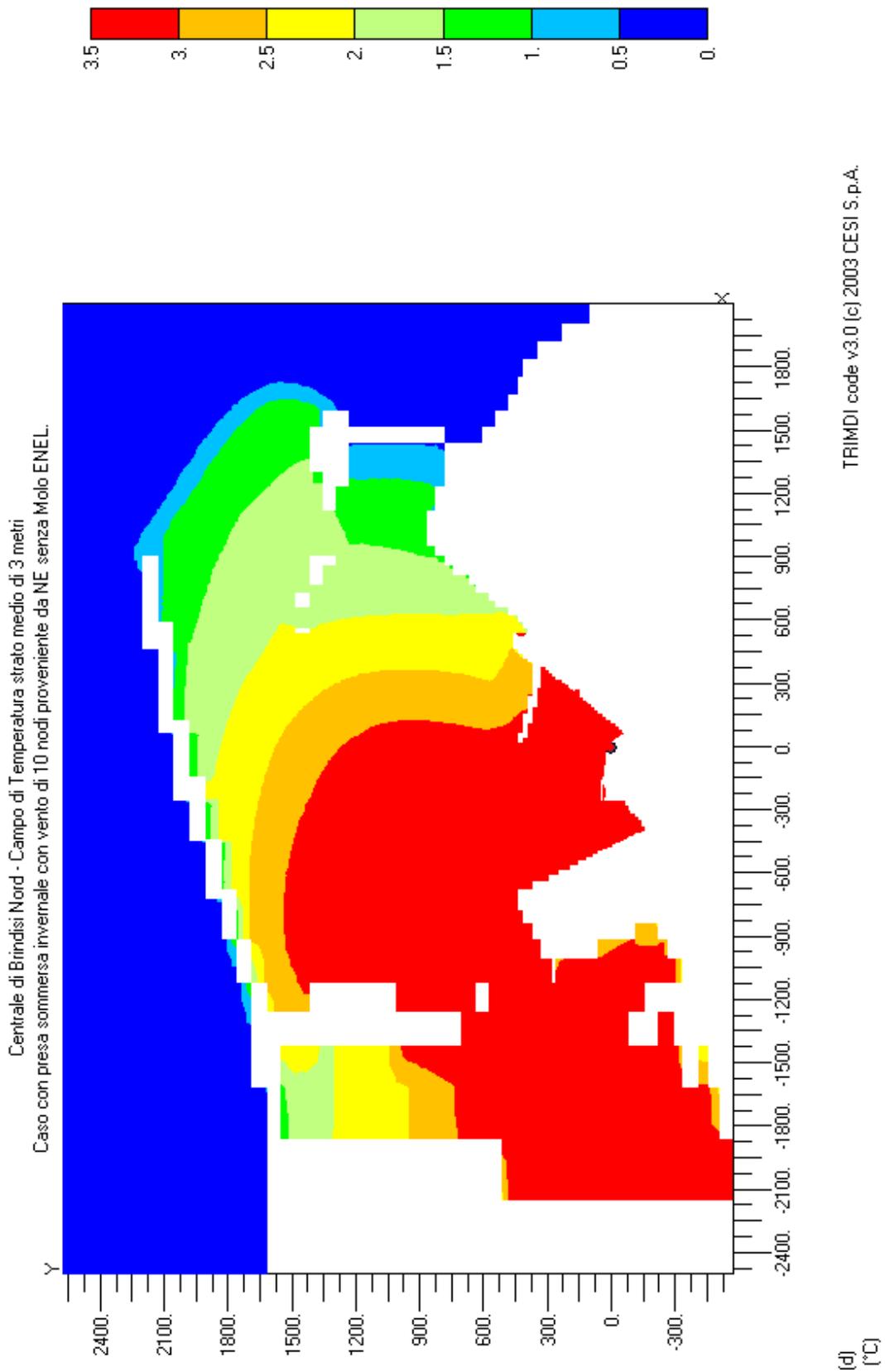


fig. 4.76 - Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento medio del sovrizzo termico (strato di 3 m) (°C)

