

**Cliente** SOGIN**Oggetto** Centrale di Monfalcone  
Trasformazione a ciclo combinato  
Valutazione dell'impatto sulla dispersione termica delle acque di  
raffreddamento con un modello 2D**Ordine** E-mail di attivazione del 4.11.2004**Note** Prima emissione

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

**N. pagine** 53 **N. pagine fuori testo** 0**Data** 11 marzo 2005**Elaborato** STA/RIN - R. Guandalini**Verificato** STA - G. Stigliano**Approvato** STA - A. Negri

*Indice*

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>7</b>
1.1	Scopo dello studio .....	7
1.2	Descrizione dell'attività .....	7
1.3	Documenti di riferimento .....	8
<b>2</b>	<b>ANALISI DELLE CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA .....</b>	<b>9</b>
2.1	Considerazioni generali .....	9
2.2	Condizioni di esercizio .....	9
2.2.1	Assetto attuale della centrale .....	9
2.2.2	Assetto futuro a cicli combinati della centrale .....	10
2.2.3	Condizioni relative al prelievo delle acque di raffreddamento .....	10
2.2.4	Condizioni relative allo scarico delle acque di raffreddamento .....	11
2.2.5	Considerazioni relative al contributo dello scarico della Cartiera del Timavo .....	11
2.3	Caratteristiche ambientali e del territorio .....	12
2.3.1	Dati relativi alla morfologia dell'alveo ed alla batimetria .....	12
2.3.2	Dati relativi al flusso idrico .....	13
2.3.3	Dati relativi alle condizioni di temperatura e salinità dei diversi corpi idrici .....	18
2.3.4	Dati relativi alle condizioni meteorologiche .....	19
2.3.5	Dati relativi all'andamento della marea .....	20
<b>3</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA SCHEMATIZZAZIONE NUMERICA .....</b>	<b>23</b>
3.1	Considerazioni generali .....	23
3.2	Definizione delle condizioni di analisi .....	23
3.3	Definizione del reticolo di calcolo e delle condizioni iniziali .....	24
<b>4</b>	<b>ANALISI DELLA DISPERSIONE TERMICA .....</b>	<b>31</b>
4.1	Considerazioni preliminari .....	31
4.2	Analisi della dispersione termica nella configurazione attuale .....	32
4.3	Analisi della dispersione termica nella configurazione futura a ciclo combinato .....	42
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>53</b>

*Indice delle figure*

fig. 2.1- Area del bacino Lisert-Timavo interessata dallo scarico della Centrale di Monfalcone, con l'indicazione delle sezioni considerate nello studio.....	14
fig. 2.2 – Vista in pianta dell'opera di scarico.....	15
fig. 2.3 – Vista in sezione dell'opera di scarico .....	16
fig. 2.4 - Ciclo delle acque di raffreddamento e di processo impiegate nella cartiera del Timavo .....	17
fig. 2.5 - Andamento della temperatura media all'opera di presa della centrale Endesa .....	19
fig. 2.6 – Stazione anemometrica di Ronchi dei Legionari. Frequenze medie annuali di vento (periodo 1967-1997) .....	21
fig. 2.7 – WXTide32. Andamento mareale a Trieste del 23/24 luglio 2003 .....	22
fig. 2.8 - Livello di marea ricostruito dalle componenti armoniche .....	22
fig. 3.1 - Reticolo di calcolo generato per il modello 2D .....	27
fig. 3.2 – Particolare del reticolo di calcolo 2D: zona di scarico della centrale .....	27
fig. 3.3 - Particolare del reticolo di calcolo 2D: confluenza del Locavaz e del Timavo .....	28
fig. 3.4 - Particolare del reticolo di calcolo 2D: confluenza tra i canali Lisert, Tavoloni e Moschenizze .....	28
fig. 3.5 - Particolare del reticolo di calcolo 2D: zona di foce del Timavo.....	29
fig. 3.6 - Batimetria del fondale .....	30
fig. 4.1 - Andamento tipico della marea alla foce .....	31
fig. 4.2 – Localizzazione dei nodi spia alla sezione di foce .....	34
fig. 4.3 – Situazione attuale. Andamento dei valori di temperatura nei nodi spia alla sezione di foce ....	34
fig. 4.4 – Situazione attuale. Distribuzione della temperatura media alla foce .....	35
fig. 4.5 – Situazione attuale. Livello dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di marea).....	35
fig. 4.6 - Situazione attuale. Livello dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente) .....	36
fig. 4.7 - Situazione attuale. Livello dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea) .....	36
fig. 4.8 - Situazione attuale. Livello dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con marea entrante) .....	37
fig. 4.9 –Situazione attuale. Livello dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea) .....	37
fig. 4.10 –Situazione attuale. Livello dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea) .....	38
fig. 4.11 – Situazione attuale. Livello dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea) .....	38
fig. 4.12 – Situazione attuale. Temperatura dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di marea) .....	39
fig. 4.13 - Situazione attuale. Temperatura dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente).....	39
fig. 4.14 - Situazione attuale. Temperatura dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea) .....	40
fig. 4.15 - Situazione attuale. Temperatura dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con marea entrante).....	40
fig. 4.16 –Situazione attuale. Temperatura dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea)....	41
fig. 4.17 –Situazione attuale. Temperatura dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea) ....	41
fig. 4.18 – Situazione attuale. Temperatura dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea).....	42
fig. 4.19 – Situazione a ciclo combinato. Andamento dei valori di temperatura nei nodi spia alla sezione di foce.....	44
fig. 4.20 – Situazione a ciclo combinato. Distribuzione della temperatura media alla foce .....	45
fig. 4.21 – Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di marea).....	45
fig. 4.22 - Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente) .....	46
fig. 4.23 - Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea).....	46
fig. 4.24 - Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con marea entrante) .....	47

fig. 4.25 – Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea) .....	47
fig. 4.26 – Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea) .....	48
fig. 4.27 – Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea) .....	48
fig. 4.28 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di marea) .....	49
fig. 4.29 - Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente).....	49
fig. 4.30 - Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea) .....	50
fig. 4.31 - Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con marea entrante).....	50
fig. 4.32 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea) .....	51
fig. 4.33 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea) .....	51
fig. 4.34 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea) .....	52

*Indice delle tabelle*

tab. 2.1 - Parametri caratteristici dell'opera di scarico nelle diverse condizioni studiate .....	12
tab. 3.1 - Valori dei parametri utilizzati per la simulazione delle condizioni di massimo carico estivo.....	26

**STORIA DELLE REVISIONI**

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	11/03/2005	A5019802	Prima emissione

**Sommario – Abstract**

La dispersione termica delle acque di raffreddamento della centrale di Monfalcone, di proprietà ENDESA Italia S.p.A., presenta una interazione con il territorio date le modalità di scarico, in un canale artificiale chiuso, e date le peculiari caratteristiche del bacino idrico cui tale canale è connesso.

Di conseguenza, è stato utilizzato un modello numerico bidimensionale di simulazione dell'intero bacino Lisert-Timavo mediante il quale è stato possibile caratterizzare la dispersione termica e l'assetto idrologico dell'intera area, ed analizzare le condizioni di dispersione termica con riferimento all'assetto attuale della centrale, nelle diverse condizioni di esercizio e tenendo conto delle condizioni ambientali con particolare riferimento all'effetto fondamentale della marea.

A seguito della progettata trasformazione del gruppo 4 della centrale a ciclo combinato e alla contemporanea messa fuori esercizio del gruppo 3, tale modello è stato impiegato per una valutazione dell'impatto di tale trasformazione sulla dispersione termica nel nuovo assetto.

The thermal diffusion of the cooling water of the Monfalcone Power Plant, ENDESA Italia S.p.A. proprietary, shows an interaction with the environment depending on the discharge facility, located in an artificial closed channel, and depending on the special characteristics of the hydraulic basin where this channel is connected.

Therefore, a numerical two dimension model has been pointed out in order to simulate the whole Lisert-Timavo basin; by means of this model the characterization of the thermal diffusion and the hydraulic configuration has been performed, in the different operating conditions and taking into account the environmental characteristics with special attention to the tidal effects.

Taking into account the designed transformation of the section 4 of the plant in a combined cycle and the simultaneous stop of the section 3, this model has been used in order to evaluate the impact of this transformation on the thermal diffusion coming from the new plant configuration.

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Scopo dello studio

La centrale termoelettrica di Monfalcone (Gorizia), di proprietà di ENDESA Italia è attualmente composta da quattro gruppi convenzionali, dei quali il gruppo 1 da 165 MW, il gruppo 2 da 171 MW ed i gruppi 3 e 4 da 320 MW ciascuno, per una potenza totale installata di 976 MW ed utilizza per il ciclo di raffreddamento acqua di mare prelevata dal canale Valentinis, e restituita nel canale artificiale Lisert.

A seguito della progettata trasformazione a ciclo combinato del gruppo 4, con l'accoppiamento di due turbogas sulla turbina preesistente, e la contemporanea messa fuori esercizio del gruppo 3, l'assetto dell'impianto sarà modificato. In particolare, la quantità di calore complessivamente scaricata dal circuito di raffreddamento nel nuovo assetto rispetto alla configurazione attuale sarà ridotta di circa il 24%.

La riduzione del calore non è tuttavia sufficiente a garantire a priori un miglioramento delle condizioni di dispersione. Infatti le condizioni nelle quali avviene la diffusione termica delle acque di raffreddamento risultano del tutto particolari; è immediato constatare, da un esame della configurazione del territorio e tenendo conto della natura carsica dello stesso, come lo scarico delle acque di raffreddamento avvenga sì in un canale artificiale quale il Lisert, e quindi in condizioni localmente ben definite, ma risenta dell'influenza dei vari corpi idrici ad esso collegati, quali il canale Tavoloni, il canale Moschenizze ed il fiume Locavaz. Quest'ultimo, raccogliendo le acque dei corpi prima citati, confluisce nel fiume Timavo che a sua volta sbocca nel mare, e questo fa sì che l'effetto delle maree influenzi pesantemente l'intero sistema idrico, con il conseguente incunarsi di acqua salata che raggiunge anche il canale Lisert in cui avviene lo scarico. Allo scopo di poter tenere conto di tutti gli effetti sopra descritti, è stato messo a punto un modello di simulazione numerica dell'intero bacino Lisert-Timavo.

L'obiettivo del presente studio è pertanto quello di valutare, mediante l'uso del modello di simulazione numerica sopra citato, l'impatto della trasformazione a ciclo combinato sulla dispersione termica delle acque di raffreddamento rispetto alla situazione attuale.

### 1.2 Descrizione dell'attività

Lo studio prevede l'analisi della perturbazione termica conseguente allo scarico delle acque della centrale nell'assetto di esercizio a cicli combinati, allo scopo di valutare l'impatto della trasformazione dell'impianto rispetto alle condizioni attuali di esercizio.

A tale scopo, l'analisi è stata condotta in tre fasi:

1. confronto delle condizioni di scarico nelle configurazioni di impianto attuale e trasformata;
2. scelta della condizione ambientale più critica dal punto di vista della dispersione termica, a partire dai risultati ottenuti nello studio descritto in [1];
3. esecuzione della simulazione numerica nelle condizioni ambientali individuate al punto precedente e nelle condizioni di scarico future.

La simulazione numerica è stata eseguita utilizzando il modello numerico bidimensionale SWEET-OMP® 4.03 [2], che considera l'intero bacino del Lisert-Timavo, comprendente:

- il canale artificiale Lisert in cui avviene la restituzione di tutte le acque di raffreddamento della centrale;
- il canale Moschenizze, che raccoglie le acque del fiume Moschenizze e delle sorgenti Sardos;
- il canale Tavoloni, che raccoglie le acque delle sorgenti Lisert e Sablici;
- il canale collettore o Locavaz in cui confluiscono il canale Moschenizze, il canale Tavoloni ed il canale Lisert;
- il fiume Timavo inferiore, nel tratto compreso tra la confluenza dei tre rami sorgivi, a valle delle saracinesche dell'acquedotto ACEGAS, e la foce.

Il contenuto operativo di ciascuna delle fasi sopra citate è ampiamente descritto nei successivi paragrafi. e l'analisi dei risultati è stata condotta con particolare riferimento alla definizione del campo dinamico, di temperatura e di salinità.

### 1.3 Documenti di riferimento

- [1] G. Agate, R. Guandalini, R. Cironi, P. Fontana, T. Granata, L. Meloni – Definizione della Dispersione termica e descrizione dell'assetto idrobiologico della zona interessata dallo scarico delle acque di raffreddamento della centrale di Monfalcone – CESI A4/011950 (Aprile 2004)
- [2] R. Guandalini – SWEET \* 2D Environmental Fluid Dynamics. Installation and User's Manual – WorkNote 031/6 (December 2004)
- [3] Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia. Direzione Regionale della Pianificazione Territoriale. Servizio della Informazione Territoriale e della Cartografia.- Vestizione Carta Numerica Versione 1.1.00. Quadro 109031 "Foce del Timavo" e quadro 109044 "San Giovanni del Timavo"
- [4] CMS Associati – Studio d'Impatto Ambientale Relativo all'Ampliamento della Cartiera del Timavo CTS. Comune di Duino Aurisina (Trieste) – Cartiere del Timavo e del Sole SpA (marzo 1990)
- [5] ENEL Centro Progettazione e Costruzione Idraulica Venezia – Centrale di Monfalcone. Gruppi 3-4. Opera di Scarico – Disegno n. 27.104 Scale varie (Giugno 1980)
- [6] AA.VV. – Caratteristiche Diffusive dell'Atmosfera. Criteri Generali del lavoro e Guida alla sua Utilizzazione. – Servizio Meteorologico Aeronautica Militare. ENEL (1991)
- [7] M. Hopper – WXTide32 version 2.6 – [www.geocities.com/siliconvalley/horizon/1195](http://www.geocities.com/siliconvalley/horizon/1195) (January 2000)
- [8] FEMAP 8.0 - A High Performance CAE for the Desktop – Enterprise Software Products, Inc (2003)
- [9] AutoCAD 2000. A CAD Tool for Design – AutoDesk, Inc (1999).

## 2 ANALISI DELLE CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA

### 2.1 Considerazioni generali

Lo scarico da parte di centrali termoelettriche dell'acqua proveniente dai circuiti di raffreddamento mediante scarichi a cielo aperto direttamente in corpi fluviali o indirettamente tramite canali artificiali è tipicamente condizionato dalla conformazione e dalle condizioni idrauliche degli stessi del sito nonché dalle condizioni di esercizio degli impianti. Pertanto 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. In generale vengono considerati:

- dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico;
- dati relativi alla configurazione dei corpi idrici e alla relativa batimetria;
- dati relativi ai valori di temperatura, portata e livello dei corpi idrici;
- dati relativi ai parametri meteorologici;
- dati di esercizio della centrale, quali potenza, modalità di esercizio e portata di scarico dei circuiti di raffreddamento;
- dati relativi alle condizioni marine, con particolare riferimento alle condizioni di marea.

L'analisi dettagliata delle condizioni ambientali caratteristiche del sito, derivanti anche da campagne sperimentali eseguite appositamente dalla centrale e da misure eseguite indipendentemente da strutture pubbliche competenti per territorio, è riportata in dettaglio nel documento [1]; nel seguito pertanto, viene riportato un breve sommario dei risultati di tale analisi, con particolare riferimento alle condizioni cui il presente studio fa riferimento.

### 2.2 Condizioni di esercizio

La centrale di Monfalcone è collocata nell'area industriale e portuale di Monfalcone, in provincia di Gorizia; essa preleva l'acqua di raffreddamento dal canale Valentinis, che fa parte del sistema portuale e come tale è direttamente collegato al mare, e la restituisce a nord dell'abitato nel canale artificiale Lisert, a sua volta connesso al sistema idrico comprendente il canale Tavoloni, il canale Moschenizze, il canale collettore Locavaz ed il fiume Timavo, che sfocia direttamente in mare, come illustrato in fig. 2.1 tratta da [3].

Di conseguenza, la struttura e la collocazione dell'opera di presa non riveste alcun interesse ai fini del presente studio, mentre viceversa risulta essenziale la definizione dell'opera di scarico, che risulta localizzata in testa al canale artificiale Lisert, ad una profondità compresa tra  $-1.5$  m e  $-4.5$  m s.l.m., e le cui viste in pianta ed in sezione sono riportate in fig. 2.2 ed in fig. 2.3 rispettivamente.

#### 2.2.1 Assetto attuale della centrale

La centrale dispone attualmente di quattro gruppi, dei quali i primi due, da 165 e 171 MW rispettivamente, dispongono di un circuito di raffreddamento a doppio passaggio con una portata di acqua di raffreddamento pari a  $5.5$  m<sup>3</sup>/s ciascuno, mentre i gruppi 3 e 4 dispongono di un circuito di raffreddamento a semplice passaggio con una portata di acqua di raffreddamento di  $12.5$  m<sup>3</sup>/s ciascuno.

Di conseguenza, le condizioni di esercizio alla massima potenza, cui si fa riferimento come condizione di massimo impatto nel presente studio, presuppongono lo scarico nel canale Lisert di una portata di  $36 \text{ m}^3/\text{s}$  di acqua di raffreddamento, avente una salinità media di circa  $35 \text{ g/l}$ .

Il calore scaricato complessivamente che corrisponde ad un incremento termico di  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  rilevato in campo, nelle condizioni di riferimento, tra la presa e la restituzione, risulta di circa  $285000 \text{ kcal/s}$ . Il valore di  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , conforme alla situazione reale nella quale è stata effettuata la campagna di misure, è quello utilizzato nello studio di cui al riferimento [1].

### **2.2.2 Assetto futuro a cicli combinati della centrale**

La trasformazione a cicli combinati prevede la trasformazione del gruppo 4 con due turbogas accoppiati alla attuale turbina a vapore e la messa fuori servizio del gruppo 3, a seguito della quale l'assetto previsto per la centrale diventa:

- a) nuovo gruppo 4 a ciclo combinato
  - portata complessiva acqua di raffreddamento:  $16.17 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- b) gruppo 3 fermo
- c) gruppi 1 e 2 situazione invariata
  - portata complessiva gruppo 1:  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$
  - portata complessiva gruppo 2:  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

In definitiva, in condizioni a pieno carico, la nuova portata complessiva dell'acqua di raffreddamento sarà di  $27.17 \text{ m}^3/\text{s}$ , il calore scaricato di  $230.963 \text{ kcal/s}$ , mentre il salto termico complessivo sarà di  $8.5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

In realtà va evidenziato che, per la situazione futura, in mancanza di dati sperimentali, si è fatto ricorso a bilanci termici di progetto (sia per il contributo del nuovo gruppo che per i gruppi 1 e 2 attuali). Ciò comporta una sovrastima della potenza termica scaricata e del relativo sovrizzo termico rispetto alla reale condizione di esercizio, ma, risultando questa condizione conservativa ai fini dello studio in oggetto, i dati sopra indicati sono stati assunti come input al modello.

In definitiva, la quantità di calore complessivamente scaricato nell'assetto futuro risulta ridotta del 20% se si confrontano i dati reali della situazione attuale con quelli di progetto della situazione futura, mentre la riduzione risulta del 24% se si confrontano, per entrambe le situazioni, i dati di progetto.

### **2.2.3 Condizioni relative al prelievo delle acque di raffreddamento**

Per quanto riguarda gli aspetti legati al prelievo delle acque di raffreddamento dei condensatori, occorre tenere presente che esso è realizzato per tutti i gruppi mediante un'apposita opera di presa dal canale Valentinis, che si trova nella zona portuale in diretto collegamento con il mare.

Di conseguenza, l'acqua di raffreddamento presenta le medesime caratteristiche dell'acqua di mare. In particolare, essendo il canale Valentinis in collegamento con la baia di Panzano, le caratteristiche di temperatura e salinità risultano assai simili. Per quanto riguarda la temperatura, essa risulta variare tra i  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  del periodo invernale (gennaio-febbraio) ed i  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  del periodo estivo (luglio – agosto), con punte che possono anche superare i  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  in anni particolarmente caldi. Sempre nel periodo estivo è presente nella baia

una sensibile stratificazione di temperatura, con un valore medio di profondità intorno ai 15-17 °C, ma data la struttura dell'opera di presa si può ritenere che la temperatura in ingresso ai circuiti di raffreddamento corrisponda alla temperatura marina superficiale.

Infine una particolare importanza riveste il valore di salinità dell'acqua prelevata, in quanto essa verrà poi scaricata nel canale Lisert che è collegato a corpi fluviali alimentati alla sorgente da acqua dolce, anche se influenzati dall'acqua fredda salata proveniente dal mare durante le fasi di marea crescente. Dalle misure condotte e da dati di letteratura, si vede come tale valore varia tra 37.7 e 38.1 g/l, per cui nelle simulazioni qui condotte è stato assunto un valore medio di 38.0 g/l.

#### **2.2.4 Condizioni relative allo scarico delle acque di raffreddamento**

Le condizioni di scarico dipendono sia dalle condizioni di esercizio, già analizzate in precedenza, sia dalle condizioni dell'acqua prelevata all'opera di presa, anch'esse già descritte.

Per quanto riguarda gli aspetti legati allo scarico delle acque di raffreddamento dei condensatori, va tenuto presente che la qualità dal punto di vista chimico e fisico delle acque di raffreddamento reimmesse nel canale Lisert è costantemente controllata nel corso dell'esercizio: da tali dati risulta che l'utilizzo in centrale non dà luogo a variazioni delle caratteristiche qualitative delle acque prelevate, sia dal punto di vista qualitativo che rispetto alle norme presenti nel D.L. 152/99 e successive modifiche.

Poiché la trasformazione considerata non altera le condizioni chimiche e fisica dell'acqua di mare utilizzata per il raffreddamento, l'impatto ambientale dovuto allo scarico delle acque di raffreddamento è quindi essenzialmente di tipo termico, ed è appunto questo aspetto che viene considerato nel presente studio.

L'opera di scarico restituisce le acque di raffreddamento all'inizio del canale artificiale Lisert, mediante un'opera apposita. Lo scarico è di tipo sommerso, collocato tra le quote di -1.5 m e -4.5 m s.l.m., in prossimità della sponda sinistra del canale stesso, provvisto di due setti di convogliamento e con una ampiezza di 22.97 m, come indicato nella vista in pianta di fig. 2.2 e nella vista in sezione di fig. 2.3, tratte da [5]. Di conseguenza, la sezione efficace di scarico risulta pari a 68.91 m<sup>2</sup>.

Tenendo conto di quanto sopra esposto, le caratteristiche di scarico nell'assetto attuale e trasformato, con riferimento alle condizioni di pieno carico, sono quelle riassunte nella tab. 2.1.

#### **2.2.5 Considerazioni relative al contributo dello scarico della Cartiera del Timavo**

Le condizioni di scarico della centrale sono ovviamente determinanti per la simulazione dei fenomeni legati alla diffusione termica nel bacino Lisert-Timavo, ma tuttavia occorre anche considerare la presenza della Cartiera del Timavo, di proprietà della società Burgo, che preleva acqua, sia per il raffreddamento della propria centrale termica che per il processo produttivo, dal fiume Timavo e la scarica direttamente nel canale collettore Locavaz a valle della confluenza in esso del canale artificiale Lisert.

Dai dati reperiti e riassunti in [4], sono state dedotte le condizioni tipiche di scarico dell'impianto stesso. Come si vede dalla fig. 2.4, la portata complessivamente assorbita e restituita al canale Locavaz è stimata in 3625 m<sup>3</sup>/h (1 m<sup>3</sup>/s), ed è restituita attraverso una condotta di scarico di circa 2 m di diametro, a pelo dell'acqua.

Per quanto riguarda le condizioni di temperatura e salinità allo scarico, poiché il prelievo avviene nel Timavo immediatamente a monte della confluenza del Locavaz, si sono assunte le condizioni medie di salinità e

temperatura di questo tratto di fiume che presenta, essendo influenzato fortemente dalle maree, valori di salinità pari a circa 30 g/l e di temperatura pari a 25 °C in condizioni estive e di 30 g/l e 11.9 °C in condizioni invernali, con un incremento termico medio di 3.3 °C, calcolato assumendo che la centrale termica a ciclo combinato della cartiera Burgo restituisca circa 1/6 del calore prodotto e sapendo che la portata di raffreddamento è di 1425 m<sup>3</sup>/h.

