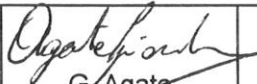
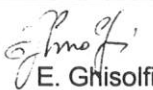
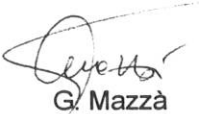




**CENTRALE DI GENOVA**  
**STUDIO DELLA DIFFUSIONE TERMICA IN MARE DELLE ACQUE**  
**DI RAFFREDDAMENTO: TARATURA DEL MODELLO MATEMATICO**

		 G. Agate			
<b>1</b>	23 - 09 - 1997	 E. Ghisolfi	 G. Mazzà	 G. Mazzà	 G. Giuseppetti
<b>0</b>	15 - 04 - 1997				
Rev .N.	Data	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato

Aprile 1997  
 Rel. 5370

**CENTRALE DI GENOVA**  
**STUDIO DELLA DIFFUSIONE TERMICA IN MARE DELLE ACQUE DI**  
**RAFFREDDAMENTO: TARATURA DEL MODELLO MATEMATICO**  
**GENOVA POWER PLANT**  
**STUDY OF THERMAL DIFFUSION OF COOLING WATER**  
**IN THE SEA: MODEL CALIBRATION**

## SOMMARIO

In questa relazione sono riportati i risultati dello studio effettuato dal Centro di Ricerca Idraulica e Strutturale di Milano (CRIS) dell'ENEL per calibrare i parametri ambientali del modello matematico della zona di mare antistante la Centrale di Genova. Questo lavoro si inserisce nel contesto di uno studio generale teso a valutare le alterazioni termiche indotte in mare dalle acque di raffreddamento emesse dalla nuova bocca di efflusso superficiale che verrà realizzata in conseguenza del prolungamento del canale di scarico sino alla testa del pontile ENEL.

L'obiettivo del presente studio era di riprodurre una situazione reale documentata attraverso le misure di temperatura che sono state effettuate sul pennacchio prodotto dallo scarico attualmente in opera. Per riprodurre questa situazione è stato predisposto un modello matematico implementato con l'ausilio del codice di calcolo *TRIMDI*, e sono state effettuate alcune simulazioni nelle quali si sono variati i parametri che simulano gli effetti delle condizioni meteomarine.

## INDICE

1. INTRODUZIONE-----	2
2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO E DATI GEOMETRICI-----	2
3. ANALISI SVOLTE -----	4
4. CONDIZIONI AL CONTORNO E INIZIALI-----	7
5 SINTESI DEI RISULTATI -----	8
6. CONCLUSIONI-----	11
7. CASO AGGIUNTIVO -----	13
A. CARATTERISTICHE DEL CODICE TRIMDI -----	15
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI-----	18
LISTA DEI GRAFICI-----	21
LISTA DELLE FIGURE-----	32

PAROLE CHIAVE: scarichi termici, centrali termoelettriche, ambiente idrico.  
CLASSIFICA : 61/J8, 53/J7

## 1. INTRODUZIONE

Il Centro di Ricerca Idraulica e Strutturale della Direzione Studi e Ricerche dell'ENEL è stato incaricato dall'ENEL Direzione della Produzione e Trasmissione, sede distaccata di Torino, con lettera dell'8 novembre 1996 N° 9614142, di effettuare degli studi per valutare le alterazioni termiche prodotte in mare dallo scarico delle acque di raffreddamento della Centrale Termoelettrica situata nell'area portuale di Genova.

Lo scarico della Centrale Termoelettrica è attualmente ubicato nella calata di attracco delle navi carboniere (vedi figura 1). Nell'ambito della riorganizzazione complessiva, cui verrà sottoposta la centrale per essere attrezzata alla combustione dei rifiuti solidi urbani, tale calata verrà interrata e lo scarico sarà posizionato alla testa del pontile ENEL, in prossimità del bacino. Si è reso quindi necessario valutare il potere di diluizione dello scarico nella nuova posizione per verificare che la perturbazione termica rispetti le norme antinquinamento e che eventuali ricircoli di acqua dallo scarico alla presa restino contenuti entro limiti non pregiudizievoli per il buon funzionamento dell'impianto.

In questa relazione sono riportati i risultati di quella parte dello studio condotto col fine di tarare il modello matematico rispetto ad una situazione documentata attraverso le misure di temperatura. Il processo di taratura è consistito nella ricerca dei parametri ambientali (corrente marina, scambio termico con l'atmosfera, ecc.) più idonei a simulare le misure di temperatura del pennacchio termico effettuate in situ. Con questi calcoli si è anche valutata l'alterazione termica prodotta dallo scarico esistente e si sono potute trarre delle valutazioni su come avviene attualmente la dispersione del calore immesso in mare.

Riguardo all'impatto termico prodotto dallo scarico, questo è stato valutato sulla base delle prescrizioni imposte dalla legge 319 del 10/5/76 "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento" [1] (Legge Merli) e delle sue successive modifiche e integrazioni [2, 3]. Si è anche valutata l'entità di eventuali situazioni di ricircolo di acqua calda dallo scarico alla presa. Lo studio è stato condotto effettuando delle simulazioni numeriche realizzate per mezzo di un modello matematico tridimensionale ai volumi finiti implementato con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI.

## 2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO E DATI GEOMETRICI

La centrale termoelettrica di Genova è attualmente composta da tre gruppi dei quali uno da 155 MW di potenza elettrica e due da 70 MW. L'opera di scarico è attualmente ubicata nella calata antistante l'edificio della centrale anche utilizzata per l'attracco delle navi carboniere, mentre la presa si trova nella calata attigua ad una distanza dallo scarico di circa 200 m. Vedi figura 1.

Nel presente studio si sono effettuate delle simulazioni tese a ricostruire una situazione per cui sono disponibili le misure effettuate in campagna. A tale scopo sono state realizzate alcune simulazioni numeriche, anche in sequenza tra loro, variando opportunamente i parametri ambientali.

Lo scarico, nella versione attuale, ha una sezione di  $23.1 \text{ m}^2$  (base  $5.25$  e altezza  $4.4$  m) per una portata di  $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$  cui corrisponde una velocità di efflusso di  $0.623 \text{ m/s}$ . Per quanto riguarda l'opera di presa, questa è di tipo sommerso con una sezione pari a  $54 \text{ m}^2$  (base  $9 \text{ m}$  e altezza  $6 \text{ m}$ ), posta alla profondità da  $1.0$  a  $7.0 \text{ m}$ . La velocità di aspirazione è di  $0.267 \text{ m/s}$  (Vedi tabella 1).

	Tutti i Casi	
Salto termico imposto allo scarico	8.0	°C
Portata totale scaricata	14.4	m <sup>3</sup> /s
Velocità imposta allo scarico	0.623	m/s
Area dello scarico	23.1 (5.25x4.4)	m <sup>2</sup>
Profondità scarico	0.60 ÷ 5.0	m
Velocità di aspirazione alla presa	0.267	m/s
Area della presa	54.0 (9.0x6.0)	m <sup>2</sup>
Profondità presa	1 ÷ 7	m

Tabella 1 - Dati caratteristici dell'impianto.

Come prevede il codice *TRIMDI* (si veda al proposito l'appendice A), il dominio di calcolo è stato discretizzato in strati orizzontali sovrapposti nella direzione verticale. In questo modello la discretizzazione verticale è stata realizzata con quattordici strati sino alla profondità complessiva di 22 m. La tabella 2 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; indica inoltre dove sono situati lo scarico e la presa.

<b>k</b>	<b><math>\Delta Z</math> (m)</b>	<b>Z (m)</b>	<b><math>Z_m</math> (m)</b>	
		0.00		
14	0.25	-0.25	-0.125	
13	0.35	-0.60	-0.425	
12	0.40	-1.00	-0.8	scarico
11	1.00	-2.00	-1.5	scarico e presa
10	1.50	-3.50	-2.75	scarico e presa
9	1.50	-5.00	-4.25	scarico e presa
8	2.00	-7.00	-6.0	presa
7	1.50	-8.50	-7.75	
6	1.50	-10.00	-9.25	
5	2.00	-12.00	-11.0	
4	2.00	-14.00	-13.0	
3	2.00	-16.00	-15.0	
2	2.00	-18.00	-17.0	
1	4.00	-22.00	-20.0	

Tabella 2 - Caratteristiche degli strati verticali del modello.



La dimensione dei vari strati è stata determinata considerando l'altezza complessiva dello scarico, della presa e della batimetria della zona e facendo in modo che gli strati superficiali avessero uno spessore minore, allo scopo di meglio rappresentare i maggiori gradienti termici presenti in superficie.

Per quanto riguarda la discretizzazione del dominio di calcolo nel piano orizzontale (piano x-y) la dimensione dell'area di interesse è di circa  $8000 \times 4400 \text{ m}^2$  ed è stata discretizzata con  $226 \times 109$  celle. Si vedano al riguardo le figure 2 e 3.

Lo scarico è stato discretizzato, nel piano, con due celle, mentre per quanto riguarda la presa, che preleva acqua dalla calata di mare attigua alla Centrale, è stata discretizzata nel piano con una cella.

Le zone in prossimità degli scarichi e delle prese, sono state discretizzate con celle di piccole dimensioni mentre, via via che ci si allontana da queste, si sono utilizzate celle di dimensioni gradualmente maggiori. Questo per meglio rappresentare la geometria degli scarichi e delle prese e per ottenere una valutazione più accurata dei fenomeni fisici che in queste zone hanno luogo.

Il modello matematico che ne è risultato presenta una discretizzazione molto raffinata ed il reticolo risulta composto da circa 275.000 punti di calcolo per un totale di circa 1.300.000 incognite.

Le figure 3 e 4 mostrano le viste in pianta del reticolo di discretizzazione e delle batimetrie, nonché un particolare della zona prossima allo scarico.

### 3. ANALISI SVOLTE

Al fine di verificare l'accuratezza delle simulazioni effettuate col modello matematico, la Centrale di Genova ha fornito i dati relativi alle misure di temperatura rilevate il giorno 24 luglio 1996. Queste misure sono state effettuate secondo la metodologia stabilita dall'IRSA, prevista dal Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 Aprile 1996 [3], misurando i valori di temperatura alle profondità di 0.1, 1.5 e 3 m nelle stazioni poste sull'arco a 1000 m. Partendo da tali valori si è ricavato, successivamente, l'incremento termico secondo lo schema previsto dalla metodologia stessa. In figura 1 è riportata la planimetria della zona antistante lo scarico con indicate le stazioni di misura, mentre nei grafici 1 e 2 sono riportati i valori delle misure effettuate il 24 Luglio 1996 rispettivamente al mattino (dalle 10.00 alle 11.00) ed al pomeriggio (dalle 13.30 alle 14.30); in questi grafici sono anche riportati i valori degli incrementi termici calcolati secondo la metodologia IRSA. In quell'occasione, come si può ricavare dalla documentazione [4] fornita, i venti presenti durante le prove erano di 3 m/s in mattinata e di 5 m/s nel pomeriggio, in entrambi i casi con direzione Sud-Est.

Al fine di riprodurre i dati ottenuti dalle misure in situ si sono realizzati 9 Casi che differiscono tra loro per i dati caratteristici ambientali utilizzati per ricostruire il caso reale. La tabella 3 riporta i dati dei parametri ambientali utilizzati in questi 9 Casi. Ciascun caso è distinto da una combinazione di numeri fino ad un massimo di quattro. Il primo numero rispetta un ordine complessivo che tiene conto anche dei casi descritti nelle altre relazioni sullo scarico della centrale. In questa relazione il primo numero indica un particolare valore del coefficiente di scambio termico con l'atmosfera, il secondo indica il valore della corrente ambientale, il terzo indica la velocità e la direzione del vento mentre il quarto indica il valore della viscosità verticale.

Caso	Temp. Amb. [°C]	Ks [W/m <sup>2</sup> °C]	Velo C.A. [m/s]	Vel. Vento [m/s]	Visc. Vr. m <sup>2</sup> /s
Caso 4	25	50	0.02	0.0	0.002
Caso 5	25	90	0.02	0.0	0.002
Caso 5_1	25	90	0.02*	0.0	0.002
Caso 5_2	25	90	0.05	0.0	0.002
Caso 5_3	25	90	0.08	0.0	0.002
Caso 5_0_2	25	90	0.02	5.0 ESE	0.002
Caso 5_0_2_1	25	90	0.02	5.0 ESE	0.0002
Caso 5_0_1_1	25	90	0.02	5.0 E	0.0002
Caso 5_2_2	25	90	0.05	5.0 ESE	0.002

\* Il valore di velocità assegnato alla corrente marina ambiente è pari a 0.05 m/s per lo strato superficiale e 0.02 m/s per quelli sottostanti

Tabella 3 - Elenco casi analizzati e valori caratteristici ambientali.

Nella tabella si sono indicate le seguenti grandezze con le notazioni abbreviate:

Temp. Amb.	temperatura ambiente ovvero temperatura a cui tende il corpo d'acqua in assenza di perturbazioni termiche
Ks	Coefficiente di scambio termico con l'atmosfera. Rappresenta la potenza dispersa dal pennacchio termico verso l'atmosfera per ogni grado di sovrizzo termico e per ogni metro quadrato di superficie.
Velo C.A.	Velocità della corrente marina presente nell'ambiente per tutto lo svolgimento delle simulazioni. Il valore della corrente è imposto su tutto il contorno di ingresso.
Vel. Vento	Velocità del vento presente durante le simulazioni. La presenza del vento origina uno sforzo tangenziale alla superficie libera del corpo d'acqua producendone così, una variazione superficiale di velocità. La presenza di tale grandezza non modifica la potenza scambiata verso l'atmosfera che è determinata dal coefficiente Ks.
Visc. Vr.	Valore ambientale della viscosità di riferimento verticale; 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.

Riguardo ai valori dello scambio termico con l'atmosfera si sono resi disponibili, da studi precedenti, delle misure di scambio termico effettuate in periodo estivo presso la rada di La Spezia [5]. Secondo queste misure la retta interpolante, che definisce il coefficiente di scambio Ks, risulta espressa dalla seguente formula:

$$Ks = 41 + 13.2 Vv \quad 1)$$

(dove si è indicato con Vv la velocità del vento). Per una tipica giornata estiva, caratterizzata da regime di brezza, è stato stimato che i valori di Ks variano mediamente tra 50 e 90 W/m<sup>2</sup>°C. Si può ritenere che, data la vicinanza dei luoghi e la loro affinità geografica, tali valori siano validi anche per la zona portuale di Genova. Una conferma indiretta di questa assunzione deriva dalla ventosità del sito di Genova. Dalla carta delle rilevazioni effettuate dal personale della Centrale risulta infatti che la frequenza dei venti con valori inferiori a 0.5 m/s, corrispondenti secondo la 1) a Ks di 48 W/m<sup>2</sup>°C, è pari a 0.38% (vedi tabella 4).

Provenienza	< 0.5	0.5 - 2.0	2 - 6	6 - 12	> 12	> 0.5
Nord		3.56	12.52	18.05	2.22	
Nord-Ovest		0.41	1.20	0.08		
Ovest		0.41	1.20	0.08		
Sud-Ovest		1.10	3.86	0.29	0.06	
Sud		1.87	7.73	2.03	0.22	
Sud-Est		0.44	5.80	2.96	0.03	
Est		1.32	1.65	0.16		
Nord-Est		2.08	2.21	0.48	0.08	
variabile	0.38					26.11
TOTALE	0.38	11.25	35.35	24.13	2.61	26.11

Tabella 4 - Frequenza percentuale dei venti ripartita per intensità in m/s. Fonte C.T.E. Genova.

Nei Casi 4 e 5 si è simulata la dispersione del pennacchio termico in condizione estiva con temperatura ambiente di 25 °C. Entrambi questi Casi sono rappresentativi della distribuzione del pennacchio in condizioni ambientali "medie", ossia senza che le variabili ambientali, quali ad esempio il vento, formino la distribuzione del pennacchio. Lo scambio termico  $K_s$  è stato assunto pari a 50 W/m<sup>2</sup>°C per il Caso 4 e a 90 W/m<sup>2</sup>°C per il Caso 5. Il valore dello scambio termico con l'atmosfera utilizzato nel Caso 5 corrisponde, secondo la 1), al valore determinato da venti di entità simile a quelli presenti al momento dell'effettuazione delle misure in situ.

Dal confronto dei valori di temperatura misurati nelle stazioni poste lungo l'arco a 1000 m con quelle calcolate dal modello matematico, si osserva una differente distribuzione del pennacchio. Questo, infatti, risulta più omogeneamente distribuito nel caso calcolato dal modello matematico mentre, dalle misure in situ, si deduce che il pennacchio è spinto verso Ovest. Si osservino a questo proposito i valori delle temperature rilevate in situ (grafici 1 e 2) e calcolate (grafici 3 e 4).

Questa diversa distribuzione può essere causata da differenti valori delle correnti marine, non note al momento della campagna di misura, o dagli effetti prodotti dal vento. Per indagare queste situazioni sono stati realizzati i Casi 5\_1, 5\_2 e 5\_3 nei quali si è variato il valore della corrente marina in accordo con la tabella 3.

Per indagare invece gli effetti del vento si sono realizzati i Casi 5\_0\_2 e 5\_2\_2 rispettivamente con corrente ambiente di 0.02 m/s e 0.05 m/s, ed un valore della velocità del vento pari a 5 m/s con provenienza Est-Sud-Est.

Lo sforzo di taglio esercitato dal vento sulla superficie del mare è stato considerato secondo la seguente relazione:

$$\tau = \rho_a C Vv^2 \quad 2)$$

dove si è indicato con  $\tau$  lo sforzo tangenziale prodotto sulla superficie del mare, con  $\rho_a$  la densità dell'aria, con  $Vv$  la velocità del vento e con  $C$  una costante, che è funzione della velocità stessa del vento e che, per venti aventi l'intensità in questione, è pari a  $0.5 \cdot 10^{-3}$ .

Infine con i Casi 5\_0\_2\_1 e 5\_0\_1\_1 si è indagato l'effetto prodotto sul pennacchio da un diverso valore della viscosità di riferimento verticale. La viscosità verticale è un parametro che determina il miscelamento verticale del getto; minore è questo valore e inferiore sarà il miscelamento del getto in direzione verticale e minore sarà quindi il suo approfondimento: conseguentemente il getto avrà una maggiore galleggiabilità e potrà quindi cedere maggiore energia all'atmosfera.

Gli altri parametri fisici imposti in tutti i calcoli eseguiti sono quelli riportati in tabella 5.

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

Tabella 5 - Valori dei parametri fisici imposti nei modelli.

Per tutti i casi studiati si è utilizzata la versione del codice TRIMDI che tiene conto del ricircolo alla presa dell'acqua di scarico: l'energia termica contenuta nell'acqua prelevata in forma di sovrariscaldamento rispetto alla temperatura ambiente, viene automaticamente aggiunta all'energia termica rilasciata dallo scarico. Per quanto riguarda la descrizione del codice TRIMDI e la sua applicazione allo studio della dispersione termica si vedano i riferimenti bibliografici [6, 7, 8] e l'Appendice A.

Per tutti gli studi sono state effettuate delle post-analisi sui risultati ottenuti dalle elaborazioni che sono state realizzate con appositi codici di calcolo sviluppati ad hoc. Queste analisi sono servite a determinare il valore dei flussi termici smaltiti verso l'atmosfera, l'entità della circolazione d'acqua indotta dal funzionamento dello scarico nell'area portuale, nonché l'entità del ricircolo termico.

#### 4. CONDIZIONI AL CONTORNO E INIZIALI

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. I Casi 4 e 5 sono stati simulati partendo da una condizione iniziale di quiete (velocità nulla e temperatura del mare uguale alla temperatura ambiente) in tutte le celle del reticolo.

	Casi *	Caso 5_1	Caso 5_2	Caso 5_3
<i>Lato di ingresso della corrente costiera</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.02	0.02 / 0.05	0.05	0.08
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Temperatura acqua (T) [°C]		25		
<i>Lato di uscita della corrente costiera</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.022	0.022 / 0.06	0.055	0.089
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Temperatura acqua (T) [°C]		calcolata*		
<i>Lato di mare aperto</i>				
Gradiente normale di u [s <sup>-1</sup> ]		0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Gradiente normale di T [°C/m]		0		
<i>Lato della linea di costa</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Gradiente normale di T [°C/m]		0		
<i>Scarico</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.623		
Temperatura acqua (T) [°C]		33		
<i>Presa</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.267		
Gradiente normale di T [°C/m]		0		

\* Si assume che la temperatura dell'acqua raggiunga la temperatura ambiente alla distanza di 3000 m dal contorno del dominio

☆ Questa colonna contiene le condizioni al contorno dei Casi 4, 5, 5\_0\_2, 5\_0\_2\_1, 5\_0\_1\_1, 5\_2\_2

Tabella 6 - Sintesi delle condizioni al contorno imposte.



A partire da questa condizione si è simulato un primo transitorio della durata di 1 ora (tempo reale) nel quale si sono fatte variare, con legge lineare, la velocità sui contorni dai valori iniziali ai valori finali assegnati. In questa fase non è stata considerata l'equazione di bilancio dell'energia termica. Successivamente è stato imposto il sovrizzo termico di 8 °C allo scarico e il calcolo è stato effettuato considerando anche l'equazione di bilancio termico. Le condizioni al contorno assegnate nei vari casi sono riportate in tabella 6.

Per gli altri Casi si è assunta come condizione iniziale la situazione stazionaria ottenuta col Caso 5 dopo 20 giorni di simulazione al reale e si sono fatti proseguire i calcoli per ulteriori 10 giorni per il Caso 5\_0\_2, per ulteriori 6 giorni per i Casi 5\_2, 5\_3, 5\_0\_2\_1, 5\_0\_1\_1 e 5\_2\_2, e per ulteriori 2 giorni per il Caso 5\_1. Per quest'ultimo Caso è stato infatti subito evidente che il valore della corrente marina non avrebbe modificato il campo di temperatura e si è quindi interrotto il calcolo.

## 5 SINTESI DEI RISULTATI

I risultati ottenuti dallo studio sono rappresentati, in questa relazione, sotto forma di campi di velocità, di mappe di temperatura nel piano e nelle sezioni verticali in prossimità dello scarico e della presa. I campi di temperatura e di velocità riportati sono i più significativi e si riferiscono ai 7 strati superiori. Per i Casi 4 e 5 i risultati sono riportati rispettivamente nelle figure 5.1÷5.9 e 6.1÷6.9.

Per quanto riguarda i Casi 5\_1, 5\_2 e 5\_3 le figure corrispondenti sono le 7.1÷7.9, 8.1÷8.9 e 9.1÷9.9.

I risultati inerenti i Casi 5\_0\_2 e 5\_2\_2 sono raccolti nelle figure 10.1÷10.9 e 13.1÷13.9.

Infine le figure dei Casi 5\_0\_2\_1 e 5\_0\_1\_1 sono rispettivamente le 11.1÷11.9 e le 12.1÷12.9.

Dall'esame delle figure si possono osservare le seguenti particolarità:

- In tutti i casi esaminati si nota che l'isoterma a +3 °C rispetto alla temperatura ambiente raggiunge una distanza dallo scarico inferiore a 1000 m (le distanze massime raggiunte sullo strato superficiale sono riportate in tabella 7).
- la distribuzione del pennacchio non è molto sensibile alle correnti marine al largo (a tal proposito si confronti la figura 6.1, relativa al Caso 5, con la 7.1, 8.1 e 9.1 dei Casi 5\_1, 5\_2 e 5\_3).
- l'effetto del vento influenza sensibilmente la distribuzione del pennacchio come si può osservare nelle figure 10.1 e 13.1

n° caso	distanza (m)
4	950
5	650
5_1	650
5_2	600
5_3	600
5_0_2	550
5_0_2_1	500
5_0_1_1	500
5_2_2	550

Tabella 7 - Distanze raggiunte dalla linea isoterma a +3°C.

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle post-analisi sui risultati ottenuti dai calcoli per determinare i flussi termici e di massa attraverso i due bracci del bacino antistante lo scarico. Riguardo i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tabella 8. In tale tabella sono riportate le quote percentuali dei flussi termici verso i contorni e verso l'atmosfera. E' anche riportata la quota del ricircolo termico.

<i>n° caso</i>	<i>Potenza nominale scaricata (MW)</i>	<i>Ricircolo %</i>	<i>Contorno %</i>	<i>Atmosfera %</i>
4	495 (100 %)	16	22	78
5	495 (100 %)	15	12	88
5_1	495 (100 %)	15	12	88
5_2	495 (100 %)	15	18	82
5_3	495 (100 %)	16	24	79
5_0_2	495 (100 %)	24	23	77
5_0_2_1*	495 (100 %)	19	20	73
5_0_1_1*	495 (100 %)	22	17	73
5_2_2	495 (100 %)	24	25	75

\* Dalla tabella si osserva che i Casi 5\_0\_2\_1 e 5\_0\_1\_1 non sono giunti a completa stazionarietà. Vi è infatti ancora l'8% della potenza nominale, per il primo Caso, e un 10% per il secondo, che deve ripartirsi tra contorno e atmosfera.

*Tabella 8 - Bilancio termico - ripartizione dei flussi.*

Al fine di valutare con maggior cura l'importanza assunta dai due bracci del bacino nel processo di dispersione del calore, si è isolata una zona del bacino antistante lo scarico della lunghezza di circa 2000 m (1000 m verso levante e 1000 m verso ponente dalla posizione di scarico). I flussi termici calcolati dal modello matematico in questo specchio di mare sono riportati in tabella 9.

<i>n° caso</i>	<i>Bordo di levante a 1000 m %</i>	<i>Bordo di ponente a 1000 m %</i>	<i>Atmosfera %</i>
4	44	32	24
5	37	27	36
5_1	37	27	36
5_2	28	36	36
5_3	15	48	37
5_0_2	16	46	38
5_0_2_1	57	11	32
5_0_1_1	30	36	34
5_2_2	16	46	38

*Tabella 9 - Ripartizione dei flussi tra levante e ponente.*

In sintesi si osserva che gli effetti prodotti, in termini di flusso termico, nei due bracci del bacino dalla corrente di 8 cm/s è simile a quello prodotto dal vento di 5 m/s e corrente marina di 2 cm/s (Casi 5\_3 e 5\_0\_2). Si può quindi dedurre che il vento assume grande importanza ai fini della distribuzione del pennacchio nel bacino portuale e che la giusta calibrazione dello sforzo tangenziale dovuto al vento sulla superficie del mare, può dar conto delle differenti distribuzioni assunte dal pennacchio nel bacino.

I flussi di massa che transitano nel tratto di mare sopraddetto, provenienti dai due bracci del canale, sono riportati in tabella 10. Vengono riportati separatamente i flussi uscenti ed entranti per ciascun bordo.



n° caso	Bordo di levante a 1000 m		Bordo di ponente a 1000 m	
	flusso uscente	flusso entrante	flusso uscente	flusso entrante
4	24	15	22	31
5	24	15	23	32
5_1	24	15	23	32
5_2	19	23	28	24
5_3	12	34	36	14
5_0_2	18	8	43	53
5_0_2_1	85	0	44	129
5_0_1_1	31	1	55	86
5_2_2	18	8	43	53

Tabella 10 - Flussi di massa nei bracci del bacino in m<sup>3</sup>/s.

Per quanto riguarda il ricircolo di acqua dallo scarico alla presa, si nota in tutti i casi, l'insorgere di una alterazione termica alla presa. Il valore del sovrizzo termico medio alla presa è riportata in tabella 11.

n° caso	$\Delta T$ [°C]
4	1.3
5	1.2
5_1	1.2
5_2	1.2
5_3	1.3
5_0_2	1.9
5_0_2_1	1.5
5_0_1_1	1.7
5_2_2	1.9

Tabella 11 - Alterazione termica valutata alla presa.

Partendo dai valori di temperatura ottenuti dal modello matematico si è calcolato, per tutti i casi, l'incremento di temperatura secondo la metodologia prevista dall'IRSA.

A questo scopo si sono rilevati, per ogni caso, i valori delle temperatura nelle 9 stazioni di misura e, per ogni stazione, alla quota di 0.10 m, 1.50 m e 3.0 m. Laddove i valori non erano disponibili alla quota prefissata sono state effettuate, con programmi di post-processamento, delle interpolazioni tra le temperature calcolate ai vari strati.

Nei grafici 1 e 2 sono mostrati i dati misurati in situ mentre nei grafici 3 ÷ 11 sono mostrate le temperature e gli incrementi termici calcolati partendo dai dati del modello matematico.

Da questi grafici si osserva che in condizioni "medie", Casi 4 e 5, la distribuzione delle stazioni fredde e calde è diversa da quella dei casi misurati. Quando però viene inserito nel modello matematico l'effetto del vento, Casi 5\_0\_2 e 5\_2\_2, la distribuzione delle stazioni calde e fredde, e quindi anche la distribuzione del pennacchio, tende a sovrapporsi.

Per quanto riguarda invece il valore dell'incremento termico, che è stato misurato secondo la metodologia IRSA sia nelle rilevazioni in campagna sia partendo dalle temperature calcolate dal modello matematico, si evidenzia una discrepanza: l'incremento calcolato risulta dell'ordine di 0.4÷0.45 °C a fronte di un incremento misurato in campagna di 1÷1.4 °C.

Queste osservazioni evidenziano che il modello matematico diffonde nello spazio le acque di scarico in modo più uniforme rispetto a quanto viene evidenziato dalle misure.