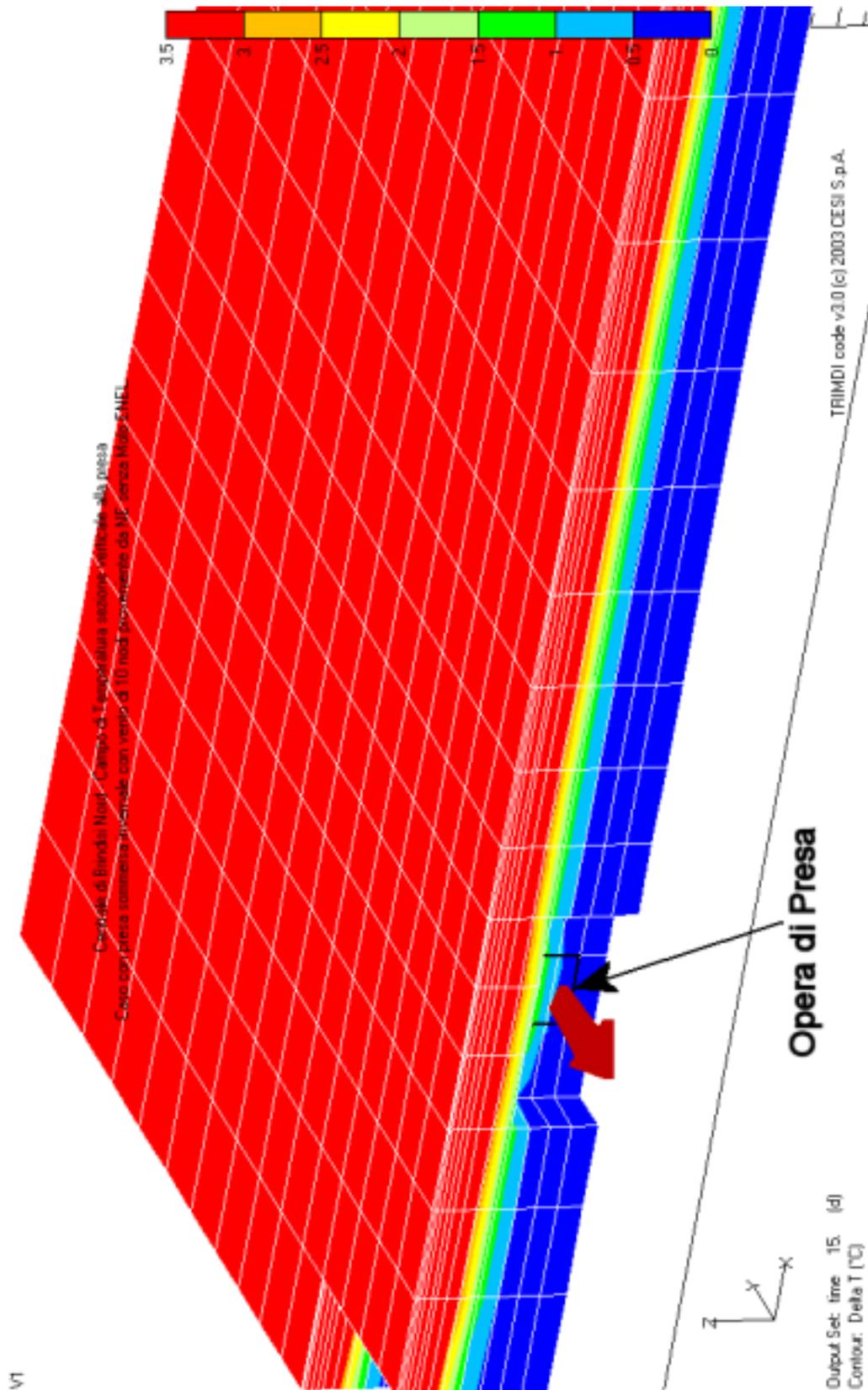


fig. 4.77 - Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento verticale del sovrizzo termico in corrispondenza della presa (°C)

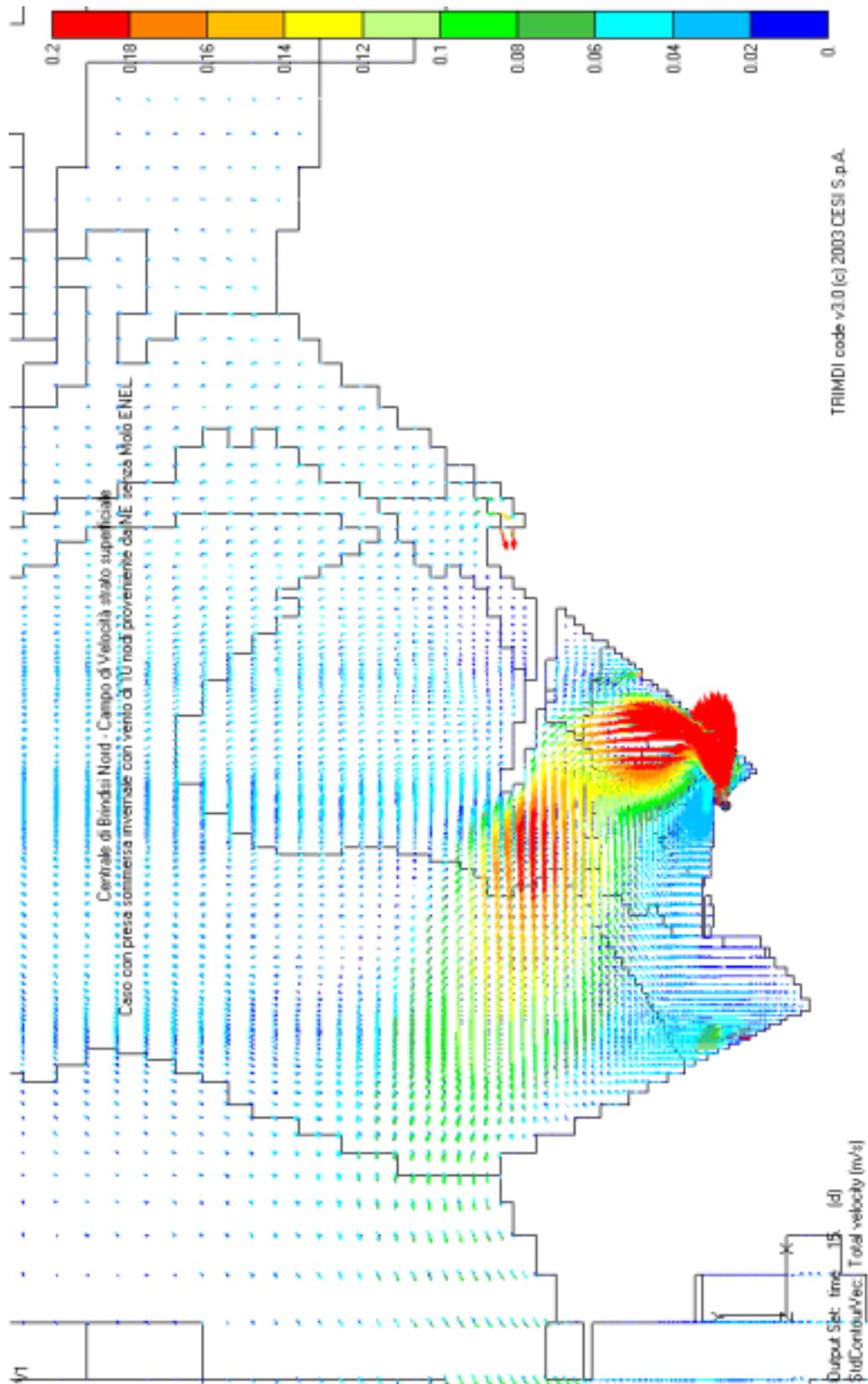


fig. 4.78 - Caso 6 con vento e presa profonda. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