<i>Dimensione caratteristica</i>	<i>Assetto attuale</i>	<i>Assetto a CC</i>	<i>Unità</i>
Larghezza	22.97		m
Quota max superiore	-1.5		m
Quota inferiore	-4.5		m
Sezione totale efficace	68.9		m <sup>2</sup>
Portata totale	36	27.17	m <sup>3</sup> /s
Sovralzo termico medio	8	8.5	°C
Velocità di scarico	0.5225	0.39434	m/s

**tab. 2.1 - Parametri caratteristici dell'opera di scarico nelle diverse condizioni studiate**

## 2.3 Caratteristiche ambientali e del territorio

Dal punto di vista della valutazione dei parametri ambientali e territoriali, il modello di simulazione utilizzato prende in considerazione i seguenti aspetti:

- morfologia e condizioni dei corpi idrici interessati sia dallo scarico che dai fenomeni mareali
- caratteristiche del flusso idrico per i diversi contributi portati al sistema
- caratteristiche dell'alveo dei diversi corpi idrici
- condizioni marine influenzanti il sistema, con particolare riferimento alle condizioni di marea
- condizioni meteorologiche.

Più precisamente il modello di simulazione numerica impiegato richiede la conoscenza della planimetria e del profilo idraulico dei corpi idrici lungo tutto il tratto considerato, delle condizioni di temperatura e salinità delle diverse componenti idriche che alimentano il sistema nonché la conoscenza dei valori di portata e livello corrispondenti allo scenario simulato. L'analisi dettagliata del territorio, delle condizioni climatiche ed ambientali, a partire dalle diverse fonti documentali e sperimentali, è ampiamente illustrata in [1]; qui di seguito verranno richiamati i valori caratteristici dei parametri ambientali risultanti da tale analisi.

### 2.3.1 Dati relativi alla morfologia dell'alveo ed alla batimetria

L'insieme dei dati inerenti alla morfologia dell'alveo dei diversi corpi idrici riveste una importanza fondamentale, in quanto da essa discende la discretizzazione spaziale utilizzata dal modello per le simulazioni numeriche e la posizione esatta dell'impianto nel dominio di calcolo. In particolare, con riferimento alla carta di fig. 2.1, viene considerato l'intero corpo dei canali Lisert e Locavaz, l'intero corso del Timavo a valle delle opere di presa dell'acquedotto, fino alla foce, ed un tratto dei canali Moschenizze e Tavoloni a monte della confluenza con il Lisert di alcune centinaia di metri, in modo da poter considerare completamente sviluppato il campo di moto in presenza dell'influenza di marea e quindi di poter analizzare

Analisi delle condizioni influenzanti la dispersione termica

il comportamento del pennacchio termico in maniera corretta. Sempre con riferimento alla carta di fig. 2.1, il tratto di dominio considerato si sviluppa per circa 6 km in totale, e comprende anche le zone di secca presenti in prossimità della foce e le zone di morta nel tratto finale del fiume Timavo, in corrispondenza della sponda destra.

Per caratterizzare poi il modello numerico dal punto di vista dell'effetto della natura del fondale, occorre caratterizzare l'alveo in riferimento alla tipologia di fondo in quanto influente sul campo di moto che si instaura nel corpo idrico. Dal documento [4] si può dedurre che tutti i fondali presentano una sostanziale omogeneità, avendo una tipologia di tipo limoso-fangoso. In effetti, il materiale di dilavamento del Carso è sostanzialmente formato da limo calcareo, che tende appunto a depositarsi sul fondale dei corpi idrici affluenti. Il modello utilizza per tenere conto della natura del fondale il coefficiente di Gauckler-Strickler, che indica il grado di scabrezza dell'alveo: esso è stato assunto pari a  $42 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ .

### 2.3.2 *Dati relativi al flusso idrico*

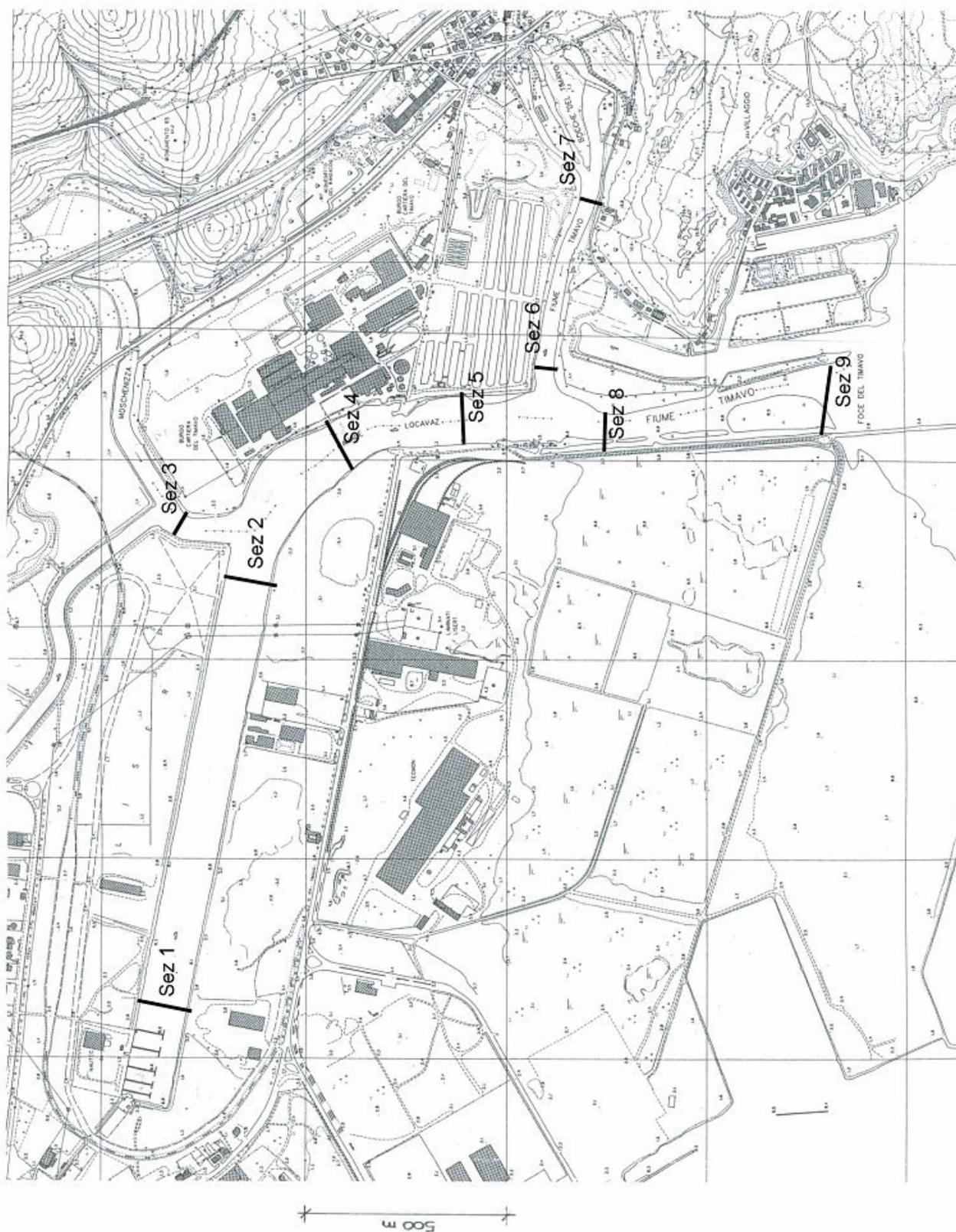
I dati relativi al flusso idrico hanno lo scopo di fornire tutte le informazioni atte a definire il comportamento nel tempo dei corpi idrici nel tratto di competenza dell'impianto; da questi infatti sono ricavate principalmente le informazioni relative all'andamento del livello medio, della portata, della temperatura naturale e della salinità naturale per i diversi periodi dell'anno.

Il modello numerico di simulazione richiede l'imposizione di condizioni al contorno sulle sezioni aperte del dominio di calcolo, sia per quanto riguarda il valore della portata che le condizioni di temperatura e salinità dell'acqua. In particolare, data la struttura del dominio considerato è conveniente dal punto di vista modellistico fissare questi parametri per i corpi idrici affluenti (canale Tavoloni, canale Moschenizze e fiume Timavo) e fissare alla sezione di foce i valori di livello e di salinità coerenti con le condizioni di marea. In questo modo il moto dell'acqua può svilupparsi liberamente lungo i vari tratti idraulici considerati e le condizioni idrodinamiche simulate dal codice si assestano naturalmente.

Per quanto riguarda i valori di portata, vengono considerati separatamente i tre sistemi idrici carsici che si scaricano a mare nel bacino considerato, e precisamente il sistema Sablici-Tavoloni, quello Moschenizze-Sardos ed infine quello del Timavo, di gran lunga il più importante. Come risulta dall'analisi di dettaglio condotta in [1], la stima della portata per il canale Tavoloni, che raccoglie le acque delle sorgenti Lisert e Sablici, è di  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  mentre per il canale Moschenizze, che raccoglie le acque delle sorgenti Moschenizze e Sardos, si considera una portata di  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Data la natura carsica delle sorgenti menzionate, tali valori si possono ragionevolmente considerare costanti nei diversi periodi dell'anno, con rare fluttuazioni dovute a periodi di scarsa piovosità o di piena.

Più problematica risulta la definizione della portata del Timavo, che costituisce comunque il sistema più importante nel bacino studiato, a causa del suo percorso in parte sotterraneo. Tuttavia è stato possibile, come documentato in [1], determinare l'andamento delle portate anche per questo fiume, nel tratto di interesse, utilizzando una serie di dati sperimentali, da cui è risultato che:

- a) la portata media annua è di circa  $30.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- b) la portata massima mensile si verifica in genere nel periodo invernale e si attesta nell'intorno di  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- c) la portata minima mensile si verifica in genere nel periodo estivo e si attesta intorno a  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**fig. 2.1-** Area del bacino Lisert-Timavo interessata dallo scarico della Centrale di Monfalcone, con l'indicazione delle sezioni considerate nello studio

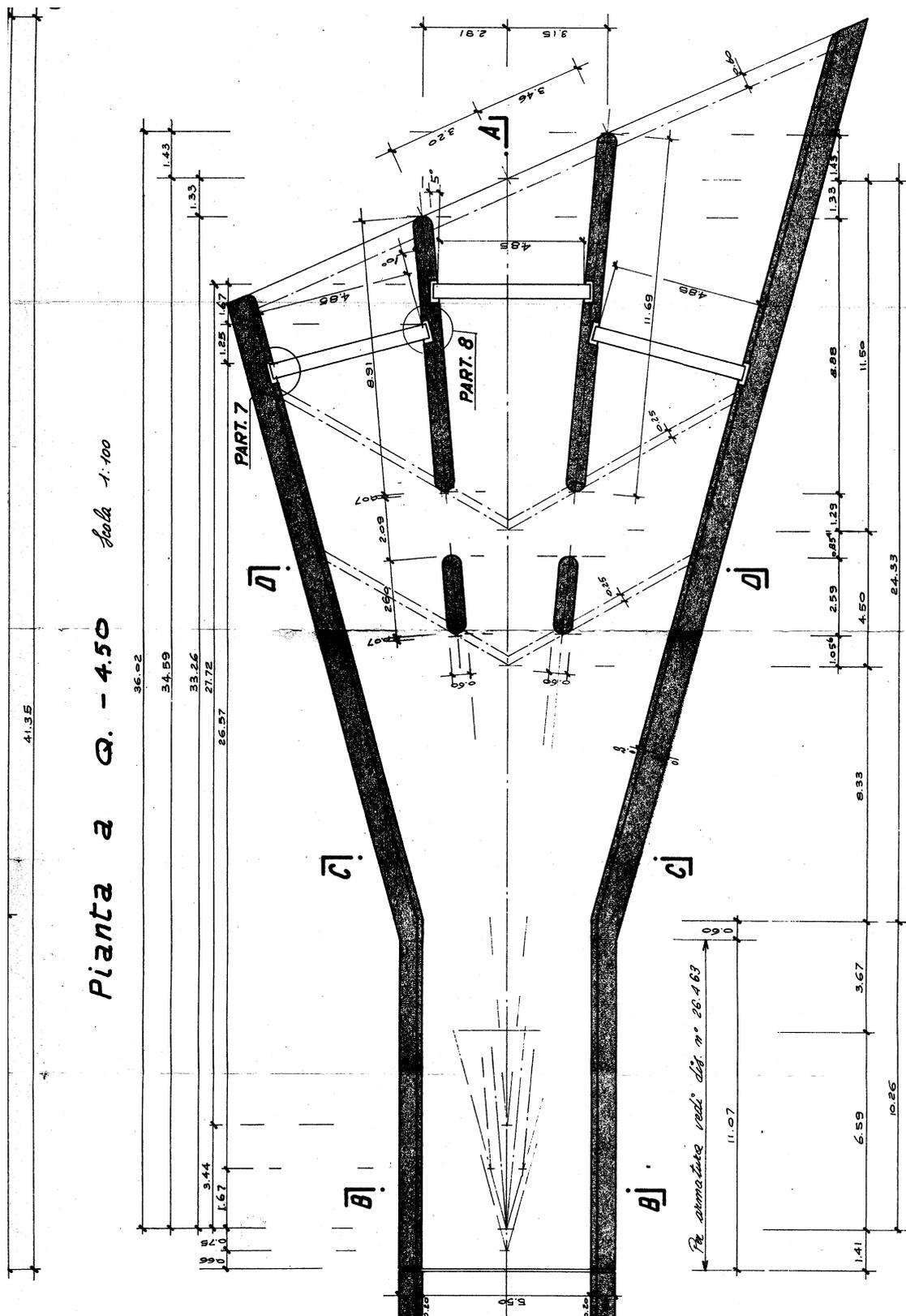
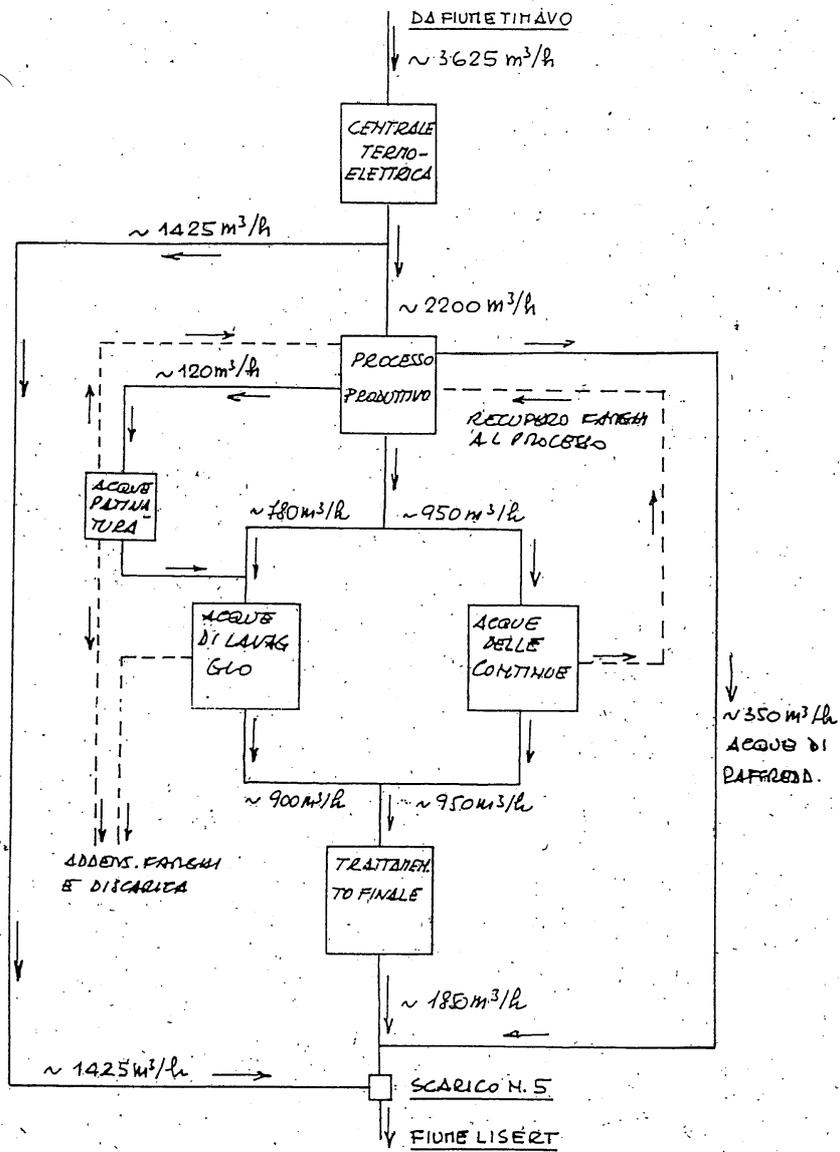


fig. 2.2 – Vista in pianta dell’opera di scarico



C.T.S.TIMAVO

FIG.1 CICLO ACQUE DI CARTIERA  
ATTUALE



282

7-2-90 *Ch*

fig. 2.4 - Ciclo delle acque di raffreddamento e di processo impiegate nella cartiera del Timavo

### 2.3.3 *Dati relativi alle condizioni di temperatura e salinità dei diversi corpi idrici*

Le condizioni dell'acqua entrante nel dominio sono caratterizzate dai valori di temperatura e salinità.

Per quanto riguarda la temperatura, essa dipende soprattutto dalla origine carsica delle acque stesse piuttosto che dalle influenze stagionali, con una sensibile influenza della marea e quindi della temperatura dell'acqua salata entrante nel sistema per effetto di essa. Riassumendo quanto emerso dall'analisi di dettaglio contenuta in [1], risulta che:

- a) la temperatura alle sorgenti del fiume Timavo presenta un andamento di tipo sinusoidale, con un minimo nel mese di febbraio ed un massimo ai primi di agosto. Tale valore minimo è in media pari a 11.0 °C, mentre il valore massimo è in media pari a 12.8 °C, occasionalmente spinto fino a 13 °C, da cui consegue che la temperatura è in media pari a 11.9 °C. Da questa considerazione emerge il fatto che la temperatura alla sorgente è pochissimo variabile con le stagioni;
- b) per quanto riguarda i sistemi Lisert-Sablici e Moschenizze-Sardos, vale in linea generale quanto già detto per il Timavo, con valori medi e massimi in generale superiori di 0.5÷1.0 °C rispetto a quelli del Timavo, ma con valori minimi per il Lisert-Sablici di circa un grado inferiori nel periodo invernale per l'influenza delle acque più fredde del bacino dell'Isonzo, che in parte alimentano per filtrazione tali sorgenti;
- c) per quanto riguarda la temperatura dell'acqua di mare che viene prelevata dalla centrale dal canale Valentinis e quindi dell'acqua di raffreddamento scaricata nel canale artificiale Lisert, in diretto collegamento col mare, si possono distinguere tipicamente un periodo invernale e primaverile, che va da ottobre ad aprile compresi, in cui la temperatura dell'acqua è pressoché costante tra superficie e fondale, con un minimo in febbraio attorno ai 7 °C, ed un periodo estivo ed autunnale, che va da maggio a settembre, in cui è invece presente una sensibile stratificazione termica. In questo caso, infatti, si forma sulla superficie uno strato caldo che raggiunge in media i 26 °C, ma con un decremento rapido della temperatura con la profondità, fino a valori di 15 °C al fondo della baia di Panzano. Tuttavia non è noto direttamente l'andamento che in questo caso si realizza nel canale Valentinis in prossimità dell'opera di presa, per cui la valutazione della temperatura dell'acqua di raffreddamento è stata fatta sulla base delle misure effettuate all'ingresso dei gruppi, fornite direttamente dalla centrale per il periodo settembre 2002 – agosto 2003, e riportate in fig. 2.5; tali valori confermano un minimo di poco superiore ai 7 °C in inverno (febbraio) ed un massimo di 25 °C in estate, per il periodo considerato, e questi valori sono stati considerati nello studio come valori limite caratterizzanti la temperatura in ingresso dell'acqua di raffreddamento.

Per quanto riguarda la salinità dell'acqua di mare entrante nel sistema sia per effetto della marea che dello scarico della centrale nel canale Lisert, ai fini dello studio è stato assunto un valore medio di 38 g/l risultante dalle misure sperimentali disponibili [1].

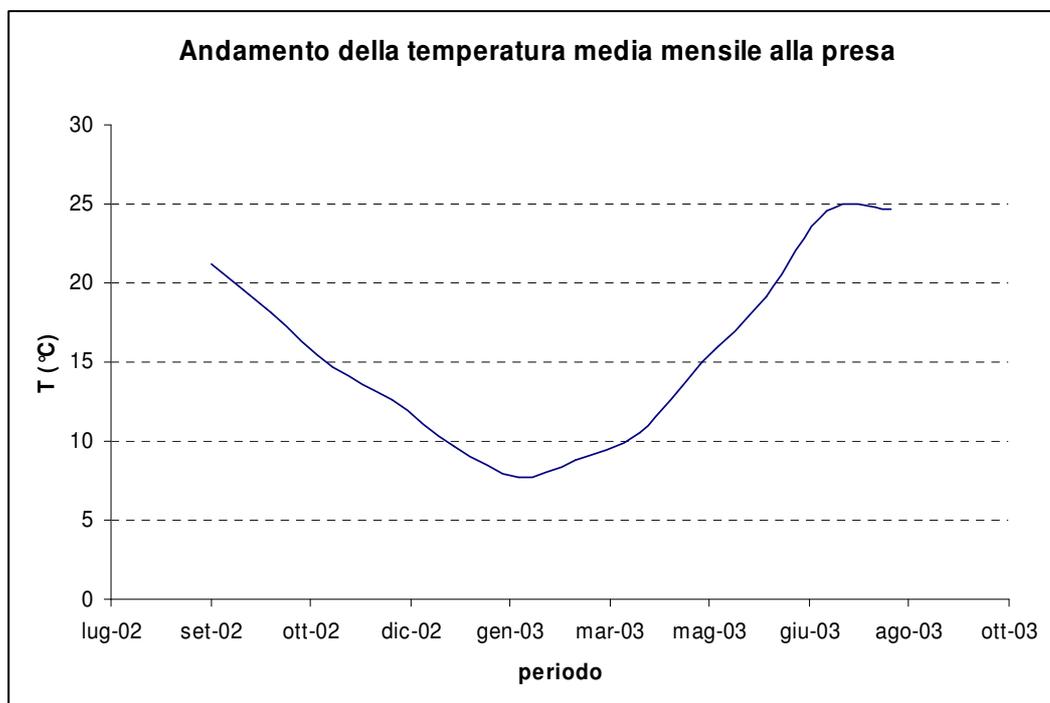


fig. 2.5 - Andamento della temperatura media all'opera di presa della centrale Endesa

#### 2.3.4 Dati relativi alle condizioni meteorologiche

I dati meteorologici, presi in considerazione e ritenuti validi per la tipologia di sito in studio fanno riferimento alla direzione e velocità del vento, per la sua correlazione con lo scambio termico con l'atmosfera e lo sforzo superficiale, nelle varie stagioni e condizioni climatiche.