Si devono notare però, alcune particolarità di questo modello. Infatti:

- nonostante che il codice TRIMDI sia stato validato con accurate campagne di misura in situ e con confronti con modelli fisici, è possibile che la complessa conformazione dell'area portuale associata alla complicata modalità con cui il pennacchio viene diluito (l'acqua fresca transita nelle parti inferiori dei due rami del bacino e si allontana fluendo in superficie), producano una diminuzione dell'accuratezza dei risultati;
- si deve altresì considerare che nell'area portuale antistante lo scarico della Centrale di Genova hanno sede dei fenomeni che il modello matematico, per sua natura e costituzione, non può tenere in considerazione; tra tutti, forse il più importante è il passaggio di grandi navi che, generando una notevole turbolenza, favorisce il miscelamento delle acque e la distruzione della stratificazione termica nel bacino; questo fenomeno, di per sé, potrebbe spiegare le differenze tra i risultati e le misure;
- i calcoli effettuati considerano che, per tutto il periodo di simulazione (circa 20 - 30 giorni al reale), le condizioni meteorologiche applicate al contorno restino costanti mentre, nel caso reale, risentono della naturale evoluzione meteorologica. I risultati ottenuti dal modello matematico e quelli misurati in situ non provengono, pertanto, da fenomeni evolutivi che hanno la medesima "storia".

Nelle figure 14.1÷14.9 sono infine riportati gli andamenti della velocità e della temperatura lungo le verticali poste ai bordi di levante e di ponente della zona del bacino assunta a riferimento per le analisi di dettaglio dei flussi. E' soprattutto interessante notare gli effetti che vengono indotti dal vento sulla velocità in superficie e sulla temperatura (figure 14.6 e 14.9 confrontate con figura 14.2).

Riguardo i tempi di calcolo impiegati per ciascuno dei casi sono state necessarie circa 150 ore di CPU del calcolatore IBM RISC modello 3AT installato presso il Centro.

## 6. CONCLUSIONI

In questo lavoro si è studiata la dispersione del calore immesso nel mare dalle acque di raffreddamento della centrale di Genova con l'attuale configurazione dello scarico. Gli scopi dello studio erano:

- verificare il potere di diluizione dello scarico attualmente in uso,
- riprodurre una situazione reale documentata attraverso le misure di temperatura al fine di tarare i parametri ambientali da utilizzarsi nel proseguimento dello studio,
- valutare la piena funzionalità dell'impianto in riferimento ai problemi di ricircolazione di acqua calda dallo scarico alla presa.

Sono stati analizzati complessivamente 9 casi che differivano tra loro per i parametri ambientali utilizzati nei calcoli (scambio termico con l'atmosfera, corrente marina al largo, velocità del vento). Lo studio è stato condotto con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI in dotazione presso il CRIS e le analisi sono proseguite sino al raggiungimento della distribuzione stazionaria di temperatura.

I calcoli e le analisi svolte nel presente studio hanno permesso di effettuare delle valutazioni sulle modalità con cui viene smaltita l'energia termica scaricata con le acque di raffreddamento della centrale.

Lo studio ha mostrato che la linea isoterma con sovrappiù termico +3°C rispetto alla temperatura ambiente su di uno strato superficiale dello spessore di 0.25 m non

supera, in nessuno dei 9 casi analizzati, la distanza di 1000 m dalla bocca dello scarico.

La situazione naturale non è propriamente una situazione con condizioni al contorno stazionarie come quella considerata nei calcoli. Situazioni meteorologiche particolarmente gravose potrebbero produrre alterazioni temporanee più severe. Si ritiene in ogni caso che si possa guardare con tranquillità al verificarsi di dette situazioni.

Per quanto riguarda invece il fenomeno della ricircolazione di acqua calda dallo scarico alla presa lo studio ha evidenziato che frazioni della potenza scaricata dell'ordine del 15% sino al 24% viene catturata dalla presa. Il sovrizzo termico valutato alla presa, rispetto alla temperatura indisturbata, varia da 1.3 °C sino a 1.9 °C.

Per quanto riguarda la concordanza tra le misure di campagna ed i calcoli si è osservato che i casi nei quali viene considerato l'effetto prodotto dal vento sul pennacchio termico, colgono in modo qualitativamente soddisfacente la distribuzione del pennacchio stesso.

Per quanto riguarda invece i valori dell'incremento termico differenziale medio, valutato secondo la metodologia IRSA, il modello matematico, per i motivi che si sono illustrati nei capitoli precedenti, coglie un valore che quantitativamente è dell'ordine del 30% di quello misurato.

## 7. CASO AGGIUNTIVO

*Definire i giusti parametri del modello matematico*

In seguito ad analisi fatte successivamente all'esecuzione dei casi riportati nei precedenti paragrafi e ad alcune ricerche fatte su dati di bibliografia [15, 16], sono emerse considerazioni sul valore assunto dalla costante C, che compare nella equazione 2) di pag.6 della presente relazione, per il calcolo dello sforzo di taglio esercitato dal vento sulla superficie del mare.

Il valore imposto alla suddetta costante C, per i calcoli eseguiti, è risultato troppo cautelativo. In bibliografia sono infatti riportate diverse formule per il calcolo di questa costante; applicando ognuna di queste formule alle situazioni ambientali del nostro sito, si sono trovati valori pari a circa  $1.1 \cdot 10^{-3}$  mentre il valore utilizzato finora era di  $0.5 \cdot 10^{-3}$ .

Al fine di verificare l'influenza del parametro C sul comportamento del pennacchio si è ripetuto il Caso 5\_0\_2.

Il nuovo caso, denominato Caso 5\_0\_2bis, differisce quindi dal Caso 5\_0\_2 solamente dal valore assunto dalla costante C, pertanto, per quanto riguarda i parametri fisici e le condizioni al contorno imposte, si può far riferimento alle tabelle 3, 5 e 6.

La mappa termica dello strato superficiale ottenuto da questo studio è riportato in figura 15.1 in cui è anche riportato il campo di velocità. Nelle figure 15.2 e 15.3 sono riportate rispettivamente le sezioni in prossimità dello scarico e della presa. Infine in figura 15.4 sono riportate le velocità e le temperature sulla verticale posta al centro del bacino a 1000 m verso levante e verso ponente.

Dall'esame di queste figure, confrontate con le corrispondenti del Caso 5\_0\_2, si osserva un notevole spostamento del pennacchio termico verso ponente, e una riduzione della temperatura nella calata dove è situata la presa. Inoltre si può notare che l'isoterma a  $+3^{\circ}\text{C}$  raggiunge una distanza di circa 450 m; abbondantemente inferiore ai limiti prescritti dalla legge.

Nella tabella 12 sono riportati i bilanci termici di quest'ultimo caso e la ripartizione dei flussi fra contorno e atmosfera, è riportata inoltre la quota relativa al ricircolo di acqua calda fra scarico e presa.

<i>n° caso</i>	<i>Potenza nominale scaricata (MW)</i>	<i>Ricircolo %</i>	<i>Contorno %</i>	<i>Atmosfera %</i>
5_0_2bis	495 (100 %)	26	25	75

*Tabella 12 - Bilancio termico - ripartizione dei flussi.*

Nella tabella 13 è riportata la ripartizione dei flussi termici fra il bordo di levante e ponente, a 1000 m dallo scarico, nel bacino antistante lo scarico stesso; è riportato anche il flusso termico verso l'atmosfera.

<i>n° caso</i>	<i>Bordo di levante a 1000 m %</i>	<i>Bordo di ponente a 1000 m %</i>	<i>Atmosfera %</i>
5_0_2bis	17	49	34

*Tabella 13 - Ripartizione dei flussi tra levante e ponente.*

Nella tabella 14 sono riportati i flussi di massa ai bordi di levante e ponente, sempre a 1000 m, del bacino antistante lo scarico suddivisi tra flussi entranti e flussi uscenti.

n° caso	Bordo di levante a 1000 m		Bordo di ponente a 1000 m	
	flusso uscente	flusso entrante	flusso uscente	flusso entrante
N5_0_2bis	22	0	61	83

Tabella 14 - Flussi di massa nei bracci del bacino in m<sup>3</sup>/s.

Queste ultime tre tabelle sono direttamente confrontabili con le corrispondenti tabelle 8, 9 e 10 di questa stessa relazione.

Per quanto riguarda il ricircolo di acqua calda dallo scarico alla presa si nota il raffreddamento dell'acqua superficiale della calata ove è situata la presa mentre si osserva una distribuzione più uniforme della temperatura negli strati sottostanti. Perciò il valore del sovrizzo termico medio alla presa risulta essere pari a 2.0 °C.

Nel grafico 12 sono mostrate le temperature sull'arco a 1000 m e gli incrementi termici calcolati secondo la metodologia prevista dall'IRSA. Si può notare che in questo caso si ha una corrispondenza piuttosto buona con il grafico 2 relativo alle misure eseguite in situ.

Si può concludere che l'introduzione del corretto valore della costante di stress utilizzata per il calcolo dello sforzo di taglio esercitato dal vento sulla superficie del mare, ha permesso di ottenere dei risultati più concordi con le misurazioni effettuate in situ, sia per quanto riguarda la distribuzione del pennacchio termico, sia per quanto riguarda l'incremento termico differenziale medio calcolato secondo la metodologia IRSA confermando, così, la bontà del modello matematico realizzato con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI.

## A. CARATTERISTICHE DEL CODICE TRIMDI

Nel seguito si riassume 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 [9].

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:

- a) 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.
- b) 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 trascinarsi orizzontale o ai gradienti di densità.

Le equazioni rappresentative del modello sono:

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

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

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

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

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

dove  $\bar{\tau}$  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:

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

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

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



in cui si è indicata con  $\bar{\phi}$  il vettore dei flussi turbolenti, con  $C_p$  il calore specifico a pressione costante e  $T$  è la temperature 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 turbolenta 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.

Quello adottato nel TRIMDI è una estensione del ben noto metodo SIMPLE [10].

Il modello di turbolenza si basa sul concetto di lunghezza di mescolamento [11] che viene correlata con il passo spaziale locale del reticolo in analogia a quanto proposto in [12].

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 proposte in [13].

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 [14].

Il modello è stato sottoposto a validazione sulla base di dati di campo relativi a situazioni tra loro molto diverse, con risultati soddisfacenti in ogni caso [6, 7, 8].

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento" legge 319 del 10/5/76 (Legge Merli)
- [2] Disposizioni urgenti per la regolamentazione degli scarichi termici a mare legge 502 del 6/12/93
- [3] Metodologie per la determinazione dell'incremento di temperatura nelle acque marine a seguito di sversamenti di scarichi termici (D.L. del 9 ottobre 1993 n.408)
- [4] CTE Genova - Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 m. Misure del 24/7/96
- [5] Centrale di La Spezia. Progetto di adeguamento dello scarico delle acque di raffreddamento: valutazione dei flussi termici rada-atmosfera e rada-mare. Unità Laboratorio di Piacenza. Documento SP00312TSIPE312 del 5/1/95
- [6] A. Di Monaco, M. Miserocchi - "Verifica sperimentale di un modello matematico di dispersione termica in mare". - Atti del convegno dell'Associazione Idrotecnica Italiana: "Immissione di acque reflue in mare". Ischia, Maggio 1989
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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
- [11] B.E. Launder, D.B. Spalding - "Mathematical models of turbulence" - Academic Press, 1972
- [12] J.W. Deardoff - "On the magnitude of the subgrid scale eddy coefficient" - Journal of Computational Physics, Vol.7, 1971
- [13] W.H. Munk, E.R. Anderson - "Notes on the theory of the thermocline" - Journal of Marine Research, Vol.1, 1948

- [14] A. Di Monaco, E. Ghisolfi, M. Miserocchi, W. Ding - "A mathematical model for predicting the thermal regime of rivers: calibration and application to the Po river" - Computer Method and Water Resources Conference 20-22 Febbraio 1991 Marrakesh (Marocco)
- [15] Tan Weiyan - "Shallow water hydrodynamics" - Elsevier oceanography series.
- [16] C. B. Vreugdenhil - "Numerical methods for shallow-water flow" - Kluwer Academic Publishers.

## *GRAFICI*

## LISTA DEI GRAFICI

1. Incremento termico misurato il 24/07/96 mattino.
2. Incremento termico misurato il 24/07/96 pomeriggio.
3. Caso 4. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
4. Caso 5. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
5. Caso 5\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
6. Caso 5\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
7. Caso 5\_3. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
8. Caso 5\_0\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
9. Caso 5\_0\_2\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
10. Caso 5\_0\_1\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
11. Caso 5\_2\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
12. Caso 5\_0\_2bis. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.



**ENEL**

RICERCA

POLO IDRAULICO E STRUTTURALE

r

**CENTRALE DI GENOVA**  
**STUDIO DELLA DIFFUSIONE TERMICA IN MARE DELLE ACQUE**  
**DI RAFFREDDAMENTO: TARATURA DEL MODELLO MATEMATICO**

		 G. Agate			
1	23 - 09 - 1997	 E. Ghisolfi	 G. Mazza	 G. Mazza	 G. Giuseppetti
0	15 - 04 - 1997				
Rev .N.	Data	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato

Aprile 1997  
Rel. 5370

**CENTRALE DI GENOVA**  
**STUDIO DELLA DIFFUSIONE TERMICA IN MARE DELLE ACQUE DI**  
**RAFFREDDAMENTO: TARATURA DEL MODELLO MATEMATICO**  
**GENOVA POWER PLANT**  
**STUDY OF THERMAL DIFFUSION OF COOLING WATER**  
**IN THE SEA: MODEL CALIBRATION**

## SOMMARIO

In questa relazione sono riportati i risultati dello studio effettuato dal Centro di Ricerca Idraulica e Strutturale di Milano (CRIS) dell'ENEL per calibrare i parametri ambientali del modello matematico della zona di mare antistante la Centrale di Genova. Questo lavoro si inserisce nel contesto di uno studio generale teso a valutare le alterazioni termiche indotte in mare dalle acque di raffreddamento emesse dalla nuova bocca di efflusso superficiale che verrà realizzata in conseguenza del prolungamento del canale di scarico sino alla testa del pontile ENEL.

L'obiettivo del presente studio era di riprodurre una situazione reale documentata attraverso le misure di temperatura che sono state effettuate sul pennacchio prodotto dallo scarico attualmente in opera. Per riprodurre questa situazione è stato predisposto un modello matematico implementato con l'ausilio del codice di calcolo *TRIMDI*, e sono state effettuate alcune simulazioni nelle quali si sono variati i parametri che simulano gli effetti delle condizioni meteomarine.

## INDICE

1. INTRODUZIONE-----	2
2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO E DATI GEOMETRICI-----	2
3. ANALISI SVOLTE -----	4
4. CONDIZIONI AL CONTORNO E INIZIALI -----	7
5 SINTESI DEI RISULTATI -----	8
6. CONCLUSIONI-----	11
7. CASO AGGIUNTIVO -----	13
A. CARATTERISTICHE DEL CODICE TRIMDI -----	15
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI-----	18
LISTA DEI GRAFICI-----	21
LISTA DELLE FIGURE-----	32

PAROLE CHIAVE: scarichi termici, centrali termoelettriche, ambiente idrico.  
CLASSIFICA : 61/J8, 53/J7

## 1. INTRODUZIONE

Il Centro di Ricerca Idraulica e Strutturale della Direzione Studi e Ricerche dell'ENEL è stato incaricato dall'ENEL Direzione della Produzione e Trasmissione, sede distaccata di Torino, con lettera dell'8 novembre 1996 N° 9614142, di effettuare degli studi per valutare le alterazioni termiche prodotte in mare dallo scarico delle acque di raffreddamento della Centrale Termoelettrica situata nell'area portuale di Genova.

Lo scarico della Centrale Termoelettrica è attualmente ubicato nella calata di attracco delle navi carboniere (vedi figura 1). Nell'ambito della riorganizzazione complessiva, cui verrà sottoposta la centrale per essere attrezzata alla combustione dei rifiuti solidi urbani, tale calata verrà interrata e lo scarico sarà posizionato alla testa del pontile ENEL, in prossimità del bacino. Si è reso quindi necessario valutare il potere di diluizione dello scarico nella nuova posizione per verificare che la perturbazione termica rispetti le norme antinquinamento e che eventuali ricircoli di acqua dallo scarico alla presa restino contenuti entro limiti non pregiudizievoli per il buon funzionamento dell'impianto.

In questa relazione sono riportati i risultati di quella parte dello studio condotto col fine di tarare il modello matematico rispetto ad una situazione documentata attraverso le misure di temperatura. Il processo di taratura è consistito nella ricerca dei parametri ambientali (corrente marina, scambio termico con l'atmosfera, ecc.) più idonei a simulare le misure di temperatura del pennacchio termico effettuate in situ. Con questi calcoli si è anche valutata l'alterazione termica prodotta dallo scarico esistente e si sono potute trarre delle valutazioni su come avviene attualmente la dispersione del calore immesso in mare.

Riguardo all'impatto termico prodotto dallo scarico, questo è stato valutato sulla base delle prescrizioni imposte dalla legge 319 del 10/5/76 "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento" [1] (Legge Merli) e delle sue successive modifiche e integrazioni [2, 3]. Si è anche valutata l'entità di eventuali situazioni di ricircolo di acqua calda dallo scarico alla presa. Lo studio è stato condotto effettuando delle simulazioni numeriche realizzate per mezzo di un modello matematico tridimensionale ai volumi finiti implementato con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI.

## 2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO E DATI GEOMETRICI

La centrale termoelettrica di Genova è attualmente composta da tre gruppi dei quali uno da 155 MW di potenza elettrica e due da 70 MW. L'opera di scarico è attualmente ubicata nella calata antistante l'edificio della centrale anche utilizzata per l'attracco delle navi carboniere, mentre la presa si trova nella calata attigua ad una distanza dallo scarico di circa 200 m. Vedi figura 1.

Nel presente studio si sono effettuate delle simulazioni tese a ricostruire una situazione per cui sono disponibili le misure effettuate in campagna. A tale scopo sono state realizzate alcune simulazioni numeriche, anche in sequenza tra loro, variando opportunamente i parametri ambientali.

Lo scarico, nella versione attuale, ha una sezione di  $23.1 \text{ m}^2$  (base 5.25 e altezza 4.4 m) per una portata di  $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$  cui corrisponde una velocità di efflusso di  $0.623 \text{ m/s}$ . Per quanto riguarda l'opera di presa, questa è di tipo sommerso con una sezione pari a  $54 \text{ m}^2$  (base 9 m e altezza 6 m), posta alla profondità da 1.0 a 7.0 m. La velocità di aspirazione è di  $0.267 \text{ m/s}$  (Vedi tabella 1).

	Tutti i Casi	
Salto termico imposto allo scarico	8.0	°C
Portata totale scaricata	14.4	m <sup>3</sup> /s
Velocità imposta allo scarico	0.623	m/s
Area dello scarico	23.1 (5.25x4.4)	m <sup>2</sup>
Profondità scarico	0.60 ÷ 5.0	m
Velocità di aspirazione alla presa	0.267	m/s
Area della presa	54.0 (9.0x6.0)	m <sup>2</sup>
Profondità presa	1 ÷ 7	m

Tabella 1 - Dati caratteristici dell'impianto.

Come prevede il codice *TRIMDI* (si veda al proposito l'appendice A), il dominio di calcolo è stato discretizzato in strati orizzontali sovrapposti nella direzione verticale. In questo modello la discretizzazione verticale è stata realizzata con quattordici strati sino alla profondità complessiva di 22 m. La tabella 2 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; indica inoltre dove sono situati lo scarico e la presa.

k	$\Delta Z$ (m)	Z (m)	$Z_m$ (m)	
		0.00		
14	0.25	-0.25	-0.125	
13	0.35	-0.60	-0.425	
12	0.40	-1.00	-0.8	scarico
11	1.00	-2.00	-1.5	scarico e presa
10	1.50	-3.50	-2.75	scarico e presa
9	1.50	-5.00	-4.25	scarico e presa
8	2.00	-7.00	-6.0	presa
7	1.50	-8.50	-7.75	
6	1.50	-10.00	-9.25	
5	2.00	-12.00	-11.0	
4	2.00	-14.00	-13.0	
3	2.00	-16.00	-15.0	
2	2.00	-18.00	-17.0	
1	4.00	-22.00	-20.0	

Tabella 2 - Caratteristiche degli strati verticali del modello.

La dimensione dei vari strati è stata determinata considerando l'altezza complessiva dello scarico, della presa e della batimetria della zona e facendo in modo che gli strati superficiali avessero uno spessore minore, allo scopo di meglio rappresentare i maggiori gradienti termici presenti in superficie.

Per quanto riguarda la discretizzazione del dominio di calcolo nel piano orizzontale (piano x-y) la dimensione dell'area di interesse è di circa 8000 x 4400 m<sup>2</sup> ed è stata discretizzata con 226 x 109 celle. Si vedano al riguardo le figure 2 e 3.

Lo scarico è stato discretizzato, nel piano, con due celle, mentre per quanto riguarda la presa, che preleva acqua dalla calata di mare attigua alla Centrale, è stata discretizzata nel piano con una cella.

Le zone in prossimità degli scarichi e delle prese, sono state discretizzate con celle di piccole dimensioni mentre, via via che ci si allontana da queste, si sono utilizzate celle di dimensioni gradualmente maggiori. Questo per meglio rappresentare la geometria degli scarichi e delle prese e per ottenere una valutazione più accurata dei fenomeni fisici che in queste zone hanno luogo.

Il modello matematico che ne è risultato presenta una discretizzazione molto raffinata ed il reticolo risulta composto da circa 275.000 punti di calcolo per un totale di circa 1.300.000 incognite.

Le figure 3 e 4 mostrano le viste in pianta del reticolo di discretizzazione e delle batimetrie, nonché un particolare della zona prossima allo scarico.

### 3. ANALISI SVOLTE

Al fine di verificare l'accuratezza delle simulazioni effettuate col modello matematico, la Centrale di Genova ha fornito i dati relativi alle misure di temperatura rilevate il giorno 24 luglio 1996. Queste misure sono state effettuate secondo la metodologia stabilita dall'IRSA, prevista dal Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 Aprile 1996 [3], misurando i valori di temperatura alle profondità di 0.1, 1.5 e 3 m nelle stazioni poste sull'arco a 1000 m. Partendo da tali valori si è ricavato, successivamente, l'incremento termico secondo lo schema previsto dalla metodologia stessa. In figura 1 è riportata la planimetria della zona antistante lo scarico con indicate le stazioni di misura, mentre nei grafici 1 e 2 sono riportati i valori delle misure effettuate il 24 Luglio 1996 rispettivamente al mattino (dalle 10.00 alle 11.00) ed al pomeriggio (dalle 13.30 alle 14.30); in questi grafici sono anche riportati i valori degli incrementi termici calcolati secondo la metodologia IRSA. In quell'occasione, come si può ricavare dalla documentazione [4] fornita, i venti presenti durante le prove erano di 3 m/s in mattinata e di 5 m/s nel pomeriggio, in entrambi i casi con direzione Sud-Est.

Al fine di riprodurre i dati ottenuti dalle misure in situ si sono realizzati 9 Casi che differiscono tra loro per i dati caratteristici ambientali utilizzati per ricostruire il caso reale. La tabella 3 riporta i dati dei parametri ambientali utilizzati in questi 9 Casi. Ciascun caso è distinto da una combinazione di numeri fino ad un massimo di quattro. Il primo numero rispetta un ordine complessivo che tiene conto anche dei casi descritti nelle altre relazioni sullo scarico della centrale. In questa relazione il primo numero indica un particolare valore del coefficiente di scambio termico con l'atmosfera, il secondo indica il valore della corrente ambientale, il terzo indica la velocità e la direzione del vento mentre il quarto indica il valore della viscosità verticale.



Caso	Temp. Amb. [°C]	Ks [W/m <sup>2</sup> °C]	Velo C.A. [m/s]	Vel. Vento [m/s]	Visc. Vr. m <sup>2</sup> /s
Caso 4	25	50	0.02	0.0	0.002
Caso 5	25	90	0.02	0.0	0.002
Caso 5_1	25	90	0.02*	0.0	0.002
Caso 5_2	25	90	0.05	0.0	0.002
Caso 5_3	25	90	0.08	0.0	0.002
Caso 5_0_2	25	90	0.02	5.0 ESE	0.002
Caso 5_0_2_1	25	90	0.02	5.0 ESE	0.0002
Caso 5_0_1_1	25	90	0.02	5.0 E	0.0002
Caso 5_2_2	25	90	0.05	5.0 ESE	0.002

\* Il valore di velocità assegnato alla corrente marina ambiente è pari a 0.05 m/s per lo strato superficiale e 0.02 m/s per quelli sottostanti

Tabella 3 - Elenco casi analizzati e valori caratteristici ambientali.

Nella tabella si sono indicate le seguenti grandezze con le notazioni abbreviate:

Temp. Amb.	temperatura ambiente ovvero temperatura a cui tende il corpo d'acqua in assenza di perturbazioni termiche
Ks	Coefficiente di scambio termico con l'atmosfera. Rappresenta la potenza dispersa dal pennacchio termico verso l'atmosfera per ogni grado di sovrariscaldamento e per ogni metro quadrato di superficie.
Velo C.A.	Velocità della corrente marina presente nell'ambiente per tutto lo svolgimento delle simulazioni. Il valore della corrente è imposto su tutto il contorno di ingresso.
Vel. Vento	Velocità del vento presente durante le simulazioni. La presenza del vento origina uno sforzo tangenziale alla superficie libera del corpo d'acqua producendone così, una variazione superficiale di velocità. La presenza di tale grandezza non modifica la potenza scambiata verso l'atmosfera che è determinata dal coefficiente Ks.
Visc. Vr.	Valore ambientale della viscosità di riferimento verticale; 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.

Riguardo ai valori dello scambio termico con l'atmosfera si sono resi disponibili, da studi precedenti, delle misure di scambio termico effettuate in periodo estivo presso la rada di La Spezia [5]. Secondo queste misure la retta interpolante, che definisce il coefficiente di scambio Ks, risulta espressa dalla seguente formula:

$$Ks = 41 + 13.2 Vv \quad 1)$$

(dove si è indicato con Vv la velocità del vento). Per una tipica giornata estiva, caratterizzata da regime di brezza, è stato stimato che i valori di Ks variano mediamente tra 50 e 90 W/m<sup>2</sup>°C. Si può ritenere che, data la vicinanza dei luoghi e la loro affinità geografica, tali valori siano validi anche per la zona portuale di Genova. Una conferma indiretta di questa assunzione deriva dalla ventosità del sito di Genova. Dalla carta delle rilevazioni effettuate dal personale della Centrale risulta infatti che la frequenza dei venti con valori inferiori a 0.5 m/s, corrispondenti secondo la 1) a Ks di 48 W/m<sup>2</sup>°C, è pari a 0.38% (vedi tabella 4).



Provenienza	< 0.5	0.5 - 2.0	2 - 6	6 - 12	> 12	> 0.5
Nord		3.56	12.52	18.05	2.22	
Nord-Ovest		0.41	1.20	0.08		
Ovest		0.41	1.20	0.08		
Sud-Ovest		1.10	3.86	0.29	0.06	
Sud		1.87	7.73	2.03	0.22	
Sud-Est		0.44	5.80	2.96	0.03	
Est		1.32	1.65	0.16		
Nord-Est		2.08	2.21	0.48	0.08	
variabile	0.38					26.11
TOTALE	0.38	11.25	35.35	24.13	2.61	26.11

Tabella 4 - Frequenza percentuale dei venti ripartita per intensità in m/s. Fonte C.T.E. Genova.

Nei Casi 4 e 5 si è simulata la dispersione del pennacchio termico in condizione estiva con temperatura ambiente di 25 °C. Entrambi questi Casi sono rappresentativi della distribuzione del pennacchio in condizioni ambientali "medie", ossia senza che le variabili ambientali, quali ad esempio il vento, formino la distribuzione del pennacchio. Lo scambio termico  $K_s$  è stato assunto pari a 50 W/m<sup>2</sup>°C per il Caso 4 e a 90 W/m<sup>2</sup>°C per il Caso 5. Il valore dello scambio termico con l'atmosfera utilizzato nel Caso 5 corrisponde, secondo la 1), al valore determinato da venti di entità simile a quelli presenti al momento dell'effettuazione delle misure in situ.

Dal confronto dei valori di temperatura misurati nelle stazioni poste lungo l'arco a 1000 m con quelle calcolate dal modello matematico, si osserva una differente distribuzione del pennacchio. Questo, infatti, risulta più omogeneamente distribuito nel caso calcolato dal modello matematico mentre, dalle misure in situ, si deduce che il pennacchio è spinto verso Ovest. Si osservino a questo proposito i valori delle temperature rilevate in situ (grafici 1 e 2) e calcolate (grafici 3 e 4).

Questa diversa distribuzione può essere causata da differenti valori delle correnti marine, non note al momento della campagna di misura, o dagli effetti prodotti dal vento. Per indagare queste situazioni sono stati realizzati i Casi 5\_1, 5\_2 e 5\_3 nei quali si è variato il valore della corrente marina in accordo con la tabella 3.

Per indagare invece gli effetti del vento si sono realizzati i Casi 5\_0\_2 e 5\_2\_2 rispettivamente con corrente ambiente di 0.02 m/s e 0.05 m/s, ed un valore della velocità del vento pari a 5 m/s con provenienza Est-Sud-Est.

Lo sforzo di taglio esercitato dal vento sulla superficie del mare è stato considerato secondo la seguente relazione:

$$\tau = \rho_a C Vv^2 \quad 2)$$

dove si è indicato con  $\tau$  lo sforzo tangenziale prodotto sulla superficie del mare, con  $\rho_a$  la densità dell'aria, con  $Vv$  la velocità del vento e con  $C$  una costante, che è funzione della velocità stessa del vento e che, per venti aventi l'intensità in questione, è pari a  $0.5 \cdot 10^{-3}$ .