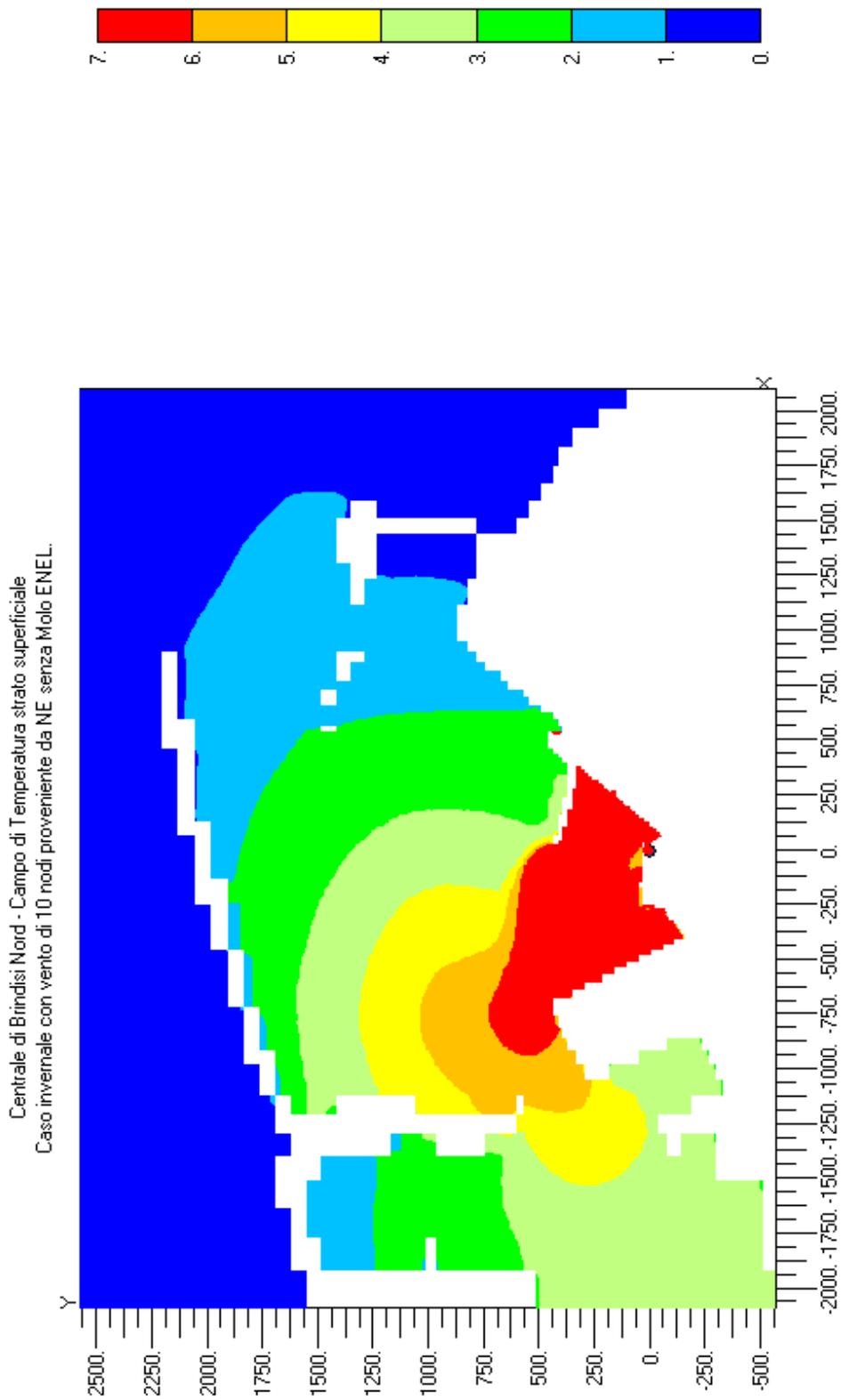


fig. 4.79 - Caso 6 con vento e presa superficiale. Dettaglio del pennacchio termico alla superficie