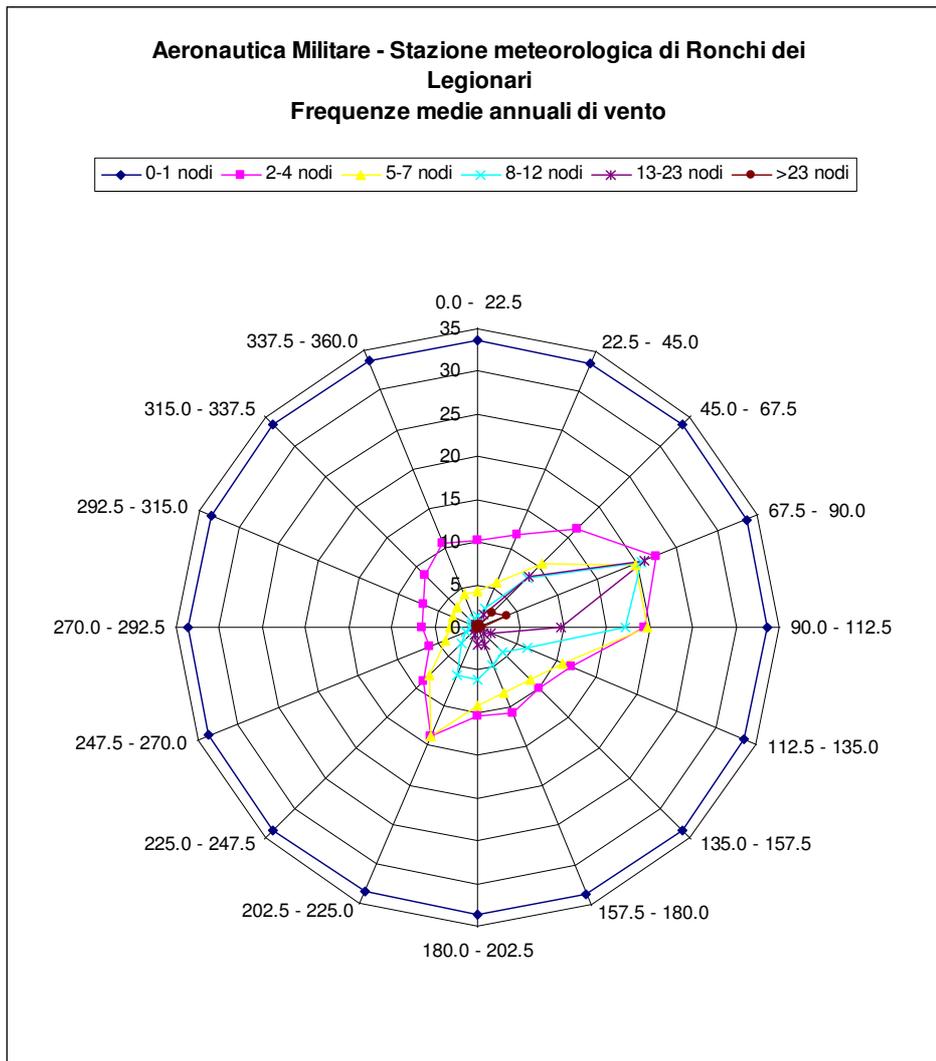
Tali dati sono stati ricavati dalla banca dati realizzata congiuntamente da Enel e dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM) [6]; in essa sono raccolti i dati di 185 stazioni meteorologiche dell'Aeronautica e di alcune stazioni poste presso centrali Enel. Tale banca è in grado di fornire opportune medie sulle grandezze di maggior interesse meteorologico, per ciascuna delle stazioni contenute, per un arco di tempo che va dal 1957 al 1997.

Valutando la dislocazione delle varie stazioni di misura nella regione Friuli-Venezia Giulia, la stazione più prossima all'area di Monfalcone risulta essere la stazione di Ronchi dei Legionari (Lat. 45°49', Long. 13°29', Alt. 12 m s.l.m.), a circa 9 km. I dati ottenuti sono riportati in fig. 2.6, da cui risulta che le condizioni di calma di vento, con velocità cioè inferiori o pari a 2 m/s, sono assolutamente prevalenti, corrispondendo ad una frequenza annuale del 72.1 %, di cui il 53.7 % di calma assoluta di vento (< 0.5 m/s). Se poi si tiene conto che velocità inferiori a 3.5 m/s sono l' 85.8 % del totale, si vede bene come non siano frequenti effetti di vento particolarmente spinti, con assoluta prevalenza dei venti da ENE, di intensità varia ma comunque in genere non superiore agli 8 nodi.

Le condizioni sopra esposte portano a concludere che gli effetti di sforzo superficiale dovuti al vento, che richiederebbero la presenza di un vento continuo di intensità sufficientemente elevata per un periodo di tempo significativo, possono essere trascurati; le tipiche raffiche di bora, che possono raggiungere anche valori assai elevati ( $> 24$  nodi), e che esercitano una forte influenza sulla superficie dei corsi d'acqua, dato anche il loro orientamento, hanno una frequenza dell'ordine del 2.3 % e non saranno considerate nello studio. Pertanto, l'unico effetto determinato dal vento è legato allo scambio termico con l'atmosfera, che a sua volta dipende anche dalla temperatura sia dell'aria che della superficie dell'acqua. A questo proposito, però, va ricordato che il modello numerico valuta non tanto lo scambio termico in assoluto, quanto il "raffreddamento" differenziale subito dal pennacchio caldo rispetto al corpo idrico imperturbato, che quindi dipende dalla differenza di temperatura tra pennacchio e fiume imperturbato e tra fiume imperturbato ed aria. Poiché siamo in presenza, per quanto attiene il bacino del Lisert-Timavo, di uno strato superficiale freddo e poiché il vento prevalente non supera in media i 3.5 m/s, si può assumere per il coefficiente di scambio termico con l'atmosfera il valore di  $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

### **2.3.5 Dati relativi all'andamento della marea**

Per la valutazione del livello di marea a Monfalcone, o meglio alla foce del Timavo ( $45^\circ 47' \text{ N } 13^\circ 35' \text{ W}$ ) è stata utilizzata la procedura ampiamente descritta in dettaglio in [1]. In particolare, essa si basa sulla determinazione del valore di livello di marea istante per istante a partire da una serie armonica inserita nel modello e ricavata dalle osservazioni fornite dal modello di marea WXTide32[7] per la stazione marittima di Trieste ( $45^\circ 39' \text{ N } 13^\circ 45' \text{ W}$ ), di cui in fig. 2.7 è riportato un esempio. La validità di tale approccio è confermata dal confronto tra i valori ricostruiti dal modello e quelli misurati nella campagna sperimentale del 23 e 24 luglio 2003, illustrato in fig. 2.8, in cui si nota come l'andamento sia ben riprodotto, con i valori minimo e massimo, che sono quelli che interessano ai fini dell'analisi modellistica, riprodotti correttamente; si evidenzia un leggero anticipo di fase, di circa 30 minuti, dovuto alla differenza di longitudine della foce del Timavo rispetto alla stazione di Trieste che ha fornito i dati del modello. In ogni caso, il modello di marea incluso nel codice di simulazione consente di introdurre la correzione di fase.



**fig. 2.6 – Stazione anemonetrica di Ronchi dei Legionari. Frequenze medie annuali di vento (periodo 1967-1997)**

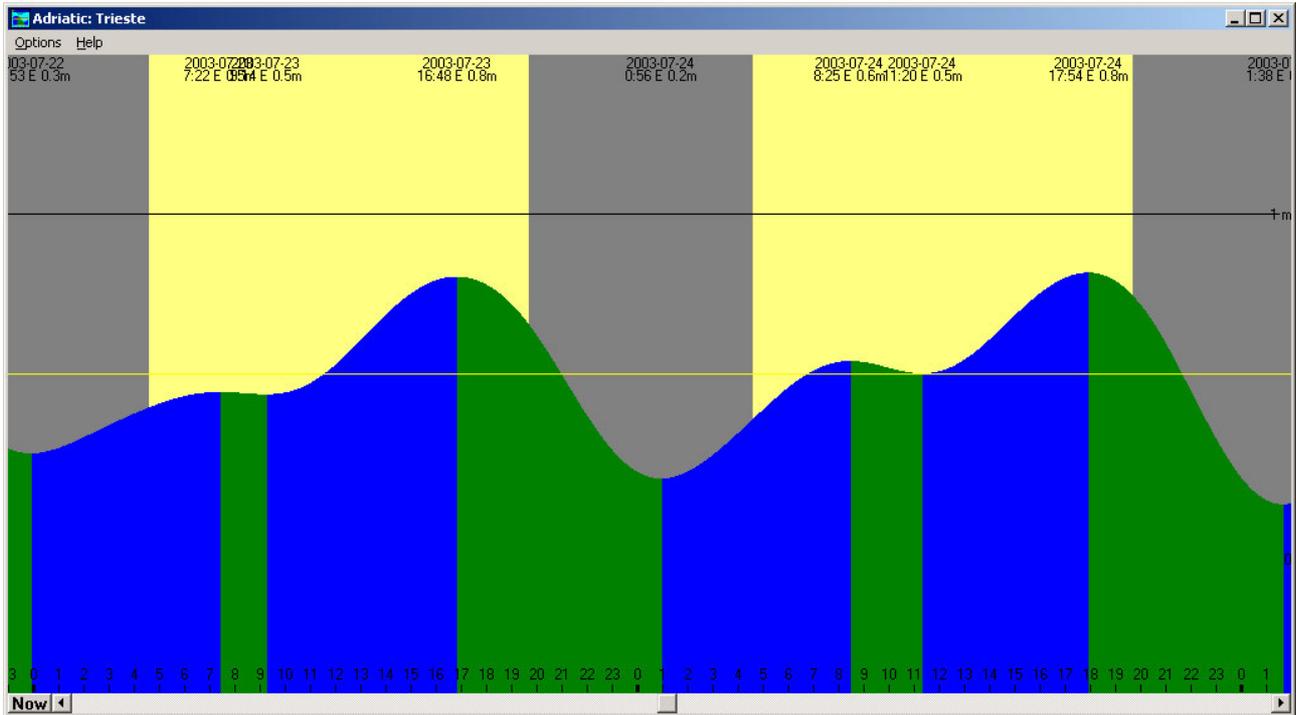


fig. 2.7 – WXTide32. Andamento mareale a Trieste del 23/24 luglio 2003

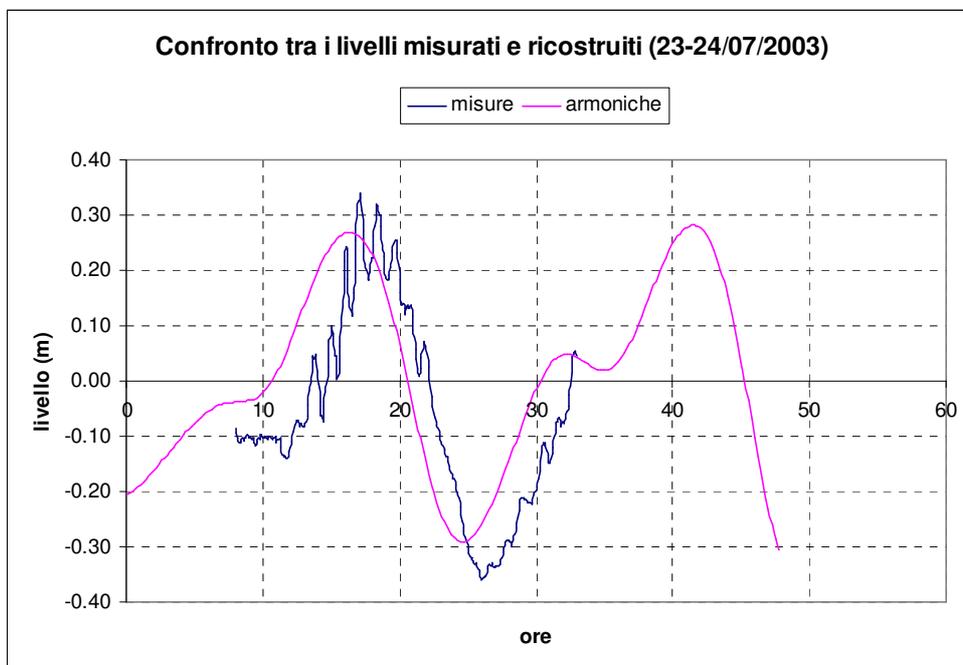


fig. 2.8 - Livello di marea ricostruito dalle componenti armoniche

### 3 DEFINIZIONE DELLA SCHEMATIZZAZIONE NUMERICA

#### 3.1 Considerazioni generali

Per la simulazione numerica è stato utilizzato il modello matematico bidimensionale anch'esso descritto in [1] e basato sulle equazioni di Navier-Stokes con approssimazione idrostatica implementate nel codice SWEET-OMP® 4.03. Le caratteristiche relative alla schematizzazione numerica adottata comprendono essenzialmente:

- a) reticolo spaziale bidimensionale, ad elementi finiti triangolari parabolici, con integrazione sulla verticale di ogni elemento a partire dal valore locale della batimetria;
- b) calcolo in ogni punto del reticolo dei valori di velocità e di temperatura;
- c) considerazione dell'effetto della turbolenza e del vento;
- d) calcolo dell'elevazione della superficie libera a partire dalle condizioni assegnate ai contorni;
- e) simulazione temporale stazionaria e non stazionaria, in grado quindi di seguire gli andamenti di marea.

La simulazione viene condotta tenendo conto dei fattori ambientali che possono influenzare la dispersione termica, quali ad esempio lo scambio termico con l'atmosfera o l'effetto dovuto alla tipologia del fondale. I risultati ottenuti nelle diverse simulazioni numeriche sono poi esaminati attraverso l'interfaccia grafico associato ed evidenziati allo scopo di determinare l'andamento del campo di velocità e del campo termico nell'intero dominio di calcolo.

Scopo principale della simulazione è la valutazione dell'impatto della trasformazione a ciclo combinato sulla dispersione termica nell'intero sistema idrico interessato, rispetto alle condizioni attualmente in essere per l'assetto corrente dell'impianto; di conseguenza, la discretizzazione spaziale e temporale è la stessa per le due configurazioni di impianto, attuale e futura,, non essendo state introdotte modifiche nelle strutture di scarico ma solo nelle condizioni di esercizio.

#### 3.2 Definizione delle condizioni di analisi

Le condizioni analizzate mediante il modello numerico sopra citato sono state scelte in base ai risultati già ottenuti nello studio della dispersione termica e descrizione dell'assetto idrobiologico della zona interessata dallo scarico delle acque di raffreddamento della centrale di Monfalcone, documentato in [1], e che fa riferimento all'assetto attuale dell'impianto.

In particolare, sempre in riferimento alla condizione di esercizio a pieno carico, le condizioni ambientali risultate le più gravose dal punto di vista della dispersione termica sono quelle relative al periodo estivo, in quanto l'apporto di acqua fredda al sistema è in termini di portata media e di temperatura non particolarmente sensibile alle condizioni stagionali, salvo la portata del Timavo, che però è minore in estate e quindi il raffreddamento per miscelamento del pennacchio termico è ridotto. In aggiunta a ciò, la temperatura del mare varia sensibilmente tra il periodo estivo e quello invernale, e poiché è presente nel periodo estivo una stratificazione di temperatura con acqua di mare in tutto il sistema idrico, con uno strato inferiore assai più freddo, si ha un effetto negativo sul galleggiamento del pennacchio, che viene trasportato più lontano.

Sulla base delle valutazioni elaborate nel precedente capitolo sulle condizioni di esercizio ed ambientali influenzanti la dispersione termica sono perciò stati definiti i valori dei parametri utilizzati nelle condizioni di analisi per le diverse sezioni aperte, nelle condizioni tipiche estive ed a pieno carico:

- a) la sezione di scarico della centrale, posta all'inizio del canale Lisert, presenta una portata pari a  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ , una temperatura media allo scarico di  $33.0 \text{ }^\circ\text{C}$  ed una salinità di  $35 \text{ g/l}$  nelle condizioni corrispondenti all'assetto attuale di esercizio, ed una portata pari a  $27.17 \text{ m}^3/\text{s}$ , una temperatura media allo scarico di  $33.5 \text{ }^\circ\text{C}$  ed una salinità di  $35 \text{ g/l}$  nell'assetto a cicli combinati. Il valore della temperatura di ingresso alla presa, da cui si desume il sovrizzo termico allo scarico, è sempre pari a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  in media all'ingresso dei condensatori. Tale valore, inferiore alla temperatura misurata per l'acqua del mare nella baia di Panzano, come pure è inferiore il valore di salinità all'ingresso, è dovuto al fatto che nel canale Valentinis arriva acqua dolce e fredda proveniente dal Canale dei Dottori, a sua volta collegato al bacino dell'Isonzo, che presenta notoriamente valori di temperature delle sue acque assai bassi;
- b) la sezione di scarico della Cartiera del Timavo, posta circa 100 m a monte della confluenza del Timavo nel Locavaz (canale Collettore), con una portata di circa  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ed una temperatura di  $28.3 \text{ }^\circ\text{C}$
- c) la sezione di ingresso al canale Tavoloni (ex fiume Lisert) per il tratto qui considerato, con una portata di  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  ed una temperatura di  $17.3 \text{ }^\circ\text{C}$
- d) la sezione di ingresso al canale Moschenizze per il tratto considerato, con una portata di  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$  ed una temperatura di  $17.3 \text{ }^\circ\text{C}$
- e) la sezione di ingresso del fiume Timavo, collocata immediatamente a valle della confluenza delle risorgive, con una portata di  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  ed una temperatura di  $13.7 \text{ }^\circ\text{C}$
- f) la sezione di sbocco a mare (zona della foce) sulla quale viene imposto il livello di marea in funzione del tempo, secondo quanto descritto al paragrafo 2.3.5,

I dati sopra esposti sono riassunti in tab. 3.1.

### 3.3 Definizione del reticolo di calcolo e delle condizioni iniziali

Il modello bidimensionale del codice SWEET-OMP<sup>®</sup> 4.03 utilizza un reticolo di calcolo spaziale corrispondente alla superficie del dominio considerato, suddiviso in una opportuna rete di elementi finiti triangolari del secondo ordine, caratterizzati da nodi di calcolo ai vertici dei triangoli e nei punti mediani dei lati. Nel caso studiato, il reticolo risultante è illustrato in fig. 3.1 e comprende 11987 elementi per un totale di 25265 nodi, in cui sono calcolate le grandezze fisiche di interesse. Nelle figure dalla fig. 3.2 alla fig. 3.5 sono illustrati alcuni particolari del reticolo stesso.

La definizione del reticolo di calcolo spaziale in due dimensioni è realizzata direttamente dal pre processore FEMAP [8] a partire dal profilo del dominio di calcolo definito attraverso una elaborazione tramite AutoCAD[9] dei dati geografici forniti dalle carte tecniche regionali della zona.

Il modello bidimensionale del codice SWEET-OMP<sup>®</sup> 4.03 richiede la conoscenza della batimetria del dominio per poter integrare le grandezze nella direzione verticale. La batimetria dell'intero fondale viene ricostruita dal modulo *Batman* (Bathymetry Manager), integrato direttamente nel codice, a partire dalle informazioni sulle sezioni e sul profilo di ciascun corpo idrico. Più precisamente viene definita una superficie di fondo

avente gli stessi contorni del dominio di calcolo ed un andamento nello spazio dipendente dal profilo delle sezioni assegnate; tale superficie di fondo, unitamente alla superficie libera, definisce il volume di fluido considerato nel calcolo; in corrispondenza di ogni nodo di calcolo degli elementi in cui è suddiviso il reticolo bidimensionale viene assegnato il corrispondente valore della profondità del fondale. La batimetria risultante, la cui profondità massima è pari a -8.89 m in un punto all'estremità del canale Lisert in prossimità della confluenza con il Moschenizza, è riportata in fig. 3.6.

Infine occorre definire le condizioni iniziali e le condizioni al contorno da adottare nelle simulazioni numeriche. Per quanto riguarda le condizioni iniziali, che cioè definiscono la situazione imperturbata rispetto alla quale viene effettuata la simulazione, sono stati adottati i seguenti criteri:

- a) velocità dell'acqua in tutto il dominio posta inizialmente uguale a 0.0 m/s. Ciò in pratica significa che si suppone inizialmente il corpo idrico fermo, e la sua distribuzione di velocità viene calcolata come stato stazionario raggiunto al termine del transitorio causato dalla imposizione delle condizioni di portata e livello nelle sezioni aperte e nelle sezioni di scarico;
- b) temperatura dell'acqua in tutto il dominio pari al valore medio imperturbato dell'acqua di mare in condizioni estive. Anche in questo caso, il campo di temperatura sarà determinato dal calcolo della situazione di equilibrio dovuta alle condizioni al contorno, in particolare dovute all'affluenza delle acque dai canali Moschenizze e Tavoloni e dal Timavo, più fredde dell'acqua di mare in condizioni estive;
- c) salinità dell'acqua in tutto il dominio pari al valore medio imperturbato dell'acqua di mare in condizioni estive;
- d) condizioni di marea applicate alla sezione di foce in collegamento con il mare aperto, a partire dalla condizione stazionaria di equilibrio raggiunta imponendo inizialmente il livello di medio mare.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, esse sono imposte in modo da garantire la convergenza numerica del calcolo ed il rispetto delle condizioni fisiche del problema, e sono state riassunte in tab. 3.1.

E' stato inoltre considerato lo scambio termico con l'atmosfera attraverso un coefficiente pari a  $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , che corrisponde ad una situazione di temperatura media dell'acqua inferiore ai  $20 \text{ °C}$  ed una condizione media di calma di vento. Tale condizione è stata assunta valida anche in condizioni estive in quanto le misure e la letteratura evidenziano la presenza pressoché costante di uno strato superficiale freddo anche nel periodo estivo.