Infine con i Casi 5\_0\_2\_1 e 5\_0\_1\_1 si è indagato l'effetto prodotto sul pennacchio da un diverso valore della viscosità di riferimento verticale. La viscosità verticale è un parametro che determina il miscelamento verticale del getto; minore è questo valore e inferiore sarà il miscelamento del getto in direzione verticale e minore sarà quindi il suo approfondimento: conseguentemente il getto avrà una maggiore galleggiabilità e potrà quindi cedere maggiore energia all'atmosfera.

Gli altri parametri fisici imposti in tutti i calcoli eseguiti sono quelli riportati in tabella 5.

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

Tabella 5 - Valori dei parametri fisici imposti nei modelli.

Per tutti i casi studiati si è utilizzata la versione del codice TRIMDI che tiene conto del ricircolo alla presa dell'acqua di scarico: l'energia termica contenuta nell'acqua prelevata in forma di sovrizzo termico rispetto alla temperatura ambiente, viene automaticamente aggiunta all'energia termica rilasciata dallo scarico. Per quanto riguarda la descrizione del codice TRIMDI e la sua applicazione allo studio della dispersione termica si vedano i riferimenti bibliografici [6, 7, 8] e l'Appendice A.

Per tutti gli studi sono state effettuate delle post-analisi sui risultati ottenuti dalle elaborazioni che sono state realizzate con appositi codici di calcolo sviluppati ad hoc. Queste analisi sono servite a determinare il valore dei flussi termici smaltiti verso l'atmosfera, l'entità della circolazione d'acqua indotta dal funzionamento dello scarico nell'area portuale, nonché l'entità del ricircolo termico.

#### 4. CONDIZIONI AL CONTORNO E INIZIALI

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. I Casi 4 e 5 sono stati simulati partendo da una condizione iniziale di quiete (velocità nulla e temperatura del mare uguale alla temperatura ambiente) in tutte le celle del reticolo.

	Casi *	Caso 5_1	Caso 5_2	Caso 5_3
<i>Lato di ingresso della corrente costiera</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.02	0.02 / 0.05	0.05	0.08
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Temperatura acqua (T) [°C]		25		
<i>Lato di uscita della corrente costiera</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.022	0.022 / 0.06	0.055	0.089
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Temperatura acqua (T) [°C]		calcolata*		
<i>Lato di mare aperto</i>				
Gradiente normale di u [s-1]		0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Gradiente normale di T [°C/m]		0		
<i>Lato della linea di costa</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.0		
Gradiente normale di T [°C/m]		0		
<i>Scarico</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.623		
Temperatura acqua (T) [°C]		33		
<i>Presa</i>				
Velocità direzione x (u) [m/s]		0.0		
Velocità direzione y (v) [m/s]		0.267		
Gradiente normale di T [°C/m]		0		

\* Si assume che la temperatura dell'acqua raggiunga la temperatura ambiente alla distanza di 3000 m dal contorno del dominio

☆ Questa colonna contiene le condizioni al contorno dei Casi 4, 5, 5\_0\_2, 5\_0\_2\_1, 5\_0\_1\_1, 5\_2\_2

Tabella 6 - Sintesi delle condizioni al contorno imposte.

A partire da questa condizione si è simulato un primo transitorio della durata di 1 ora (tempo reale) nel quale si sono fatte variare, con legge lineare, la velocità sui contorni dai valori iniziali ai valori finali assegnati. In questa fase non è stata considerata l'equazione di bilancio dell'energia termica. Successivamente è stato imposto il sovrizzo termico di 8 °C allo scarico e il calcolo è stato effettuato considerando anche l'equazione di bilancio termico. Le condizioni al contorno assegnate nei vari casi sono riportate in tabella 6.

Per gli altri Casi si è assunta come condizione iniziale la situazione stazionaria ottenuta col Caso 5 dopo 20 giorni di simulazione al reale e si sono fatti proseguire i calcoli per ulteriori 10 giorni per il Caso 5\_0\_2, per ulteriori 6 giorni per i Casi 5\_2, 5\_3, 5\_0\_2\_1, 5\_0\_1\_1 e 5\_2\_2, e per ulteriori 2 giorni per il Caso 5\_1. Per quest'ultimo Caso è stato infatti subito evidente che il valore della corrente marina non avrebbe modificato il campo di temperatura e si è quindi interrotto il calcolo.

## 5 SINTESI DEI RISULTATI

I risultati ottenuti dallo studio sono rappresentati, in questa relazione, sotto forma di campi di velocità, di mappe di temperatura nel piano e nelle sezioni verticali in prossimità dello scarico e della presa. I campi di temperatura e di velocità riportati sono i più significativi e si riferiscono ai 7 strati superiori. Per i Casi 4 e 5 i risultati sono riportati rispettivamente nelle figure 5.1÷5.9 e 6.1÷6.9.

Per quanto riguarda i Casi 5\_1, 5\_2 e 5\_3 le figure corrispondenti sono le 7.1÷7.9, 8.1÷8.9 e 9.1÷9.9.

I risultati inerenti i Casi 5\_0\_2 e 5\_2\_2 sono raccolti nelle figure 10.1÷10.9 e 13.1÷13.9.

Infine le figure dei Casi 5\_0\_2\_1 e 5\_0\_1\_1 sono rispettivamente le 11.1÷11.9 e le 12.1÷12.9.

Dall'esame delle figure si possono osservare le seguenti particolarità:

- In tutti i casi esaminati si nota che l'isoterma a +3 °C rispetto alla temperatura ambiente raggiunge una distanza dallo scarico inferiore a 1000 m (le distanze massime raggiunte sullo strato superficiale sono riportate in tabella 7).
- la distribuzione del pennacchio non è molto sensibile alle correnti marine al largo (a tal proposito si confronti la figura 6.1, relativa al Caso 5, con la 7.1, 8.1 e 9.1 dei Casi 5\_1, 5\_2 e 5\_3).
- l'effetto del vento influenza sensibilmente la distribuzione del pennacchio come si può osservare nelle figure 10.1 e 13.1

n° caso	distanza (m)
4	950
5	650
5_1	650
5_2	600
5_3	600
5_0_2	550
5_0_2_1	500
5_0_1_1	500
5_2_2	550

Tabella 7 - Distanze raggiunte dalla linea isoterma a +3°C.

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle post-analisi sui risultati ottenuti dai calcoli per determinare i flussi termici e di massa attraverso i due bracci del bacino antistante lo scarico. Riguardo i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata in tabella 8. In tale tabella sono riportate le quote percentuali dei flussi termici verso i contorni e verso l'atmosfera. E' anche riportata la quota del ricircolo termico.

<i>n° caso</i>	<i>Potenza nominale scaricata (MW)</i>	<i>Ricircolo %</i>	<i>Contorno %</i>	<i>Atmosfera %</i>
4	495 (100 %)	16	22	78
5	495 (100 %)	15	12	88
5_1	495 (100 %)	15	12	88
5_2	495 (100 %)	15	18	82
5_3	495 (100 %)	16	24	79
5_0_2	495 (100 %)	24	23	77
5_0_2_1*	495 (100 %)	19	20	73
5_0_1_1*	495 (100 %)	22	17	73
5_2_2	495 (100 %)	24	25	75

\* Dalla tabella si osserva che i Casi 5\_0\_2\_1 e 5\_0\_1\_1 non sono giunti a completa stazionarietà. Vi è infatti ancora l'8% della potenza nominale, per il primo Caso, e un 10% per il secondo, che deve ripartirsi tra contorno e atmosfera.

*Tabella 8 - Bilancio termico - ripartizione dei flussi.*

Al fine di valutare con maggior cura l'importanza assunta dai due bracci del bacino nel processo di dispersione del calore, si è isolata una zona del bacino antistante lo scarico della lunghezza di circa 2000 m (1000 m verso levante e 1000 m verso ponente dalla posizione di scarico). I flussi termici calcolati dal modello matematico in questo specchio di mare sono riportati in tabella 9.

<i>n° caso</i>	<i>Bordo di levante a 1000 m %</i>	<i>Bordo di ponente a 1000 m %</i>	<i>Atmosfera %</i>
4	44	32	24
5	37	27	36
5_1	37	27	36
5_2	28	36	36
5_3	15	48	37
5_0_2	16	46	38
5_0_2_1	57	11	32
5_0_1_1	30	36	34
5_2_2	16	46	38

*Tabella 9 - Ripartizione dei flussi tra levante e ponente.*

In sintesi si osserva che gli effetti prodotti, in termini di flusso termico, nei due bracci del bacino dalla corrente di 8 cm/s è simile a quello prodotto dal vento di 5 m/s e corrente marina di 2 cm/s (Casi 5\_3 e 5\_0\_2). Si può quindi dedurre che il vento assume grande importanza ai fini della distribuzione del pennacchio nel bacino portuale e che la giusta calibrazione dello sforzo tangenziale dovuto al vento sulla superficie del mare, può dar conto delle differenti distribuzioni assunte dal pennacchio nel bacino.

I flussi di massa che transitano nel tratto di mare sopraddetto, provenienti dai due bracci del canale, sono riportati in tabella 10. Vengono riportati separatamente i flussi uscenti ed entranti per ciascun bordo.

n° caso	Bordo di levante a 1000 m		Bordo di ponente a 1000 m	
	flusso uscente	flusso entrante	flusso uscente	flusso entrante
4	24	15	22	31
5	24	15	23	32
5_1	24	15	23	32
5_2	19	23	28	24
5_3	12	34	36	14
5_0_2	18	8	43	53
5_0_2_1	85	0	44	129
5_0_1_1	31	1	55	86
5_2_2	18	8	43	53

Tabella 10 - Flussi di massa nei bracci del bacino in m<sup>3</sup>/s.

Per quanto riguarda il ricircolo di acqua dallo scarico alla presa, si nota in tutti i casi, l'insorgere di una alterazione termica alla presa. Il valore del sovrizzo termico medio alla presa è riportata in tabella 11.

n° caso	$\Delta T$ [°C]
4	1.3
5	1.2
5_1	1.2
5_2	1.2
5_3	1.3
5_0_2	1.9
5_0_2_1	1.5
5_0_1_1	1.7
5_2_2	1.9

Tabella 11 - Alterazione termica valutata alla presa.

Partendo dai valori di temperatura ottenuti dal modello matematico si è calcolato, per tutti i casi, l'incremento di temperatura secondo la metodologia prevista dall'IRSA.

A questo scopo si sono rilevati, per ogni caso, i valori delle temperatura nelle 9 stazioni di misura e, per ogni stazione, alla quota di 0.10 m, 1.50 m e 3.0 m. Laddove i valori non erano disponibili alla quota prefissata sono state effettuate, con programmi di post-processamento, delle interpolazioni tra le temperature calcolate ai vari strati.

Nei grafici 1 e 2 sono mostrati i dati misurati in situ mentre nei grafici 3 ÷ 11 sono mostrate le temperature e gli incrementi termici calcolati partendo dai dati del modello matematico.

Da questi grafici si osserva che in condizioni "medie", Casi 4 e 5, la distribuzione delle stazioni fredde e calde è diversa da quella dei casi misurati. Quando però viene inserito nel modello matematico l'effetto del vento, Casi 5\_0\_2 e 5\_2\_2, la distribuzione delle stazioni calde e fredde, e quindi anche la distribuzione del pennacchio, tende a sovrapporsi.

Per quanto riguarda invece il valore dell'incremento termico, che è stato misurato secondo la metodologia IRSA sia nelle rilevazioni in campagna sia partendo dalle temperature calcolate dal modello matematico, si evidenzia una discrepanza: l'incremento calcolato risulta dell'ordine di 0.4÷0.45 °C a fronte di un incremento misurato in campagna di 1÷1.4 °C.

Queste osservazioni evidenziano che il modello matematico diffonde nello spazio le acque di scarico in modo più uniforme rispetto a quanto viene evidenziato dalle misure.

Si devono notare però, alcune particolarità di questo modello. Infatti:



- nonostante che il codice TRIMDI sia stato validato con accurate campagne di misura in situ e con confronti con modelli fisici, è possibile che la complessa conformazione dell'area portuale associata alla complicata modalità con cui il pennacchio viene diluito (l'acqua fresca transita nelle parti inferiori dei due rami del bacino e si allontana fluendo in superficie), producano una diminuzione dell'accuratezza dei risultati;
- si deve altresì considerare che nell'area portuale antistante lo scarico della Centrale di Genova hanno sede dei fenomeni che il modello matematico, per sua natura e costituzione, non può tenere in considerazione; tra tutti, forse il più importante è il passaggio di grandi navi che, generando una notevole turbolenza, favorisce il miscelamento delle acque e la distruzione della stratificazione termica nel bacino; questo fenomeno, di per sé, potrebbe spiegare le differenze tra i risultati e le misure;
- i calcoli effettuati considerano che, per tutto il periodo di simulazione (circa 20 - 30 giorni al reale), le condizioni meteomarine applicate al contorno restino costanti mentre, nel caso reale, risentono della naturale evoluzione meteorologica. I risultati ottenuti dal modello matematico e quelli misurati in situ non provengono, pertanto, da fenomeni evolutivi che hanno la medesima "storia".

Nelle figure 14.1÷14.9 sono infine riportati gli andamenti della velocità e della temperatura lungo le verticali poste ai bordi di levante e di ponente della zona del bacino assunta a riferimento per le analisi di dettaglio dei flussi. E' soprattutto interessante notare gli effetti che vengono indotti dal vento sulla velocità in superficie e sulla temperatura (figure 14.6 e 14.9 confrontate con figura 14.2).

Riguardo i tempi di calcolo impiegati per ciascuno dei casi sono state necessarie circa 150 ore di CPU del calcolatore IBM RISC modello 3AT installato presso il Centro.

## 6. CONCLUSIONI

In questo lavoro si è studiata la dispersione del calore immesso nel mare dalle acque di raffreddamento della centrale di Genova con l'attuale configurazione dello scarico. Gli scopi dello studio erano:

- verificare il potere di diluizione dello scarico attualmente in uso,
- riprodurre una situazione reale documentata attraverso le misure di temperatura al fine di tarare i parametri ambientali da utilizzarsi nel proseguimento dello studio,
- valutare la piena funzionalità dell'impianto in riferimento ai problemi di ricircolazione di acqua calda dallo scarico alla presa.

Sono stati analizzati complessivamente 9 casi che differivano tra loro per i parametri ambientali utilizzati nei calcoli (scambio termico con l'atmosfera, corrente marina al largo, velocità del vento). Lo studio è stato condotto con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI in dotazione presso il CRIS e le analisi sono proseguite sino al raggiungimento della distribuzione stazionaria di temperatura.

I calcoli e le analisi svolte nel presente studio hanno permesso di effettuare delle valutazioni sulle modalità con cui viene smaltita l'energia termica scaricata con le acque di raffreddamento della centrale.

Lo studio ha mostrato che la linea isoterma con sovrizzo termico  $+3^{\circ}\text{C}$  rispetto alla temperatura ambiente su di uno strato superficiale dello spessore di 0.25 m non



supera, in nessuno dei 9 casi analizzati, la distanza di 1000 m dalla bocca dello scarico.

La situazione naturale non è propriamente una situazione con condizioni al contorno stazionarie come quella considerata nei calcoli. Situazioni meteorologiche particolarmente gravose potrebbero produrre alterazioni temporanee più severe. Si ritiene in ogni caso che si possa guardare con tranquillità al verificarsi di dette situazioni.

Per quanto riguarda invece il fenomeno della ricircolazione di acqua calda dallo scarico alla presa lo studio ha evidenziato che frazioni della potenza scaricata dell'ordine del 15% sino al 24% viene catturata dalla presa. Il sovralzo termico valutato alla presa, rispetto alla temperatura indisturbata, varia da 1.3 °C sino a 1.9 °C.

Per quanto riguarda la concordanza tra le misure di campagna ed i calcoli si è osservato che i casi nei quali viene considerato l'effetto prodotto dal vento sul pennacchio termico, colgono in modo qualitativamente soddisfacente la distribuzione del pennacchio stesso.

Per quanto riguarda invece i valori dell'incremento termico differenziale medio, valutato secondo la metodologia IRSA, il modello matematico, per i motivi che si sono illustrati nei capitoli precedenti, coglie un valore che quantitativamente è dell'ordine del 30% di quello misurato.

## 7. CASO AGGIUNTIVO

*Definire i giusti parametri del modello matematico*

In seguito ad analisi fatte successivamente all'esecuzione dei casi riportati nei precedenti paragrafi e ad alcune ricerche fatte su dati di bibliografia [15, 16], sono emerse considerazioni sul valore assunto dalla costante C, che compare nella equazione 2) di pag.6 della presente relazione, per il calcolo dello sforzo di taglio esercitato dal vento sulla superficie del mare.

Il valore imposto alla suddetta costante C, per i calcoli eseguiti, è risultato troppo cautelativo. In bibliografia sono infatti riportate diverse formule per il calcolo di questa costante; applicando ognuna di queste formule alle situazioni ambientali del nostro sito, si sono trovati valori pari a circa  $1.1 \cdot 10^{-3}$  mentre il valore utilizzato finora era di  $0.5 \cdot 10^{-3}$ .

Al fine di verificare l'influenza del parametro C sul comportamento del pennacchio si è ripetuto il Caso 5\_0\_2.

Il nuovo caso, denominato Caso 5\_0\_2bis, differisce quindi dal Caso 5\_0\_2 solamente dal valore assunto dalla costante C, pertanto, per quanto riguarda i parametri fisici e le condizioni al contorno imposte, si può far riferimento alle tabelle 3, 5 e 6.

La mappa termica dello strato superficiale ottenuto da questo studio è riportato in figura 15.1 in cui è anche riportato il campo di velocità. Nelle figure 15.2 e 15.3 sono riportate rispettivamente le sezioni in prossimità dello scarico e della presa. Infine in figura 15.4 sono riportate le velocità e le temperature sulla verticale posta al centro del bacino a 1000 m verso levante e verso ponente.

Dall'esame di queste figure, confrontate con le corrispondenti del Caso 5\_0\_2, si osserva un notevole spostamento del pennacchio termico verso ponente, e una riduzione della temperatura nella calata dove è situata la presa. Inoltre si può notare che l'isoterma a  $+3^{\circ}\text{C}$  raggiunge una distanza di circa 450 m; abbondantemente inferiore ai limiti prescritti dalla legge.

Nella tabella 12 sono riportati i bilanci termici di quest'ultimo caso e la ripartizione dei flussi fra contorno e atmosfera, è riportata inoltre la quota relativa al ricircolo di acqua calda fra scarico e presa.

n° caso	Potenza nominale scaricata (MW)	Ricircolo %	Contorno %	Atmosfera %
5_0_2bis	495 (100 %)	26	25	75

Tabella 12 - Bilancio termico - ripartizione dei flussi.

Nella tabella 13 è riportata la ripartizione dei flussi termici fra il bordo di levante e ponente, a 1000 m dallo scarico, nel bacino antistante lo scarico stesso; è riportato anche il flusso termico verso l'atmosfera.

n° caso	Bordo di levante a 1000 m %	Bordo di ponente a 1000 m %	Atmosfera %
5_0_2bis	17	49	34

Tabella 13 - Ripartizione dei flussi tra levante e ponente.

Nella tabella 14 sono riportati i flussi di massa ai bordi di levante e ponente, sempre a 1000 m, del bacino antistante lo scarico suddivisi tra flussi entranti e flussi uscenti.

n° caso	Bordo di levante a 1000 m		Bordo di ponente a 1000 m	
	flusso uscente	flusso entrante	flusso uscente	flusso entrante
N5_0_2bis	22	0	61	83

Tabella 14 - Flussi di massa nei bracci del bacino in m<sup>3</sup>/s.

Queste ultime tre tabelle sono direttamente confrontabili con le corrispondenti tabelle 8, 9 e 10 di questa stessa relazione.

Per quanto riguarda il ricircolo di acqua calda dallo scarico alla presa si nota il raffreddamento dell'acqua superficiale della calata ove è situata la presa mentre si osserva una distribuzione più uniforme della temperatura negli strati sottostanti. Perciò il valore del sovrizzo termico medio alla presa risulta essere pari a 2.0 °C.

Nel grafico 12 sono mostrate le temperature sull'arco a 1000 m e gli incrementi termici calcolati secondo la metodologia prevista dall'IRSA. Si può notare che in questo caso si ha una corrispondenza piuttosto buona con il grafico 2 relativo alle misure eseguite in situ.

Si può concludere che l'introduzione del corretto valore della costante di stress utilizzata per il calcolo dello sforzo di taglio esercitato dal vento sulla superficie del mare, ha permesso di ottenere dei risultati più concordi con le misurazioni effettuate in situ, sia per quanto riguarda la distribuzione del pennacchio termico, sia per quanto riguarda l'incremento termico differenziale medio calcolato secondo la metodologia IRSA confermando, così, la bontà del modello matematico realizzato con l'ausilio del codice di calcolo TRIMDI.

## A. CARATTERISTICHE DEL CODICE TRIMDI

Nel seguito si riassume 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 [9].

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:

- a) 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.
- b) 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:

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

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

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

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

dove  $\bar{\tau}$  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:

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

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

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

in cui si è indicata con  $\bar{\phi}$  il vettore dei flussi turbolenti, con  $C_p$  il calore specifico a pressione costante e  $T$  è la temperature 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 turbolenta 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-Nickolson 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.

Quello adottato nel TRIMDI è una estensione del ben noto metodo SIMPLE [10].

Il modello di turbolenza si basa sul concetto di lunghezza di mescolamento [11] che viene correlata con il passo spaziale locale del reticolo in analogia a quanto proposto in [12].

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 proposte in [13].

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 [14].

Il modello è stato sottoposto a validazione sulla base di dati di campo relativi a situazioni tra loro molto diverse, con risultati soddisfacenti in ogni caso [6, 7, 8].



## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento" legge 319 del 10/5/76 (Legge Merli)
- [2] Disposizioni urgenti per la regolamentazione degli scarichi termici a mare legge 502 del 6/12/93
- [3] Metodologie per la determinazione dell'incremento di temperatura nelle acque marine a seguito di sversamenti di scarichi termici (D.L. del 9 ottobre 1993 n.408)
- [4] CTE Genova - Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 m. Misure del 24/7/96
- [5] Centrale di La Spezia. Progetto di adeguamento dello scarico delle acque di raffreddamento: valutazione dei flussi termici rada-atmosfera e rada-mare. Unità Laboratorio di Piacenza. Documento SP00312TSIPE312 del 5/1/95
- [6] A. Di Monaco, M. Miserocchi - "Verifica sperimentale di un modello matematico di dispersione termica in mare". - Atti del convegno dell'Associazione Idrotecnica Italiana: "Immissione di acque reflue in mare". Ischia, Maggio 1989
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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
- [11] B.E. Launder, D.B. Spalding - "Mathematical models of turbulence" - Academic Press, 1972
- [12] J.W. Deardoff - "On the magnitude of the subgrid scale eddy coefficient" - Journal of Computational Physics, Vol.7, 1971
- [13] W.H. Munk, E.R. Anderson - "Notes on the theory of the thermocline" - Journal of Marine Research, Vol.1, 1948

- [14] A. Di Monaco, E. Ghisolfi, M. Miserocchi, W. Ding - "A mathematical model for predicting the thermal regime of rivers: calibration and application to the Po river" - Computer Method and Water Resources Conference 20-22 Febbraio 1991 Marrakesh (Marocco)
  
- [15] Tan Weiyan - "Shallow water hydrodynamics" - Elsevier oceanography series.
  
- [16] C. B. Vreugdenhil - "Numerical methods for shallow-water flow" - Kluwer Academic Publishers.

## *GRAFICI*

## LISTA DEI GRAFICI

1. Incremento termico misurato il 24/07/96 mattino.
2. Incremento termico misurato il 24/07/96 pomeriggio.
3. Caso 4. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
4. Caso 5. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
5. Caso 5\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
6. Caso 5\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
7. Caso 5\_3. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
8. Caso 5\_0\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
9. Caso 5\_0\_2\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
10. Caso 5\_0\_1\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
11. Caso 5\_2\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.
12. Caso 5\_0\_2bis. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati misurati in campagna  
 Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

**Data 24/07/96 Ore 10.00-11.00**

Stazioni	Temperatura [°C]				punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media	
1	23.700	23.600	23.500	23.600	
2	23.300	23.200	23.000	23.167	F
3	22.800	22.900	22.900	22.867	F
4	23.100	23.100	23.100	23.100	F
5	24.000	24.000	23.900	23.967	
6	24.300	24.300	23.800	24.133	
7	24.300	24.400	24.100	24.267	
8	24.400	24.500	24.400	24.433	C
9	24.200	24.400	24.100	24.233	

Staz. Calda	[°C]	24.43
Stazione Fredda	[°C]	23.17
Stazione Fredda	[°C]	22.87
Stazione Fredda	[°C]	23.10
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	23.04
2SF	[°C]	0.32

**Incremento termico 1.07**

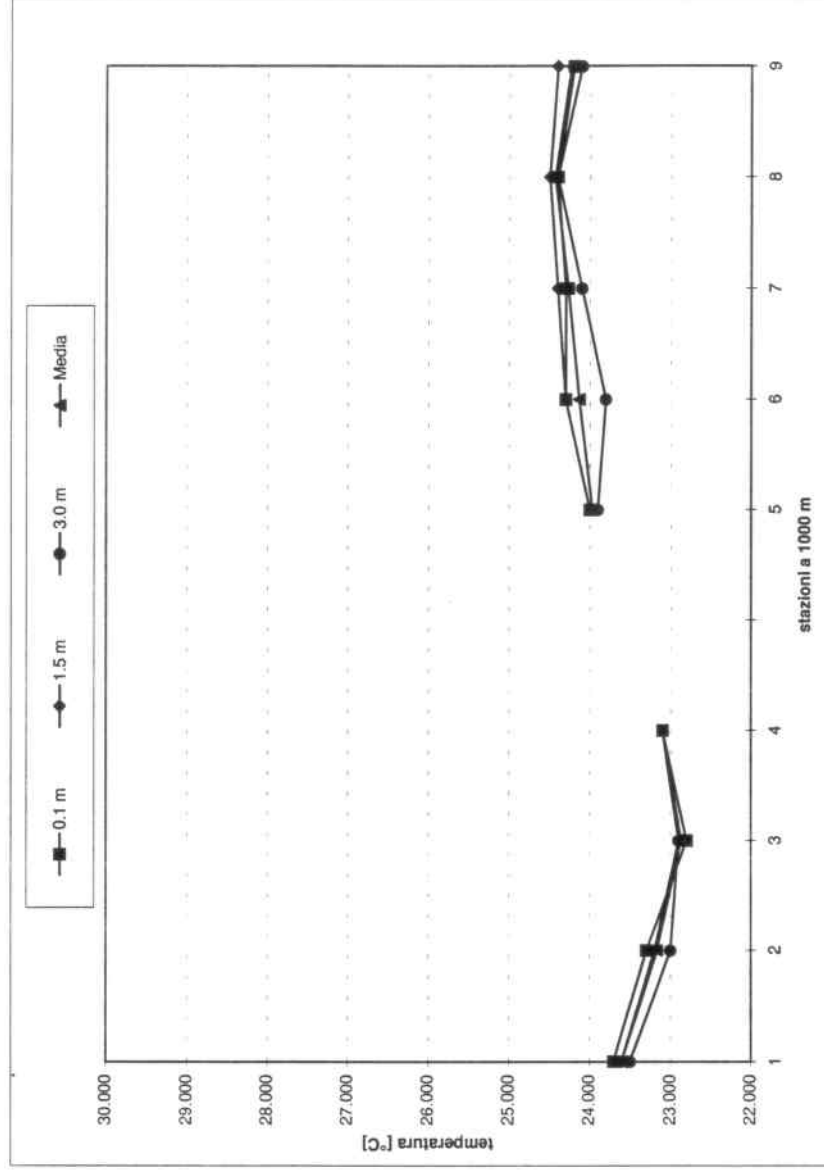


Grafico 1 - Incremento termico misurato il 24/07/96 mattino.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati misurati in campagna  
 Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco di 1000 metri

**Data 24/07/96 Ore 13.30-14.30**

Stazioni	Temperatura [°C]				punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media	
1	23.300	23.200	23.100	23.200	23.000 F
2	23.000	23.000	23.000	23.000	23.033 F
3	23.000	23.000	23.100	23.033	23.100 F
4	23.100	23.100	23.100	23.100	23.933 F
5	24.200	24.100	23.500	23.933	24.167 F
6	24.400	24.200	23.900	24.167	24.233 F
7	24.400	24.200	24.100	24.233	24.433 F
8	24.400	24.500	24.400	24.433	24.567 F
9	24.500	24.600	24.600	24.567	

Staz. Calda	[°C]	24.57
Stazione Fredda	[°C]	23.00
Stazione Fredda	[°C]	23.03
Stazione Fredda	[°C]	23.10
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	23.04
2SF	[°C]	0.10
<b>Incremento termico</b>		<b>1.42</b>

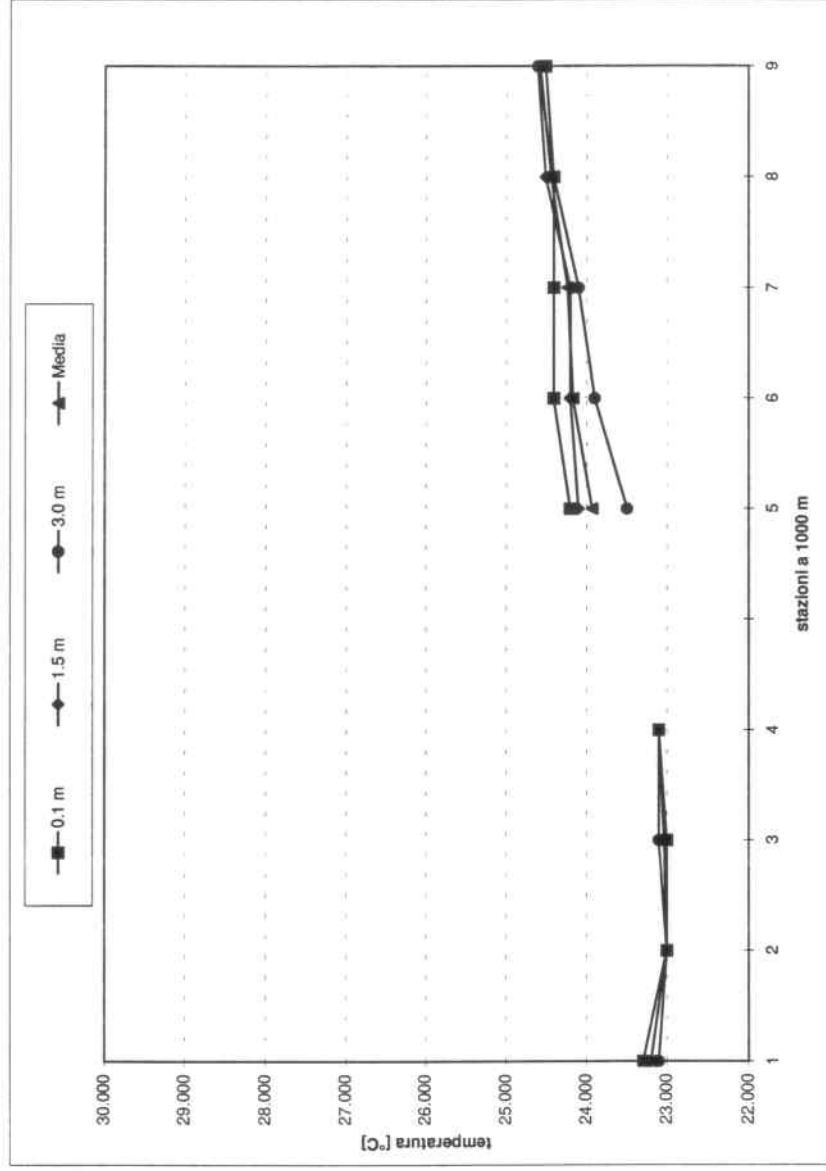


Grafico 2 - Incremento termico misurato il 24/07/96 pomeriggio.



## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI  
 Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

Stazioni	Temperatura [°C]				Media	punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media		
1	27.446	27.396	26.533	27.125		
2	27.690	27.344	26.583	27.206		
3	27.973	27.296	26.563	27.277		
4	28.064	27.311	26.526	27.300	C	
5	27.412	26.784	26.217	26.804		
6	27.306	26.769	26.251	26.775		
7	27.068	26.837	26.197	26.701	F	
8	26.445	26.451	26.357	26.418	F	
9	26.353	26.359	26.349	26.354	F	

Staz. Calda	[°C]	27.30
Stazine Fredda	[°C]	26.70
Stazine Fredda	[°C]	26.42
Stazine Fredda	[°C]	26.35
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.49
2SF	[°C]	0.37
<b>Incremento termico</b>		<b>0.44</b>

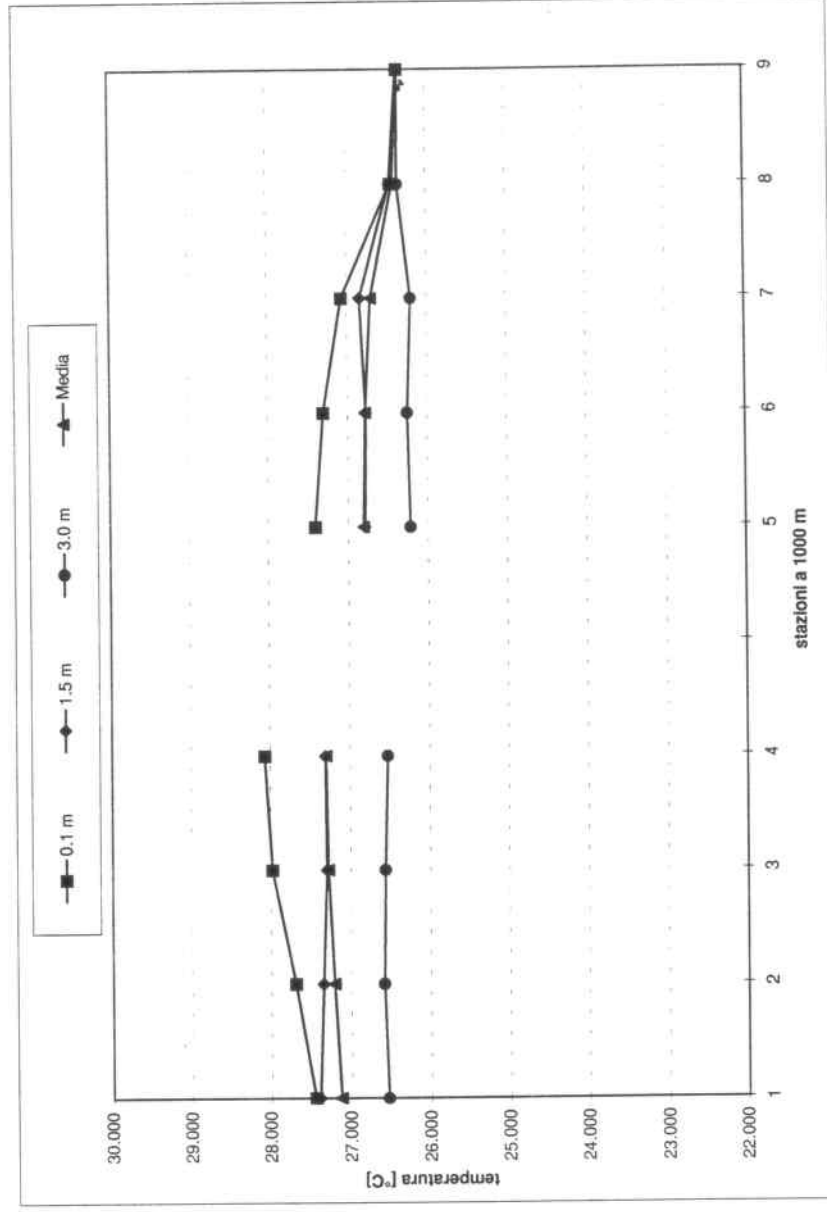


Grafico 3 - Caso 4. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI  
 Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

Caso 5 (30 giorni)				
Stazioni	Temperatura [°C]			punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	
1	26.942	26.959	26.510	26.804
2	27.189	27.050	26.412	26.884
3	27.474	27.054	26.406	26.978
4	27.565	27.075	26.388	27.009 C
5	26.946	26.585	26.153	26.561
6	26.843	26.582	26.119	26.515
7	26.620	26.584	26.074	26.426 F
8	26.101	26.110	26.100	26.104 F
9	26.006	26.015	26.013	26.011 F

Staz. Calda	[°C]	27.01
Stazine Fredda	[°C]	26.43
Stazine Fredda	[°C]	26.10
Stazine Fredda	[°C]	26.01
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.18
2SF	[°C]	0.44
<b>Incremento termico</b>		<b>0.39</b>

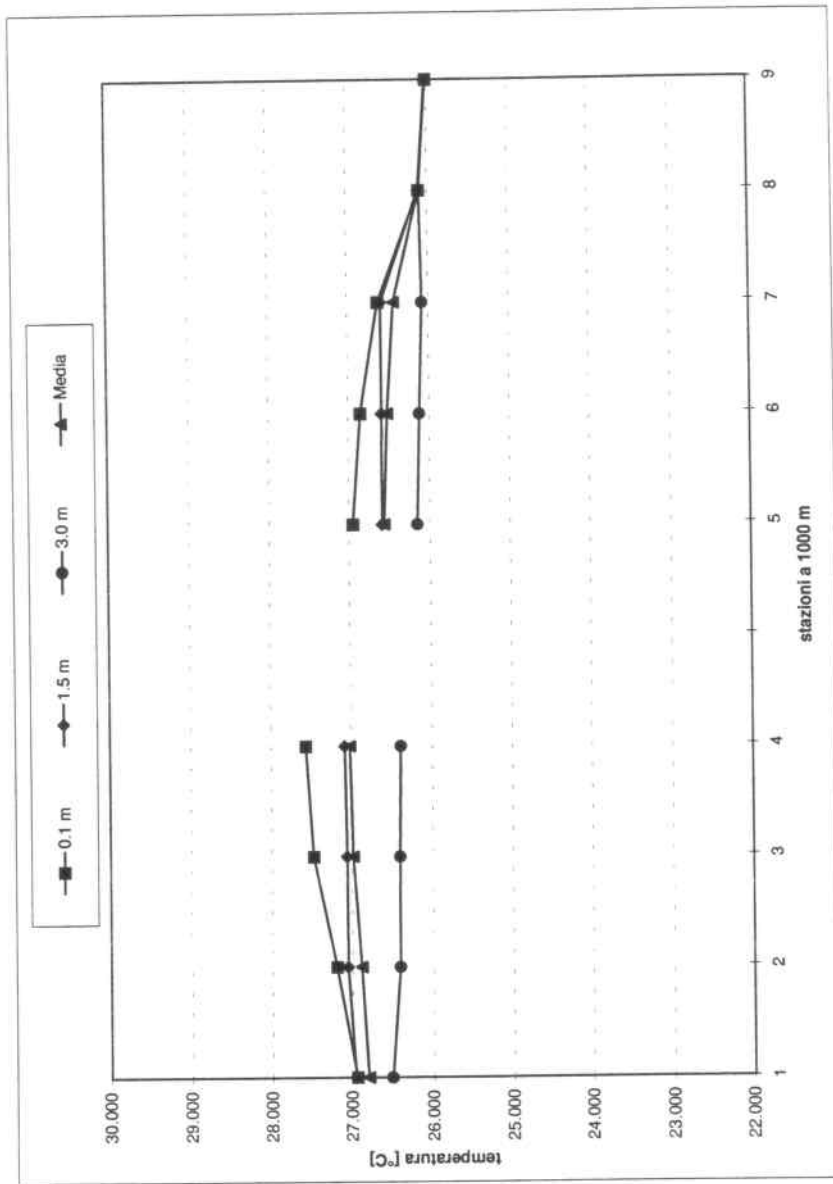


Grafico 4 - Caso 5. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

Caso 5_1 (20 giorni + 2 giorni)				
Stazioni	Temperatura [°C]			punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	
1	26.947	26.961	26.513	26.807
2	27.190	27.052	26.419	26.887
3	27.474	27.065	26.404	26.981
4	27.565	27.092	26.382	27.013 C
5	26.945	26.594	26.151	26.563
6	26.844	26.587	26.120	26.517 F
7	26.626	26.590	26.069	26.428 F
8	26.106	26.115	26.106	26.109 F
9	26.011	26.019	26.017	26.016 F

Staz. Calda	[°C]	27.01
Stazine Fredda	[°C]	26.43
Stazine Fredda	[°C]	26.11
Stazine Fredda	[°C]	26.02
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.18
2SF	[°C]	0.43
<b>Incremento termico</b>		<b>0.40</b>

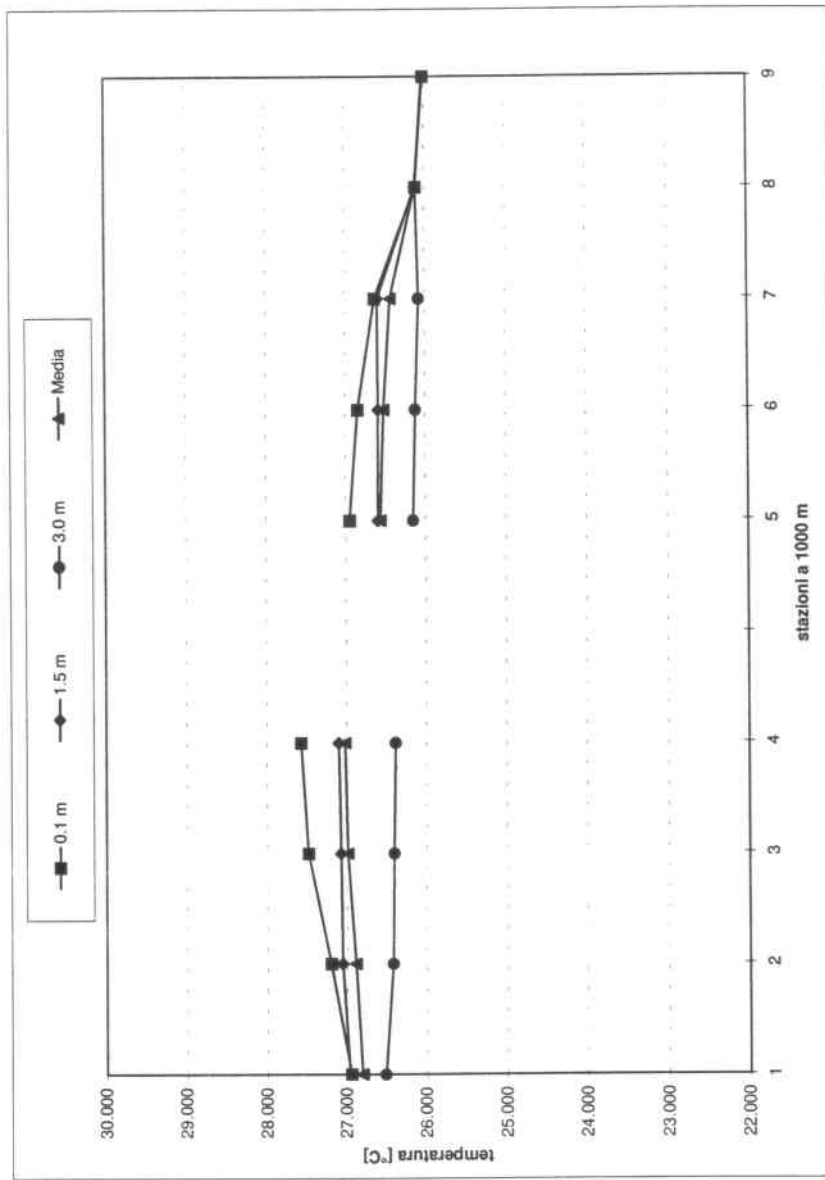


Grafico 5 - Caso 5\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

Caso 5_2 (20 giorni + 6 giorni)					
Stazioni	Temperatura [°C]				punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media	
1	26.921	26.935	26.497	26.784	
2	27.153	27.046	26.379	26.859	
3	27.434	27.066	26.363	26.954	
4	27.542	27.090	26.357	26.996	C
5	27.037	26.629	26.267	26.644	
6	26.944	26.638	26.222	26.601	
7	26.697	26.658	26.160	26.505	F
8	26.155	26.165	26.154	26.158	F
9	26.058	26.067	26.064	26.063	F

Staz. Calda	[°C]	27.00
Stazine Fredda	[°C]	26.51
Stazine Fredda	[°C]	26.16
Stazine Fredda	[°C]	26.06
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.24
2SF	[°C]	0.47
<b>Incremento termico</b>		<b>0.29</b>

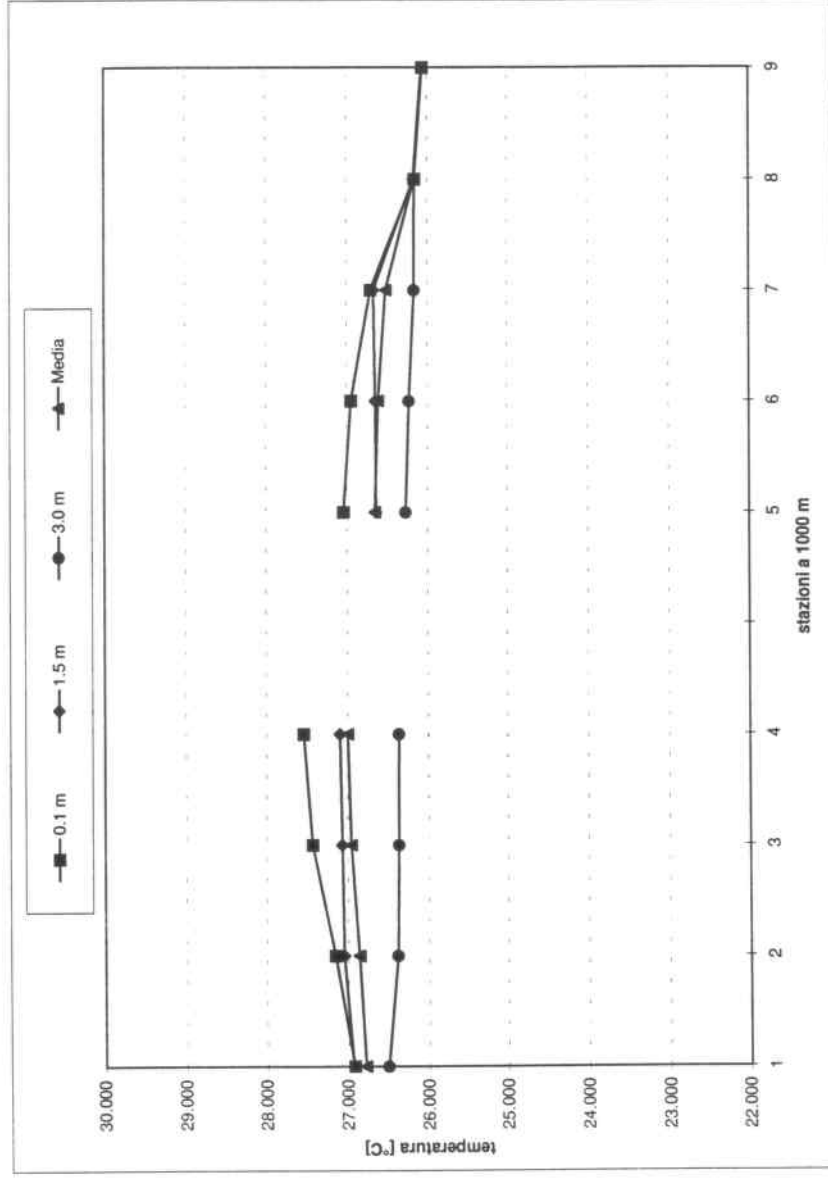


Grafico 6 - Caso 5\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

Caso 5_3 (20 giorni + 6 giorni)					
Stazioni	Temperatura [°C]				punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media	
1	26.865	26.875	26.439	26.726	
2	27.062	26.955	26.313	26.777	
3	27.377	27.013	26.231	26.874	
4	27.517	27.014	26.278	26.936	C
5	27.080	26.687	26.282	26.683	
6	27.011	26.678	26.271	26.553	F
7	26.768	26.695	26.226	26.563	F
8	26.181	26.190	26.173	26.181	F
9	26.081	26.090	26.088	26.086	F

Staz. Calda	[°C]	26.94
Stazine Fredda	[°C]	26.56
Stazine Fredda	[°C]	26.18
Stazine Fredda	[°C]	26.09
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.28
2SF	[°C]	0.50
<b>Incremento termico</b>		<b>0.15</b>

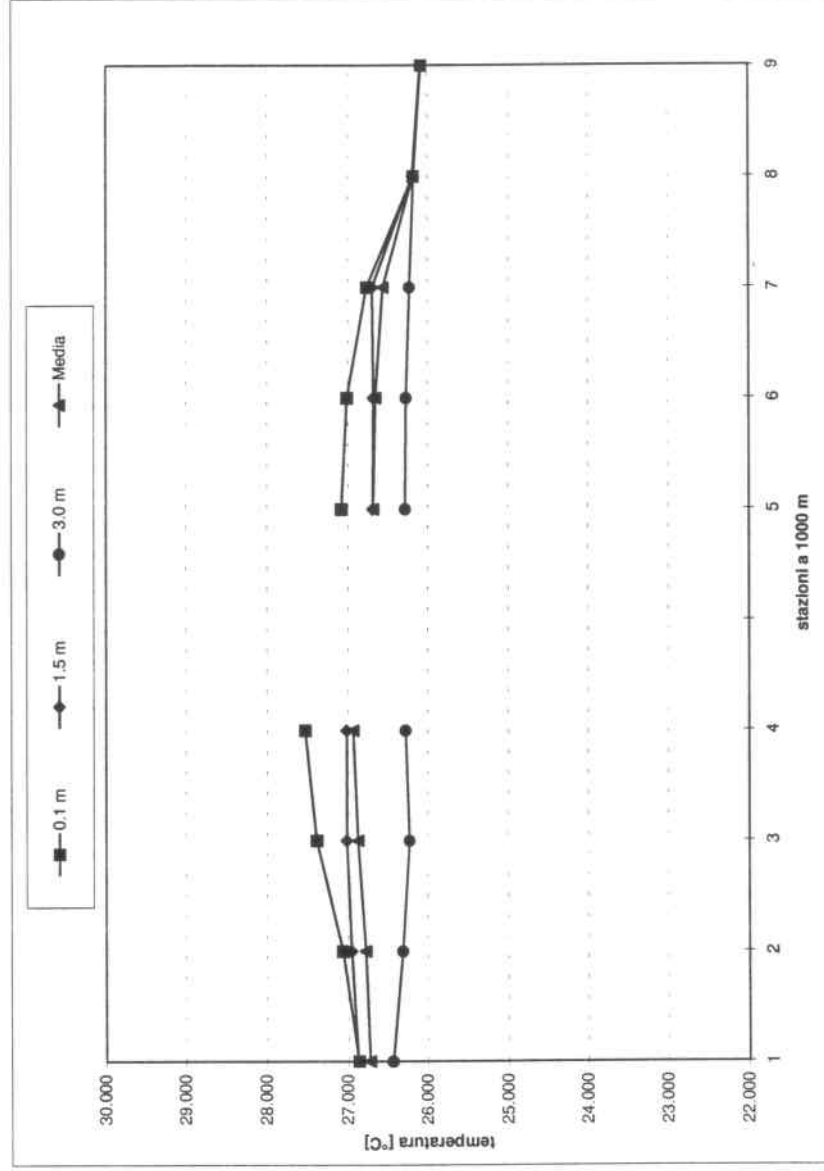


Gráfico 7 - Caso 5\_3. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

### Caso 5\_0\_2 (20 giorni + 10 giorni)

Stazioni	Temperatura [°C]				Media	punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	3.0 m		
1	26.382	26.395	26.394	26.390	F	
2	26.438	26.452	26.416	26.435	F	
3	26.539	26.555	26.335	26.476	F	
4	26.546	26.535	26.314	26.465	F	
5	26.940	26.933	26.734	26.869		
6	26.987	26.975	26.754	26.905		
7	26.979	26.980	26.864	26.941	C	
8	26.607	26.619	26.616	26.614		
9	26.511	26.524	26.526	26.520		

Staz. Calda	[°C]	26.94
Stazine Fredda	[°C]	26.39
Stazine Fredda	[°C]	26.44
Stazine Fredda	[°C]	26.47
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.43
2SF	[°C]	0.08

**Incremento termico 0.44**

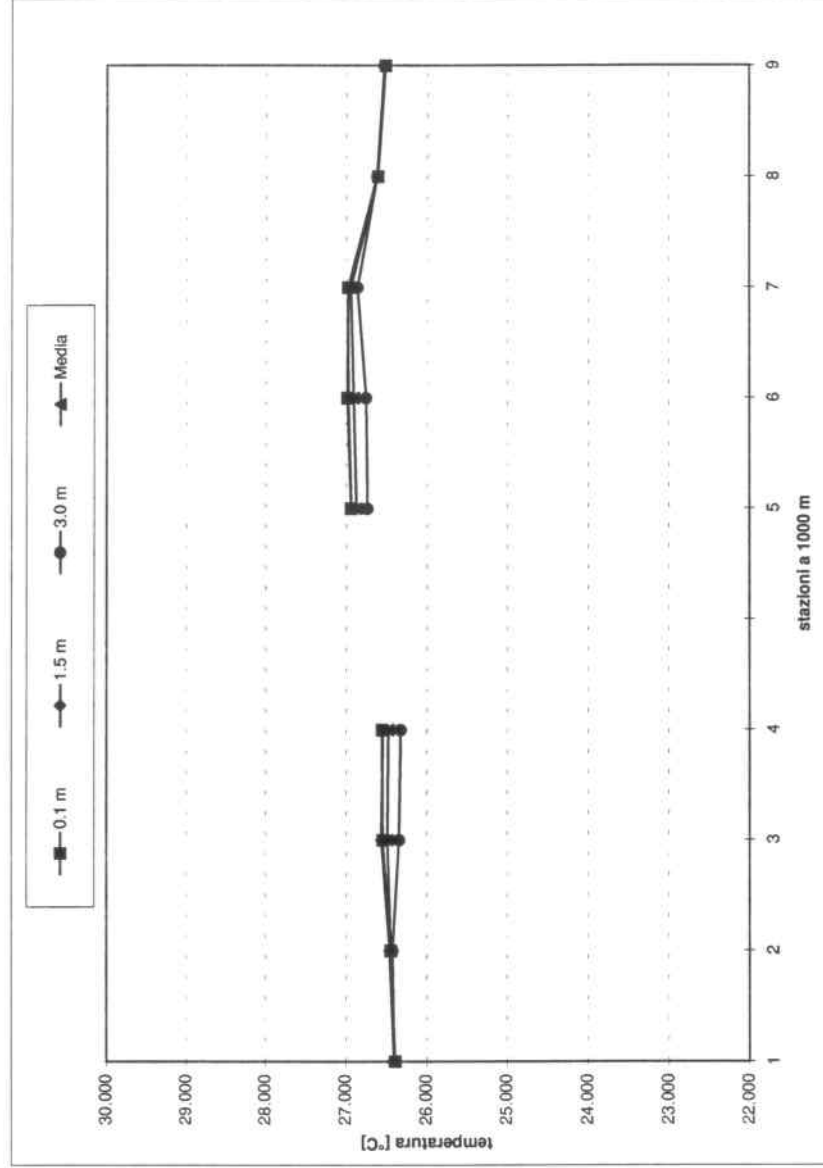


Grafico 8 - Caso 5\_0\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.



## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

Caso 5_0_2_1 (20 giorni + 6 giorni)						
Stazioni	Temperatura [°C]				Media	punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media		
1	26.276	26.363	26.033	26.224	26.224	
2	26.270	26.331	25.811	26.137	26.137	F
3	26.267	26.426	25.854	26.182	26.182	
4	26.201	26.178	26.083	26.154	26.154	
5	26.200	26.171	25.922	26.098	26.098	F
6	26.391	26.269	25.880	26.180	26.180	
7	26.599	26.392	25.959	26.317	26.317	C
8	26.125	26.168	26.161	26.151	26.151	
9	26.038	26.096	26.096	26.077	26.077	F

Staz. Calda	[°C]	26.32
Stazine Fredda	[°C]	26.14
Stazine Fredda	[°C]	26.10
Stazine Fredda	[°C]	26.08
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.10
2SF	[°C]	0.06
<b>Incremento termico</b>		<b>0.15</b>

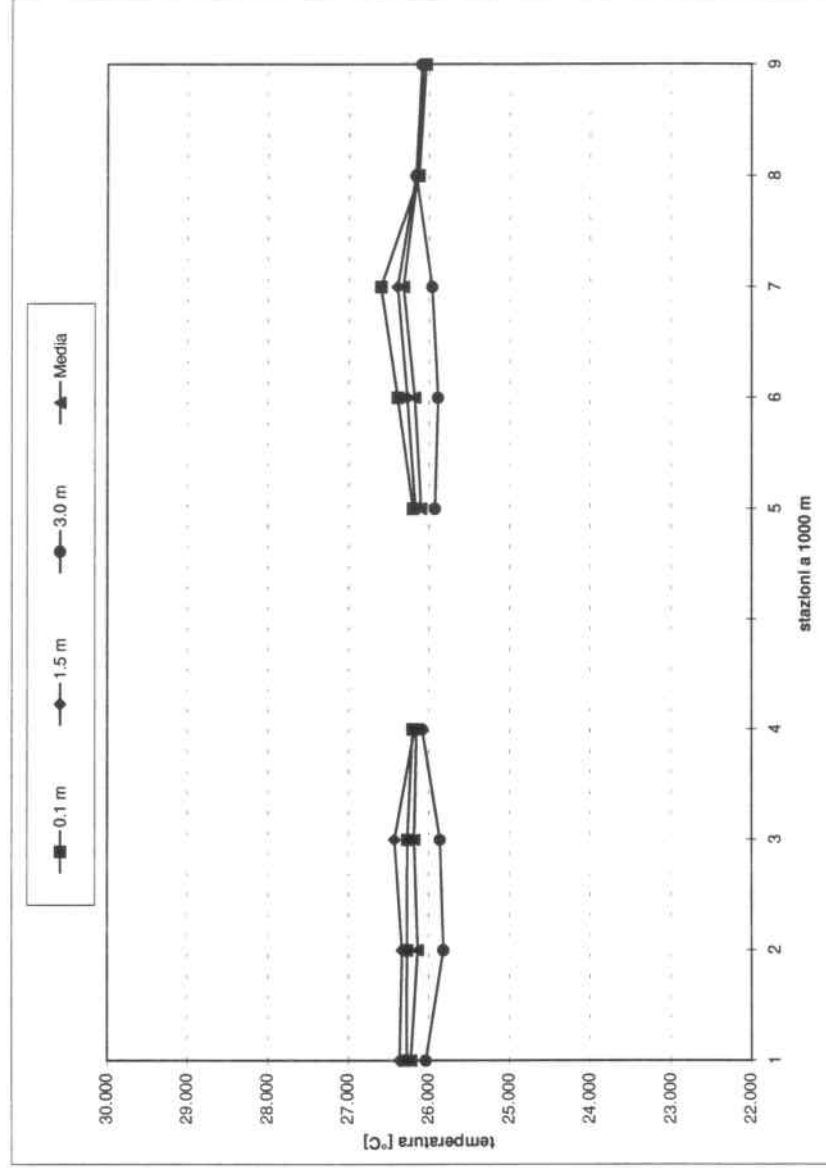


Grafico 9 - Caso 5\_0\_2\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

Caso 5_0_1_1 (20 giorni + 6 giorni)					
Stazioni	Temperatura [°C]				punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media	
1	26.310	26.361	26.313	26.328	
2	26.311	26.397	26.233	26.314	
3	26.369	26.459	26.178	26.335	
4	26.208	26.311	26.281	26.267	F
5	27.171	26.561	26.201	26.644	C
6	27.084	26.584	26.181	26.616	
7	26.903	26.586	26.210	26.566	
8	26.102	26.153	26.155	26.137	F
9	26.035	26.106	26.102	26.081	F

Staz. Calda	[°C]	26.64
Stazine Fredda	[°C]	26.27
Stazine Fredda	[°C]	26.14
Stazine Fredda	[°C]	26.08
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.16
2SF	[°C]	0.19
<b>Incremento termico</b>		<b>0.29</b>

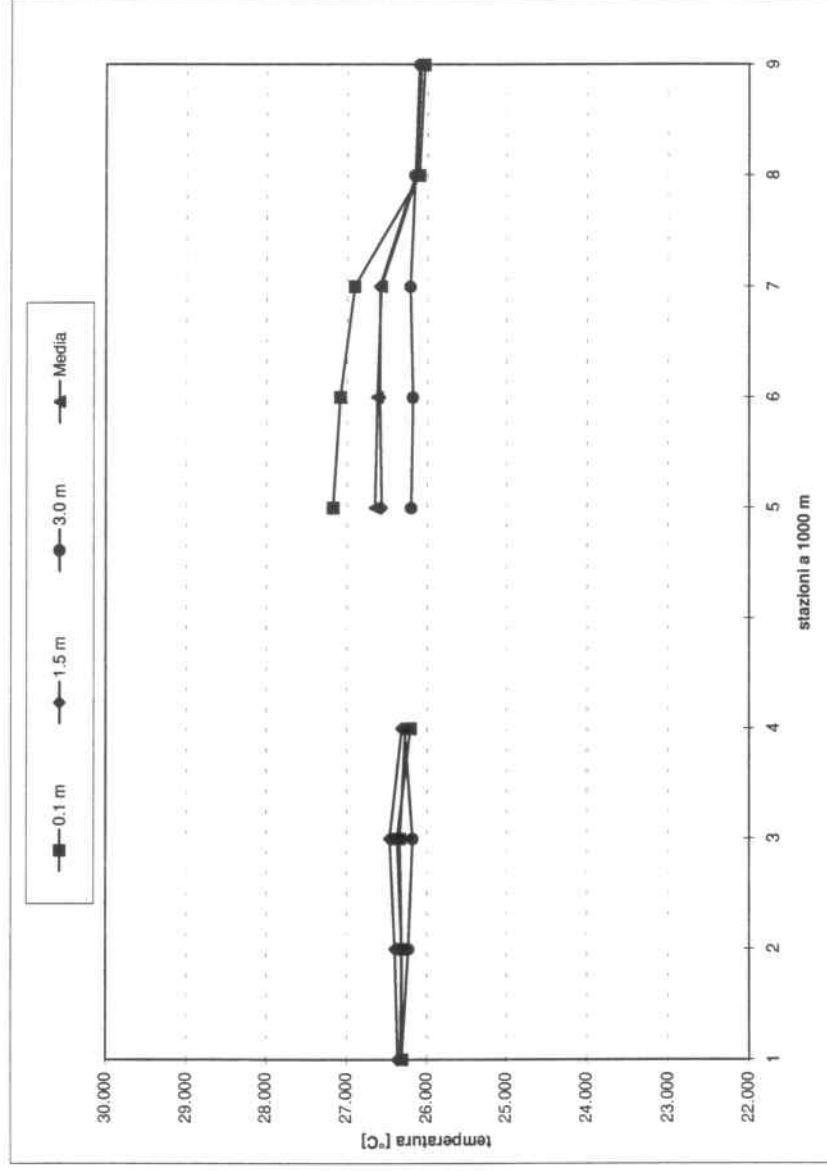


Grafico 10 - Caso 5\_0\_1\_1. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco di mare sull'arco a 1000 metri

Caso 5_2_2 (20 giorni + 6 giorni)					
Stazioni	Temperatura [°C]				punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media	
1	26.382	26.394	26.392	26.389	
2	26.444	26.457	26.410	26.437	F
3	26.544	26.559	26.321	26.475	F
4	26.548	26.535	26.307	26.463	F
5	26.924	26.916	26.715	26.852	
6	26.970	26.958	26.737	26.888	
7	26.962	26.962	26.846	26.923	C
8	26.591	26.603	26.600	26.598	
9	26.495	26.508	26.510	26.504	

Staz. Calda	[°C]	26.92
Stazine Fredda	[°C]	26.44
Stazine Fredda	[°C]	26.47
Stazine Fredda	[°C]	26.46
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	26.46
2SF	[°C]	0.04
<b>Incremento termico</b>		<b>0.43</b>

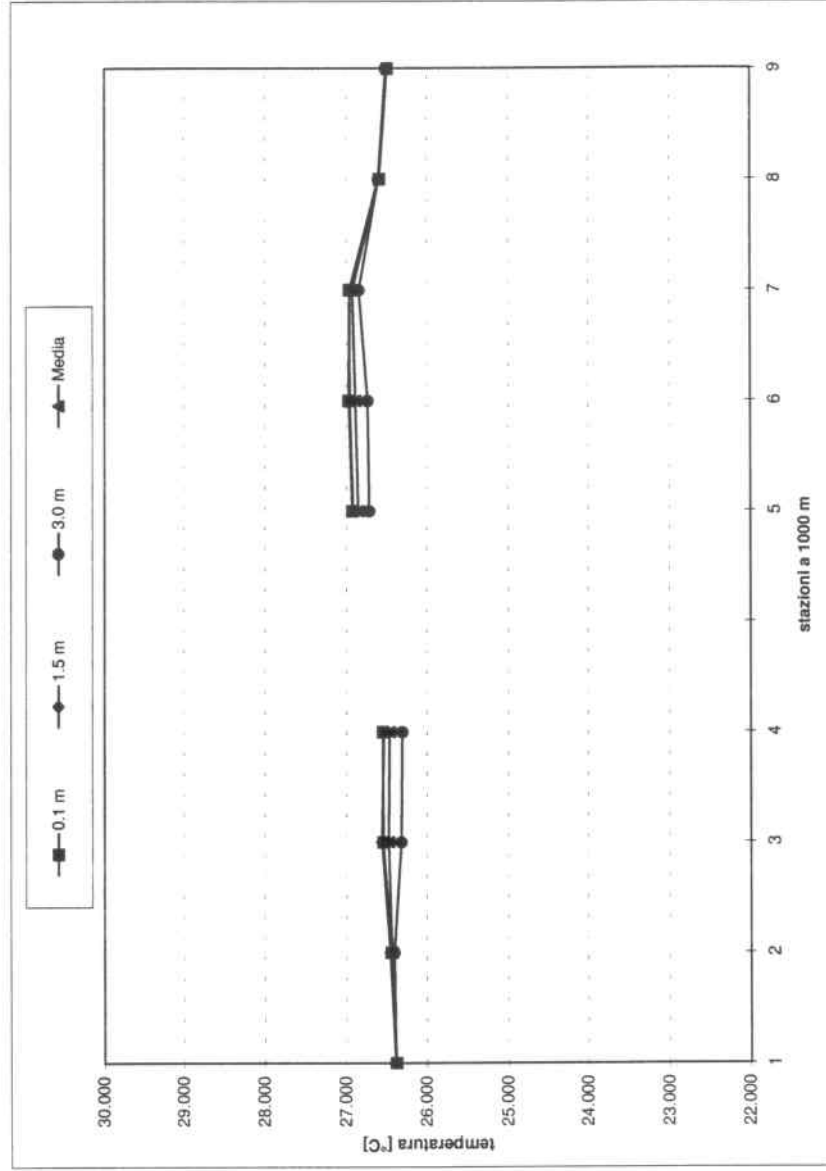


Grafico 11 - Caso 5\_2\_2. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

## CENTRALE DI GENOVA

Incrementi termici determinati dai dati calcolati col codice TRIMDI

Dati di temperatura dell'acqua di mare sull'arco a 1000 metri

### Caso 5\_0\_2bis (20 giorni + 10 giorni)

Stazioni	Temperatura [°C]			Media	punti C-F
	0.1 m	1.5 m	3.0 m		
1	25.90	25.91	25.92	25.907	F
2	25.90	25.91	25.92	25.907	F
3	25.92	25.93	25.94	25.931	F
4	25.94	25.95	25.95	25.946	
5	27.01	27.02	26.94	26.988	
6	27.20	27.19	27.04	27.144	C
7	27.28	27.29	27.24	27.267	C
8	26.96	26.97	26.97	26.968	
9	26.84	26.86	26.86	26.853	

Staz. Calda	[°C]	27.27
Stazione Fredda	[°C]	25.93
Stazione Fredda	[°C]	25.91
Stazione Fredda	[°C]	25.91
T. media delle 3 staz. fredde	[°C]	25.92
2SF	[°C]	0.03
<b>Incremento termico</b>		<b>1.32</b>

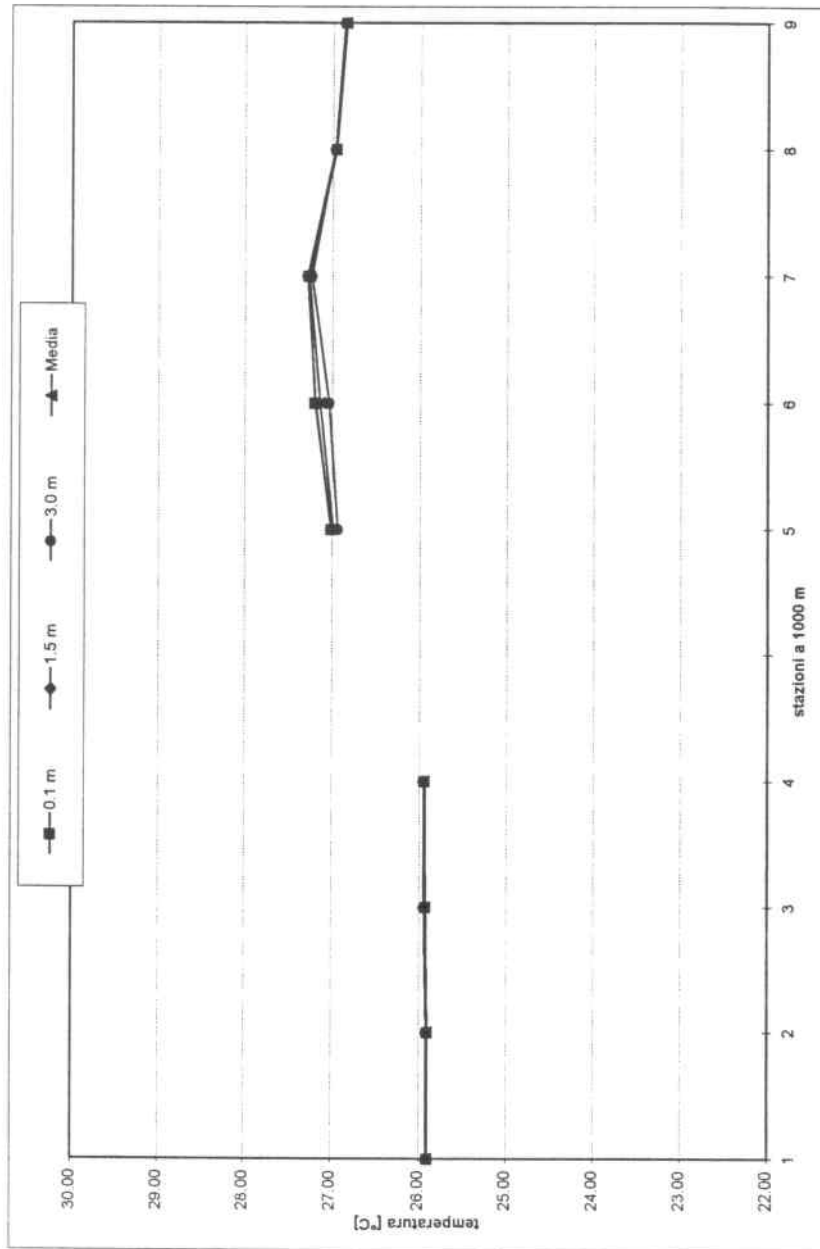


Grafico 12. - Caso 5\_0\_2bis. Incremento termico calcolato dai dati del codice TRIMDI.

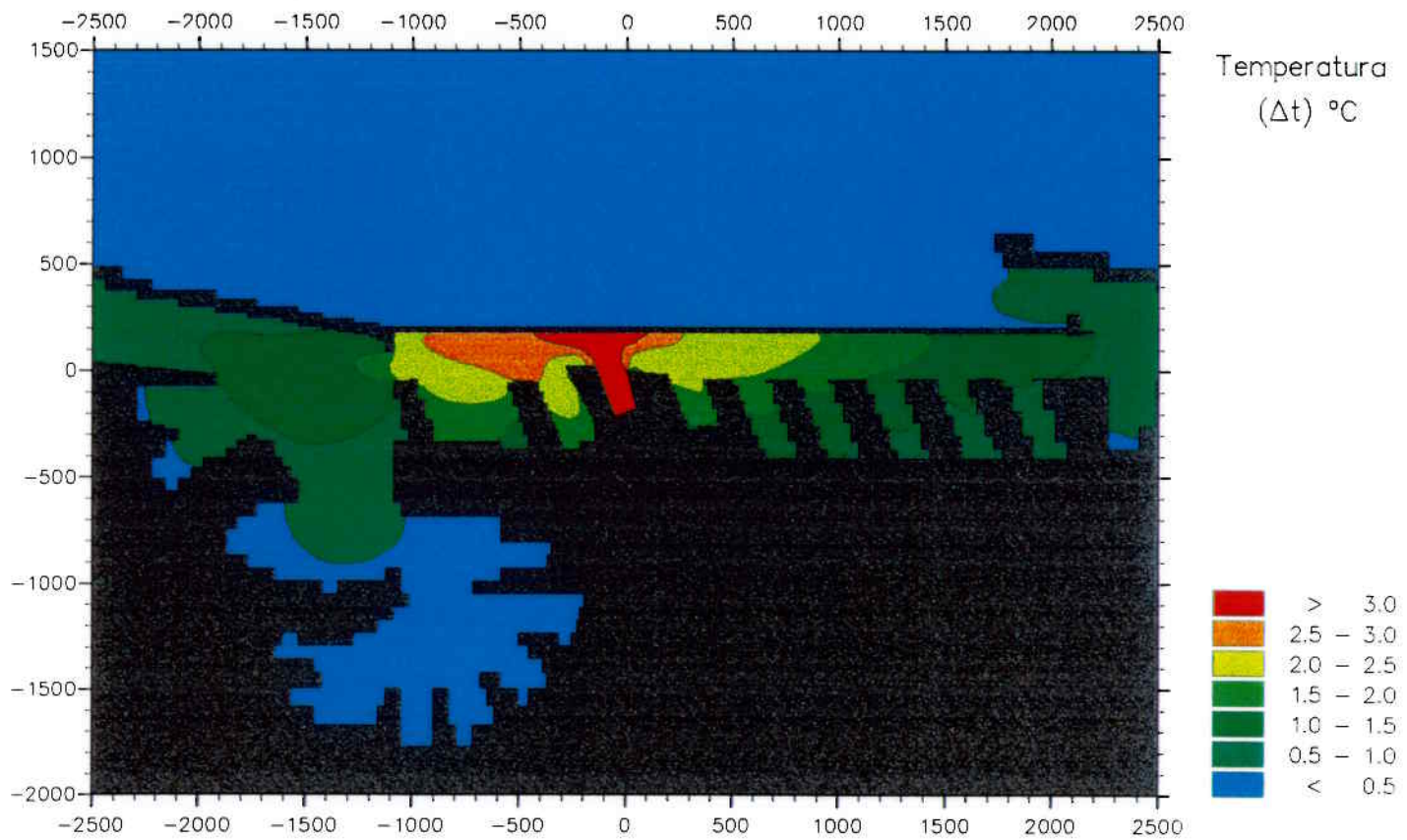
*FIGURE*

## LISTA DELLE FIGURE

1. Disposizione della Centrale nell'area portuale e delle stazioni di misura a 1000 m.
  2. Vista prospettica del dominio di calcolo.
  3. Reticolo di discretizzazione e batimetriche (vista generale).
  4. Reticolo di discretizzazione (particolare della zona prossima a scarico e presa).
- 
- 5.1. Caso 4. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 5.2. Caso 4. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 5.3. Caso 4. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 5.4. Caso 4. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 5.5. Caso 4. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 5.6. Caso 4. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 5.7. Caso 4. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 5.8. Caso 4. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
  - 5.9. Caso 4. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
- 
- 6.1. Caso 5. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 6.2. Caso 5. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 6.3. Caso 5. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 6.4. Caso 5. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 6.5. Caso 5. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 6.6. Caso 5. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 6.7. Caso 5. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 6.8. Caso 5. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
  - 6.9. Caso 5. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
- 
- 7.1. Caso 5\_1. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 7.2. Caso 5\_1. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 7.3. Caso 5\_1. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 7.4. Caso 5\_1. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 7.5. Caso 5\_1. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 7.6. Caso 5\_1. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 7.7. Caso 5\_1. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 7.8. Caso 5\_1. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
  - 7.9. Caso 5\_1. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
- 
- 8.1. Caso 5\_2. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 8.2. Caso 5\_2. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 8.3. Caso 5\_2. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 8.4. Caso 5\_2. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 8.5. Caso 5\_2. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 8.6. Caso 5\_2. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 8.7. Caso 5\_2. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 8.8. Caso 5\_2. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
  - 8.9. Caso 5\_2. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
- 
- 9.1. Caso 5\_3. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 9.2. Caso 5\_3. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 9.3. Caso 5\_3. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 9.4. Caso 5\_3. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 9.5. Caso 5\_3. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 9.6. Caso 5\_3. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 9.7. Caso 5\_3. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 9.8. Caso 5\_3. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
  - 9.9. Caso 5\_3. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
- 
- 10.1. Caso 5\_0\_2. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 10.2. Caso 5\_0\_2. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 10.3. Caso 5\_0\_2. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
  - 10.4. Caso 5\_0\_2. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.

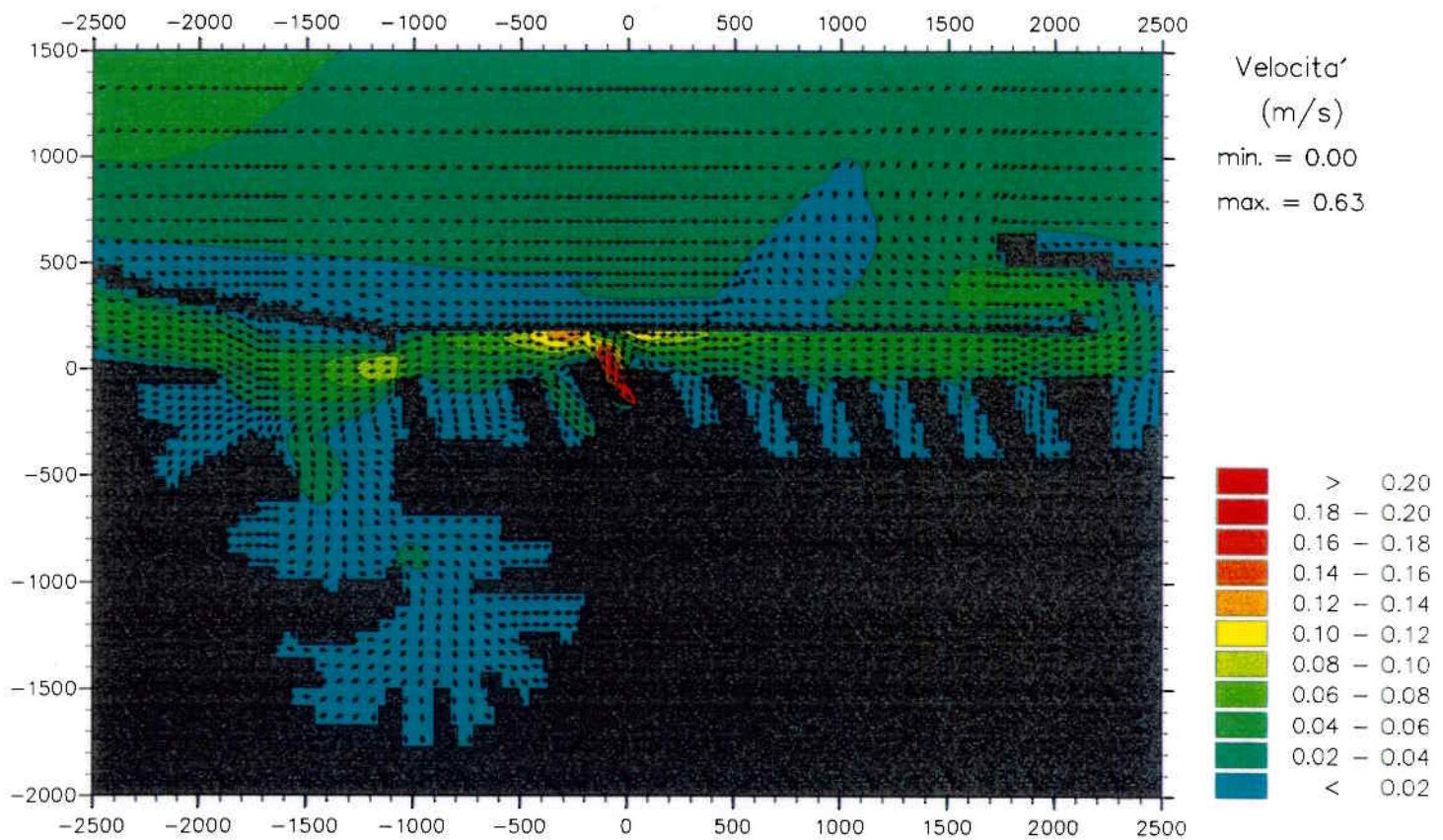
- 10.5. Caso 5\_0\_2. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto
- 10.6. Caso 5\_0\_2. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
- 10.7. Caso 5\_0\_2. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
- 10.8. Caso 5\_0\_2. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
- 10.9. Caso 5\_0\_2. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
  
- 11.1. Caso 5\_0\_2\_1. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
- 11.2. Caso 5\_0\_2\_1. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
- 11.3. Caso 5\_0\_2\_1. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
- 11.4. Caso 5\_0\_2\_1. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
- 11.5. Caso 5\_0\_2\_1. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
- 11.6. Caso 5\_0\_2\_1. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
- 11.7. Caso 5\_0\_2\_1. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
- 11.8. Caso 5\_0\_2\_1. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
- 11.9. Caso 5\_0\_2\_1. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
  
- 12.1. Caso 5\_0\_1\_1. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
- 12.2. Caso 5\_0\_1\_1. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
- 12.3. Caso 5\_0\_1\_1. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
- 12.4. Caso 5\_0\_1\_1. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
- 12.5. Caso 5\_0\_1\_1. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
- 12.6. Caso 5\_0\_1\_1. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
- 12.7. Caso 5\_0\_1\_1. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
- 12.8. Caso 5\_0\_1\_1. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
- 12.9. Caso 5\_0\_1\_1. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
  
- 13.1. Caso 5\_2\_2. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
- 13.2. Caso 5\_2\_2. Strato 13. Campo di temperatura e campo di moto.
- 13.3. Caso 5\_2\_2. Strato 12. Campo di temperatura e campo di moto.
- 13.4. Caso 5\_2\_2. Strato 11. Campo di temperatura e campo di moto.
- 13.5. Caso 5\_2\_2. Strato 10. Campo di temperatura e campo di moto.
- 13.6. Caso 5\_2\_2. Strato 9. Campo di temperatura e campo di moto.
- 13.7. Caso 5\_2\_2. Strato 8. Campo di temperatura e campo di moto.
- 13.8. Caso 5\_2\_2. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
- 13.9. Caso 5\_2\_2. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
  
- 14.1. Caso 4. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.2. Caso 5. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.3. Caso 5\_1. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.4. Caso 5\_2. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.5. Caso 5\_3. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.6. Caso 5\_0\_2. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.7. Caso 5\_0\_2\_1. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.8. Caso 5\_0\_1\_1. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
- 14.9. Caso 5\_2\_2. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.
  
- 15.1. Caso 5\_0\_2bis. Strato 14. Campo di temperatura e campo di moto.
- 15.2. Caso 5\_0\_2bis. Sezioni longitudinale nella calata di scarico e a centro canale.
- 15.3. Caso 5\_0\_2bis. Sezioni longitudinale e frontale, campo di temperatura alla presa.
- 15.4. Caso 5\_0\_2bis. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m verso Levante e Ponente.





Tempo finale = 30 gg

Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m

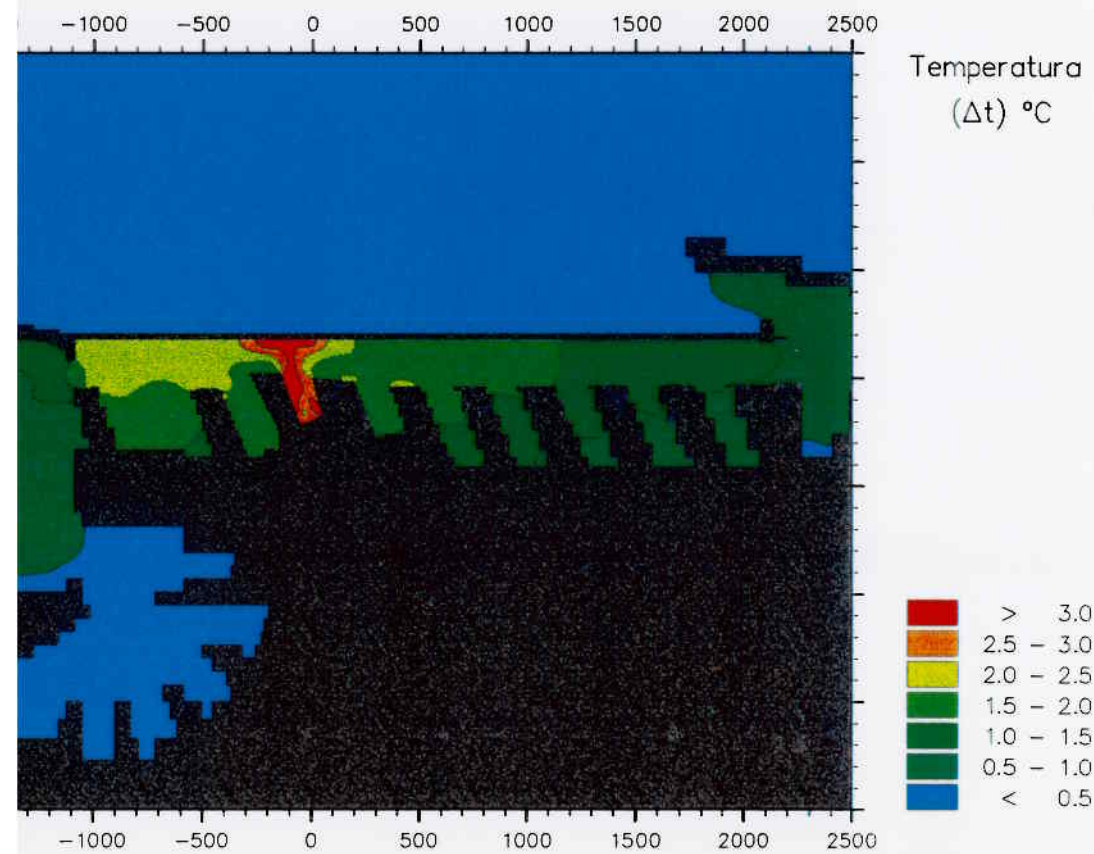


Tempo finale = 30 gg

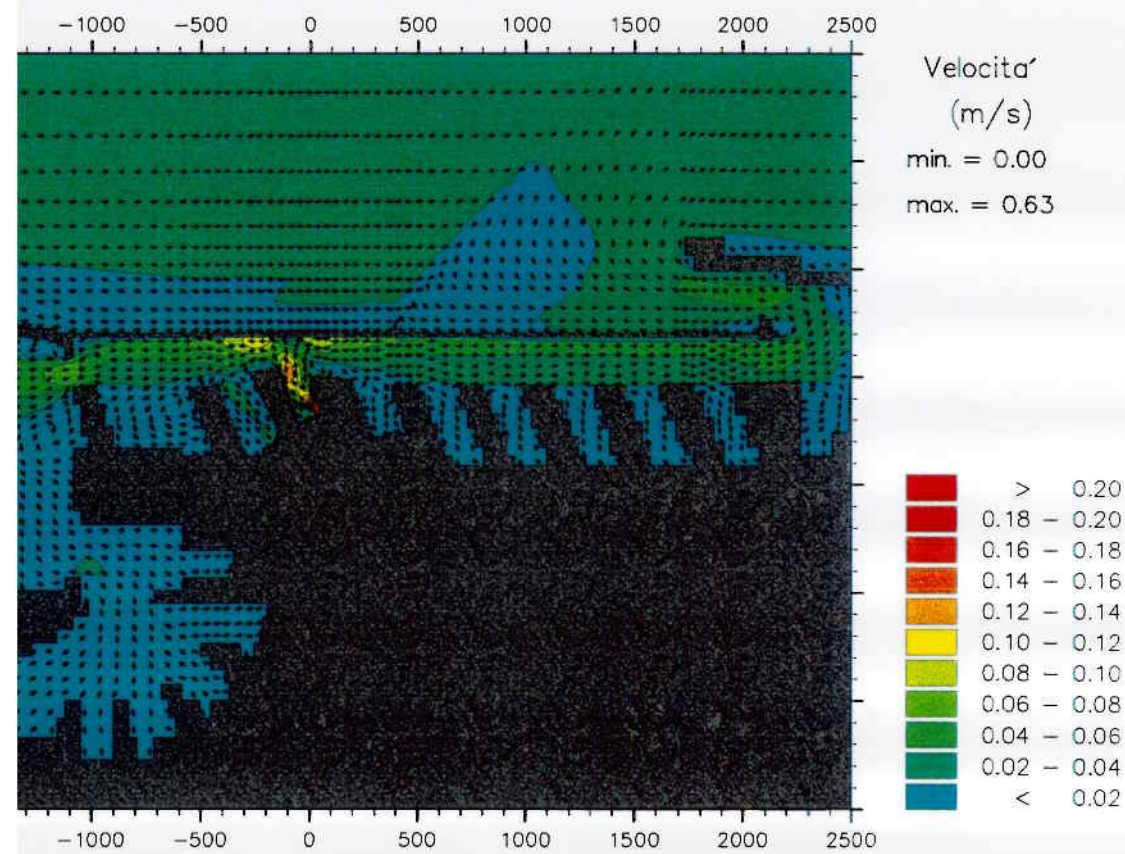
Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m

Fig. 6.3 - Caso 5. Campo di temperatura e campo di moto.