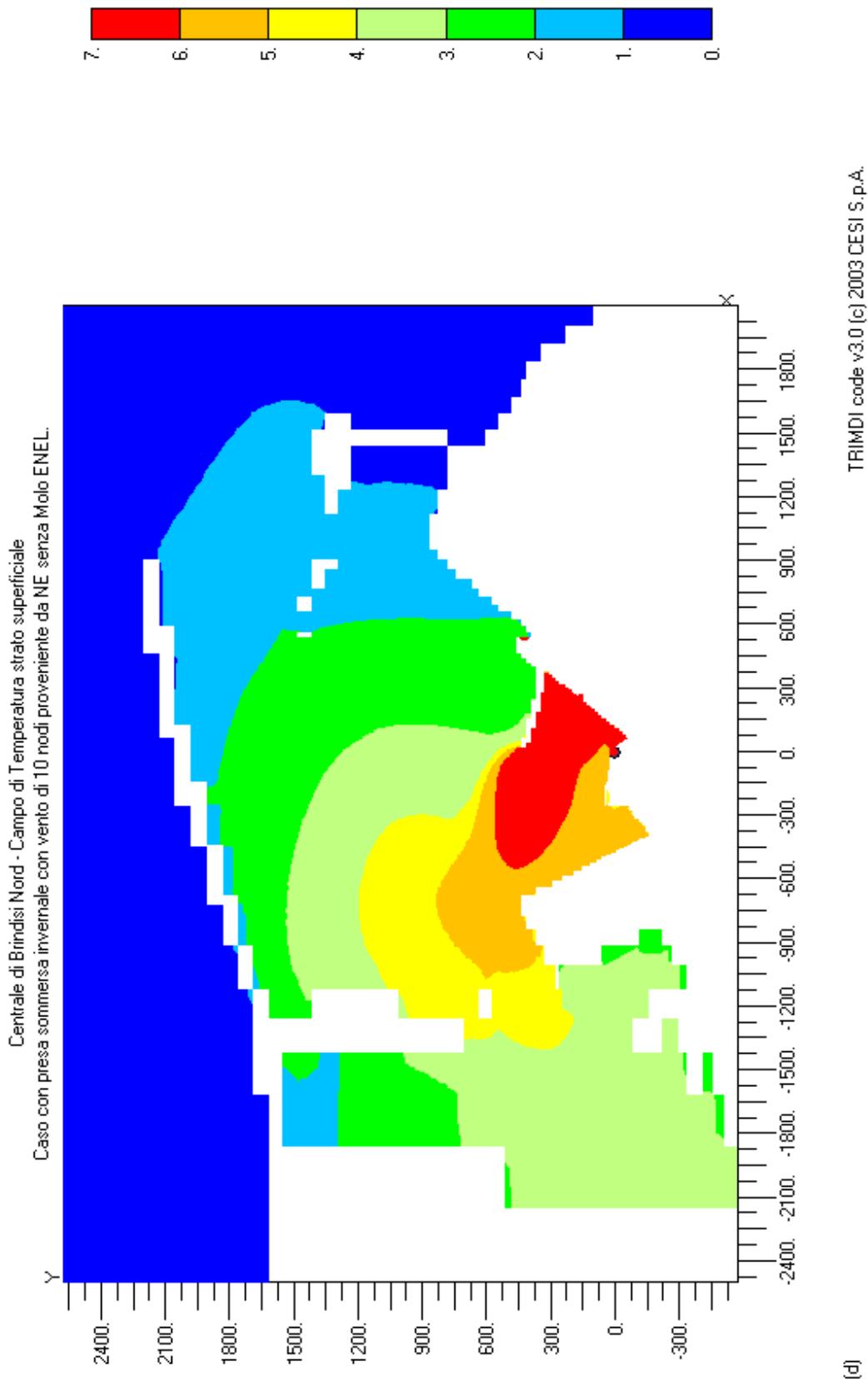


fig. 4.80 - Caso 6 con vento e presa sommersa. Dettaglio del pennacchio termico alla superficie

Nei casi valutati, il valore del sovrizzo termico medio alla presa della centrale è riportato nella seguente tab. 4.22, unitamente alla stima dell'incremento termico che si presenta anche alla presa adiacente il molo Canale ed al sovrizzo termico allo scarico della centrale conseguente alla presenza del ricircolo. L'effetto della presa profonda rispetto alla attuale presa superficiale, in termini di valore di ricircolo, può essere valutato confrontando i valori di tab. 4.22 con quelli di tab. 4.2 (condizioni invernali in presenza di vento e presa superficiale), di tab. 4.6 (condizioni invernali in assenza di vento e presa superficiale) e di tab. 4.18 (condizioni invernali in presenza di vento e presa sommersa).

Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- il valore di sovrizzo termico alla presa adiacente il molo Canale non subisce variazioni di rilievo rispetto alla presenza del molo Enel, a parità di condizioni meteomarine e di assetto della centrale;
- i valori di ricircolo termico alla presa, in assenza di molo Enel e con l'attuale presa superficiale, peggiorano sensibilmente sia rispetto alla presenza del molo Enel a parità di condizioni (da 2.9 °C a 4.8 °C) sia rispetto alle condizioni di assetto attuale del porto e della centrale, riassunte in tab. 4.10 (da 4.0 °C a 4.8 °C);
- i valori di ricircolo termico in condizioni di presa sommersa sono pressoché inalterati sia in presenza che in assenza del molo Enel, con variazioni di 0.1 °C. Ciò significa che le condizioni di aspirazione con presa sommersa risentono solo delle condizioni ambientali (vento forte o meno) e non dalla presenza del molo Enel, il che consente di ridurre il ricircolo alla presa, nel caso in cui il molo non è presente, di circa 2 °C (da 4.8 °C a 2.9 °C) a parità di ogni altra condizione

tab. 4.22 – Caso 6. Andamento dei sovrizzi termici alle opere di presa e scarico

Caso 6	$\Delta T$ [°C] alla presa molo Canale	$\Delta T$ [°C] alla presa centrale	$\Delta T$ [°C] allo scarico centrale
con vento da NE e presa superficiale	2.0	4.8	15.0
calma di vento e presa superficiale	1.0	1.5	11.6
Con vento da NE e presa sommersa	2.0	1.6	11.8

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

La normativa di legge vigente [1] 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 di attuazione [2] 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 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 e la media tra le temperature valutate nei tre punti di misura più freddi lungo l'arco.

Allo scopo di valutare l'effetto della presa sommersa sul rispetto di tali limiti nella situazione di scarico futura in presenza del nuovo molo Enel e delle progettate nuove opere a mare, si è calcolato l'andamento del sovrizzo termico sull'arco a 1000 m dallo scarico partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione numerica, in perfetta analogia con quanto già fatto nei casi 1, 2 e 5.

La tab. 4.23, la tab. 4.24 e la tab. 4.25 includono i valori calcolati sull'arco, rispettivamente nelle condizioni di vento da NE con presa superficiale, di calma di vento con presa superficiale e di vento da NE con presa sommersa, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1,F2,F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi Tm e della sua deviazione standard (2SF). L'incremento termico risultante valutato sull'intero arco secondo le procedure di legge [2] è anch'esso evidenziato in ciascuna tabella.