Temperatura naturale acqua di mare <sup>(1)</sup>	26.4	°C	
Salinità naturale acqua di mare <sup>(2)</sup>	37.8	g/l	
Densità naturale acqua di mare	1025.6192	Kg/mc	
Calore specifico acqua di mare	4045.9965	J/Kg °C	
	attuale	futura	
Portata Scarico Centrale	36	27.17	m <sup>3</sup> /s
Temperatura Presa Centrale	25	25	°C
Temperatura Scarico Centrale	33	33.5	°C
Salinità Scarico Centrale	35	35	g/l
Densità Scarico Centrale	1020.676	1020.676	Kg/mc
Calore specifico Scarico Centrale	4064.65	4063.97	J/Kg °C
Portata Scarico Cartiera	1		m <sup>3</sup> /s
Temperatura Scarico Cartiera	28.3		°C
Salinità Scarico Cartiera	30		g/l
Densità Scarico Cartiera	1018.54529		Kg/mc
Calore specifico Scarico Cartiera	4076.71038		J/Kg °C
Portata Timavo	20		m <sup>3</sup> /s
Temperatura Timavo alle risorgive	13.7		°C
Portata Canale Moschenizze	2.4		m <sup>3</sup> /s
Temperatura Moschenizze (ponte autostrada)	17.3		°C
Portata Canale Tavoloni	2.2		m <sup>3</sup> /s
Temperatura ingresso Canale Tavoloni	17.3		°C
Livello iniziale di marea per lo stazionario	0.0		m slmm
Coefficiente di scambio termico con l'aria	10		W/m <sup>2</sup> °C

Note:

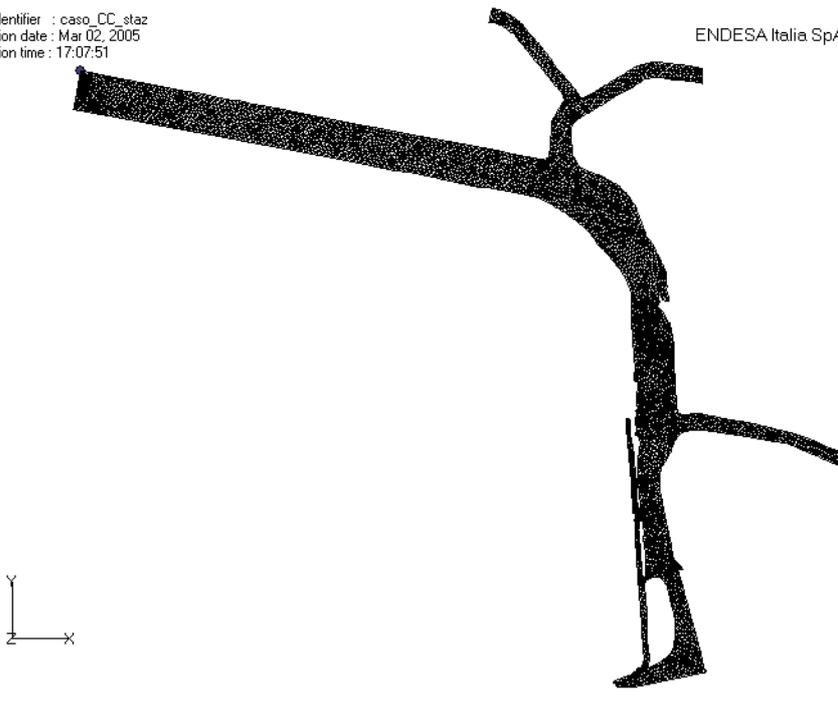
(1) condizioni assunte uguali a quelle misurate in mare durante la campagna

(2) dati di letteratura

**tab. 3.1 - Valori dei parametri utilizzati per la simulazione delle condizioni di massimo carico estivo**

Case identifier : caso\_CC\_staz  
 Execution date : Mar 02, 2005  
 Execution time : 17:07:51

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Monfalcone \* Conversione a CC  
 Reticolo di calcolo

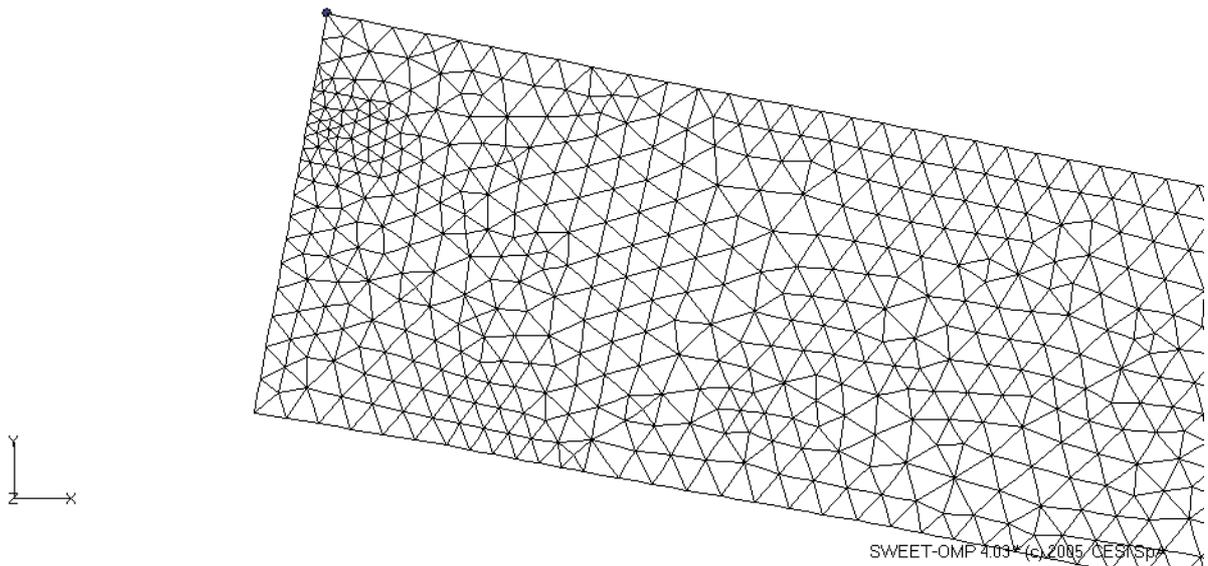


SWEET-OMP 4.03 \* (c) 2005 CESI SpA

**fig. 3.1 - Reticolo di calcolo generato per il modello 2D**

Case identifier : caso\_CC\_staz  
 Execution date : Mar 02, 2005  
 Execution time : 17:07:51

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Monfalcone \* Conversione a CC  
 Reticolo di calcolo nella zona dello scarico della centrale

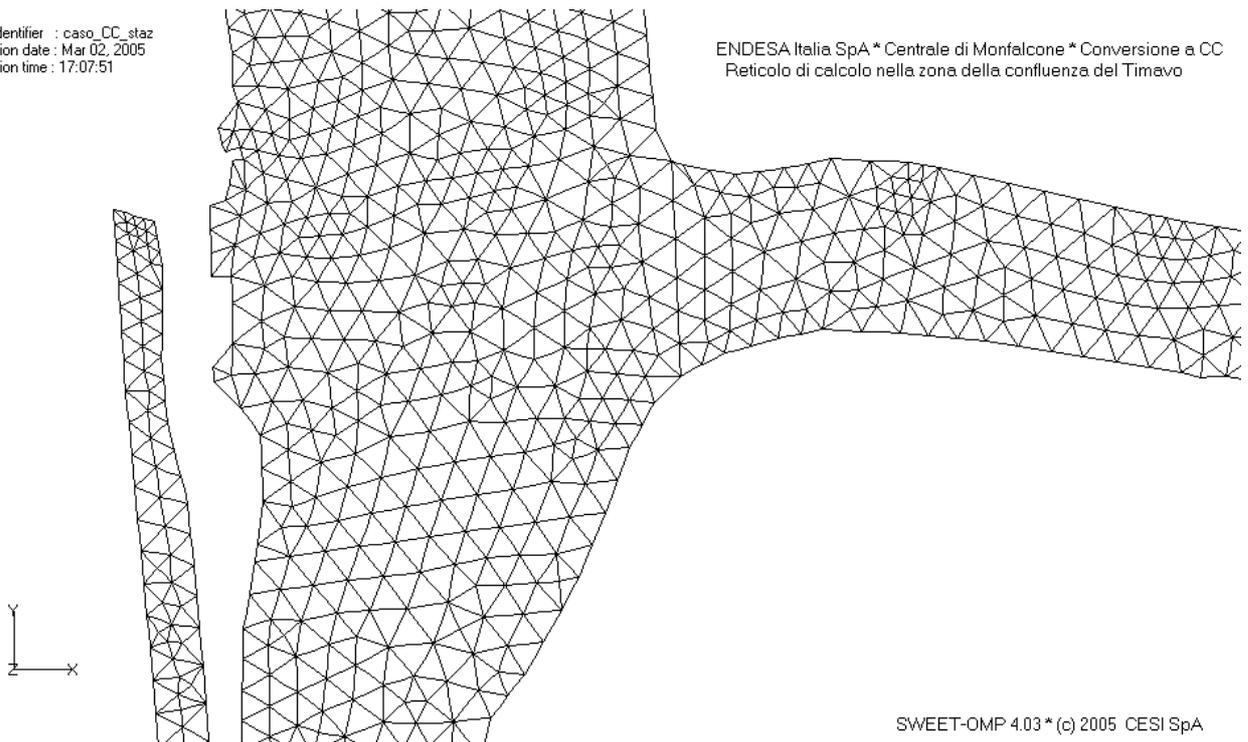


SWEET-OMP 4.03 \* (c) 2005 CESI SpA

**fig. 3.2 – Particolare del reticolo di calcolo 2D: zona di scarico della centrale**

Case identifier : caso\_CC\_staz  
 Execution date : Mar 02, 2005  
 Execution time : 17:07:51

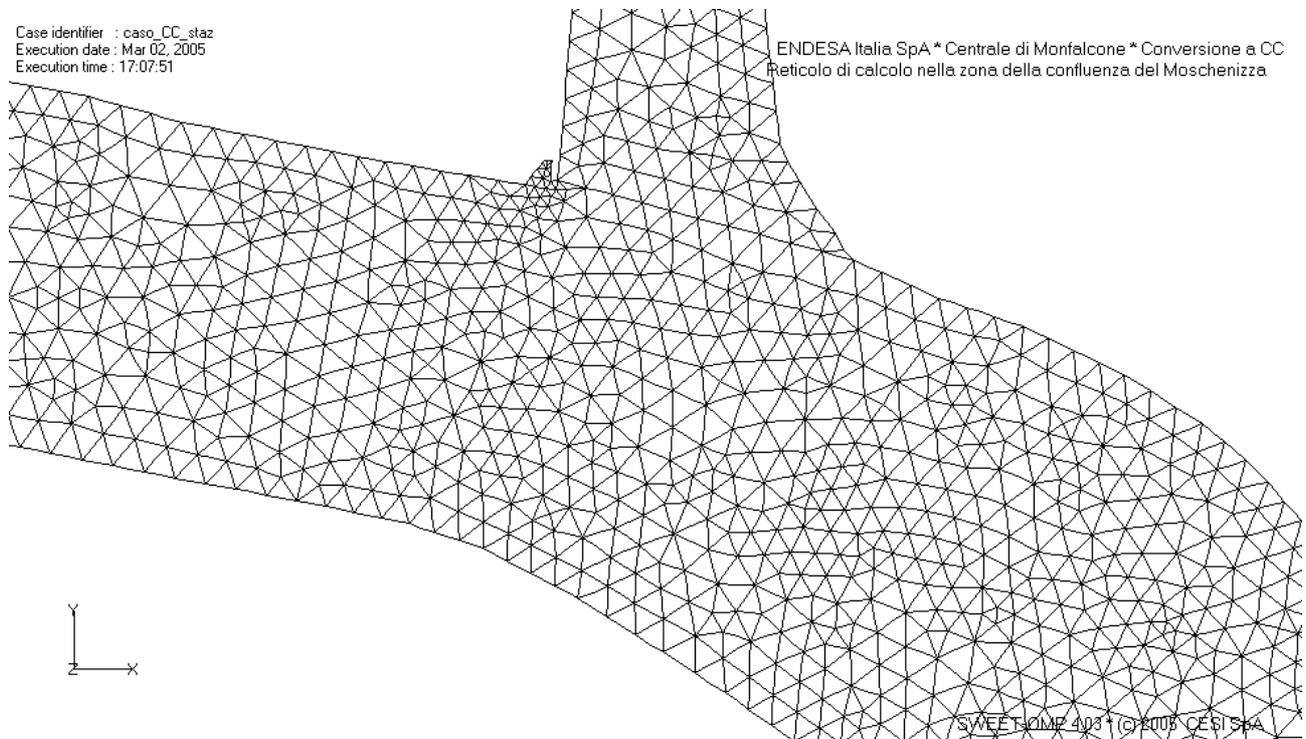
ENDESA Italia SpA \* Centrale di Monfalcone \* Conversione a CC  
 Reticolo di calcolo nella zona della confluenza del Timavo



**fig. 3.3 - Particolare del reticolo di calcolo 2D: confluenza del Locavaz e del Timavo**

Case identifier : caso\_CC\_staz  
 Execution date : Mar 02, 2005  
 Execution time : 17:07:51

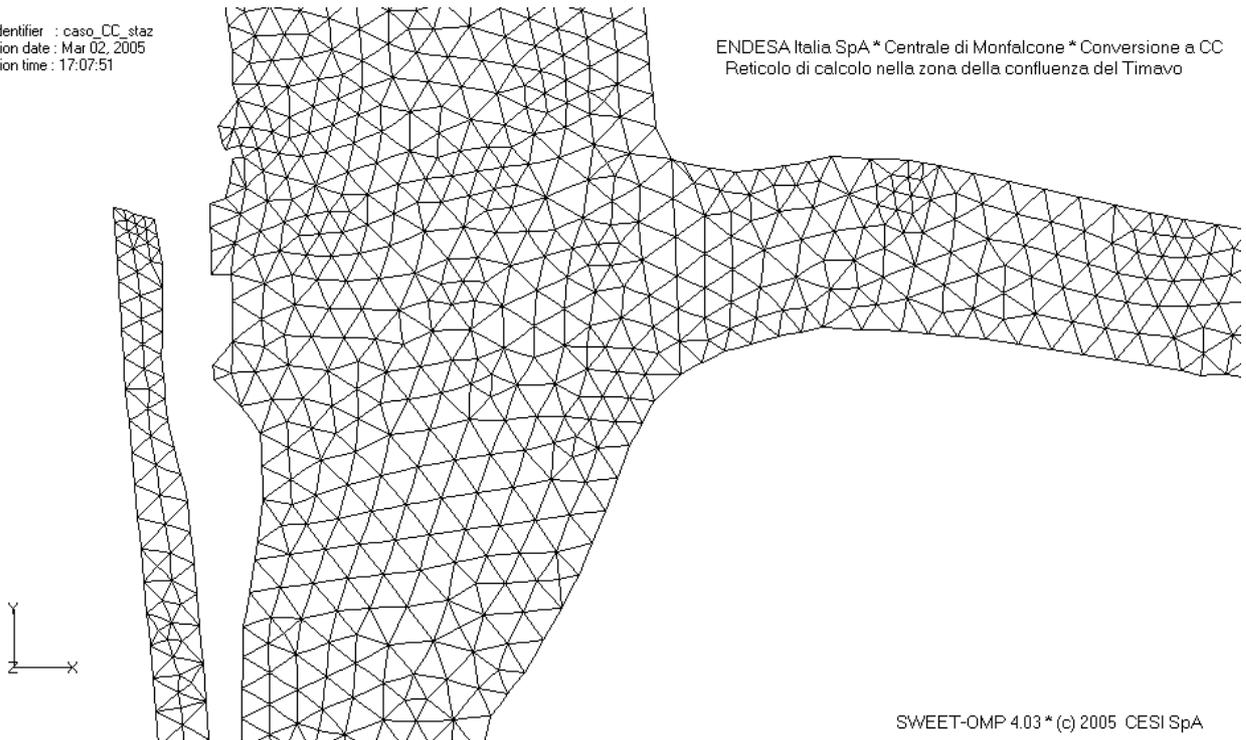
ENDESA Italia SpA \* Centrale di Monfalcone \* Conversione a CC  
 Reticolo di calcolo nella zona della confluenza del Moschenizza



**fig. 3.4 - Particolare del reticolo di calcolo 2D: confluenza tra i canali Lisert, Tavoloni e Moschenizza**

Case identifier : caso\_CC\_staz  
Execution date : Mar 02, 2005  
Execution time : 17:07:51

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Monfalcone \* Conversione a CC  
Reticolo di calcolo nella zona della confluenza del Timavo



**fig. 3.5 - Particolare del reticolo di calcolo 2D: zona di foce del Timavo**



fig. 3.6 - Batimetria del fondale

## 4 ANALISI DELLA DISPERSIONE TERMICA

### 4.1 Considerazioni preliminari

Nel corso dello studio sono state successivamente analizzate le simulazioni condotte nelle condizioni risultate più gravose ai fini della valutazione delle condizioni di scarico e del loro impatto sul sistema idrico interessato, sia nella configurazione attuale di centrale che nell'assetto a cicli combinati.

La simulazione 2D realizzata con il codice SWEET-OMP 4.03 è di fatto una simulazione dinamica in transitorio, in quanto il variare del livello di marea alla sezione di foce, il cui andamento tipico è riportato in fig. 4.1 per un periodo di 60 ore, comporta una variazione continua delle condizioni al contorno, con il contributo di acqua salata proveniente dal mare che entra nel sistema ed esce dal sistema con una frequenza semidiurna (all'incirca ogni 12 ore si inverte la direzione del moto), cui si sovrappongono due componenti, una fredda dovuta ai contributi fluviali ed una calda e salata dovuta allo scarico della centrale.

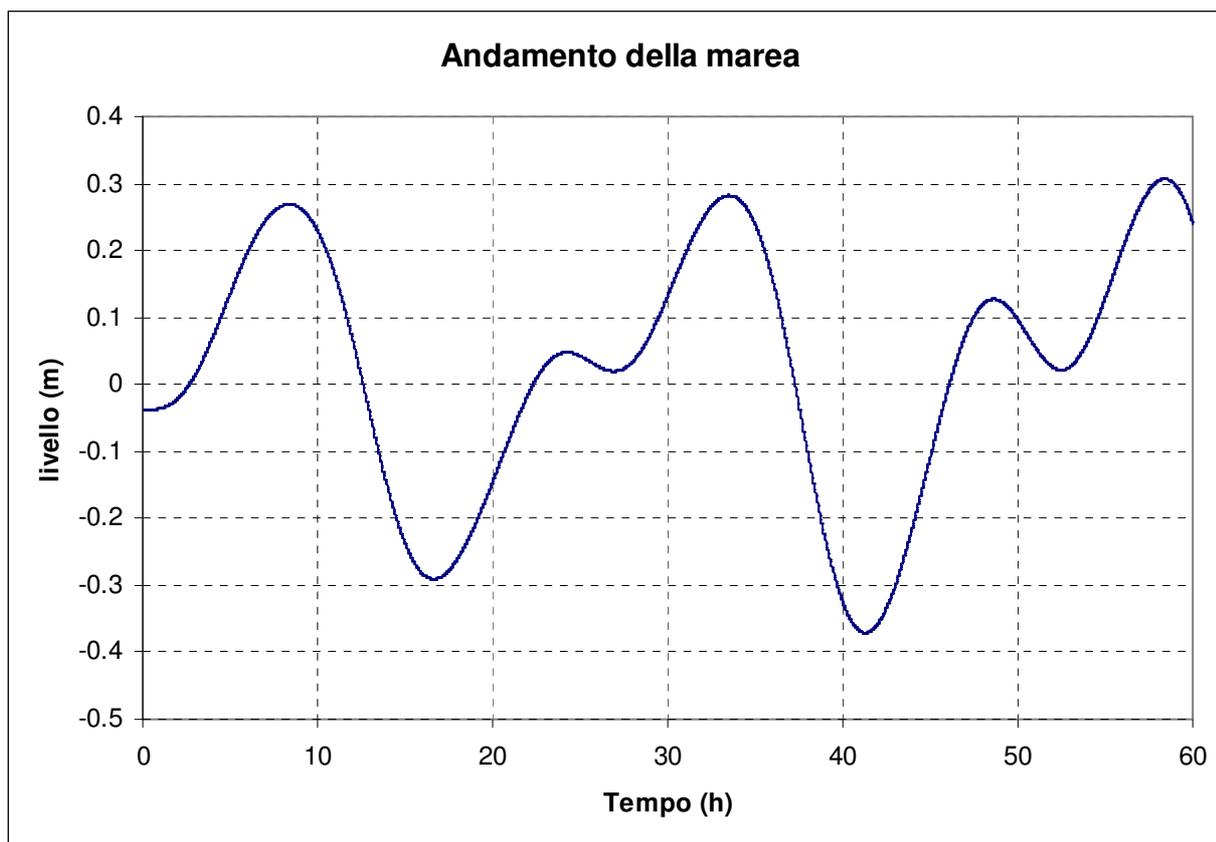


fig. 4.1 - Andamento tipico della marea alla foce

Questa dinamica non consente ovviamente il raggiungimento di uno stato di equilibrio stazionario, e quindi è stato necessario, per evitare l'introduzione di elementi perturbativi di tipo numerico, effettuare dapprima una simulazione stazionaria con tutte le condizioni di flusso al contorno pienamente applicate ma con marea

nulla, ed applicare successivamente, partendo da una tale condizione stabilizzata l'effetto di marea (stato transitorio continuo).

I risultati relativi a ciascuno degli scenari considerati sono stati analizzati sia graficamente sia mediante post processamento di tipo analitico allo scopo di estrarre l'insieme delle informazioni utili a caratterizzare il campo termico risultante dalla trasformazione rispetto a quello risultante nelle condizioni attuali di esercizio.

Per quanto riguarda le condizioni di simulazione, si fa riferimento alle condizioni tipiche estive, per poter meglio effettuare una valutazione dell'effetto dell'incremento del carico a parità di condizioni ambientali; d'altra parte, come già discusso nel capitolo relativo all'analisi delle condizioni ambientali stesse, i parametri relativi ai corsi d'acqua che alimentano il bacino considerato non sono soggetti a variazioni molto sensibili dei loro valori medi con le stagioni, ed il solo mare presenta condizioni molto diverse tra inverno ed estate.

## 4.2 Analisi della dispersione termica nella configurazione attuale

In primo luogo è stato analizzato il transitorio di marea simulato nelle condizioni di esercizio attuali a pieno carico, simulato per un periodo di 60 ore a partire dallo stato stazionario di inizializzazione a livello costante. Le condizioni di temperatura e di portata imposte sono quelle indicate in tab. 3.1.

Il primo punto essenziale preso in considerazione ha riguardato la valutazione della temperatura alla sezione di foce, allo scopo di quantificare l'effetto dello scarico della centrale sulla temperatura dello strato di acqua in corrispondenza di tale sezione, nelle diverse condizioni di marea. Ciò è stato realizzato registrando in continuo durante la simulazione i valori di temperatura nei nodi rappresentativi riportati in fig. 4.2 (nodi spia), e riportando tali registrazioni nel grafico di fig. 4.3 in corrispondenza al valore del livello di marea alla foce. Analizzando tale grafico, si possono trarre le seguenti considerazioni:

- a. è necessario escludere il transitorio di assestamento iniziale del calcolo, della durata di qualche ora, durante il quale i diversi contributi al campo termico devono assestarsi sul ciclo di marea, per cui le valutazioni sono espresse conservativamente per il periodo che inizia dopo 24 ore e che comprende due interi cicli di marea;
- b. ovviamente, pur scorrendo l'acqua di marea in uno strato al di sotto dello strato delle acque fredde, l'alternarsi della direzione del flusso ad essa legato influenza la velocità di efflusso delle componenti fredde e dell'acqua calda salata proveniente dallo scarico. Tenendo in conto il fatto che nella simulazione 2D le componenti verticali del moto risultano mediate sulla sezione, e che, ai fini della diffusione termica si tiene conto dell'apporto di acqua calda dallo scarico e delle acque fredde dagli affluenti, ma non della temperatura dell'acqua di mare entrante, in quanto la marea si traduce in un puro effetto di moto, il valore di temperatura calcolato alla foce è di fatto confrontabile con quello dello strato superficiale e mediano del corpo idrico;
- c. l'andamento della temperatura nei diversi nodi spia rispecchia le diverse componenti di flusso, con acque più fredde al nodo spia 5880, posto in prossimità della sponda sinistra, in cui prevale l'effetto delle acque fredde provenienti dal Timavo, acque più calde influenzate dallo scarico della centrale nella zona centrale della foce (nodi spia 5868, 5872 e 5876) ed acque anch'esse abbastanza calde in prossimità della sponda destra, dove però ha molta influenza il movimento entrante od uscente dell'acqua di mare con la marea dato il basso fondale ivi presente;

Il profilo medio di temperatura risultante per la sezione di foce, ottenuto mediando i valori di temperatura nel tempo, è riportato in fig. 4.4; si osserva ancora una volta come in prossimità della sponda sinistra siano preponderanti gli effetti dovuti all'acqua molto fredda proveniente dal Timavo, mentre nella parte centrale della sezione il valore medio di temperatura si attesta intorno ai 25.7 °C.

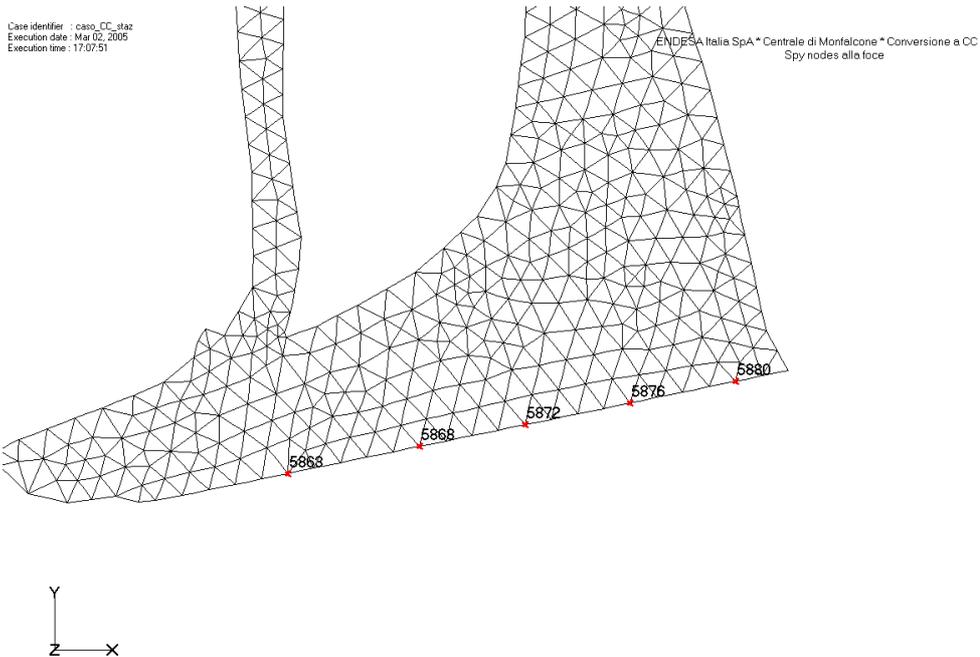
Nelle figure dalla fig. 4.5 alla fig. 4.8 sono riportate le distribuzioni del livello del sistema in funzione della marea. Si vede molto bene l'effetto di pompaggio della marea stessa, con un effetto ridotto in corrispondenza dei massimi e dei minimi anomali che si alternano ai minimi ed ai massimi regolari. In particolare:

- a) in corrispondenza del primo massimo di marea, in cui la velocità della corrente di marea alla foce si inverte da entrante ad uscente (fig. 4.5), si riscontrano valori abbastanza elevati di livello, soprattutto nella parte alta del bacino, verso il Lisert, in quanto durante il semiciclo precedente la marea entrante aveva sospinto le acque contrastando l'efflusso a mare delle acque dolci di provenienza fluviale;
- b) dopo circa 3 ore (fig. 4.6), durante il semiciclo successivo, il passaggio del livello dal valore di medio mare corrisponde al massimo valore di velocità uscente di marea alla foce, con un livello che progressivamente si abbassa perché ora il deflusso delle acque viene favorito dalla corrente di marea
- c) in fig. 4.7 viene mostrato l'andamento del livello in corrispondenza al primo minimo di marea. In questo caso, i livelli sono diventati negativi perché siamo alla fine di un semiciclo di deflusso, con un livello di marea sotto il medio mare;
- d) il ciclo descritto nei tre punti precedenti si ripete nelle successive figure dalla fig. 4.8 alla fig. 4.11, con un differente livello finale raggiunto in quanto tra due massimi regolari è presente un massimo anomale, di valore ridotto rispetto ai precedenti.