0 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m



0 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

i. Campo di temperatura e campo di moto.



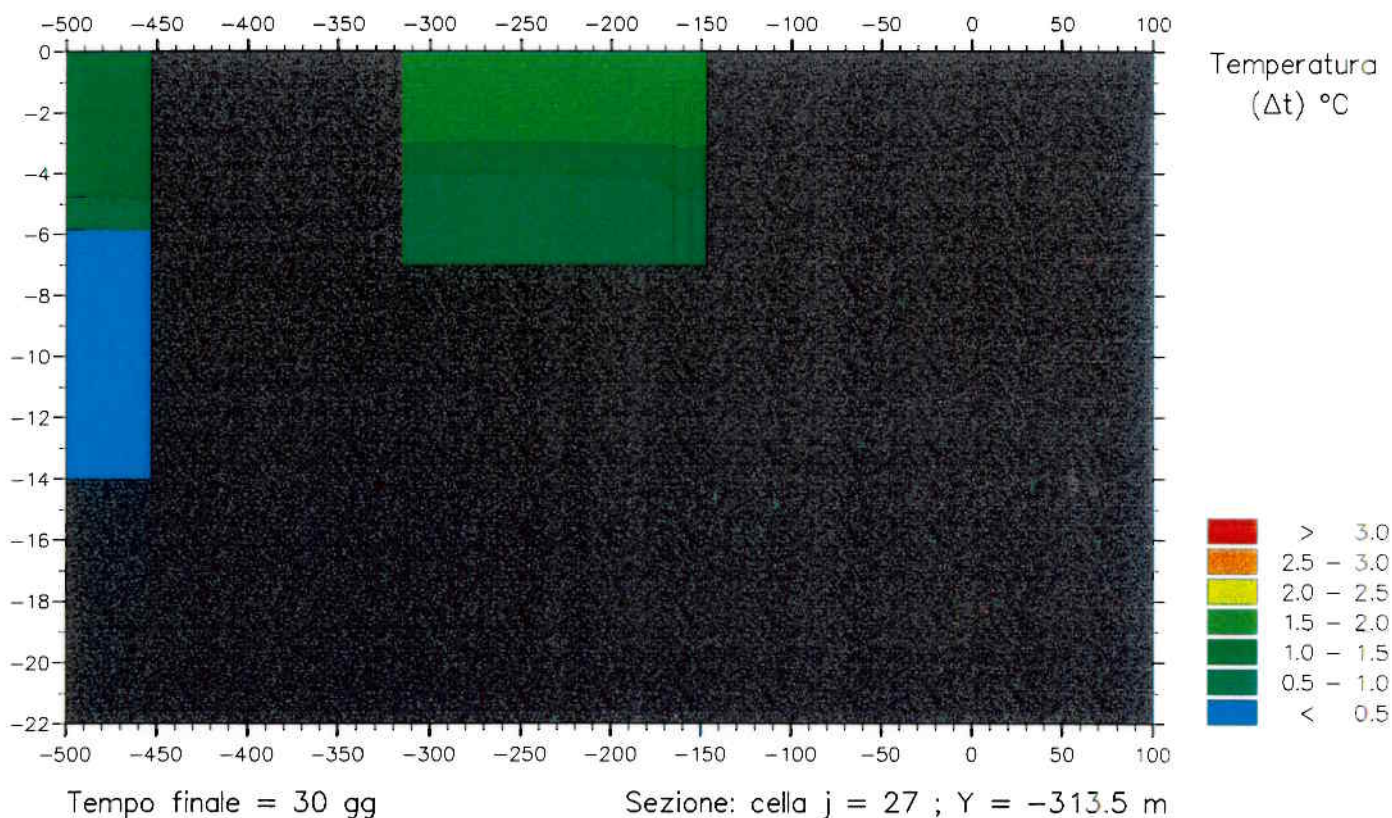
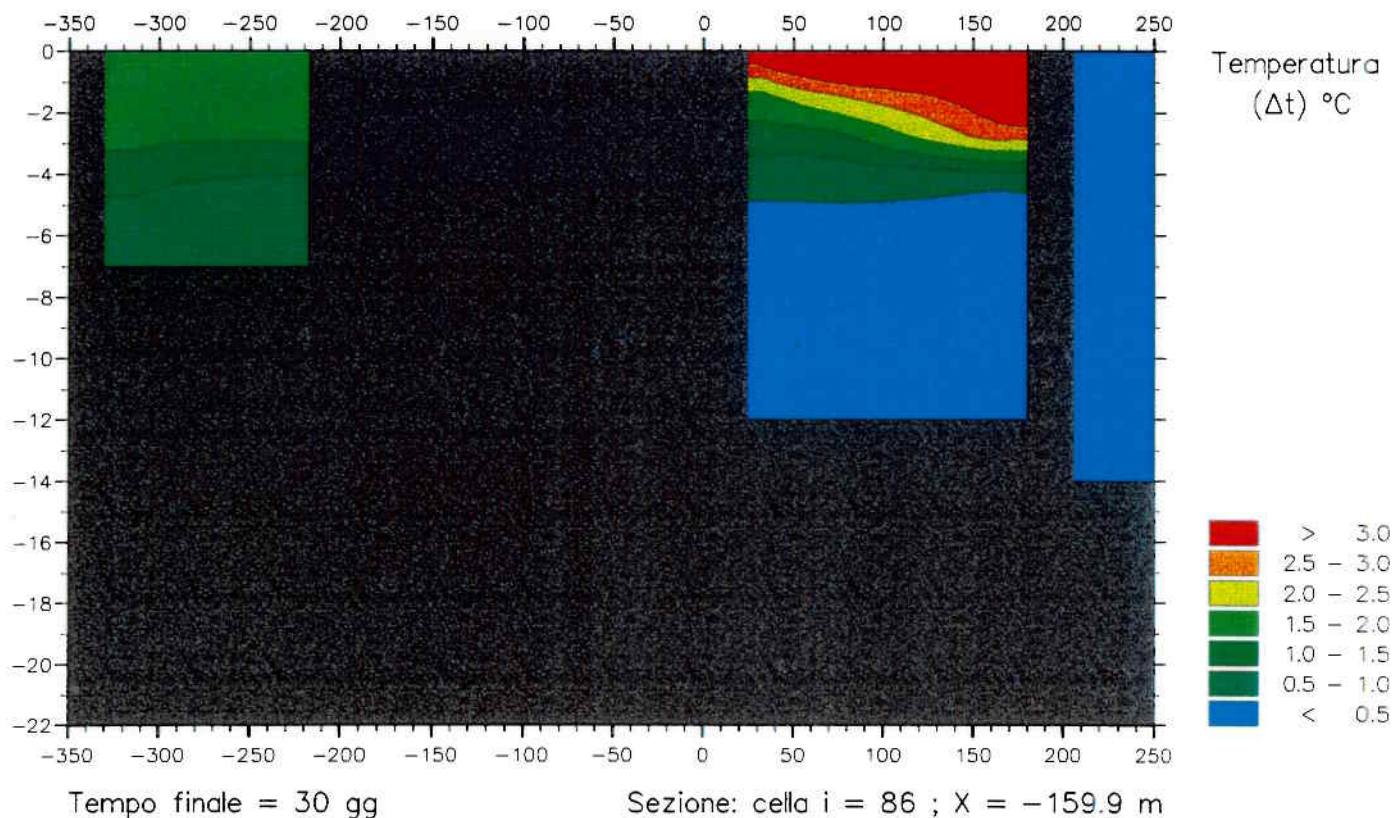


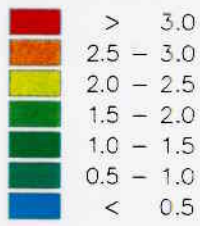
Fig. 6.9. - Caso 5. Sezioni longitudinale e frontale.  
Campi di temperatura alla presa.



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



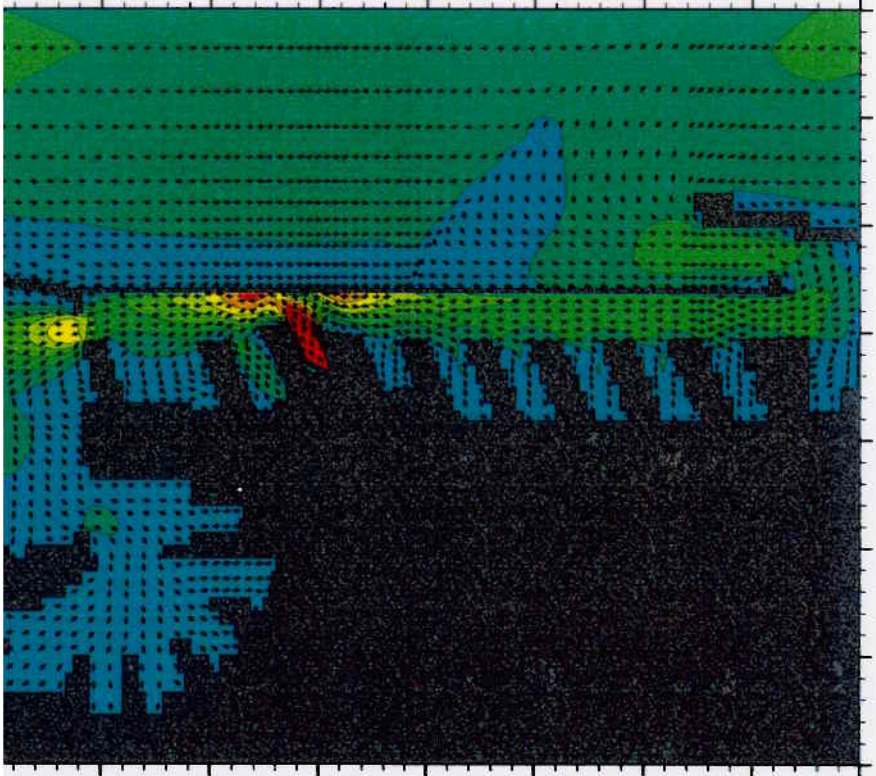
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

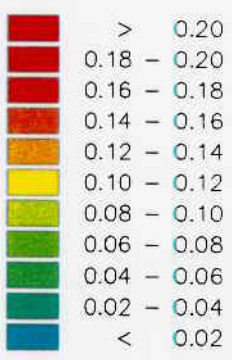
22 gg Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

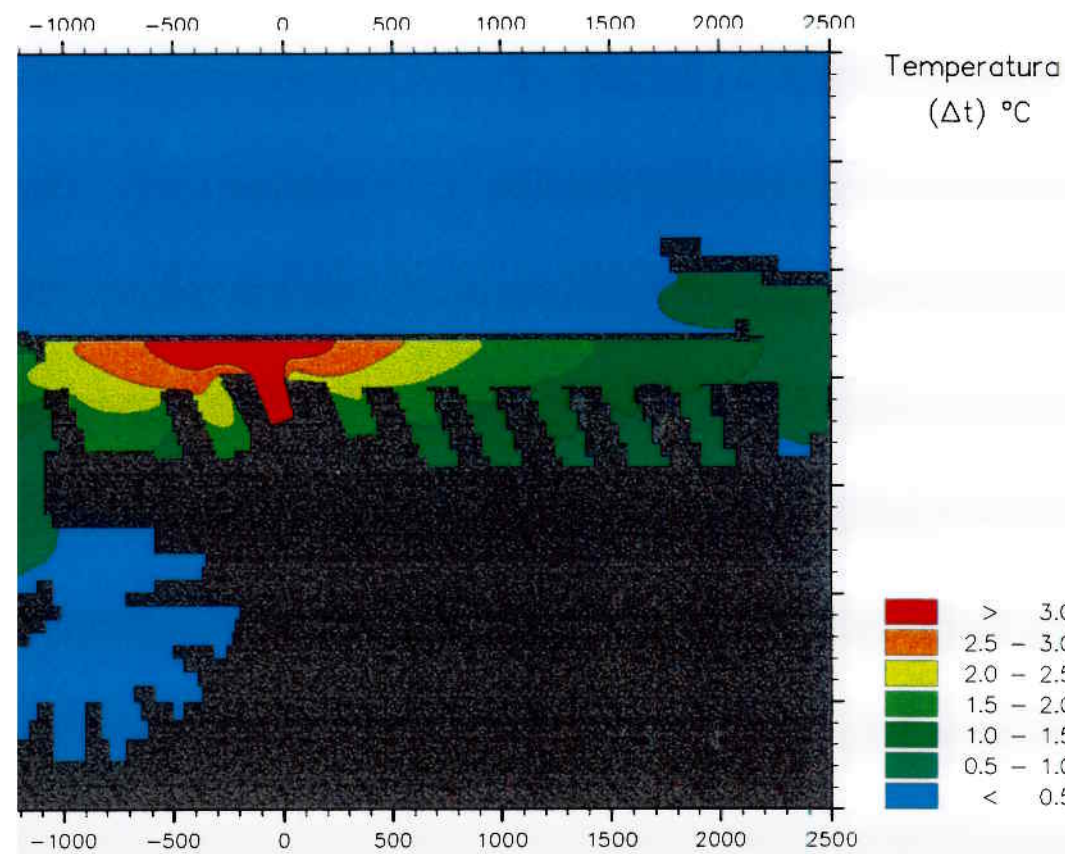
min. = 0.00  
max. = 0.63



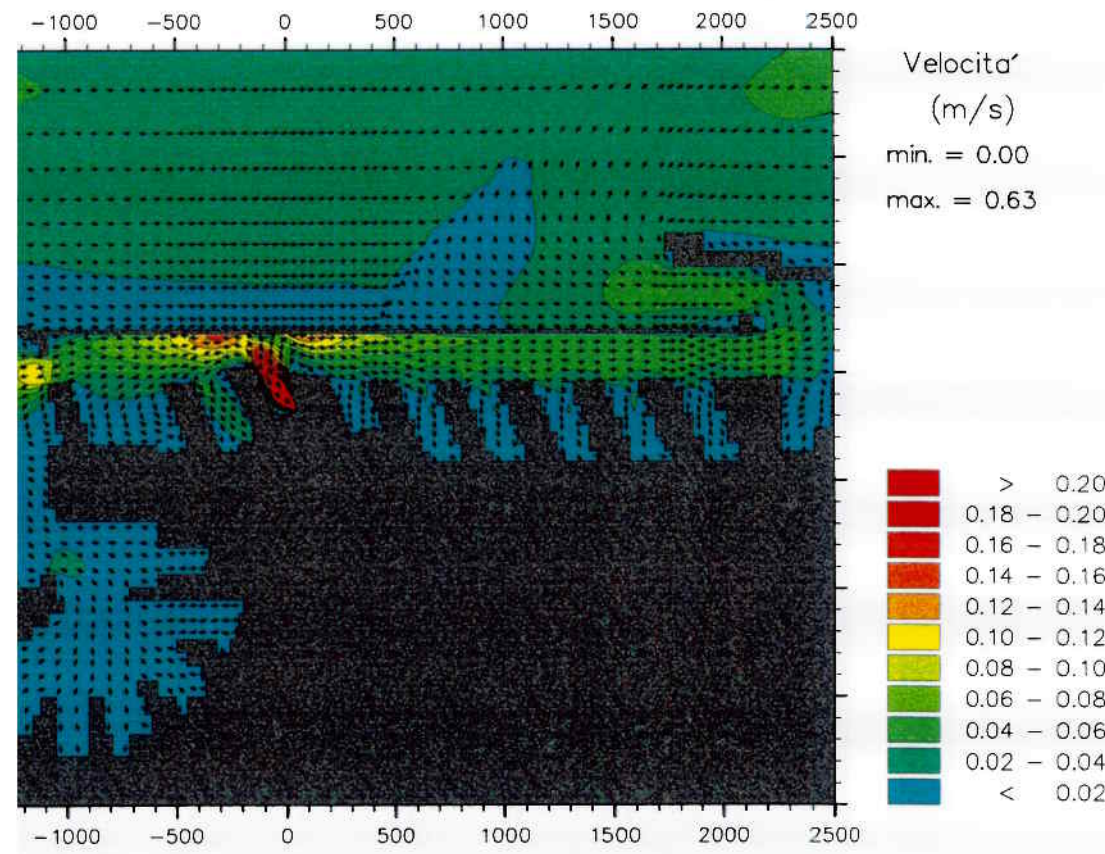
00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

22 gg Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

5\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



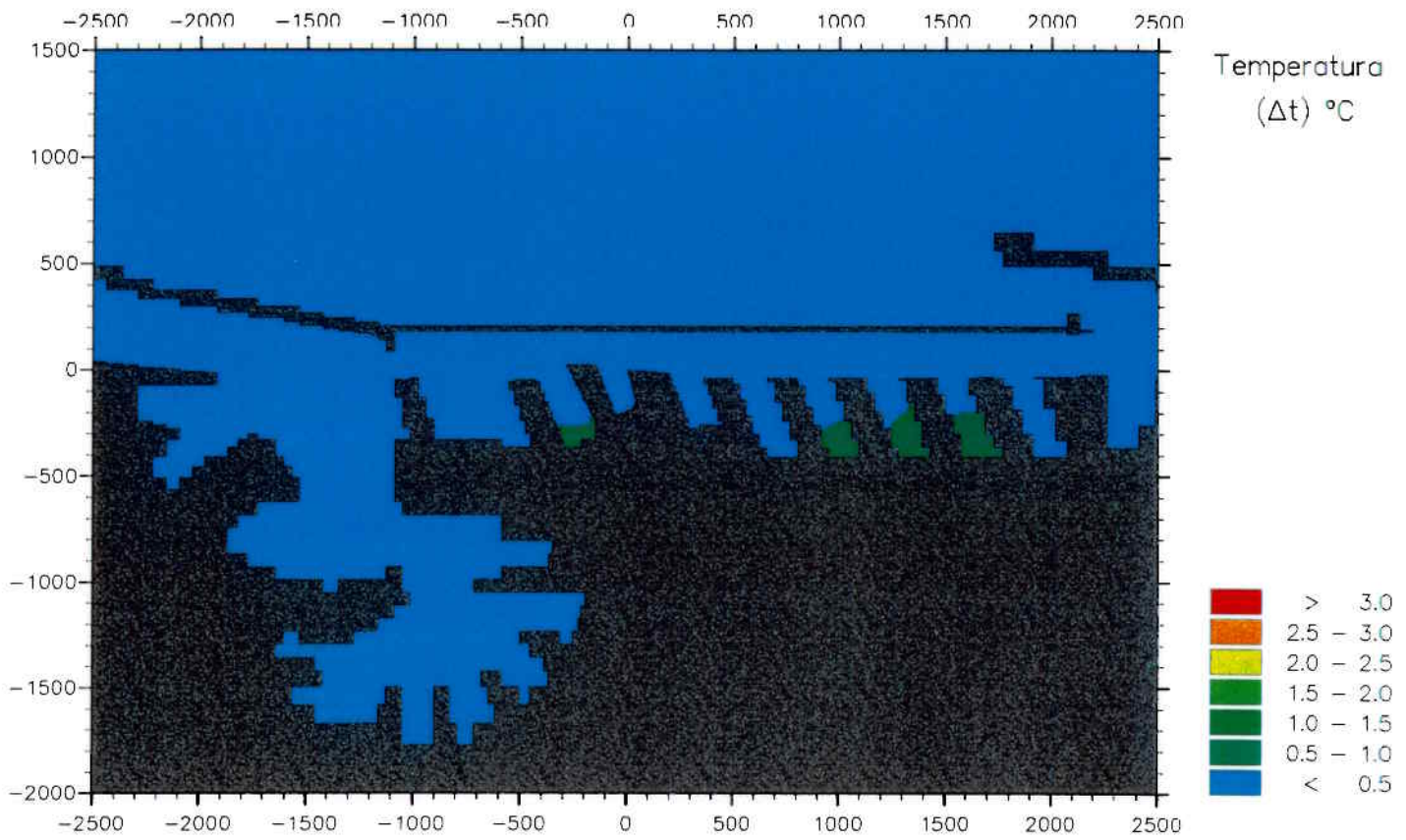
gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m



gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

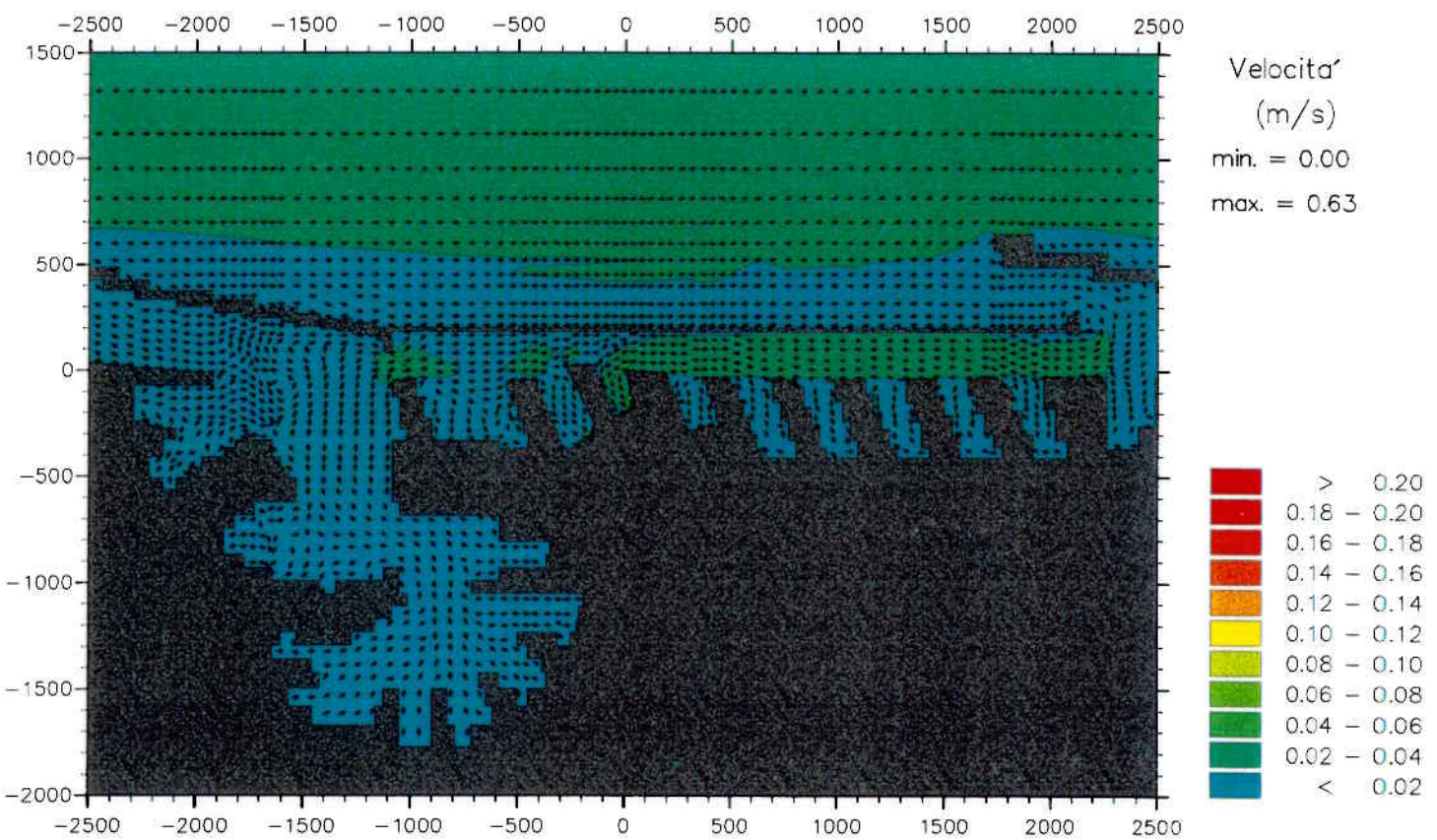
\_1. Campo di temperatura e campo di moto.