Nelle fig. 4.81, fig. 4.82 e fig. 4.83 sono poi riportati, ancora nello stesso ordine, gli andamenti grafici 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.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

- nelle condizioni di vento, sia con presa superficiale che con presa sommersa, l'assenza del molo Enel provoca uno spostamento del pennacchio caldo, non più schermato, verso il molo Costa Morena, con il conseguente spostamento del punto caldo verso il molo medesimo, con un valore di temperatura più elevato, a fronte di valori di

temperatura nei punti freddi pressoché imperturbati, e ciò si traduce in un aumento dell'incremento termico sull'arco, che nel caso con presa superficiale supera il limite di legge di 3 °C;

- b) nelle condizioni di calma, l'assenza del molo Enel di fatto migliora il valore dell'incremento termico sull'arco, anche se non in maniera sensibile, perché in queste condizioni il pennacchio caldo comunque è spostato verso la bocca di porto ed il punto caldo è anch'esso spostato sul lato destro dell'arco.

tab. 4.23 – Caso 6 con vento da NE e presa superficiale. 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	17.253	
1	17.588	17.381	15.698	16.889	C	2SC	0.0000	
2	17.804	17.582	15.767	17.051				
3	18.01	17.587	15.741	17.113				
4	18.203	17.663	15.747	17.204			Staz. F 1	13.627
5	18.171	17.736	15.853	17.253			Staz. F 2	13.722
6	18.11	17.759	15.867	17.245			Staz. F 3	13.796
7	18.029	17.71	15.805	17.181			T m	13.7151
8	17.876	17.602	15.721	17.066			2SF	0.1701
9	17.669	17.453	15.628	16.917			Incr. term.	3.3681
10	17.331	17.186	15.472	16.663				
11	17.098	17.014	15.382	16.498				
12	16.822	16.791	15.244	16.286				
13	16.673	16.656	15.16	16.163				
14	16.475	16.46	15.022	15.986				
15	16.32	16.312	14.974	15.869				
16	16.14	16.135	14.896	15.724				
17	15.976	15.973	14.866	15.605				
18	15.798	15.797	14.839	15.478				
19	15.563	15.566	14.753	15.294				
20	15.395	15.399	14.718	15.171				
21	15.216	15.223	14.672	15.037				
22	15.048	15.056	14.655	14.920				
23	14.895	14.902	14.58	14.792				
24	14.762	14.768	14.508	14.679				
25	14.609	14.614	14.424	14.549				
26	14.476	14.48	14.366	14.441				
27	14.352	14.357	14.275	14.328				
28	14.21	14.215	14.17	14.198				
29	14.105	14.11	14.073	14.096				
30	13.991	13.996	13.967	13.985				
31	13.931	13.937	13.914	13.927				
32	13.798	13.804	13.787	13.796	F3			
33	13.722	13.729	13.716	13.722	F2			
34	13.623	13.628	13.629	13.627	F1			

tab. 4.24 – Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. 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	14.835	
1	15.403	14.423	13.104	14.310	C	2SC	0.0000	
2	15.403	14.482	13.1	14.328				
3	15.849	14.466	13.104	14.473		Staz. F 1	13.768	
4	16.2	14.505	13.098	14.601		Staz. F 2	13.790	
5	16.369	14.539	13.121	14.676		Staz. F 3	13.817	
6	16.626	14.578	13.11	14.771		T m	13.7919	
7	16.782	14.588	13.073	14.814		2SF	0.0487	
8	16.899	14.582	13.024	14.835				
9	16.969	14.554	12.973	14.832			Incr. term.	0.9944
10	17.019	14.493	12.877	14.796				
11	16.975	14.429	12.823	14.742				
12	16.873	14.335	12.742	14.650				
13	16.784	14.278	12.685	14.582				
14	16.517	14.2	12.622	14.446				
15	16.271	14.176	12.586	14.344				
16	15.966	14.168	12.561	14.232				
17	15.615	14.185	12.543	14.114				
18	15.217	14.214	12.53	13.987				
19	15.115	14.18	12.527	13.941				
20	14.952	14.173	12.525	13.883				
21	14.888	14.145	12.527	13.853				
22	14.616	14.158	12.531	13.768		F1		
23	14.744	14.092	12.535	13.790		F2		
24	14.864	14.047	12.54	13.817		F3		
25	14.988	14.009	12.547	13.848				
26	15.004	13.983	12.559	13.849				
27	15.09	13.968	12.571	13.876				
28	15.123	13.953	12.593	13.890				
29	15.165	13.949	12.61	13.908				
30	15.158	13.947	12.636	13.914				
31	15.126	13.948	12.649	13.908				
32	15.041	13.963	12.668	13.891				
33	14.94	13.983	12.674	13.866				
34	14.838	14.026	12.679	13.848				