Nelle figure dalla fig. 4.12 alla fig. 4.18, infine, sono riportati gli andamenti della distribuzione di temperatura conseguente. Si nota come, sempre nella approssimazione del modello 2D, in contributo dovuto allo scarico della centrale sia ben marcato fino alla confluenza del Timavo, dove l'arrivo di una quantità consistente di acqua fredda costringe il pennacchio caldo a diluirsi e ad assottigliarsi, con il risultato di avere una distribuzione di temperatura alla foce con valori molto inferiori.

E' anche evidente l'azione della marea nella parte alta del bacino, prima della confluenza con il Timavo, dove l'azione alternata di pompaggio delle acque determina il miscelamento tra acque calde ed acque fredde in misura differente in funzione del ciclo mareale stesso.

L'analisi fin qui condotta, nelle condizioni attuali di esercizio della centrale, ha consentito di evidenziare il comportamento del sistema Lisert-Timavo dallo scarico della centrale alla foce in presenza dei diversi parametri ambientali. I risultati di tale analisi possono pertanto essere correttamente utilizzati per valutare l'effetto della trasformazione a ciclo combinato della centrale.



SWEET-OMP 4.03 \* (c) 2005 CESI SpA

fig. 4.2 – Localizzazione dei nodi spia alla sezione di foce

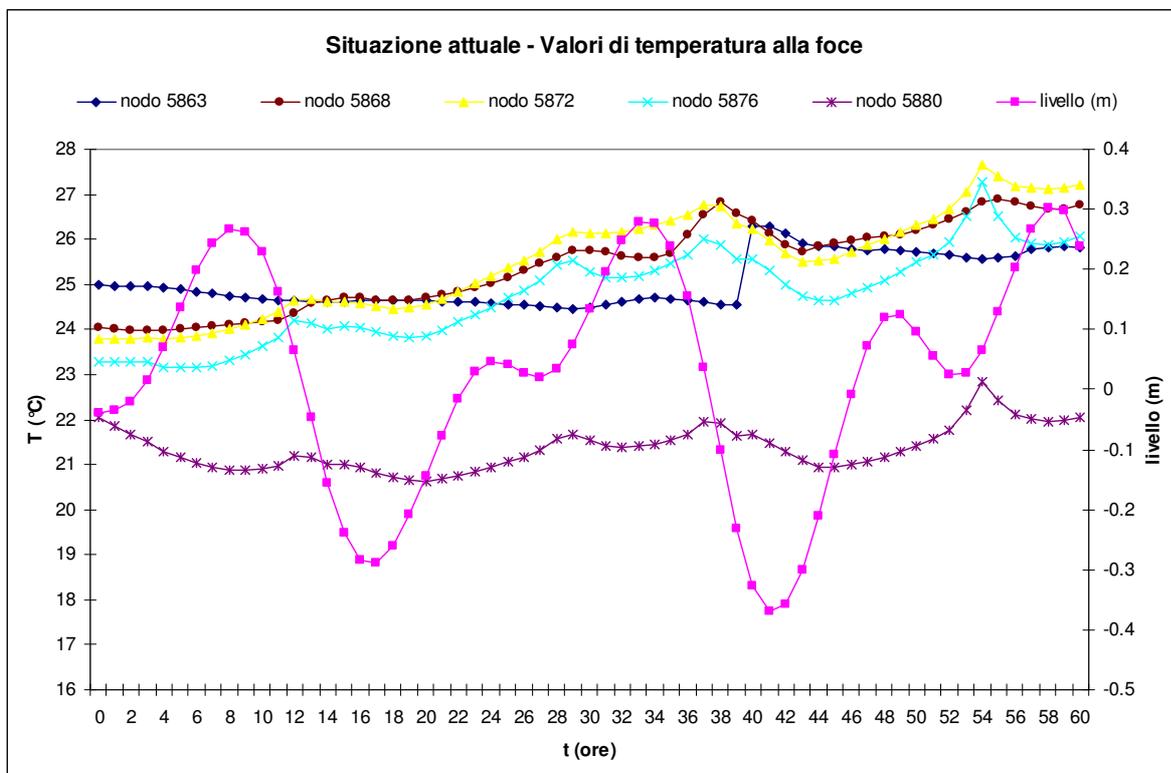


fig. 4.3 – Situazione attuale. Andamento dei valori di temperatura nei nodi spia alla sezione di foce

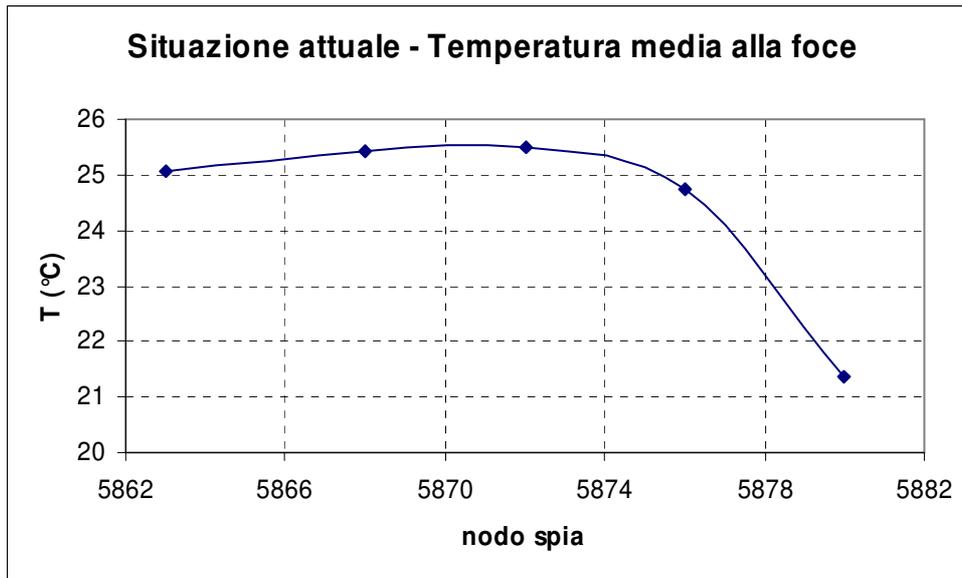


fig. 4.4 – Situazione attuale. Distribuzione della temperatura media alla foce

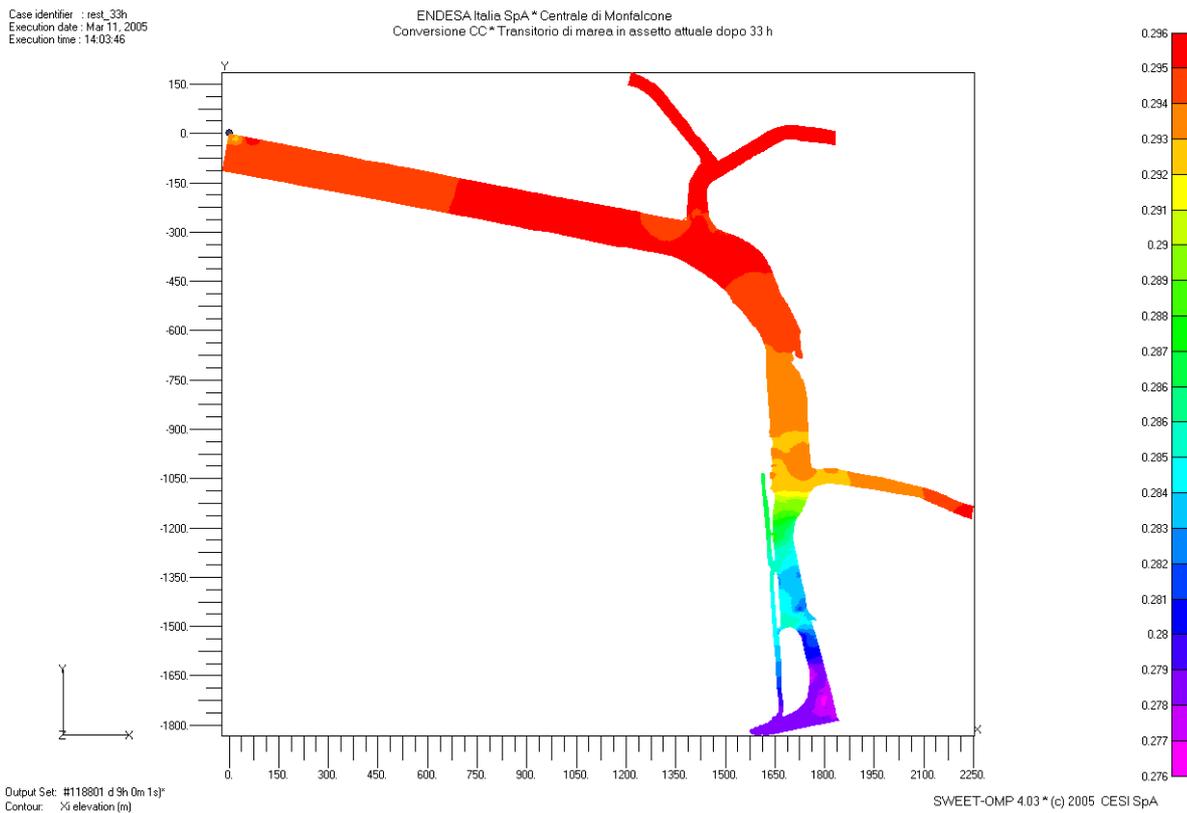
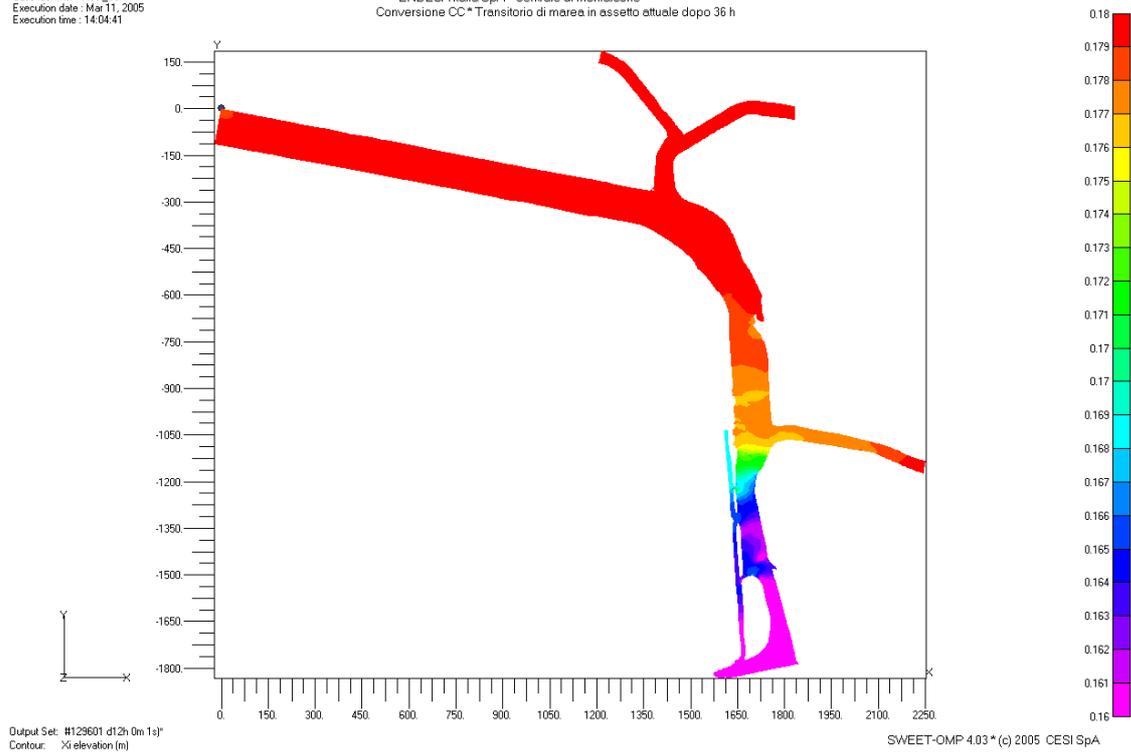


fig. 4.5 – Situazione attuale. Livello dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di marea)

Case identifier : rest\_36h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:04:41

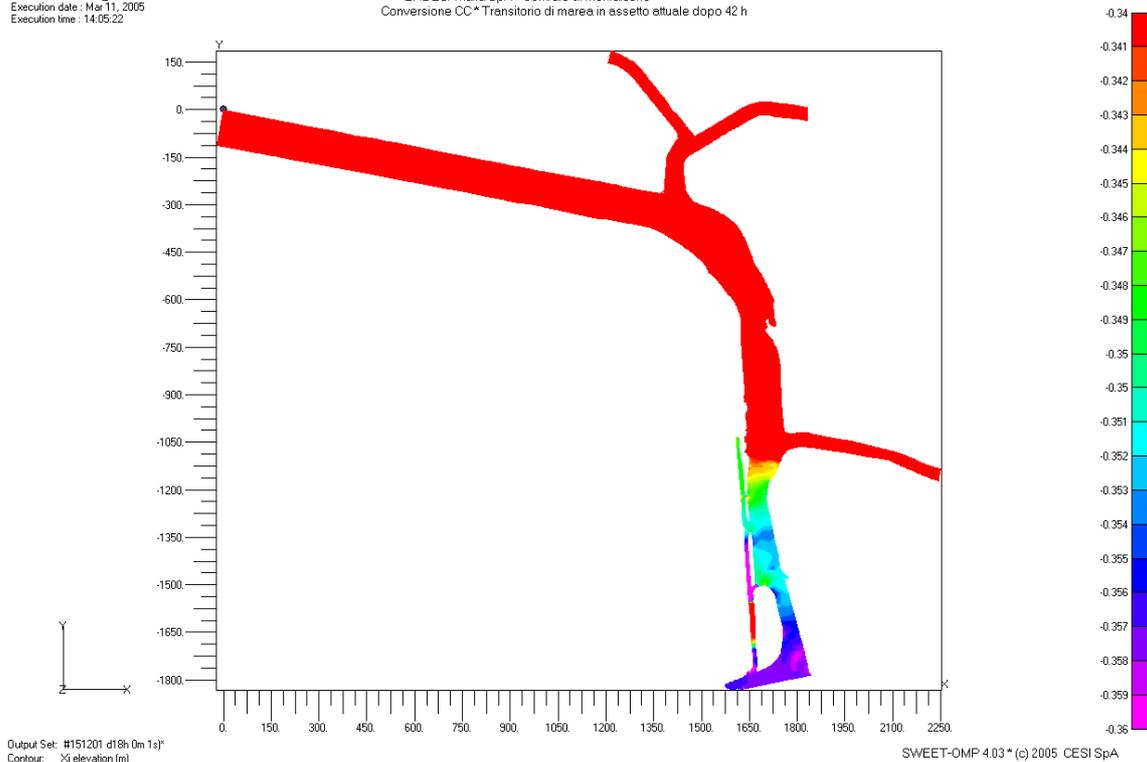
ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montelcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 36 h



**fig. 4.6 - Situazione attuale. Livello dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente)**

Case identifier : rest\_42h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:05:22

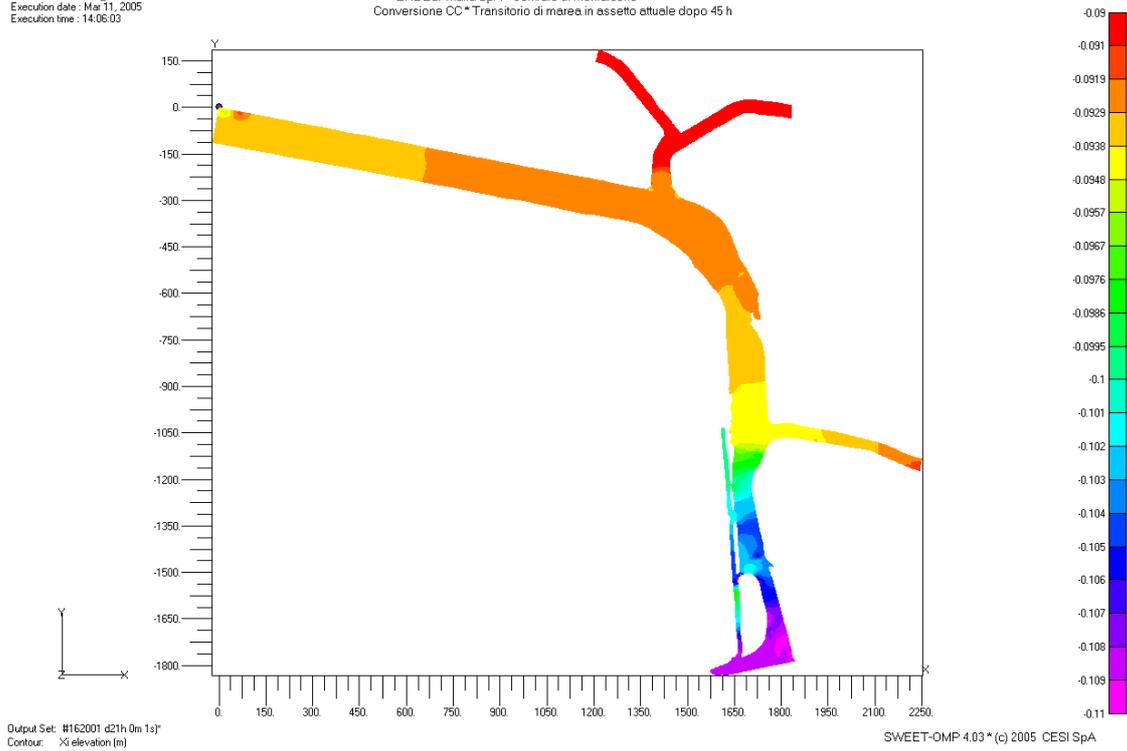
ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montelcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 42 h



**fig. 4.7 - Situazione attuale. Livello dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea)**

Case identifier : rest\_45h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:06:03

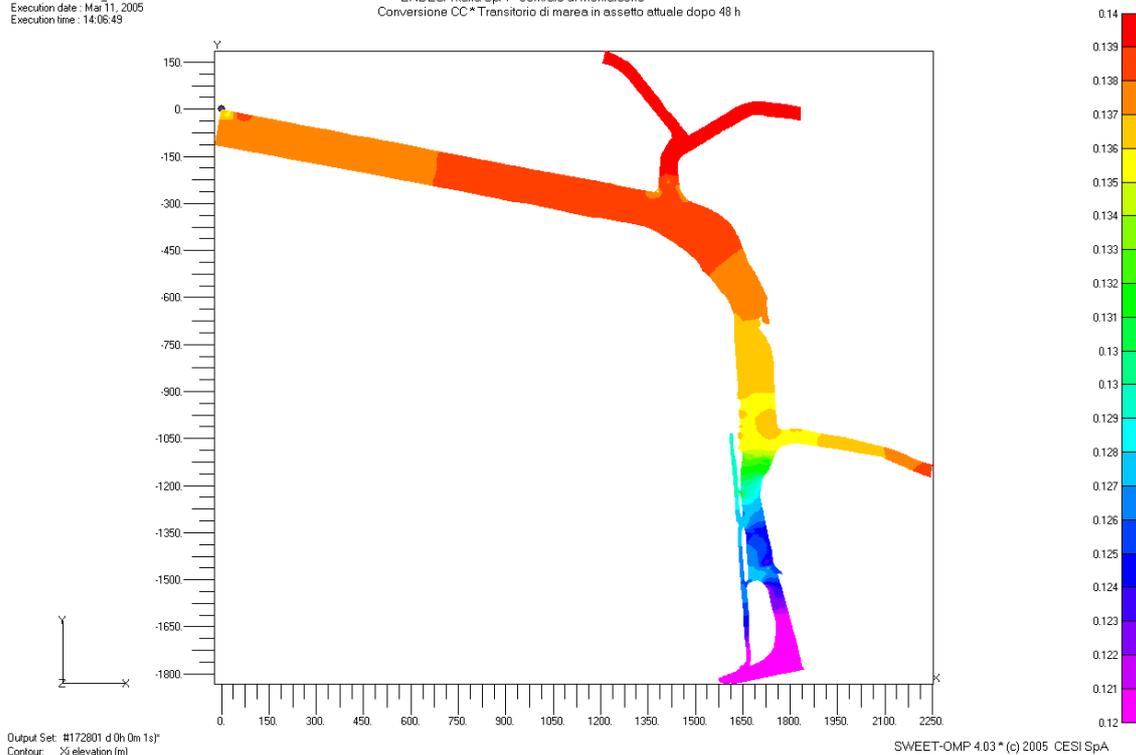
ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 45 h



**fig. 4.8 - Situazione attuale. Livello dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con marea entrante)**

Case identifier : rest\_48h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:06:49

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 48 h



**fig. 4.9 –Situazione attuale. Livello dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea)**

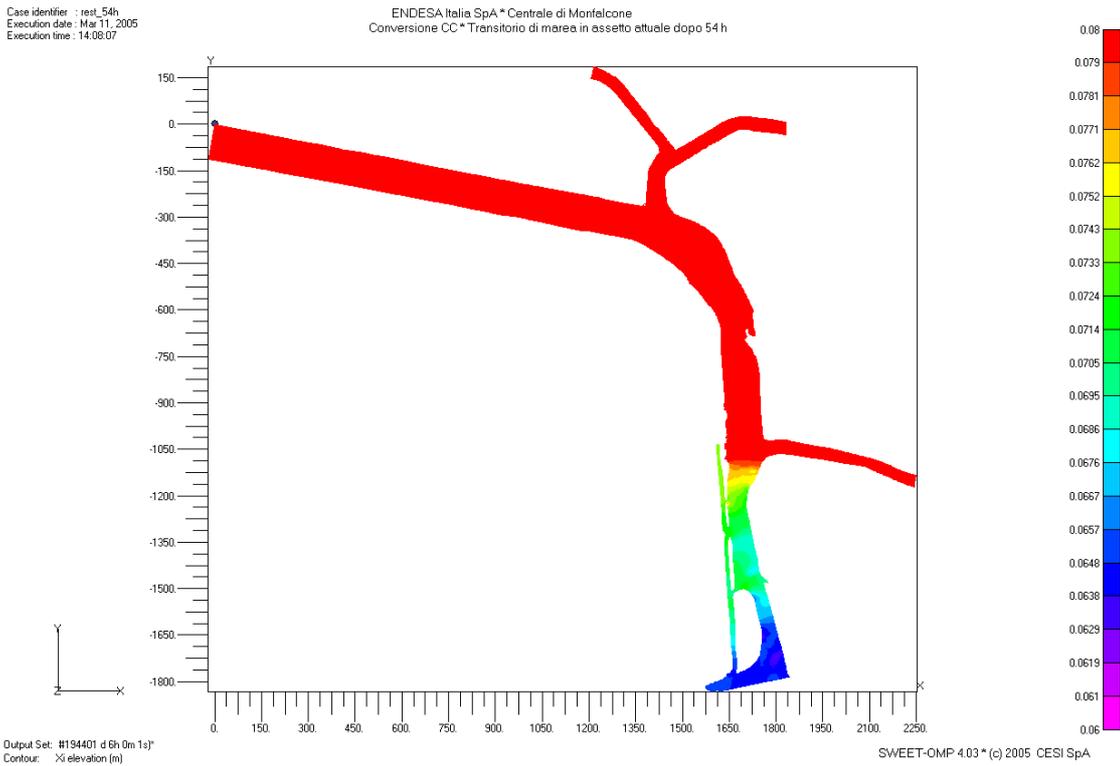


fig. 4.10 – Situazione attuale. Livello dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea)