Tempo finale = 22 gg

Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m



Tempo finale = 22 gg

Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

Fig. 7.7 - Caso 5\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



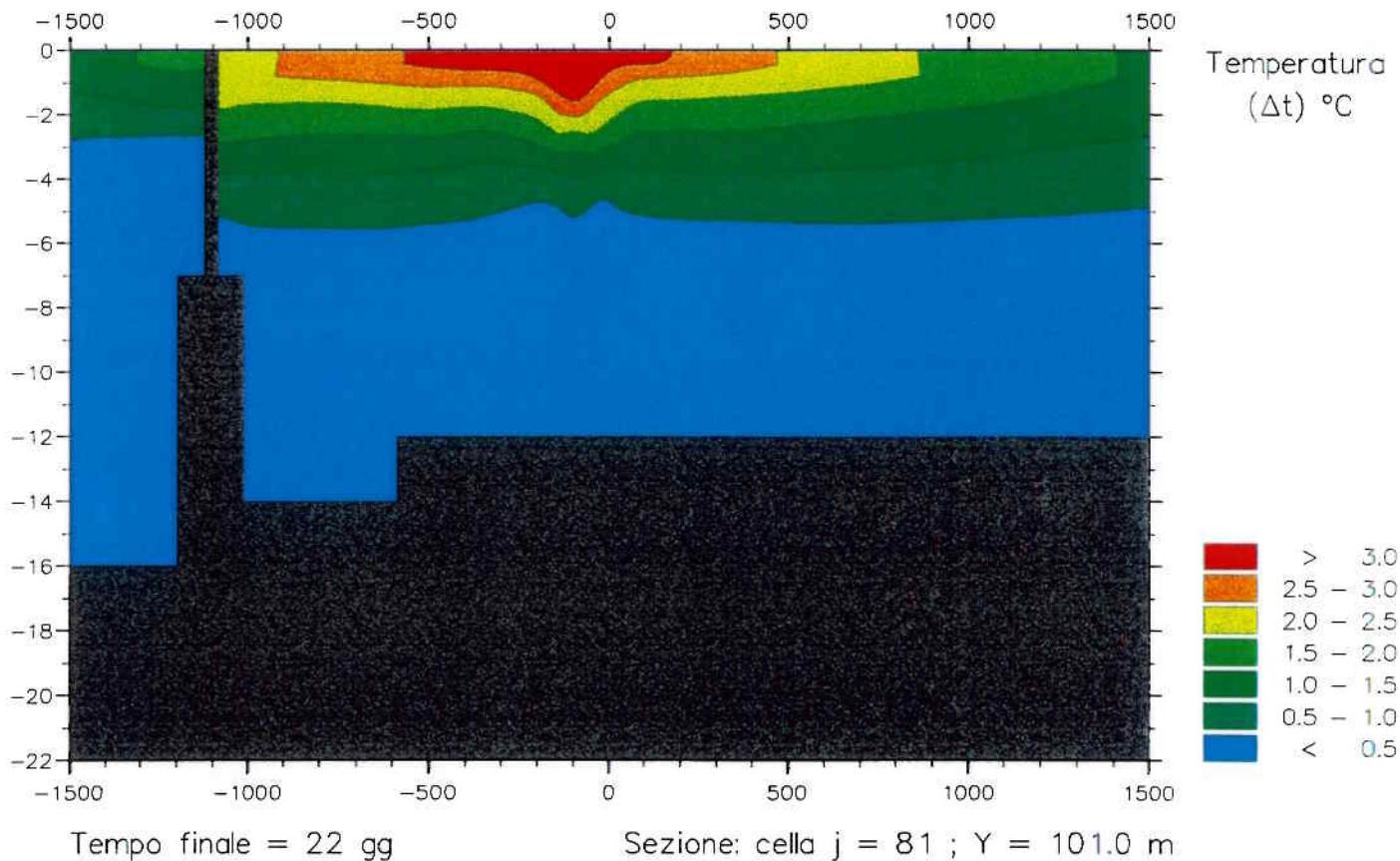
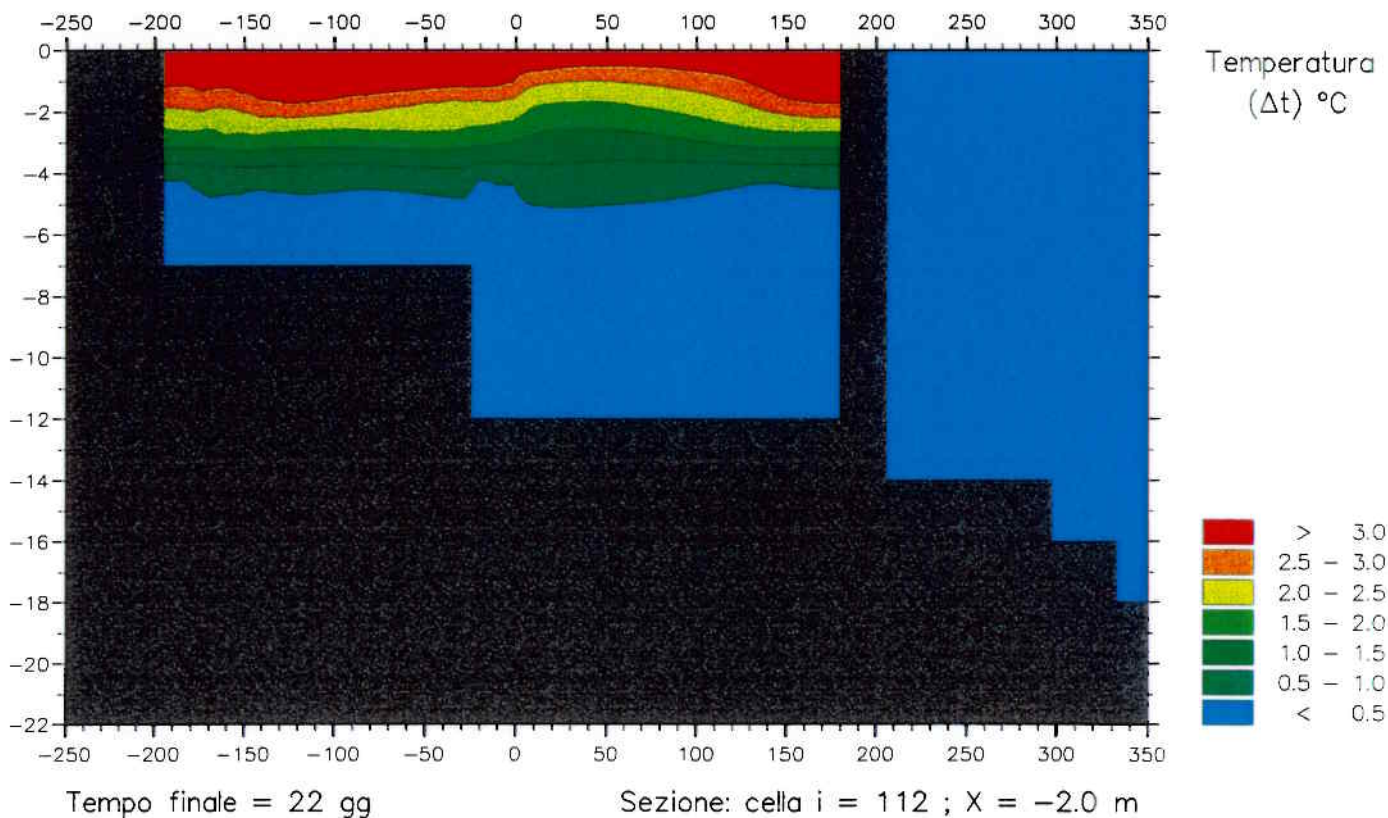
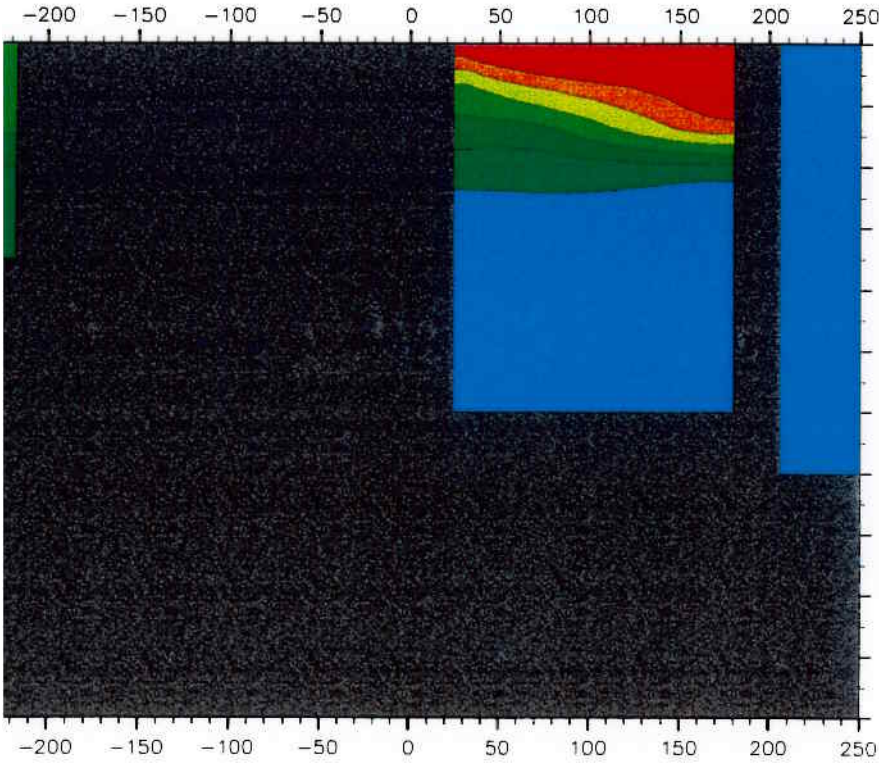


Fig. 7.8. - Caso 5\_1. Sezioni longitudinali nella calata di scarico e a centro candele.

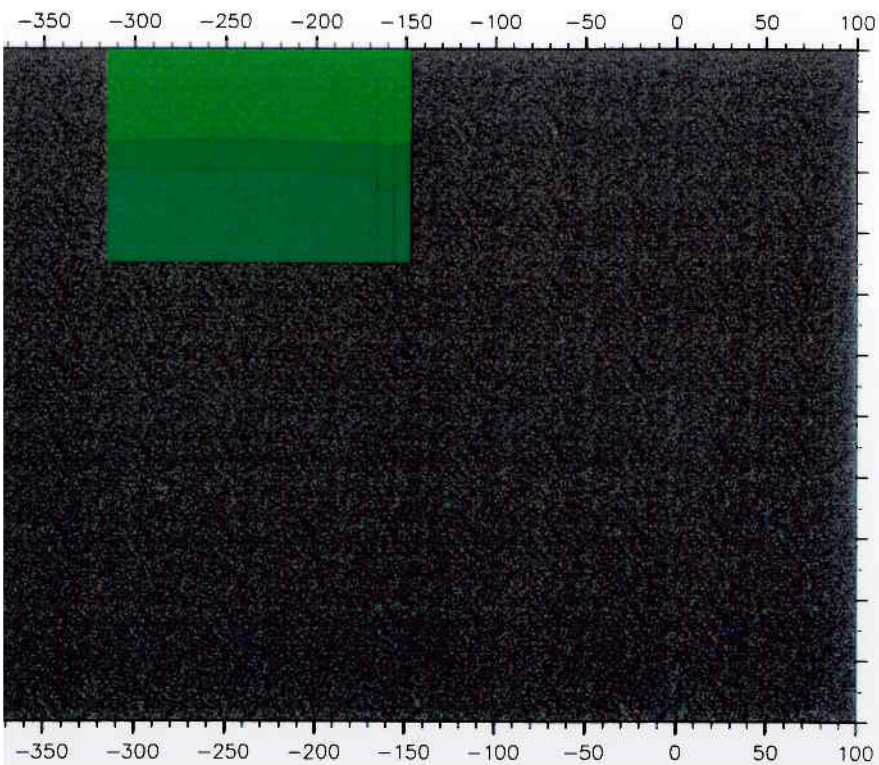




Temperatura (Δt) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

22 gg Sezione: cella i = 86 ; X = -159.9 m



Temperatura (Δt) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

22 gg Sezione: cella j = 27 ; Y = -313.5 m

5\_1. Sezioni longitudinale e frontale. Diagrammi di temperatura alla presa.



0 -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Temperatura (Δt) °C

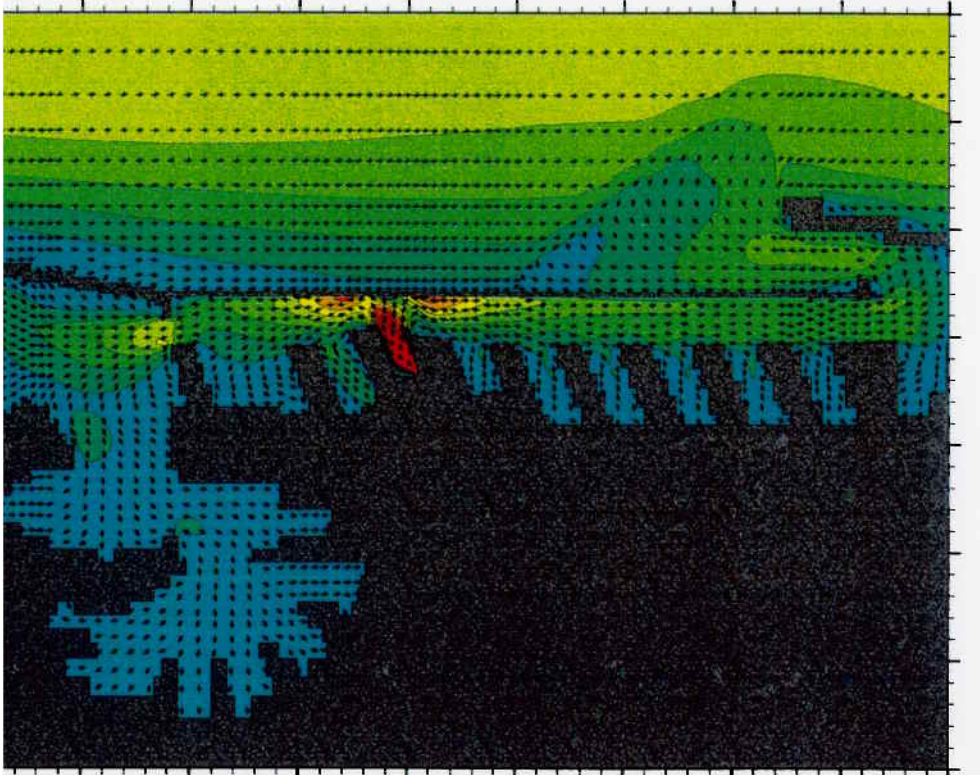


0 -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

ale = 26 gg

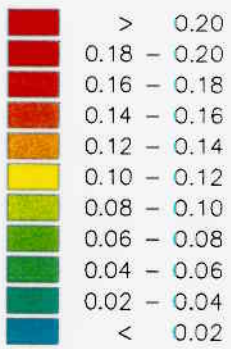
Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

-1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita' (m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



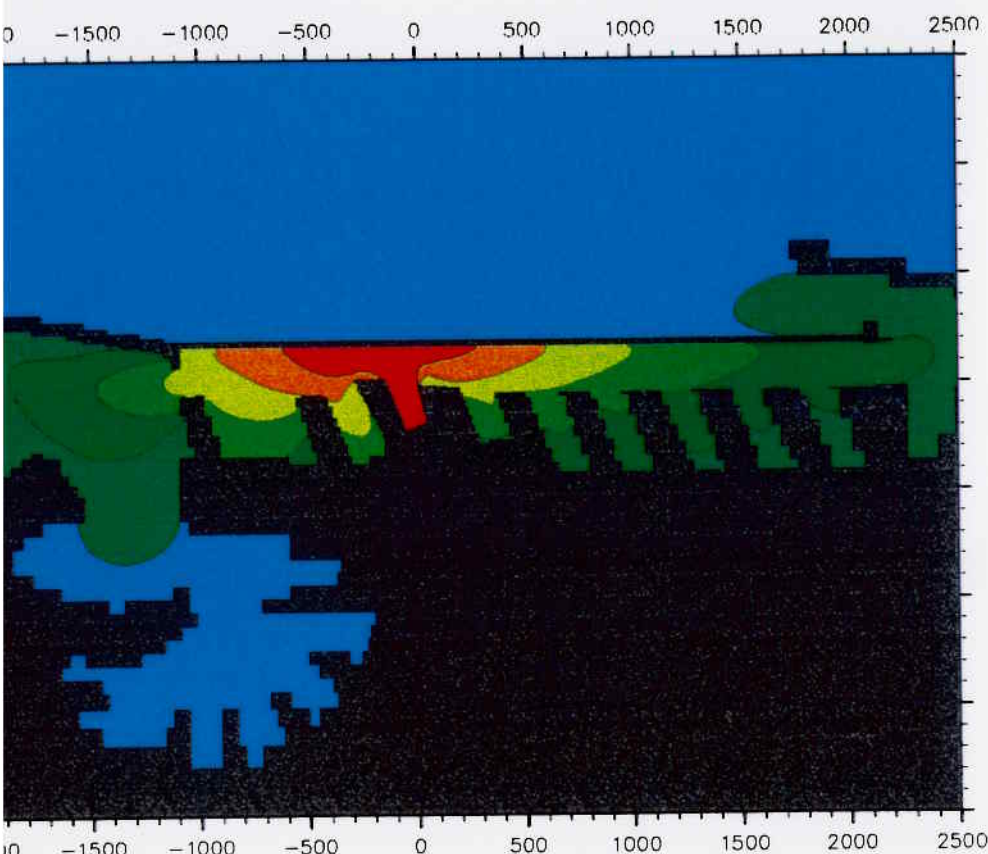
-1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

ale = 26 gg

Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

Caso 5\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



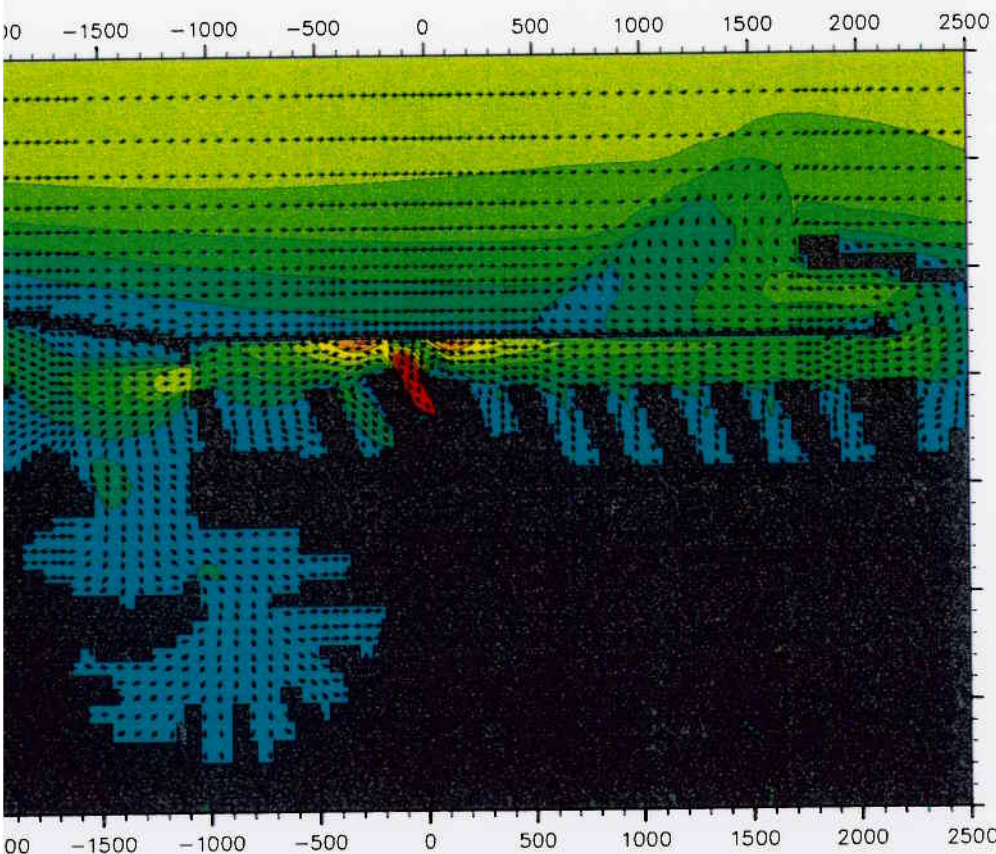


Temperatura (Δt) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

finale = 26 gg

Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m



Velocita' (m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

finale = 26 gg

Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

- Caso 5\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



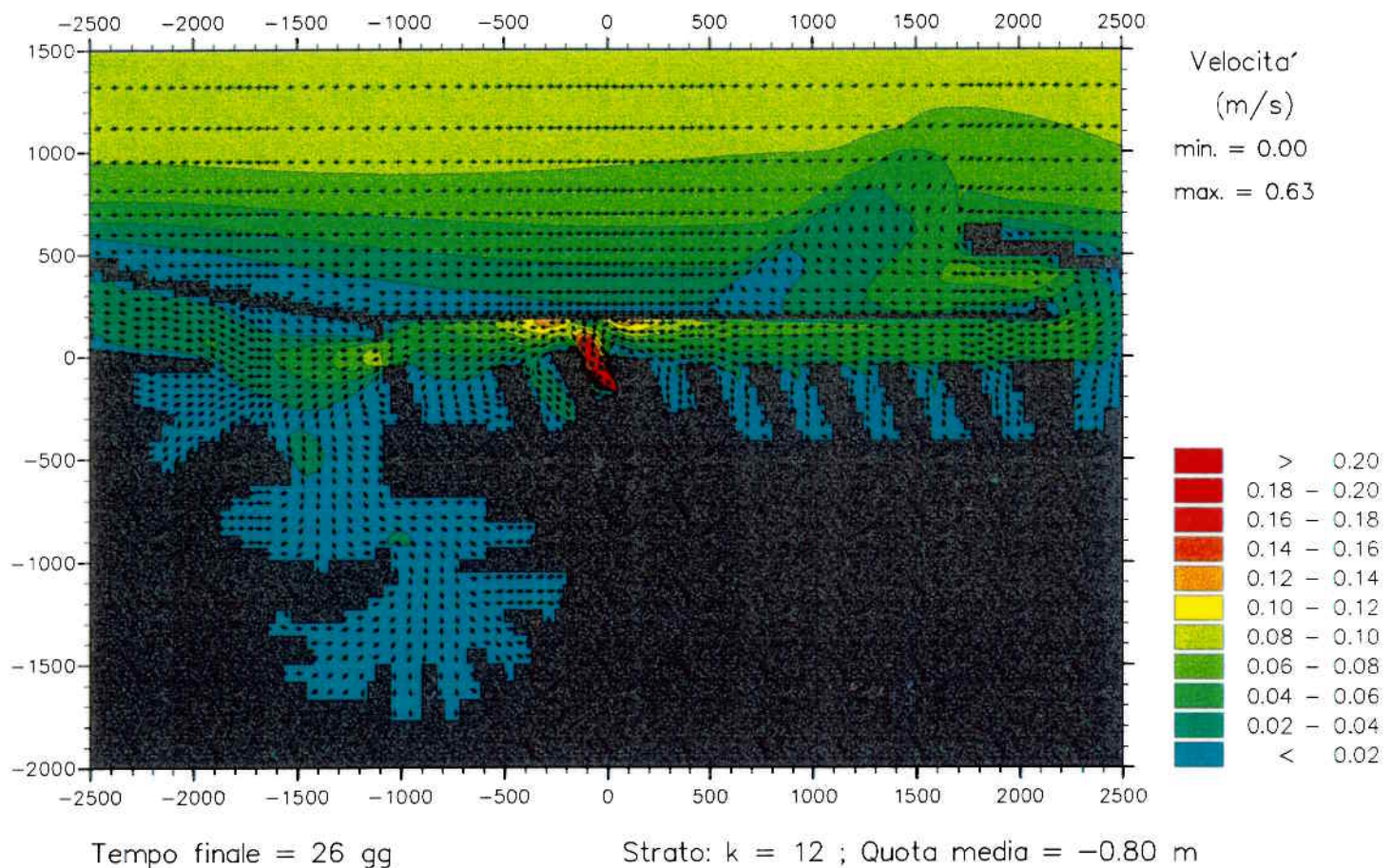
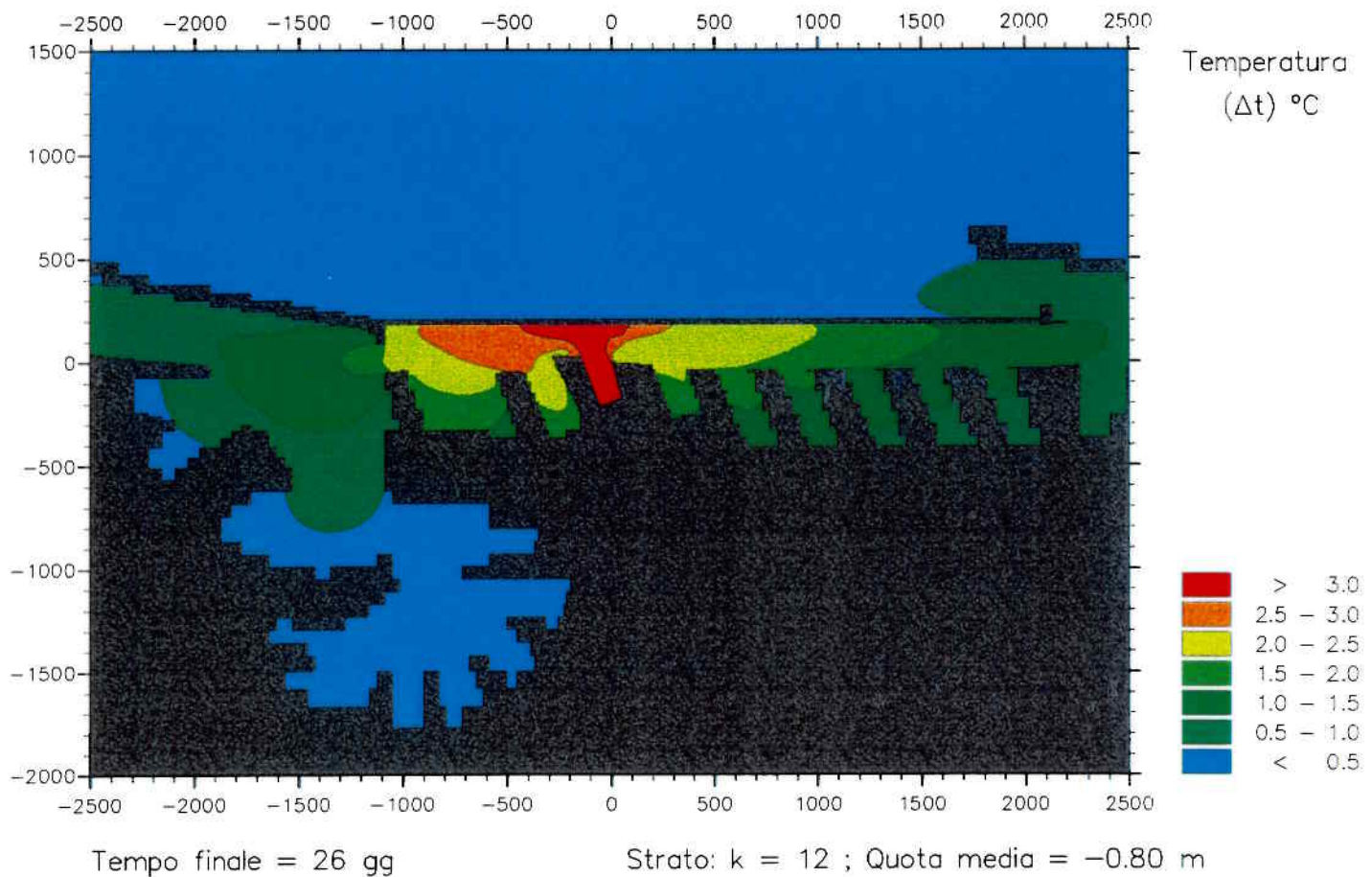
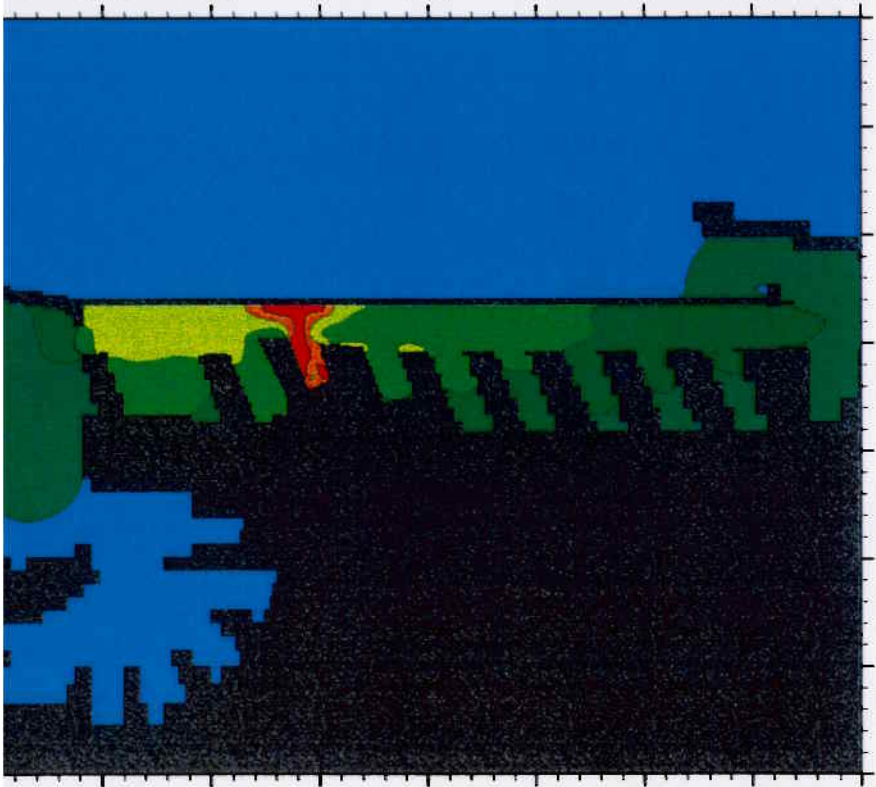


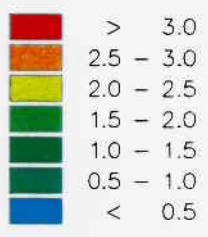
Fig. 8.3 - Caso 5\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



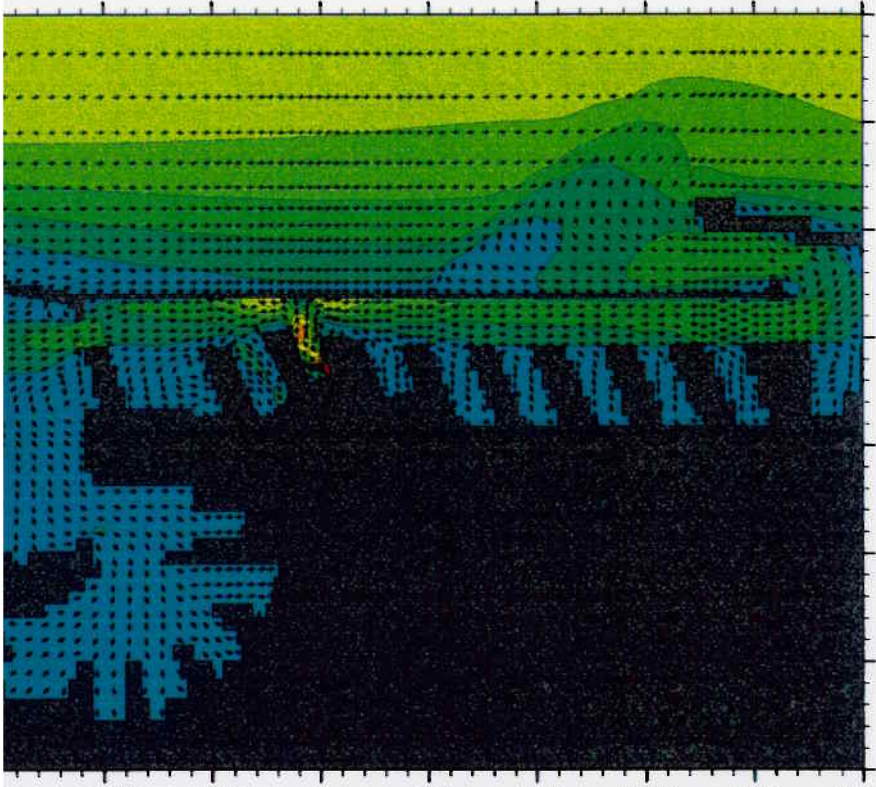
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

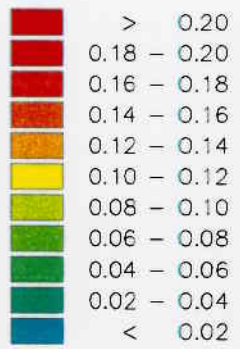
26 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