tab. 4.25 – Caso 6 con vento da NE e presa sommersa. 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	16.835
1	16.98	16.916	15.868	16.588	C	2SC	0.0000
2	17.213	17.085	15.826	16.708		Staz. F 1	13.637
3	17.301	17.116	15.876	16.764		Staz. F 2	13.729
4	17.298	17.115	15.904	16.772		Staz. F 3	13.798
5	17.39	17.196	15.918	16.835		T m	13.7213
6	17.36	17.193	15.852	16.802		2SF	0.1615
7	17.276	17.147	15.83	16.751			
8	17.205	17.094	15.729	16.676			
9	17.08	16.996	15.626	16.567			Incr. term. 2.9518
10	16.875	16.823	15.484	16.394			
11	16.657	16.636	15.378	16.224			
12	16.412	16.406	15.262	16.027			
13	16.253	16.246	15.188	15.896			
14	16.082	16.072	15.07	15.741			
15	15.97	15.964	15.03	15.655			
16	15.8	15.799	14.943	15.514			
17	15.65	15.653	14.906	15.403			
18	15.474	15.48	14.863	15.272			
19	15.319	15.328	14.777	15.141			
20	15.183	15.192	14.723	15.033			
21	15.047	15.056	14.664	14.922			
22	14.906	14.914	14.637	14.819			
23	14.775	14.782	14.563	14.707			
24	14.661	14.667	14.494	14.607			
25	14.528	14.534	14.41	14.491			
26	14.41	14.415	14.346	14.390			
27	14.302	14.308	14.256	14.289			
28	14.176	14.182	14.15	14.169			
29	14.082	14.088	14.06	14.077			
30	13.978	13.984	13.96	13.974			
31	13.922	13.928	13.91	13.920			
32	13.799	13.805	13.79	13.798		F3	
33	13.729	13.735	13.723	13.729		F2	
34	13.633	13.639	13.639	13.637	F1		

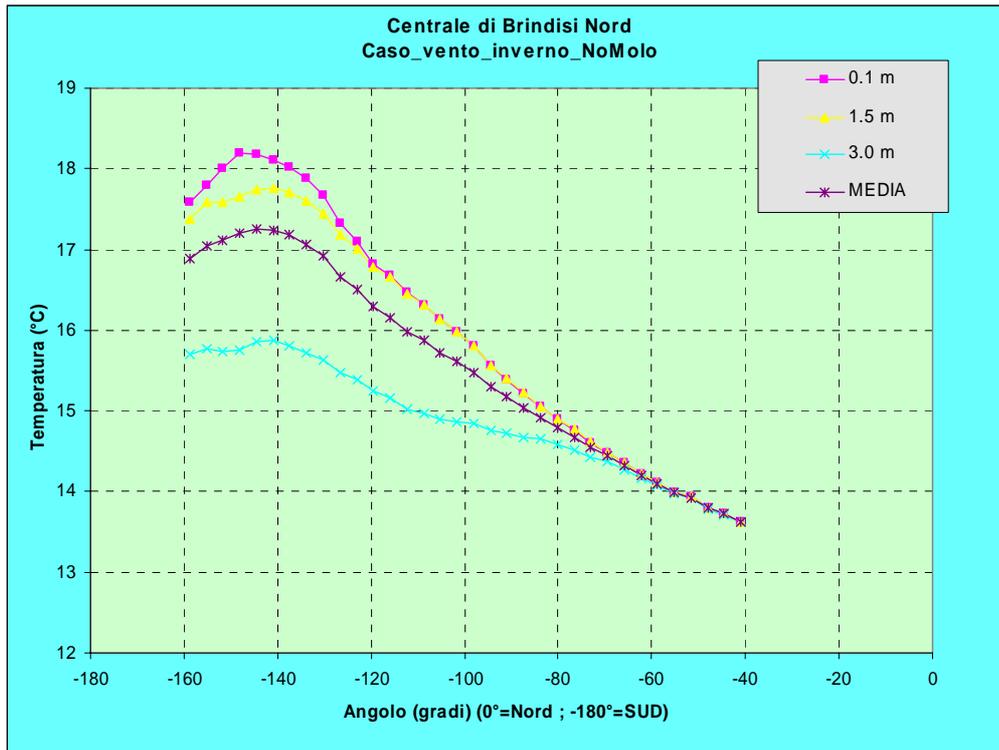


fig. 4.81 – Caso 6 con vento da NE e presa superficiale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

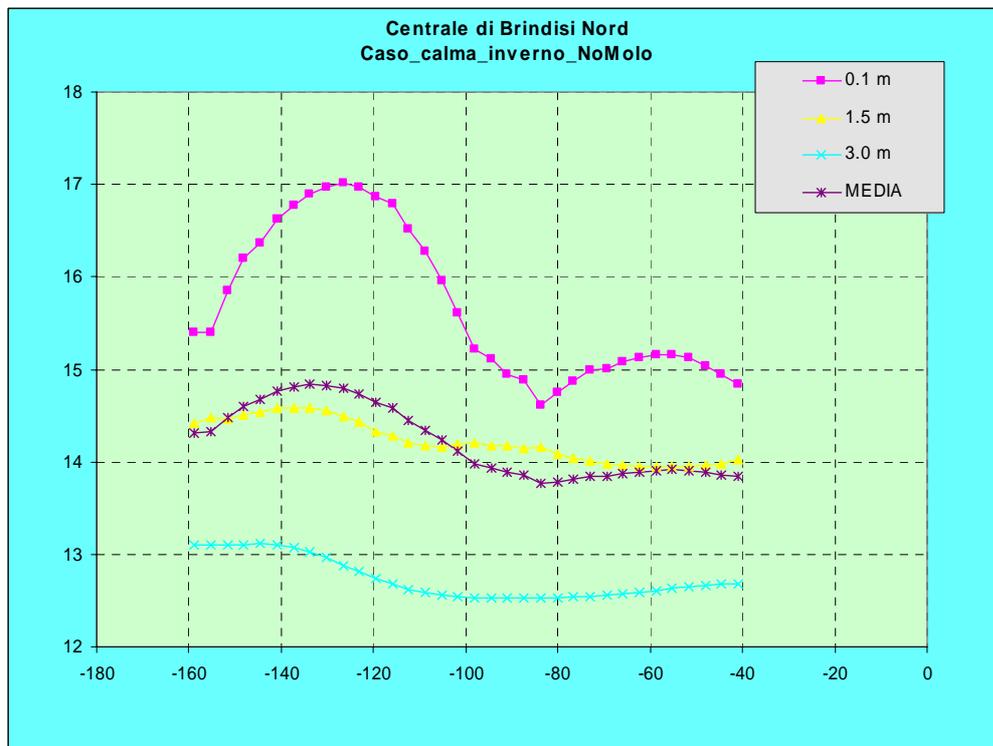


fig. 4.82 – Caso 6 con calma di vento e presa superficiale. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