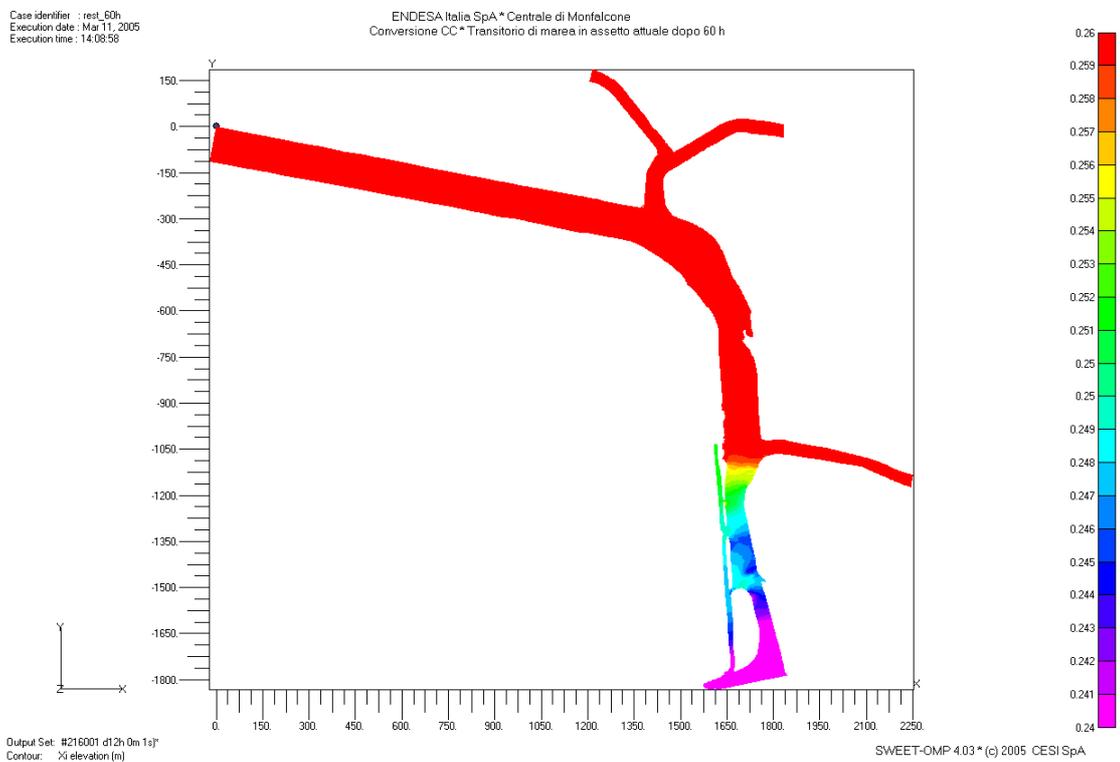


fig. 4.11 – Situazione attuale. Livello dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea)

Case identifier : rest\_33h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:03:46

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 33 h

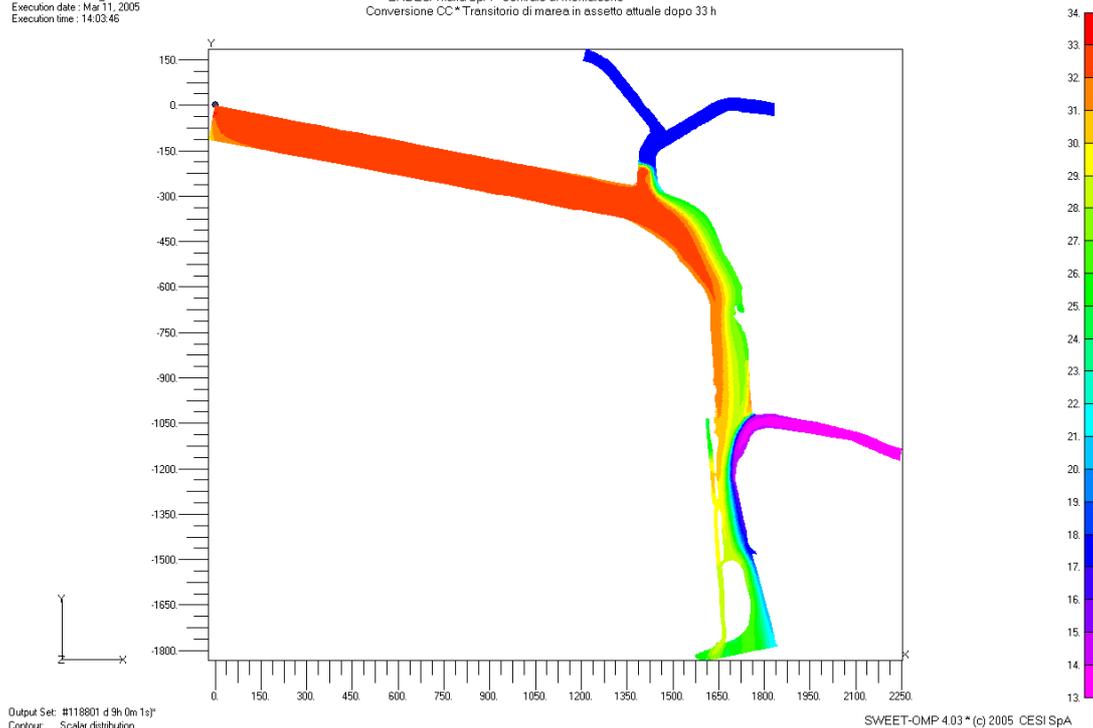


fig. 4.12 – Situazione attuale. Temperatura dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di marea)

Case identifier : rest\_36h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:04:41

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 36 h

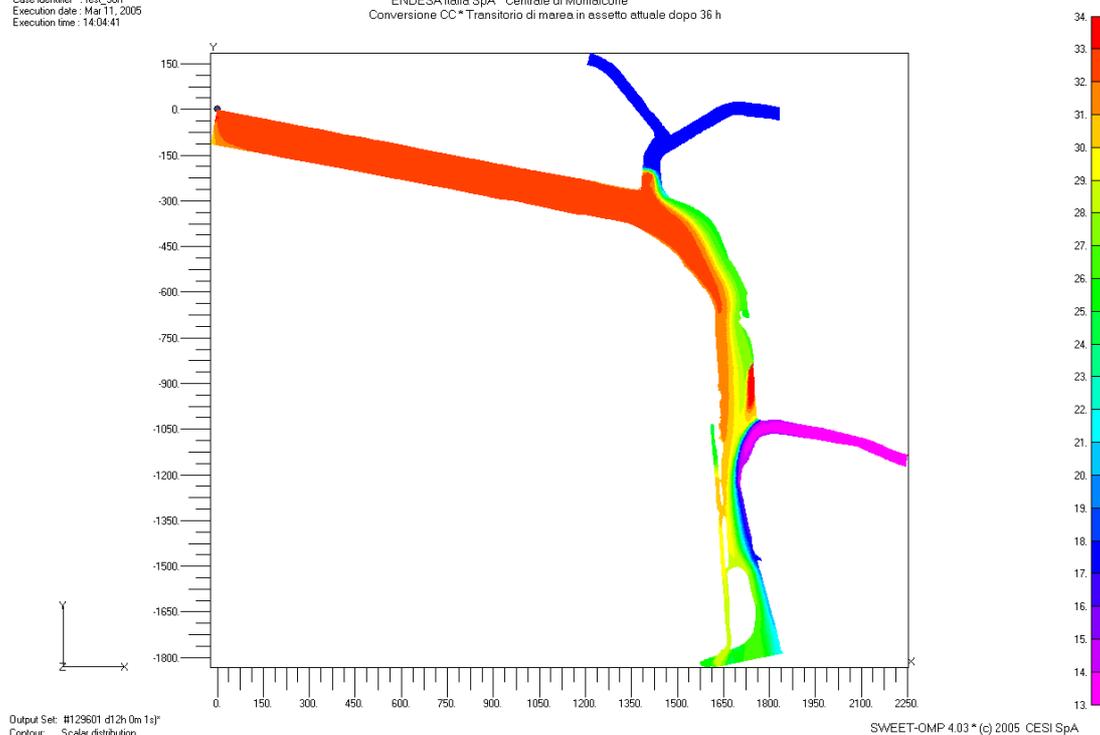
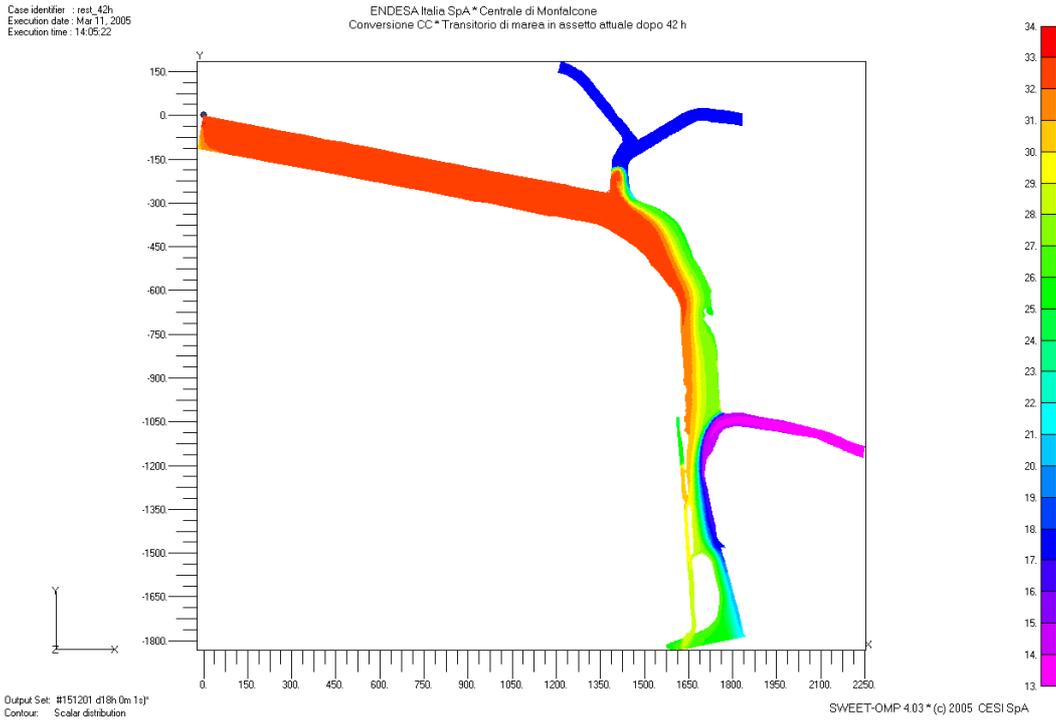
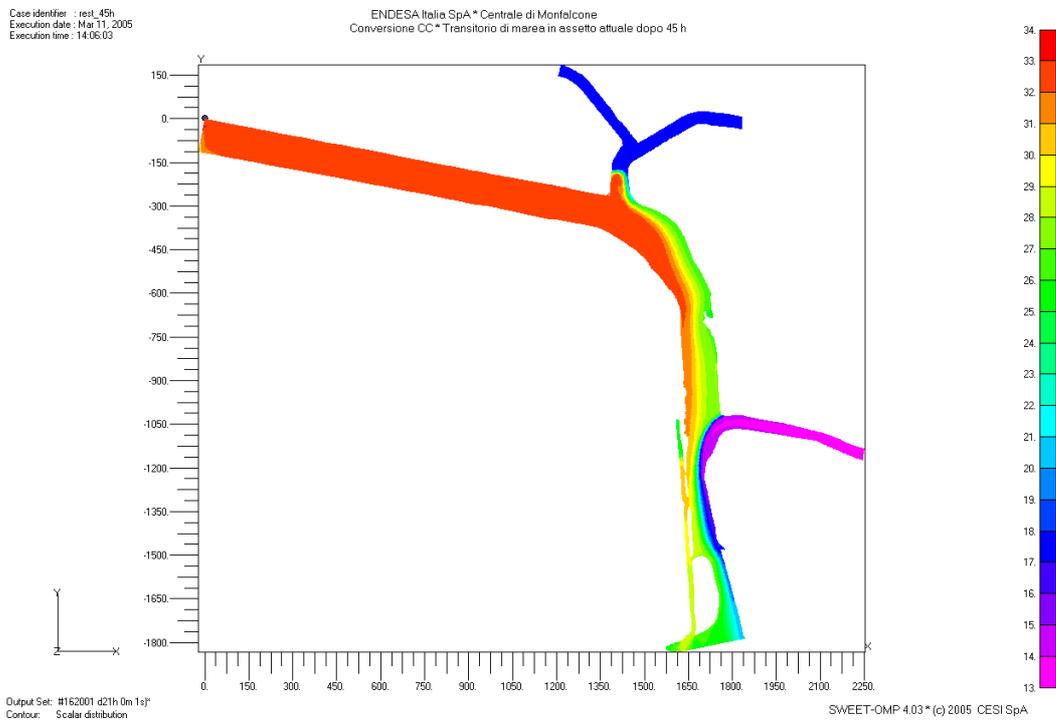


fig. 4.13 - Situazione attuale. Temperatura dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente)



**fig. 4.14 - Situazione attuale. Temperatura dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea)**



**fig. 4.15 - Situazione attuale. Temperatura dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con marea entrante)**

Case identifier : rest\_48h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:06:49

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC\* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 48 h

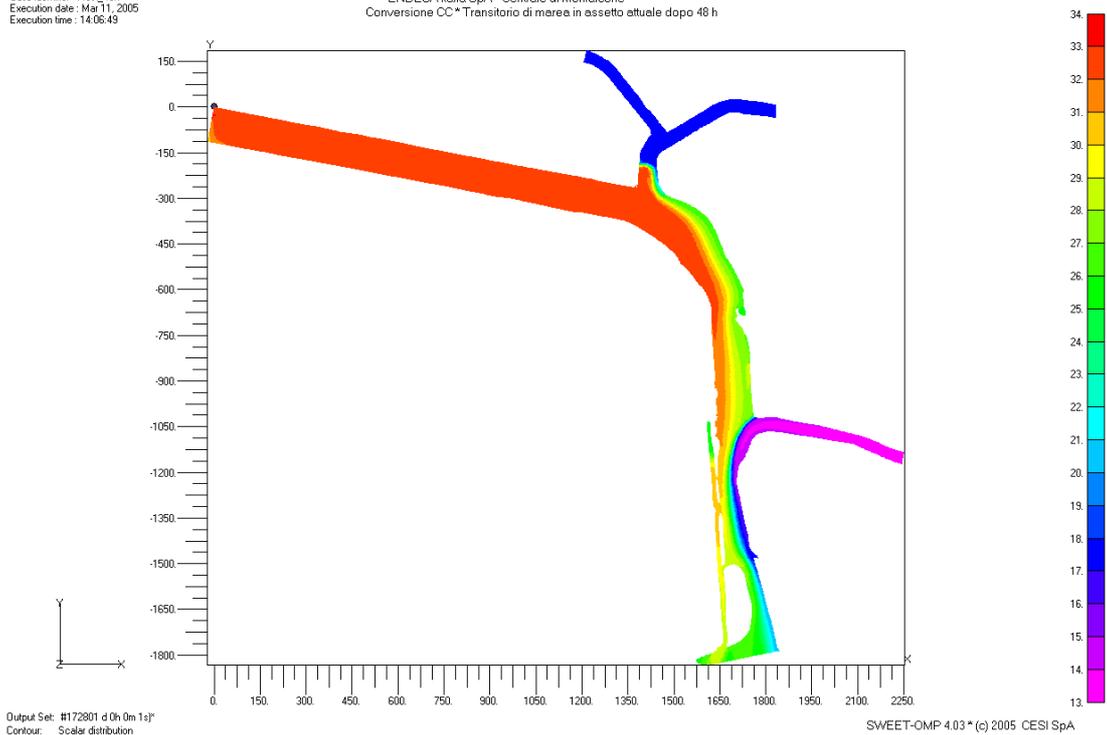


fig. 4.16 –Situazione attuale. Temperatura dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea)

Case identifier : rest\_54h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:08:07

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC\* Transitorio di marea in assetto attuale dopo 54 h

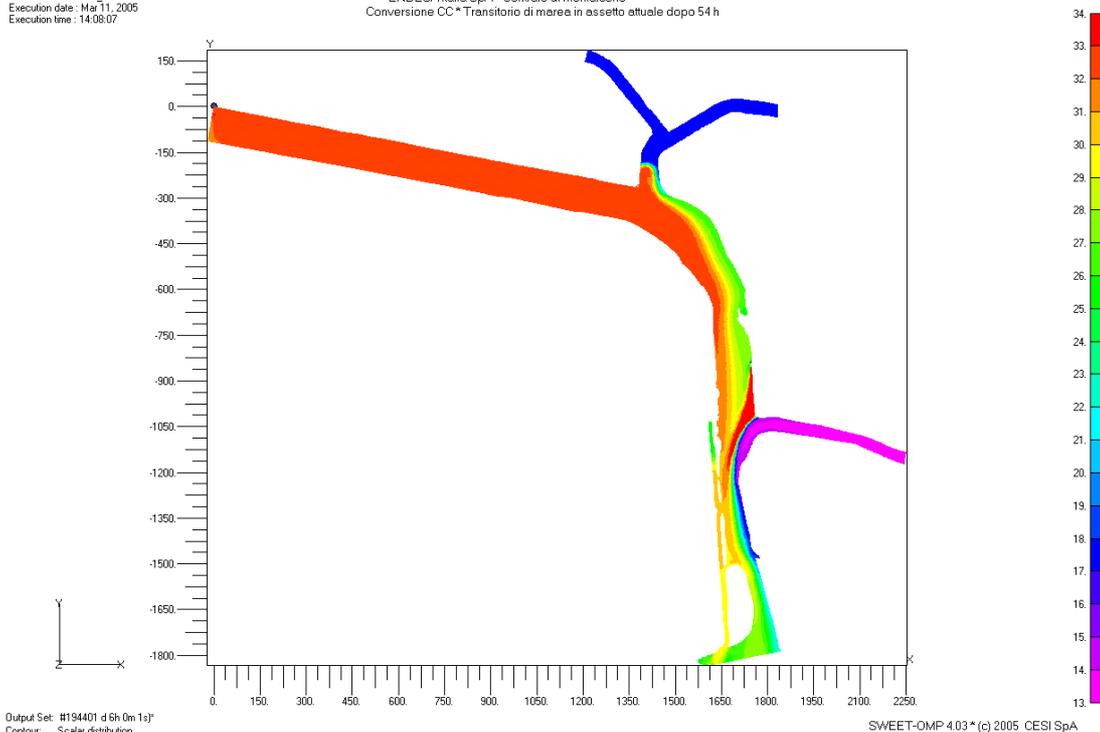


fig. 4.17 –Situazione attuale. Temperatura dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea)

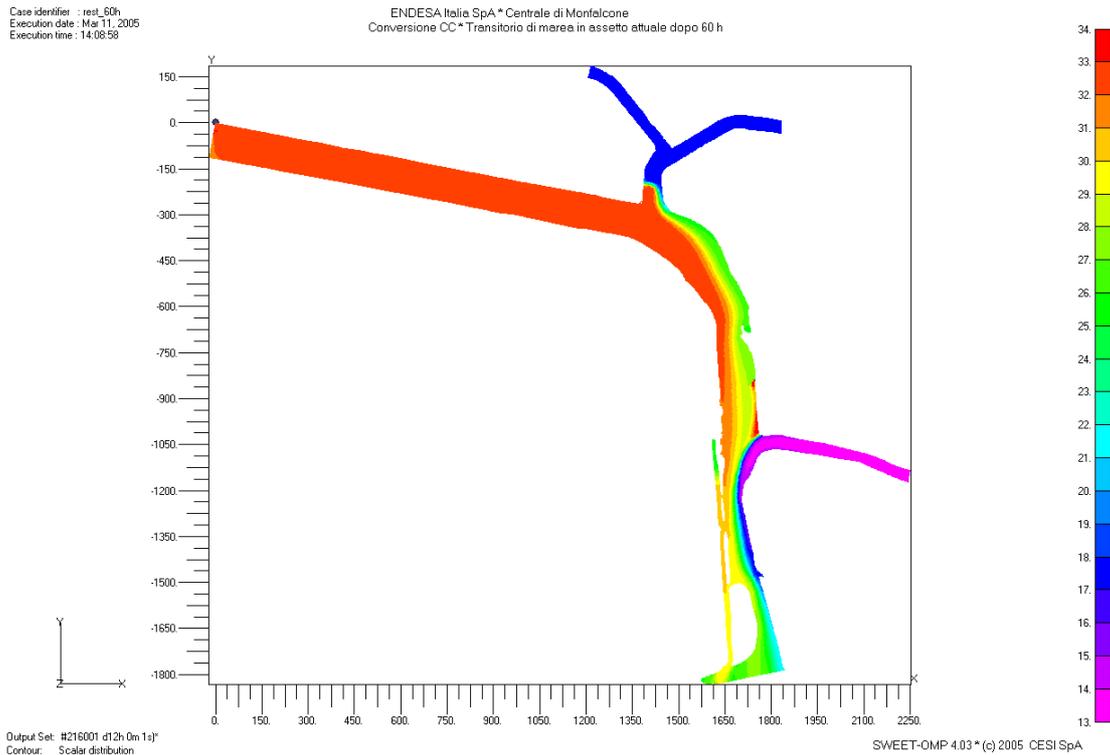


fig. 4.18 – Situazione attuale. Temperatura dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea)

### 4.3 Analisi della dispersione termica nella configurazione futura a ciclo combinato

Questa sezione è volta all'analisi dell'impatto della trasformazione a cicli combinati dell'impianto sulle condizioni di dispersione termica, per cui sono state eseguite le medesime simulazioni descritte al paragrafo precedente per l'assetto attuale della centrale, adeguando le sole condizioni di scarico in termini di portata e di incremento termico massimo allo scarico.

Anche il transitorio di marea simulato nelle condizioni di esercizio previste in assetto a ciclo combinato è stato simulato per un periodo di 60 ore a partire dallo stato stazionario di inizializzazione a livello costante. Le condizioni di temperatura e di portata imposte sono quelle indicate in tab. 3.1.

Come già fatto nel corso dell'analisi condotta nell'assetto attuale di centrale, il primo punto essenziale preso in considerazione ha riguardato la valutazione della temperatura alla sezione di foce, allo scopo di quantificare l'effetto dello scarico della centrale sulla temperatura dello strato di acqua in corrispondenza di tale sezione, nelle diverse condizioni di marea. Ciò è stato realizzato registrando in continuo durante la simulazione i valori di temperatura negli stessi nodi rappresentativi riportati in fig. 4.2 (nodi spia), e riportando tali registrazioni nel grafico di fig. 4.19 in corrispondenza al valore del livello di marea alla foce. Analizzando tale grafico, anche rispetto a quanto ottenuto nella simulazione in condizioni attuali ed escludendo il transitorio iniziale di assestamento del calcolo della durata di circa 24 ore, si possono trarre le seguenti considerazioni:

- a. la velocità di efflusso delle componenti fredde e dell'acqua calda salata proveniente dallo scarico è ancora influenzata dalle componenti mareali in modo analogo a quanto descritto per la simulazione precedente, per cui valgono le medesime considerazioni e quindi il valore di temperatura calcolato alla foce è di fatto confrontabile con quello dello strato superficiale e mediano del corpo idrico;
- b. l'andamento della temperatura nei diversi nodi spia rispecchia le diverse componenti di flusso, con acque più fredde al nodo spia 5880, posto in prossimità della sponda sinistra, in cui prevale l'effetto delle acque fredde provenienti dal Timavo, acque più calde influenzate dallo scarico della centrale nella zona centrale della foce (nodi spia 5868, 5872 e 5876) ed acque anch'esse abbastanza calde in prossimità della sponda destra, dove però ha molta influenza il movimento entrante od uscente dell'acqua di mare con la marea dato il basso fondale ivi presente. In questo caso, poi è evidente che l'effetto dell'acqua calda proveniente dallo scarico della centrale è più diluito ed influenza anche le condizioni verso sponda destra, rispetto alla situazione attuale (nodo spia 5863).