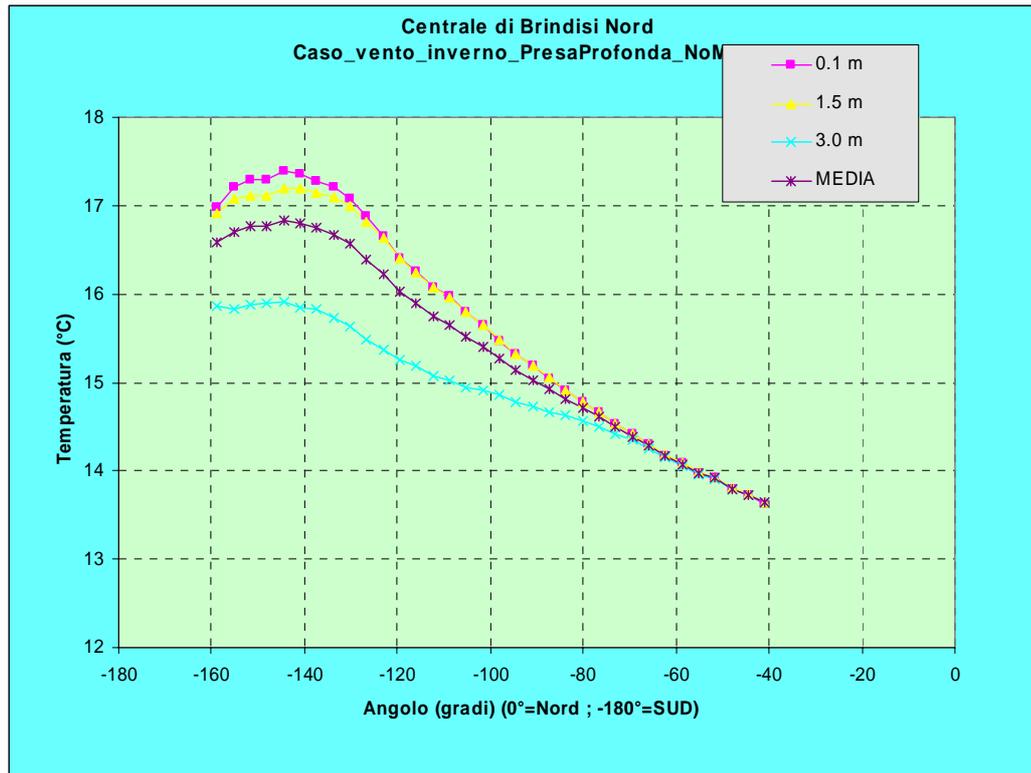


fig. 4.83 – Caso 6 con vento da NE e presa sommersa. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

## 5 Conclusioni

Per avere un quadro di insieme dei risultati ottenuti durante lo studio nelle varie ipotesi di lavoro, in termini di valori di ricircolo ed incremento termico, i principali dati sono stati raccolti nella successiva tab. 5.1.

tab. 5.1 - Risultati ottenuti nelle diverse condizioni di simulazione

Caso	Assetto centrale	Portata centrale m <sup>3</sup> /s	$\Delta T$ allo scarico	Opera di presa	Vento	Condizione stagionale	Ricircolo presa (°C)	Sovralzo allo scarico (°C)	Sovralzo presa molo Canale (°C)	Incremento arco 1000 m (°C)
1	futuro	31.1	10.16	superficiale	da NE	estiva	2.2	12.4	1.6	2.2
1	futuro	31.1	10.16	superficiale	da NE	invernale	2.9	13.1	2.0	2.7
2	futuro	31.1	10.16	superficiale	calma	estiva	0.8	10.9	0.7	1.1
2	futuro	31.1	10.16	superficiale	calma	invernale	0.9	11.0	0.9	1.2
3	attuale	21	10	superficiale	da NE	invernale	4.0	13.5	1.4	2.5
3	attuale	21	10	superficiale	calma	invernale	1.5	11.0	0.9	0.7
4	attuale	10.5	5.63	superficiale	da NNW	estiva	0.8	6.4	0.7	0.7(0.8) <sup>(1)</sup>
5	futuro	31.1	10.16	sommersa	da NE	invernale	1.5	11.7	2.0	2.5
5	futuro	31.1	10.16	sommersa	calma	invernale	0.6	10.8	0.9	1.2
6	Futuro <sup>(2)</sup>	31.1	10.16	superficiale	da NE	invernale	4.8	15.0	2.0	3.4
6	Futuro <sup>(2)</sup>	31.1	10.16	superficiale	calma	invernale	1.5	11.6	1.0	1.0
6	Futuro <sup>(2)</sup>	31.1	10.16	sommersa	da NE	invernale	1.6	11.8	2.0	2.9

Note:

(1) tra parentesi il valore sperimentale misurato il 21 agosto 2003

(2) in assenza del molo Enel

Dall'esame dei dati riportati e da quanto è emerso dall'esame dei campi termici e di moto condotta nel precedente capitolo 4, si possono trarre alcune conclusioni atte a definire l'impatto delle modifiche portuali e di assetto della centrale sulla diffusione delle acque di raffreddamento della centrale di Brindisi, sia dal punto di vista del ricircolo termico che del rispetto dei limiti di legge.