Il profilo medio di temperatura risultante per la sezione di foce, ottenuto mediando i valori di temperatura nel tempo, è riportato in fig. 4.21; si osserva ancora una volta come in prossimità della sponda sinistra siano preponderanti gli effetti dovuti all'acqua molto fredda proveniente dal Timavo, mentre nel resto della sezione il valore medio di temperatura si attesta intorno ai 24.6 °C. Ciò significa, quindi, che la temperatura alla foce nell'assetto a ciclo combinato risulta mediamente inferiore di circa 1 °C a quella che si verifica nell'assetto attuale a parità di condizioni.

Nelle figure dalla fig. 4.21 alla fig. 4.27 sono riportate le distribuzioni del livello del sistema in funzione della marea. Si vede sempre l'effetto di pompaggio della marea stessa, con un effetto ridotto in corrispondenza dei massimi e dei minimi anomali che si alternano ai minimi ed ai massimi regolari. Di fatto, l'andamento è pressoché identico a quello già descritto nel precedente paragrafo 4.2, in quanto le mutate condizioni di scarico della centrale in assetto a ciclo combinato non alterano l'effetto della forzante di marea.

Nelle figure dalla fig. 4.28 alla fig. 4.34, infine, sono riportati gli andamenti della distribuzione di temperatura nelle stesse condizioni già analizzate nell'assetto attuale. Si nota come, sempre nella approssimazione del modello 2D, in contributo dovuto allo scarico della centrale sia ben marcato fino alla confluenza del Timavo, dove l'arrivo di una quantità consistente di acqua fredda costringe il pennacchio caldo a diluirsi e ad assottigliarsi, con il risultato di avere una distribuzione di temperatura alla foce con valori molto inferiori; si nota altresì come l'estensione del pennacchio caldo proveniente dallo scarico della centrale sia meno marcato, soprattutto in condizioni di marea calante, rispetto a quanto emerso dalle simulazioni in assetto attuale.

Da quanto sopra riportato, si può quindi concludere che le condizioni di scarico previste per la centrale trasformata in assetto combinato portano ad una riduzione della temperatura media alla foce e ad una minore estensione del pennacchio caldo nella zona del canale collettore rispetto a quanto si riscontra nelle condizioni attuali di esercizio.

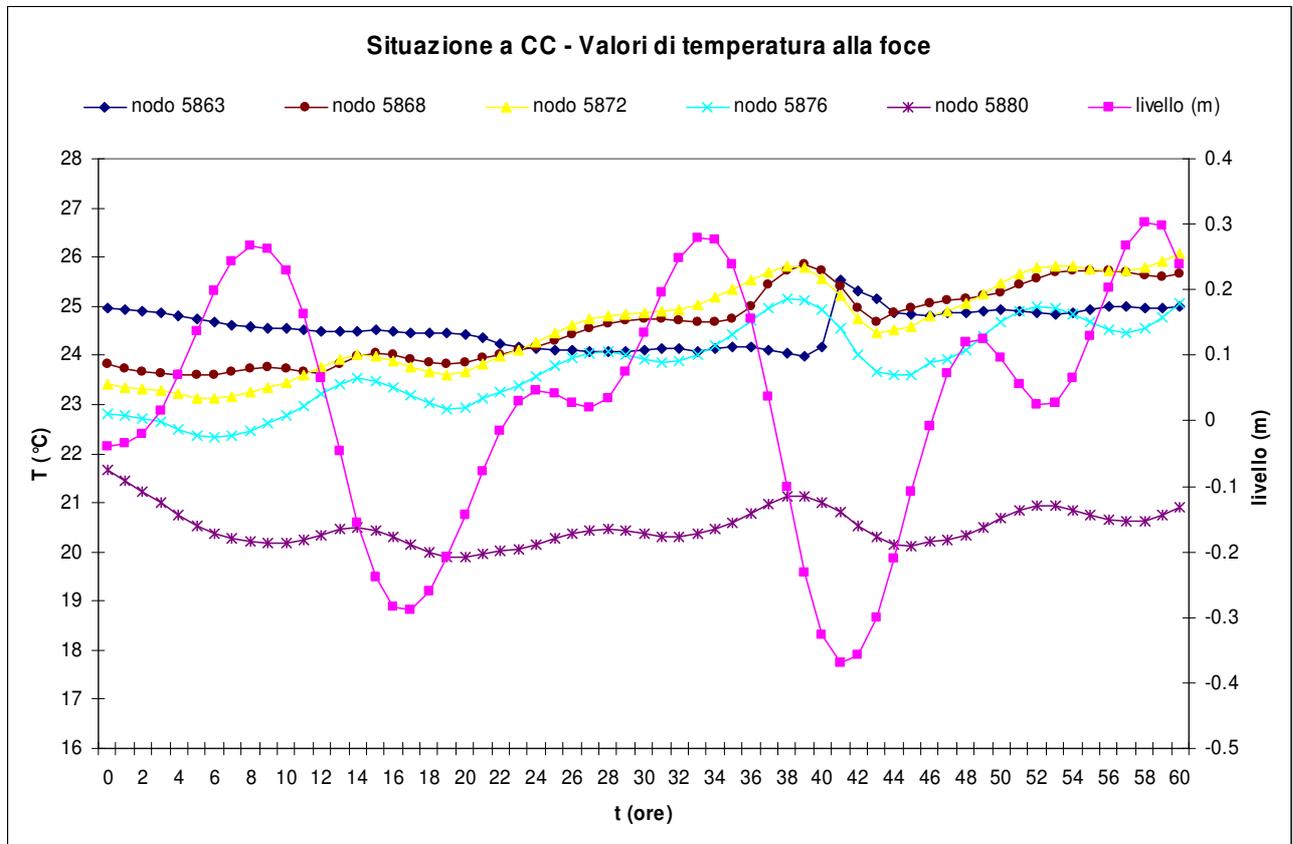


fig. 4.19 – Situazione a ciclo combinato. Andamento dei valori di temperatura nei nodi spia alla sezione di foce

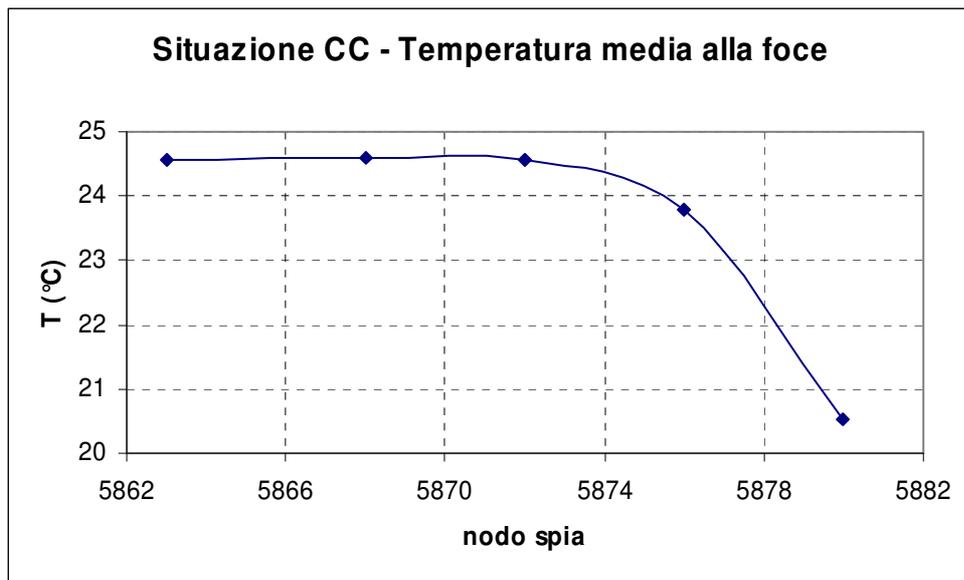


fig. 4.20 – Situazione a ciclo combinato. Distribuzione della temperatura media alla foce

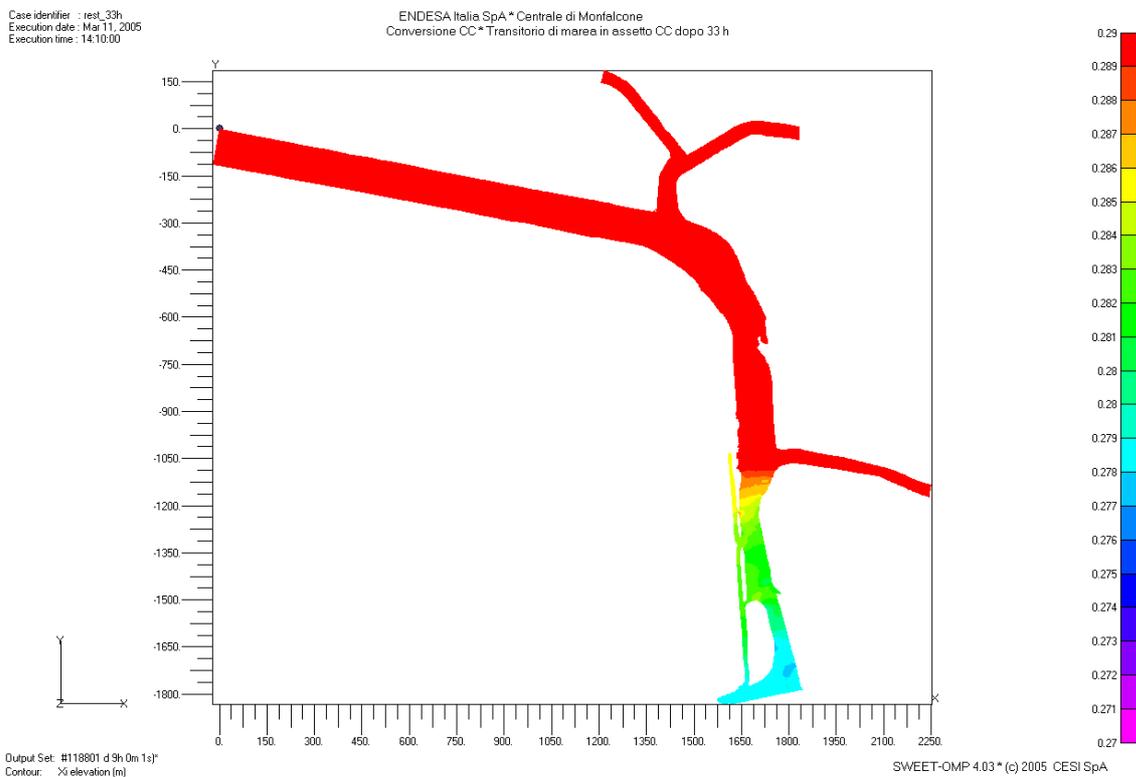
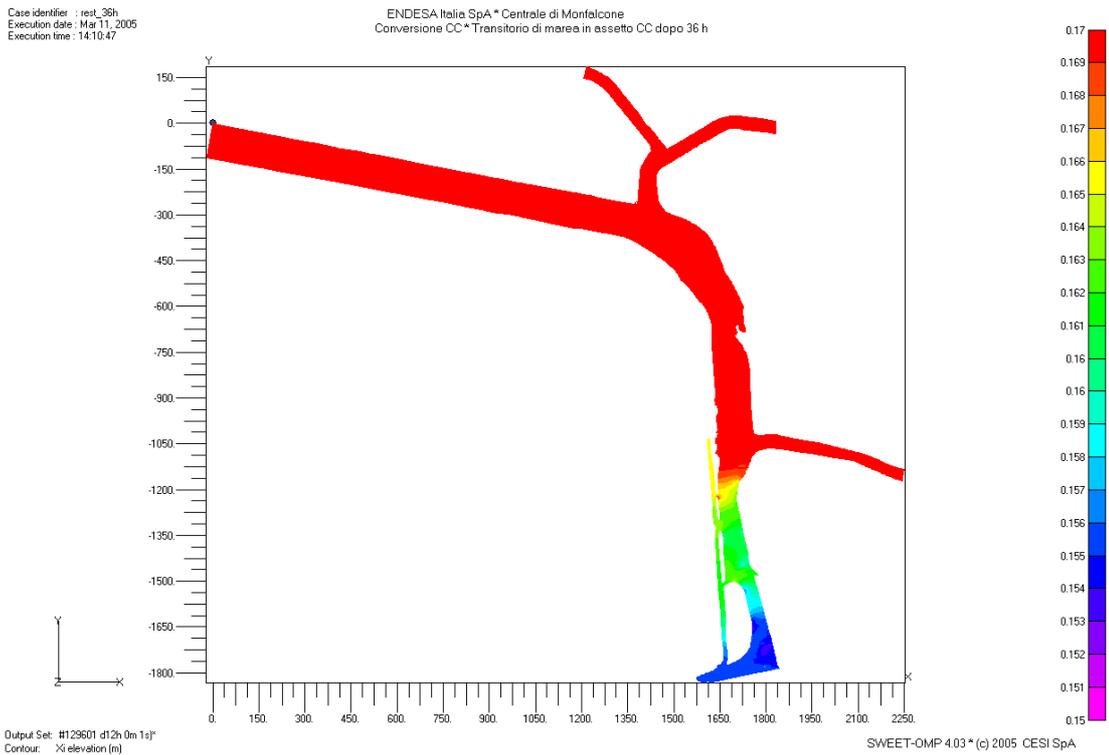
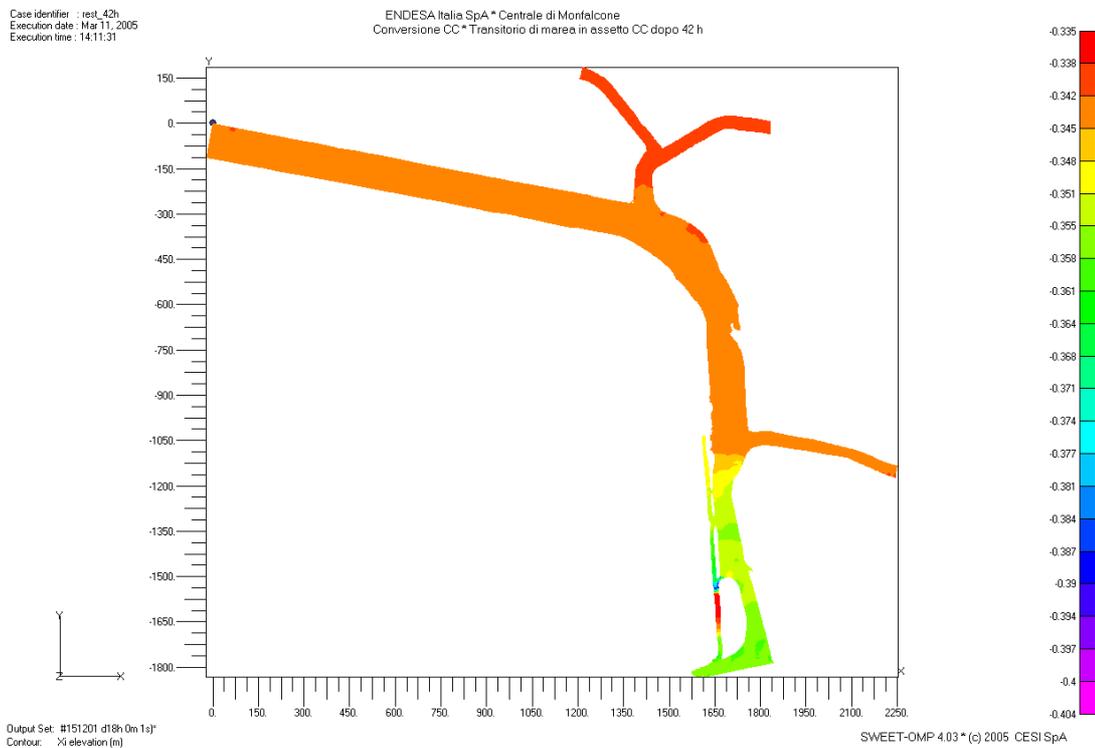


fig. 4.21 – Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di marea)



**fig. 4.22 - Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente)**



**fig. 4.23 - Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea)**

Case identifier : rest\_45h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:12:05

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC\* Transitorio di marea in assetto CC dopo 45 h

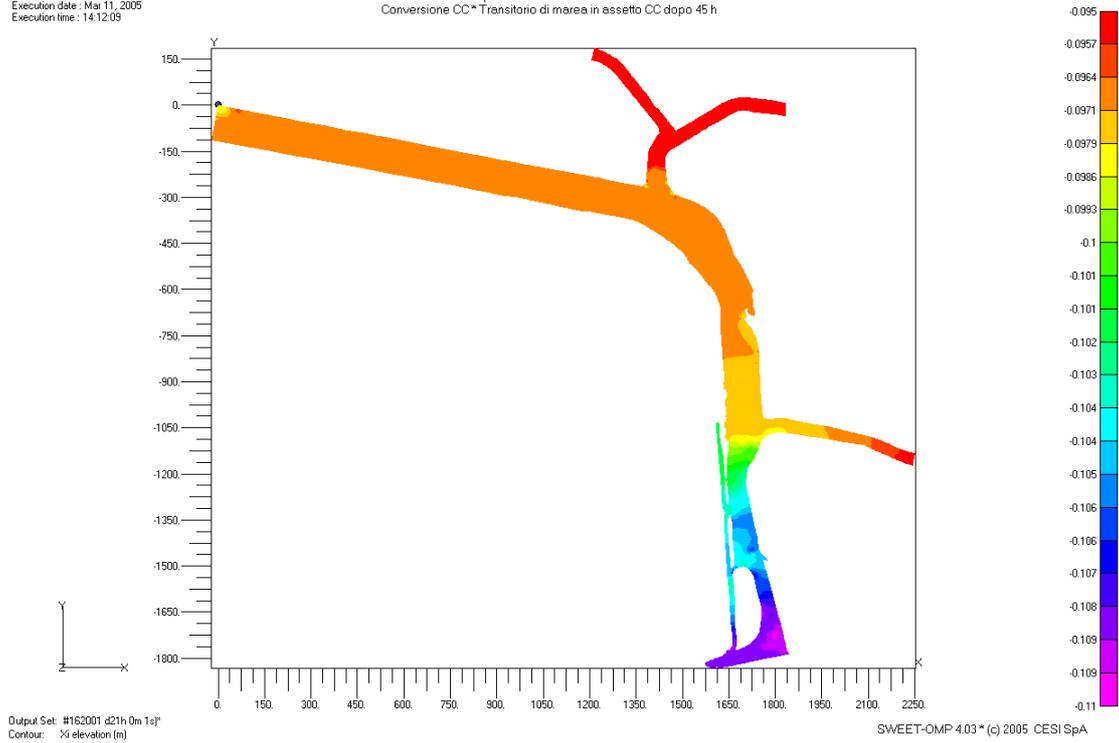
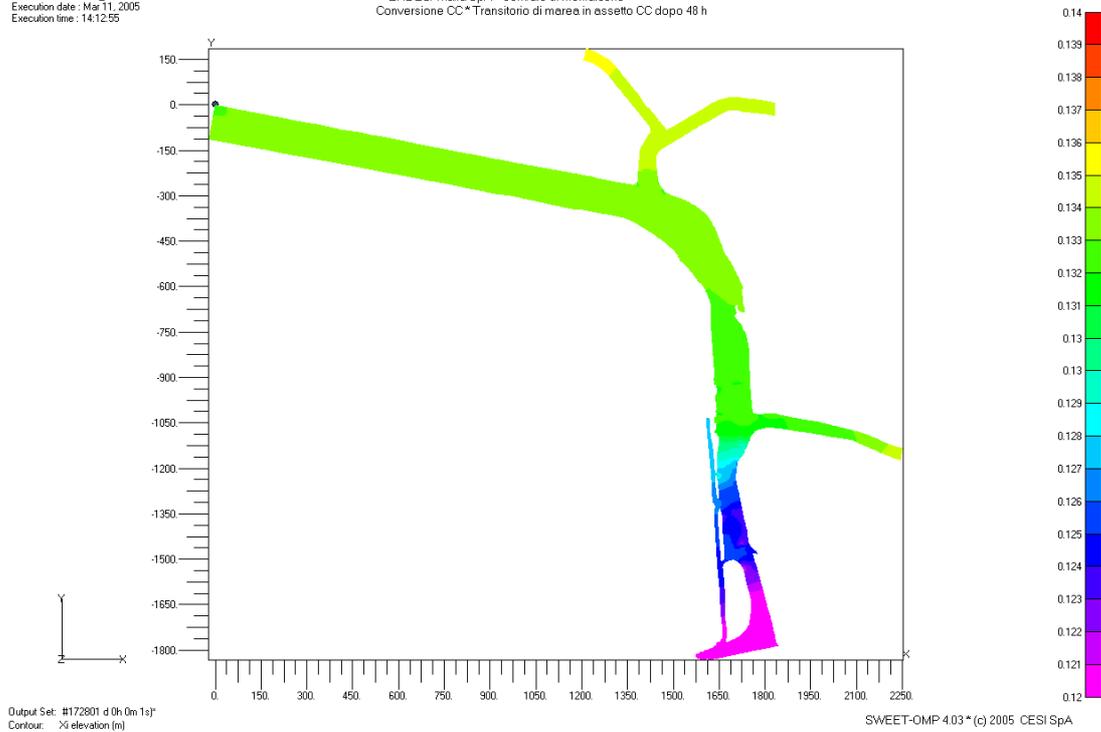


fig. 4.24 - Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con

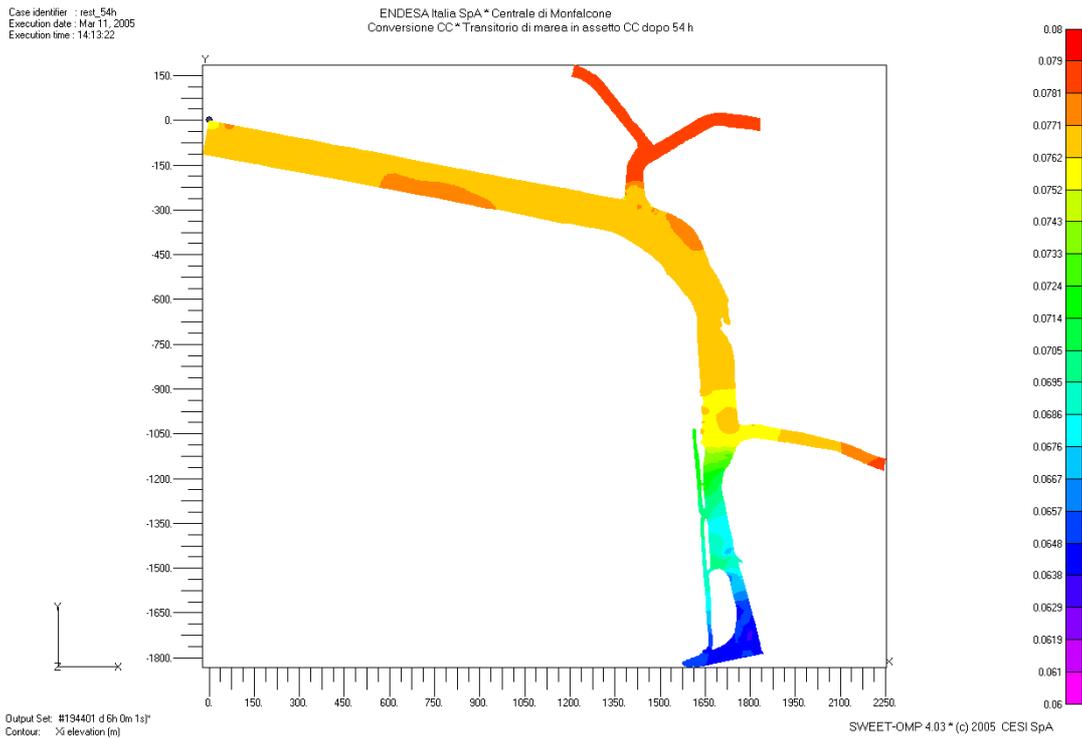
Case identifier : rest\_48h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:12:55

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC\* Transitorio di marea in assetto CC dopo 48 h

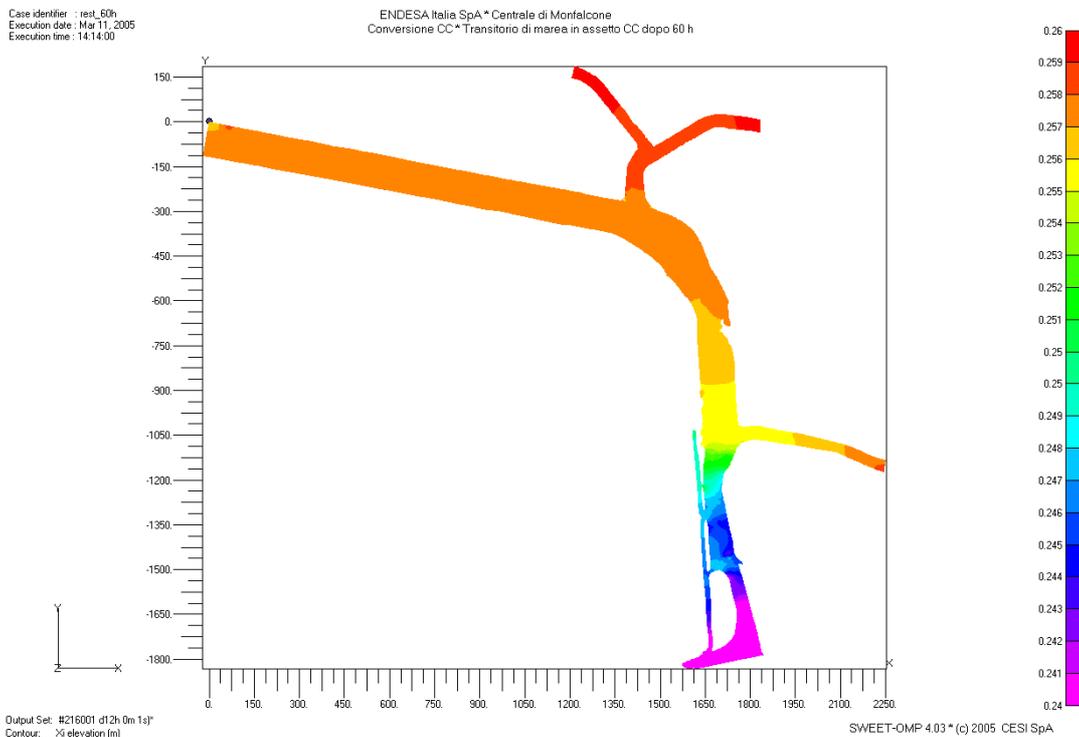


marea entrante)

fig. 4.25 –Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea)



**fig. 4.26 – Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea)**



**fig. 4.27 – Situazione a ciclo combinato. Livello dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea)**

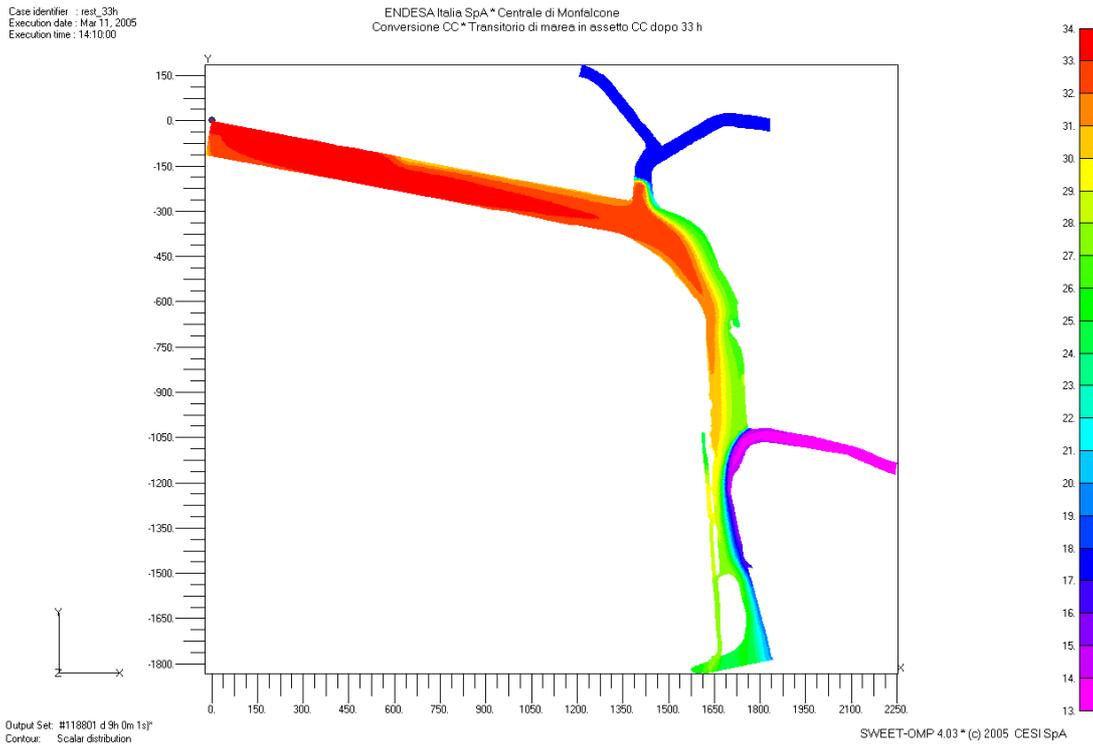
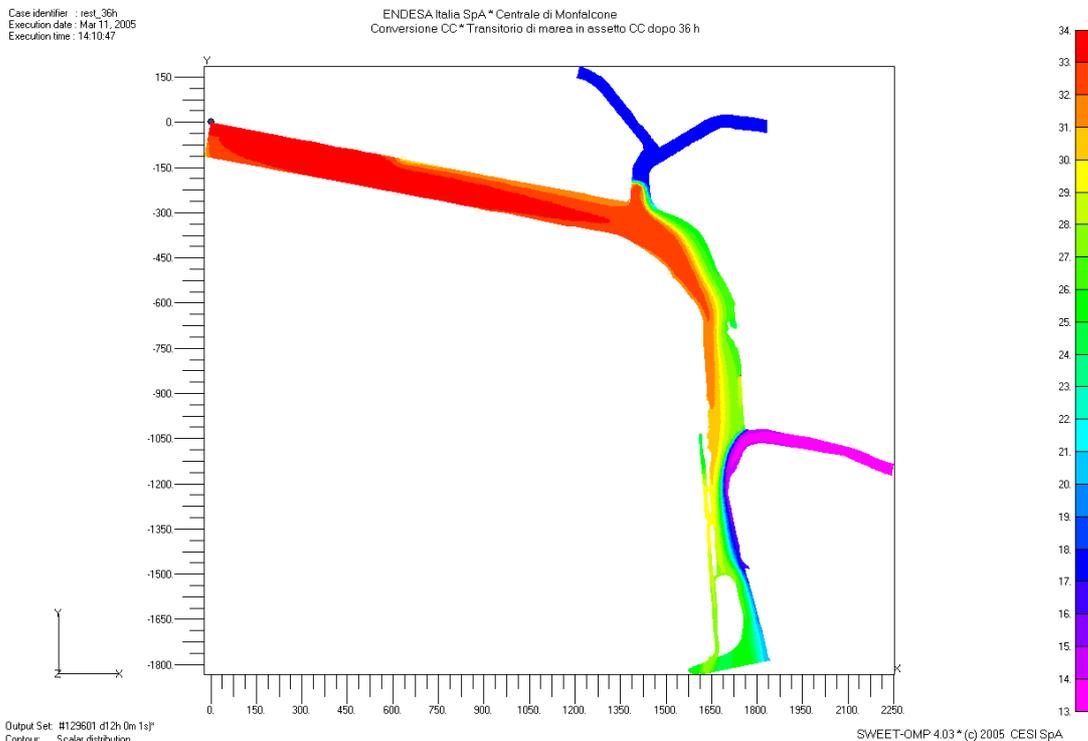
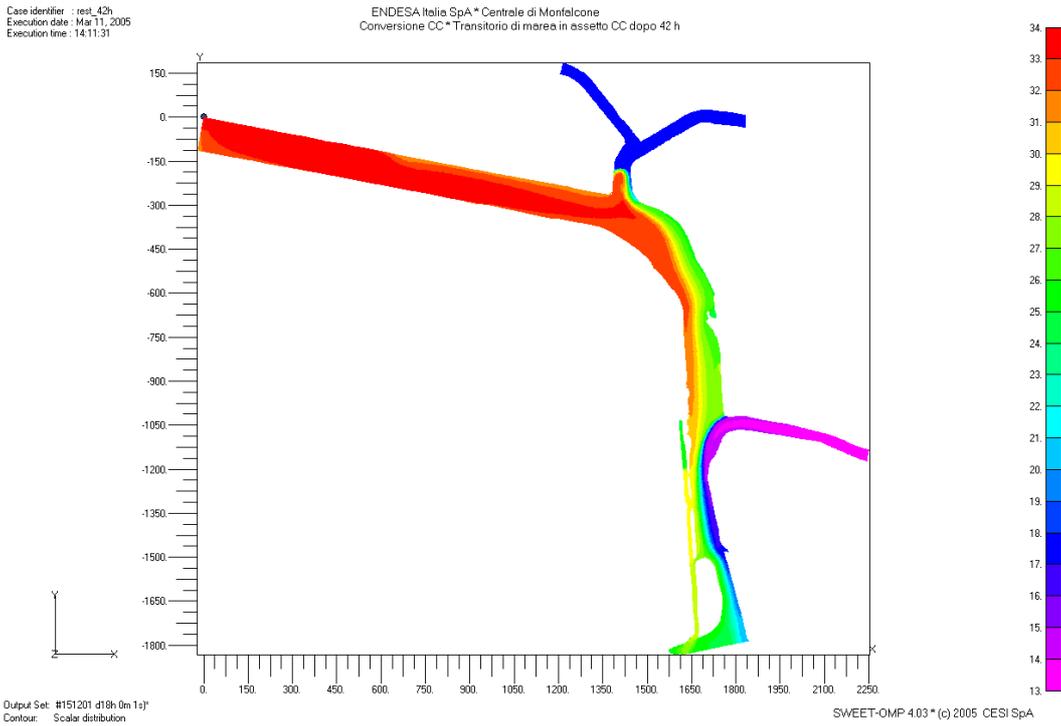


fig. 4.28 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 33 ore di simulazione (primo massimo di

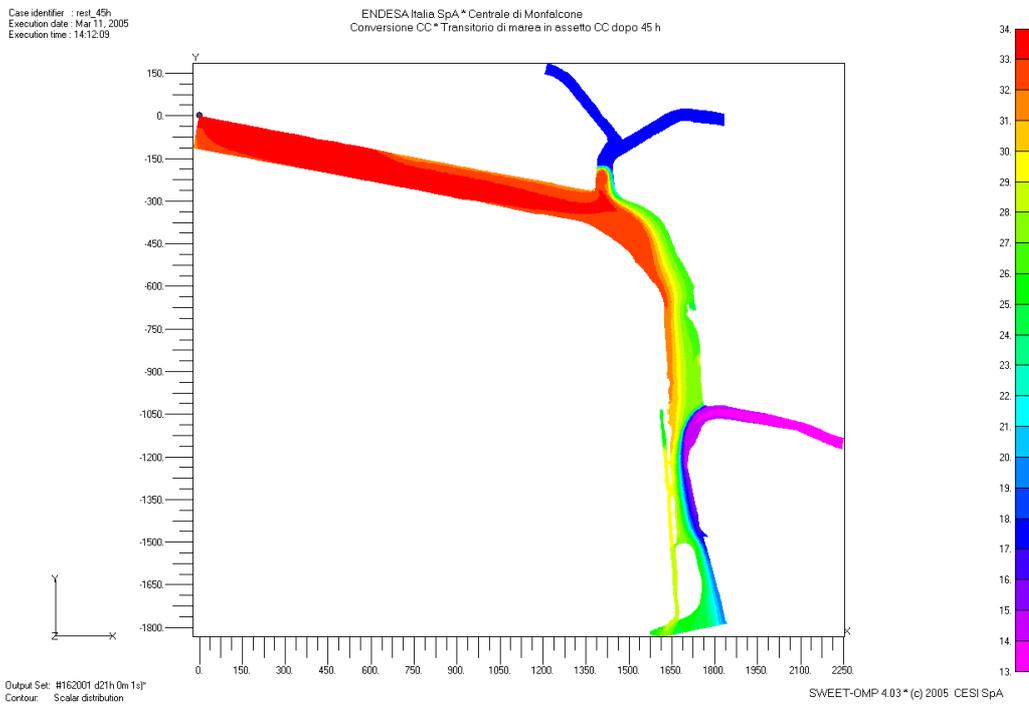


marea)

fig. 4.29 - Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 36 ore di simulazione (livello medio mare con marea uscente)



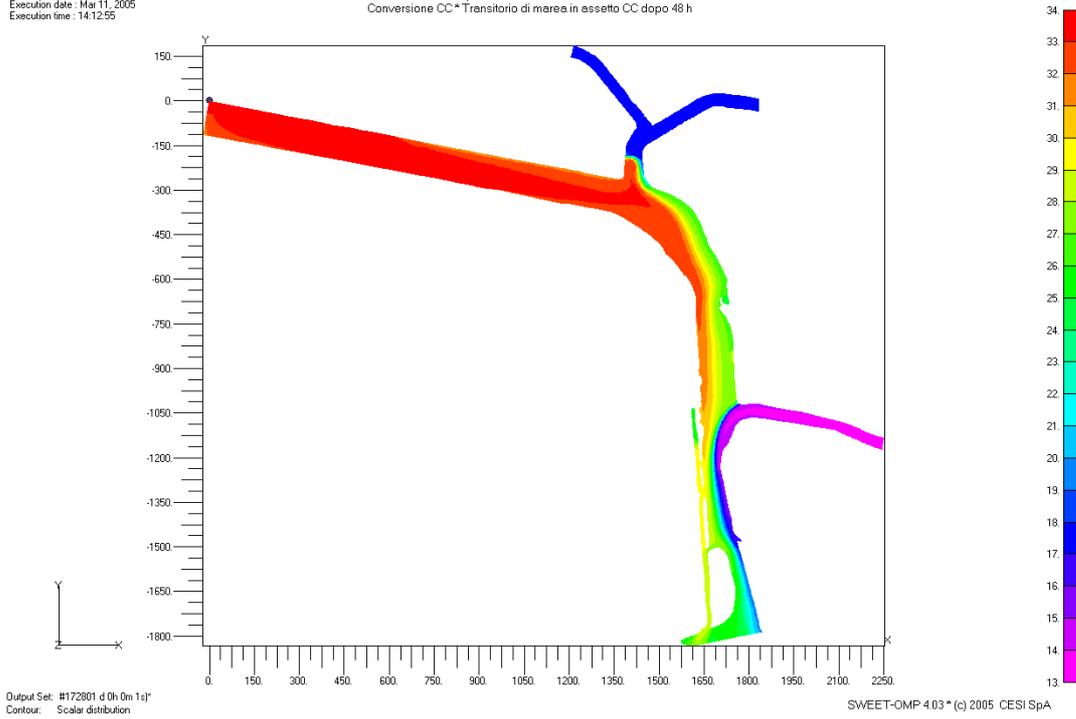
**fig. 4.30 - Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 42 ore di simulazione (primo minimo di marea)**



**fig. 4.31 - Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 45 ore di simulazione (livello medio mare con marea entrante)**

Case identifier : rest\_48h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:12:55

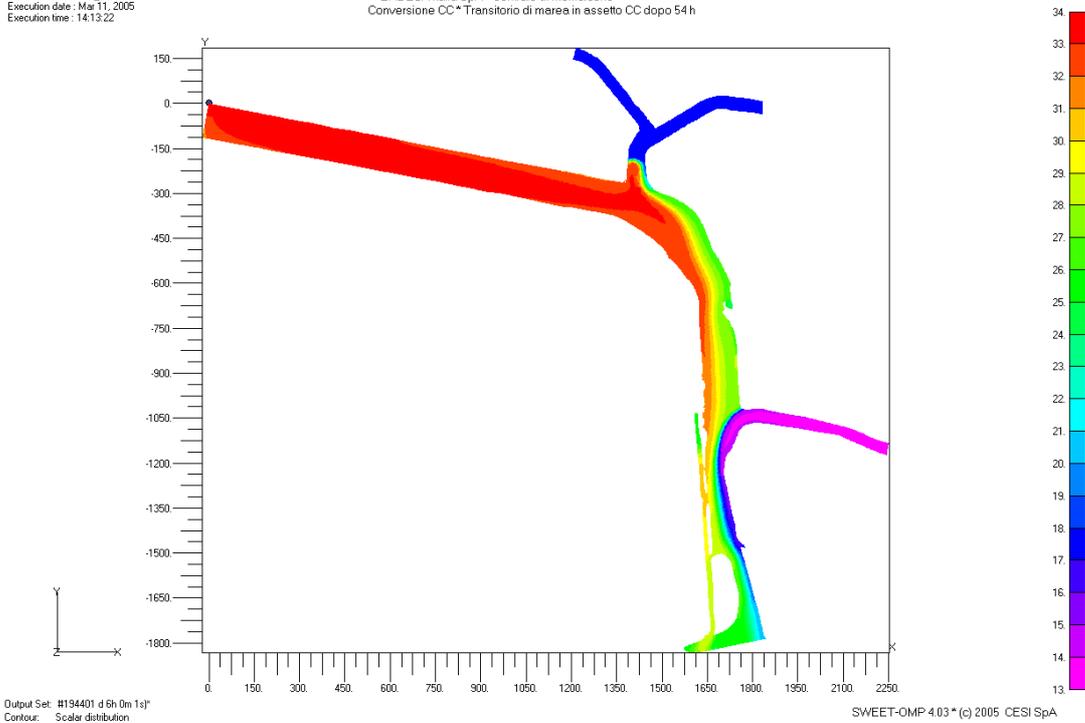
ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto CC dopo 48 h



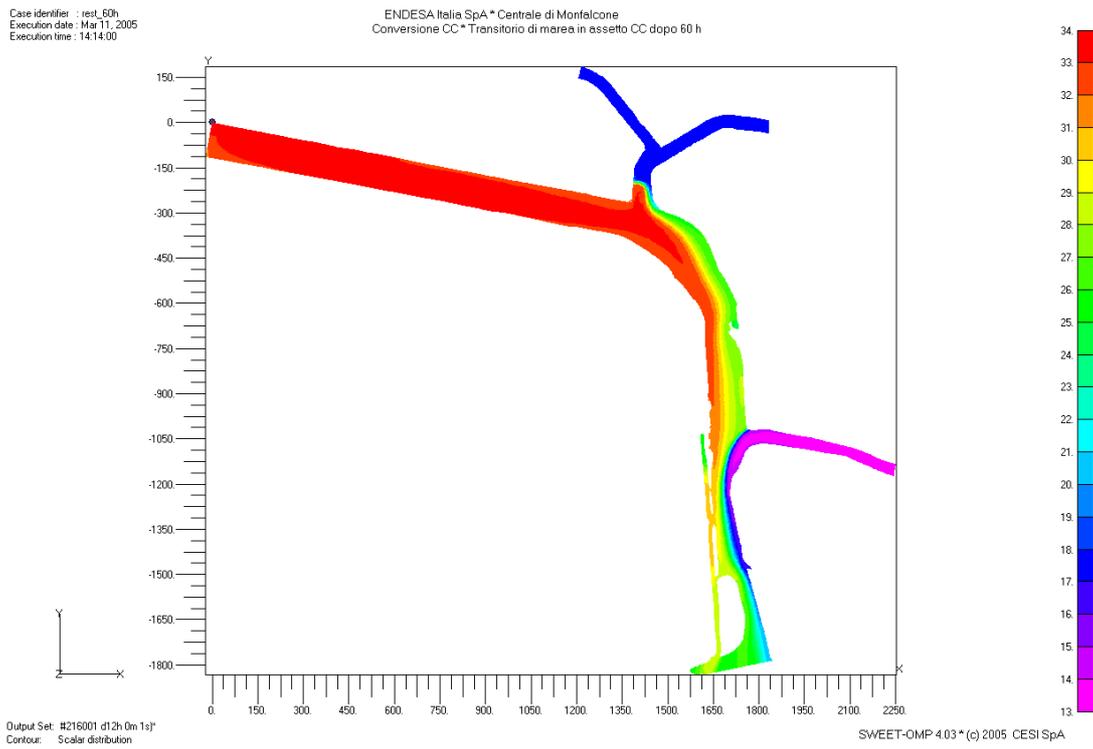
**fig. 4.32 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 48 ore di simulazione (secondo massimo di marea)**

Case identifier : rest\_54h  
 Execution date : Mar 11, 2005  
 Execution time : 14:13:22

ENDESA Italia SpA \* Centrale di Montefalcone  
 Conversione CC \* Transitorio di marea in assetto CC dopo 54 h



**fig. 4.33 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 54 ore di simulazione (secondo minimo di marea)**



**fig. 4.34 – Situazione a ciclo combinato. Temperatura dopo 60 ore di simulazione (terzo massimo di marea)**

## 5 CONCLUSIONI

La realizzazione di un modello bidimensionale di simulazione per l'intero bacino del Lisert-Timavo, in grado di simulare i fenomeni che si riscontrano nel comportamento idrodinamico dei corpi idrici ad esso interessati, ha consentito di valutare l'impatto della trasformazione a cicli combinati della centrale di Monfalcone sulla dispersione termica delle acque di raffreddamento nell'intero bacino fino al mare.

Gli effetti dovuti ad apporti idrici di natura e parametri fisici assai diversi e della marea sono stati tenuti in debita considerazione giungendo a definire, per tutto il dominio di interesse, il campo di temperatura sia per le condizioni di scarico presenti nell'assetto attuale di centrale, sia per quelle derivanti dalla trasformazione a ciclo combinato della sezione 4 e dismissione della sezione 3.

La diminuzione della quantità di calore complessivamente scaricato porta ad affermare che, specialmente in condizioni in cui non si presentano forti stratificazioni od in cui la dispersione termica risulta più efficiente, quali quelle invernali, la trasformazione comporta un miglioramento netto delle condizioni di dispersione termica stessa.

Da precedenti studi è emerso che esistono condizioni, tipicamente estive, in cui l'acqua di raffreddamento scaricata dalla centrale si stratifica al di sotto della superficie del corpo idrico ricevente, perdendo il contributo al suo raffreddamento dato dallo scambio termico con l'atmosfera, con una diluizione legata esclusivamente allo scambio con gli strati circostanti più freddi. Per tali ragioni è stata condotta una simulazione numerica con il modello bidimensionale sopra citato, nelle condizioni corrispondenti all'esercizio a pieno carico della centrale, in entrambi gli assetti, presente e futuro allo scopo di verificare l'effetto dovuto al ridotto calore scaricato. A tale proposito è opportuno ricordare che per tutte le simulazioni relative alla condizione futura a ciclo combinato si è fatto ricorso, in mancanza di dati sperimentali, a bilanci termici di progetto (sia per il contributo del nuovo gruppo che per i gruppi 1 e 2 attuali). Ciò comporta una sovrastima della potenza termica scaricata e del relativo sovrizzo termico rispetto alla reale condizione di esercizio, che si traduce in una condizione comunque conservativa ai fini dello studio in oggetto.

Dalle risultanze del calcolo è emerso che le condizioni di scarico in assetto a ciclo combinato risultano migliorative rispetto a quelle attualmente esercite, con una riduzione di circa 1 °C della temperatura media dello strato caldo in corrispondenza della foce.