Esse si possono così riassumere:

1. a parità di ogni altra condizione, la considerazione di condizioni invernali per quanto riguarda la temperatura ambientale risulta essere più critica rispetto alla considerazione di condizioni estive, in particolare quando ad essa si aggiungano condizioni di vento. Ciò è dovuto al fatto che in condizioni invernali aumenta la spinta al galleggiamento del pennacchio stesso per effetto della aumentata differenza di densità e diminuisce per lo stesso motivo il miscelamento turbolento con acqua fredda; mentre il raffreddamento dovuto allo scambio termico con l'atmosfera è proporzionale alla differenza di temperatura tra l'aria sovrastante e la superficie del mare, e non dipende dal valore assoluto della temperatura dell'aria;
2. la situazione futura risulta, a parità di condizioni ambientali ed anche in presenza di un maggior carico termico allo scarico, meno critica dal punto di vista del ricircolo termico alla presa, in quanto la presenza delle nuove opere, ed in particolare del nuovo molo Enel, ma anche l'interrimento dell'area industriale, tende a portare il pennacchio caldo più verso la zona esterna del porto, allontanandolo dalla zona di aspirazione della presa di centrale, in ciò favorito anche dalla maggior portata presente allo scarico. Al contrario, lo stesso effetto di spostamento del pennacchio rende più critiche le condizioni di rispetto dei limiti sull'arco a 1000 m, soprattutto in presenza di vento da NE;
3. per quanto riguarda la considerazione dell'arco a 1000 m, il valore di incremento termico sull'arco calcolato secondo la normativa [2], risulta in ogni scenario sempre inferiore al limite di + 3 °C sullo strato a 3 m. Da questo punto di vista l'unica condizione critica è comunque la presenza di vento da NE pari o superiore ai 10 nodi; infatti in queste condizioni, il nuovo molo Enel ha, rispetto alla situazione attuale del porto ed a parità di assetto della

Conclusioni

centrale, l'effetto di "schermare" la presa rispetto alla parte calda del pennacchio ma nel contempo forza il pennacchio a "scorrere" lungo il molo stesso, portandone quindi la parte calda al largo, proprio in prossimità dell'arco stesso. Ciò potrebbe comportare, in presenza di alterazioni locali causate per esempio da rinforzi di vento, dalla presenza di navi accostate o da cambiamenti improvvisi nella direzione stessa del vento, il superamento in qualche punto dell'arco a 1000 m da parte dell'isoterma a + 3 °C, con conseguente superamento dei limiti di legge;

4. le condizioni di aspirazione della presa adiacente il molo Canale non vengono alterate in maniera sensibile dalle modifiche di assetto della centrale e dalla presenza delle nuove opere rispetto alle condizioni attuali;
5. la considerazione di una presa sommersa, collocata nelle immediate adiacenze dell'attuale molo Costa Morena ad una profondità media di - 8 m, consente di ridurre di circa 1.5 °C il ricircolo alla presa, ma non di eliminarlo completamente, in particolare quando le condizioni di vento e di scarico comportano la presenza di un pennacchio caldo molto esteso nella direzione verticale anche nella zona di presa. Tuttavia potrebbe essere interessante valutare differenti soluzioni per la bocca di aspirazione in grado di abbassare ancora la quota media di aspirazione e quindi di ridurre l'interferenza con gli strati caldi del pennacchio;
6. la considerazione di una situazione in cui è stato misurato l'incremento termico sull'arco a 1000 m, ancorché non rappresenti una situazione a pieno carico della centrale, ha mostrato la buona accuratezza del modello numerico di simulazione adottato nello studio ed inoltre consente di effettuare alcune considerazioni aggiuntive. In primo luogo, si è vista l'importanza della considerazione del vento sulla dislocazione del pennacchio, e come questo dipenda anche dalla evoluzione nel tempo dell'intensità e della direzione del vento stesso; poiché tutti i casi valutati nello studio fanno riferimento a situazioni stazionarie di equilibrio nelle condizioni di vento critiche, ne risulta che i relativi risultati risultano essere conservativi. In secondo luogo, la condizione esaminata fa riferimento ad una condizione di vento da NNW, assai comune ma, come si è visto dalla dislocazione assunta dal pennacchio, meno critica.
7. L'ipotesi di un assetto futuro sia della centrale che delle opere portuale con la sola eccezione dell'assenza del molo Enel ha portato ad alcune interessanti considerazioni. In primo luogo, per quanto riguarda il ricircolo termico alla presa, l'assenza del molo Enel peggiora sensibilmente questo parametro, sia rispetto ai casi analoghi con presenza del molo, sia rispetto alla situazione attuale. La considerazione di una presa sommersa analoga a quella descritta al precedente punto (5) porta viceversa ad un notevole miglioramento della situazione sotto questo aspetto, con una riduzione di oltre 2 °C del valore del ricircolo in presenza di vento, e solo leggermente inferiore in assenza dello stesso. Più importante ancora risulta però essere la presenza della presa sommersa per quanto riguarda il valore dell'incremento termico sull'arco a 1000 m. Infatti, in presenza di vento ed in assenza di molo Enel il valore dell'incremento supererebbe il limite di 3 °C, mentre la presenza della presa stessa consente di scendere al di sotto di tale valore limite, seppur di poco.

L'insieme delle considerazioni precedenti pone quindi in risalto il fatto che la modifica dell'assetto della centrale a due gruppi a carbone ed un gruppo combinato non comporta, in presenza delle nuove opere portuali in progetto, una sensibile variazione dal punto di vista dei limiti di legge se confrontata con la situazione attuale, mentre la stessa presenza delle nuove opere ed in particolare del nuovo molo Enel porta ad una riduzione nel valore di ricircolo alla presa più o meno marcata in funzione delle diverse condizioni meteomarine. Infine, la considerazione di una possibile presa sommersa porta a benefici in termini di valori di ricircolo alla presa e di valori di incremento sull'arco, in particolare se non dovesse realizzarsi la presenza del nuovo molo Enel.