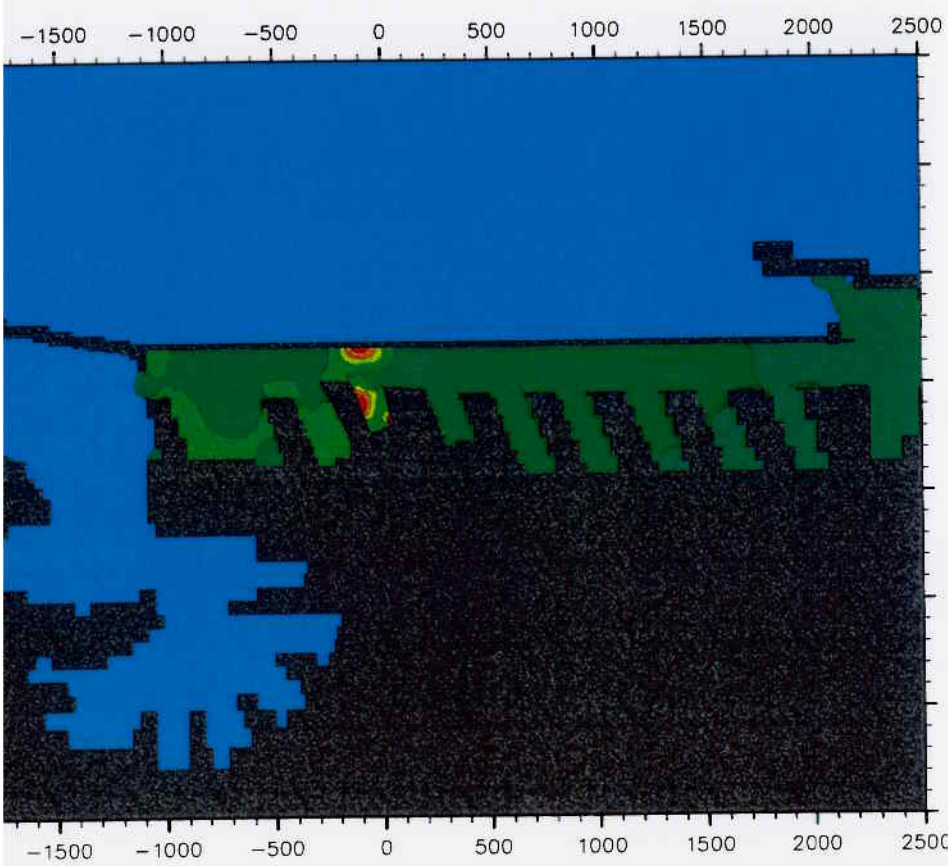


00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

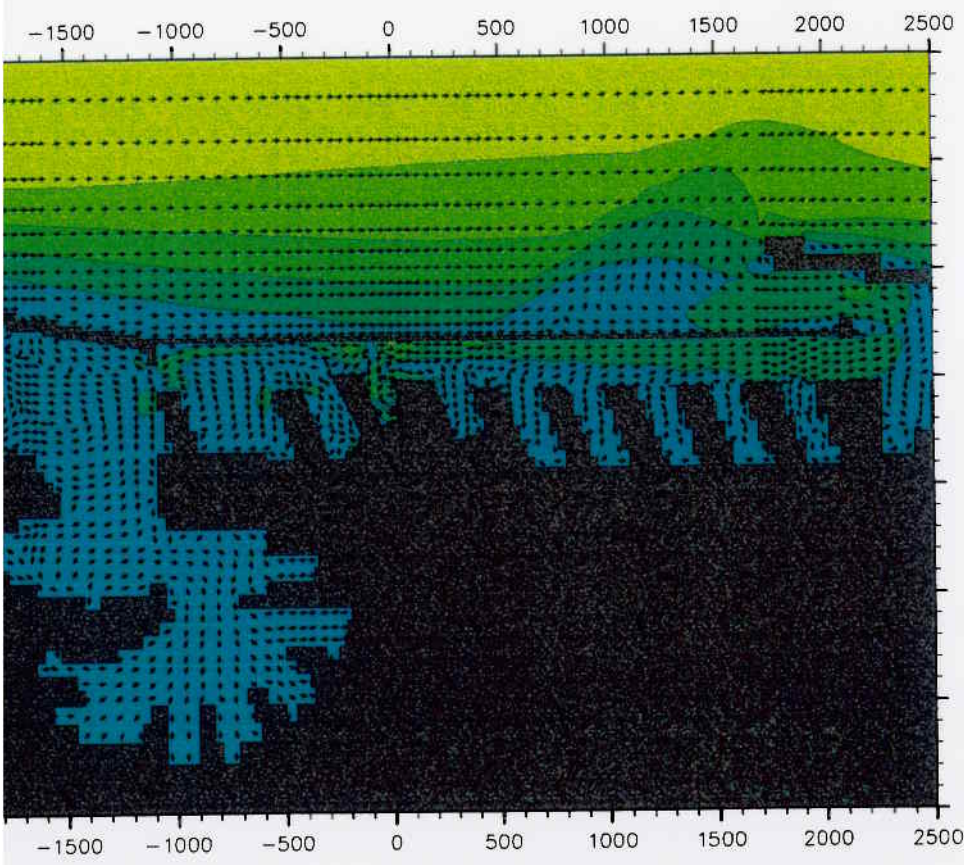
5\_2. Campo di temperatura e campo di moto.





le = 26 gg

Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m



le = 26 gg

Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

Caso 5\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



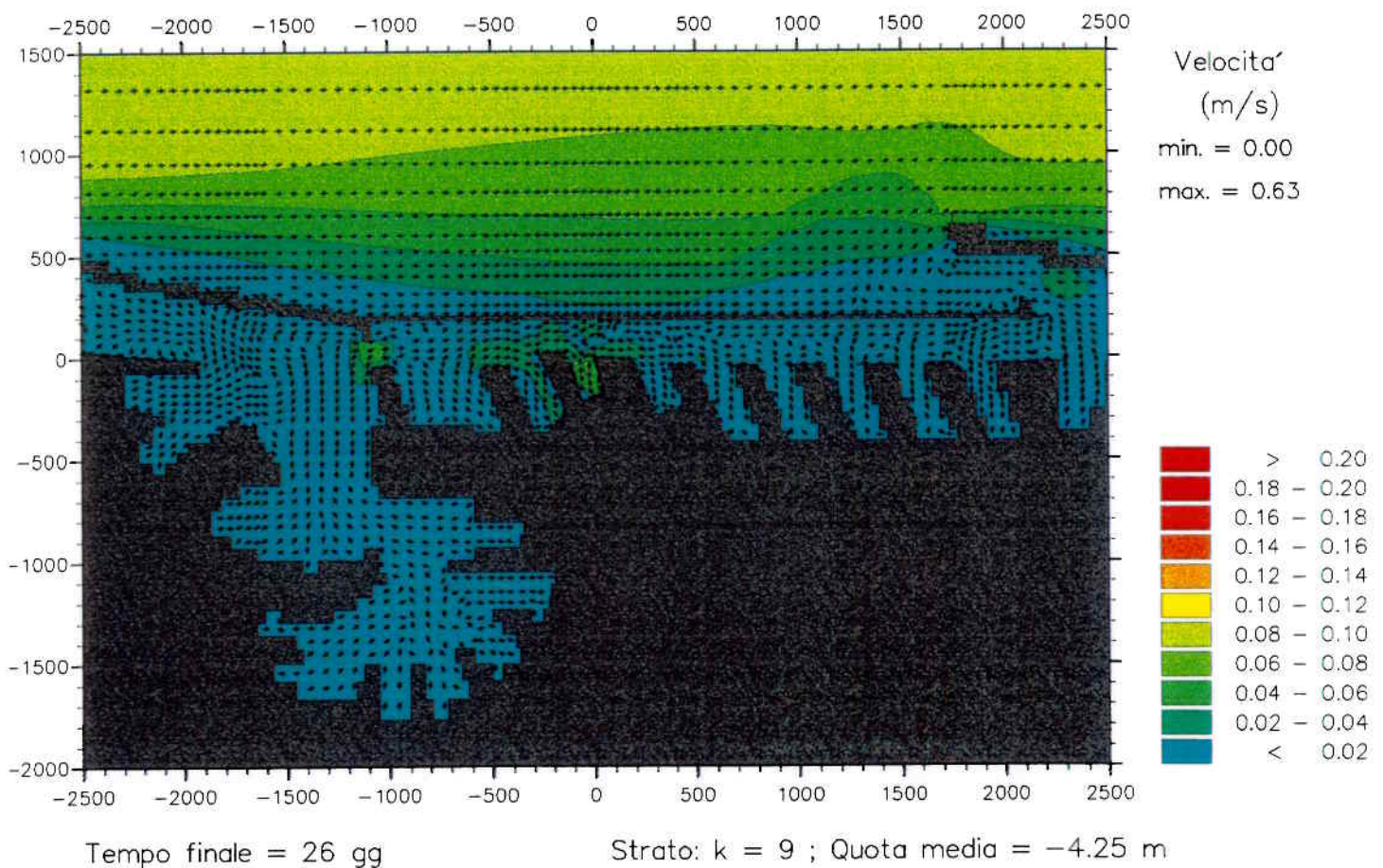
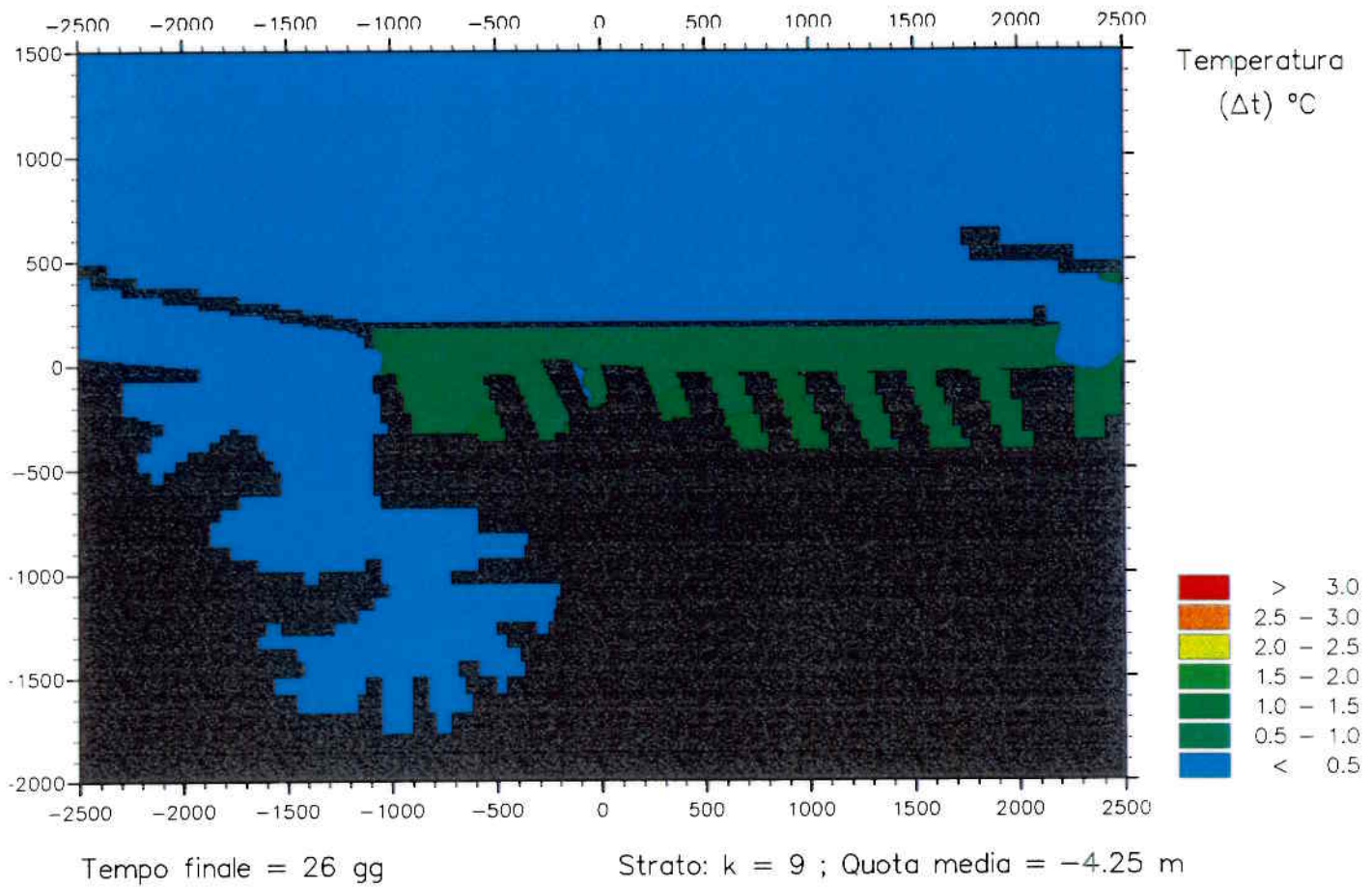
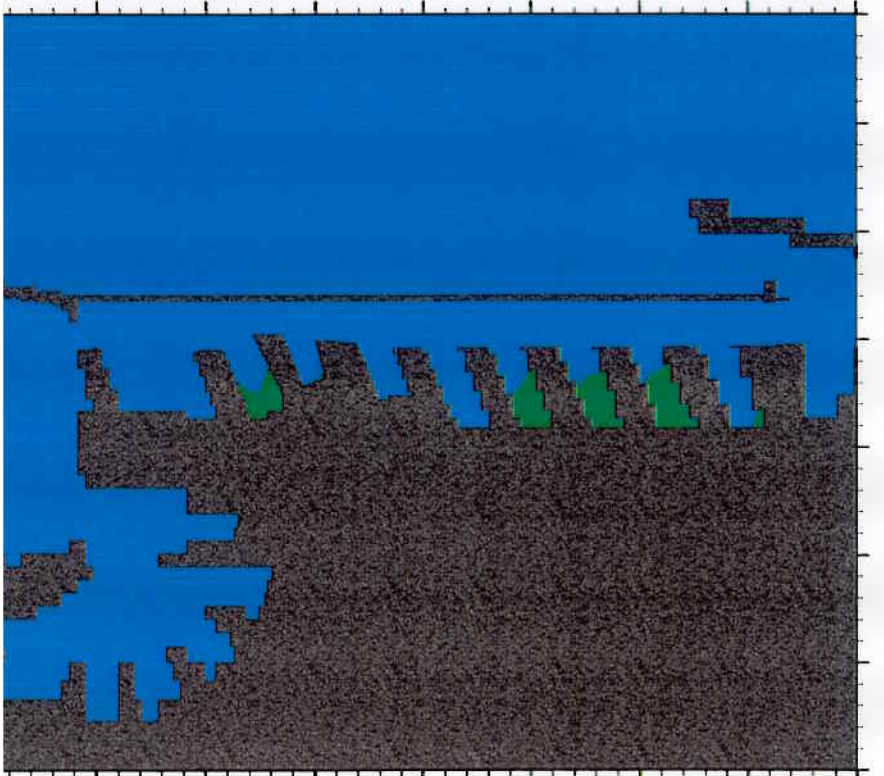


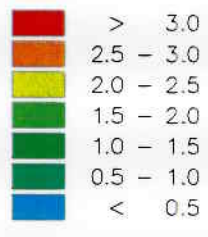
Fig. 8.6 - Caso 5\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Temperatura (Δt) °C

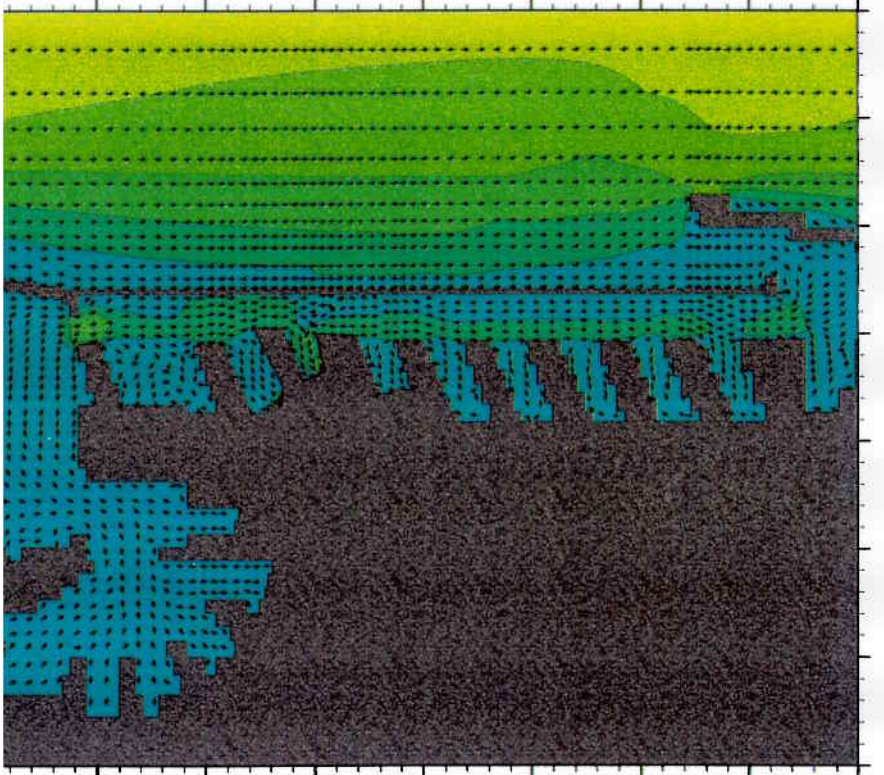


0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg

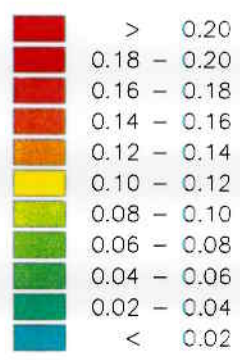
Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita' (m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg

Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

5\_2. Campo di temperatura e campo di moto.

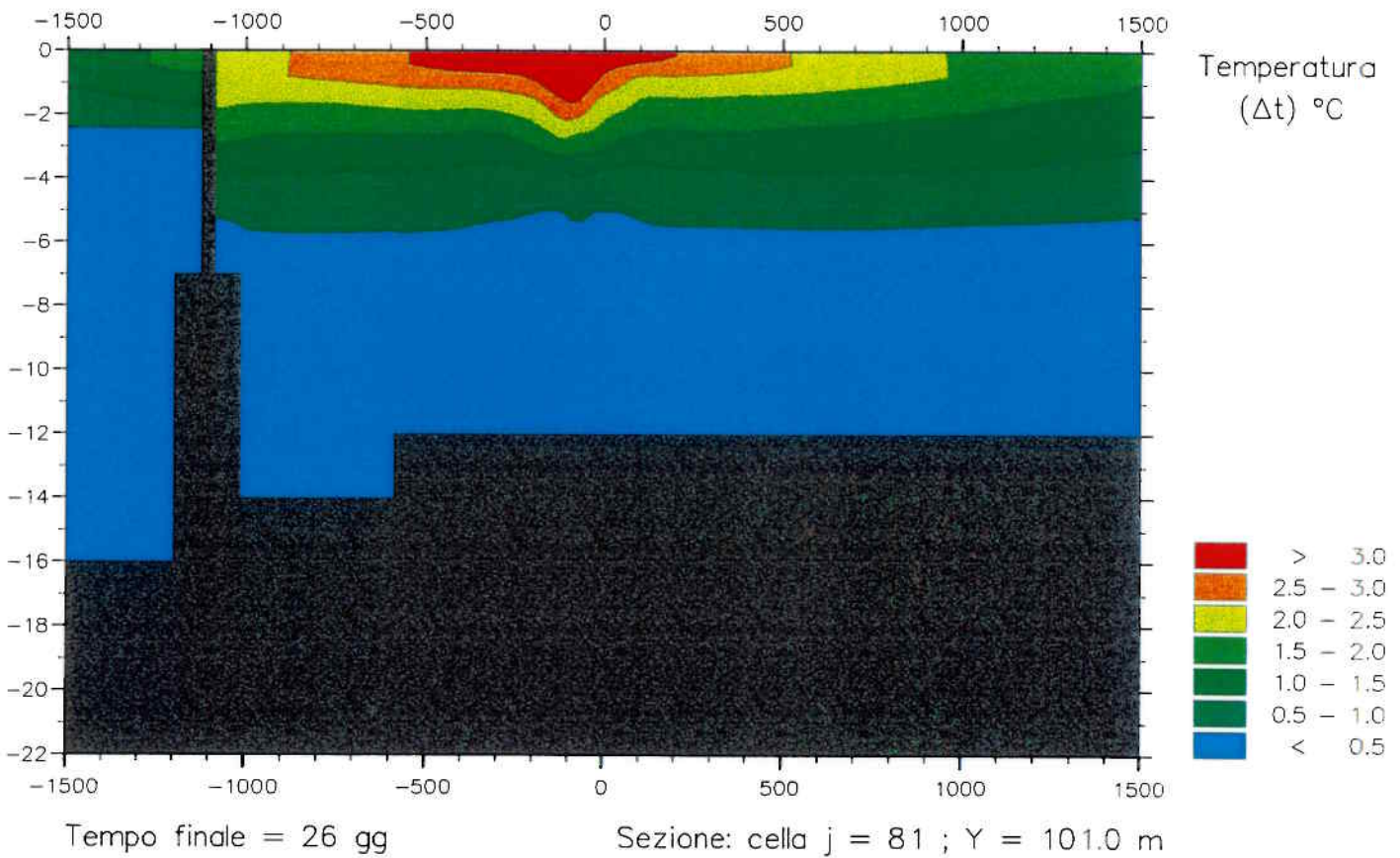
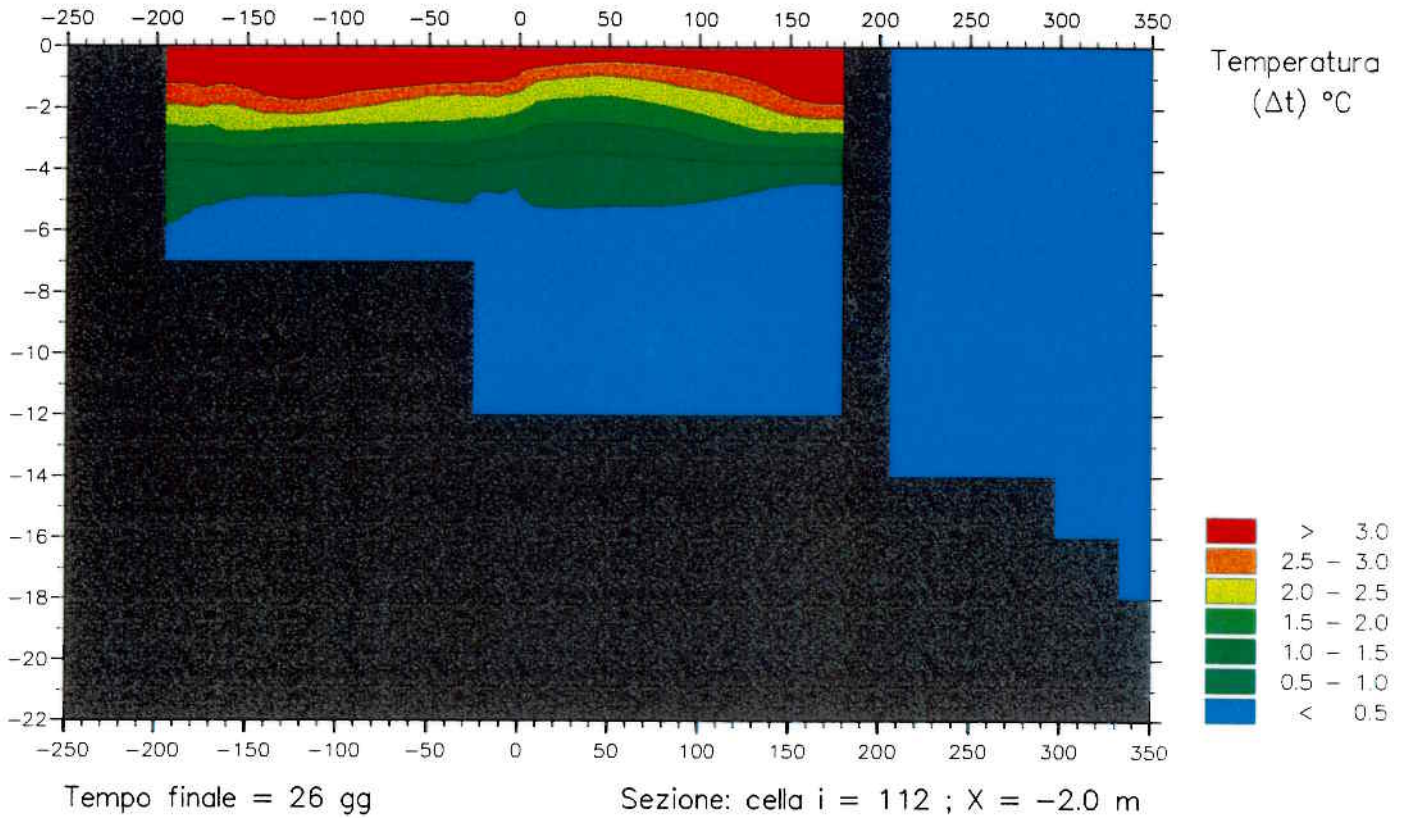


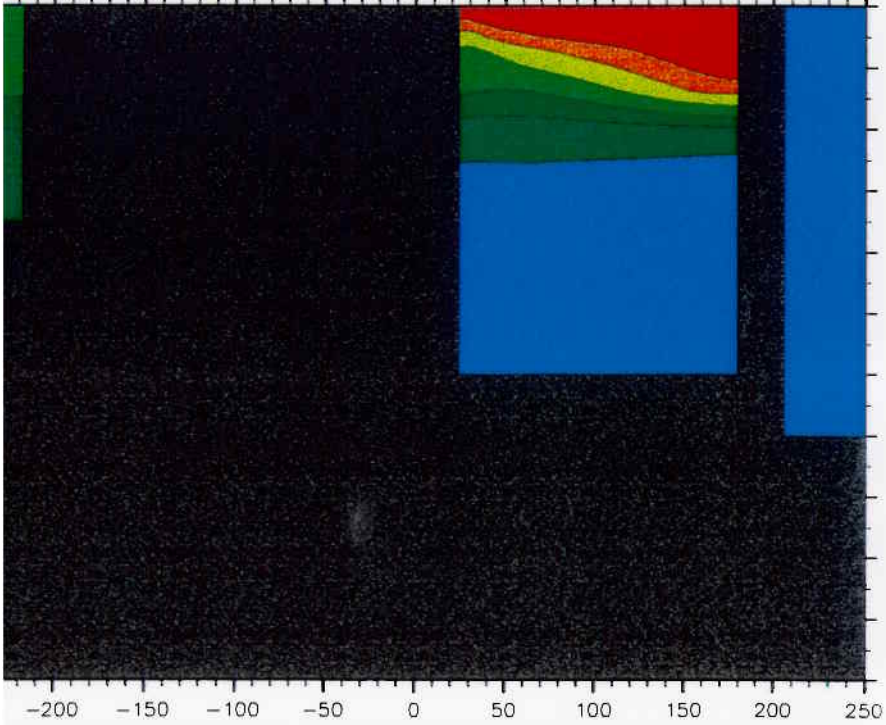
Fig. 8.8. - Caso 5\_2. Sezioni longitudinali nella calata di scarico e a centro canale.



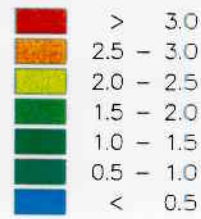
**DSR CRIS**

**CODICE TRIMDI**

-200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250



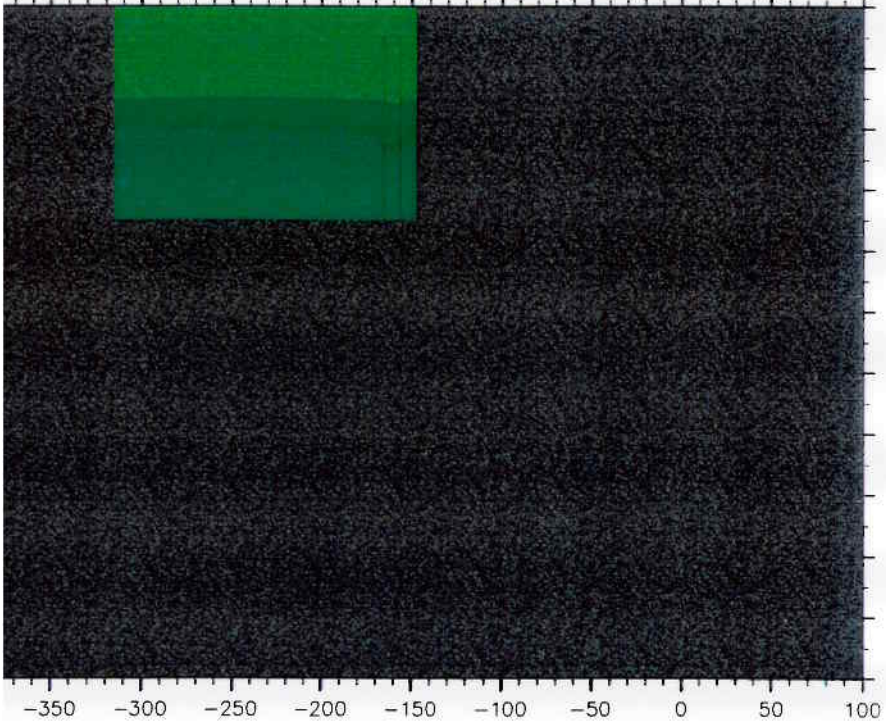
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



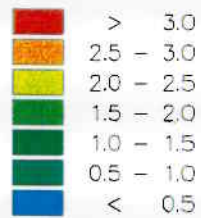
-200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250

26 gg Sezione: cella i = 86 ; X = -159.9 m

-350 -300 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100



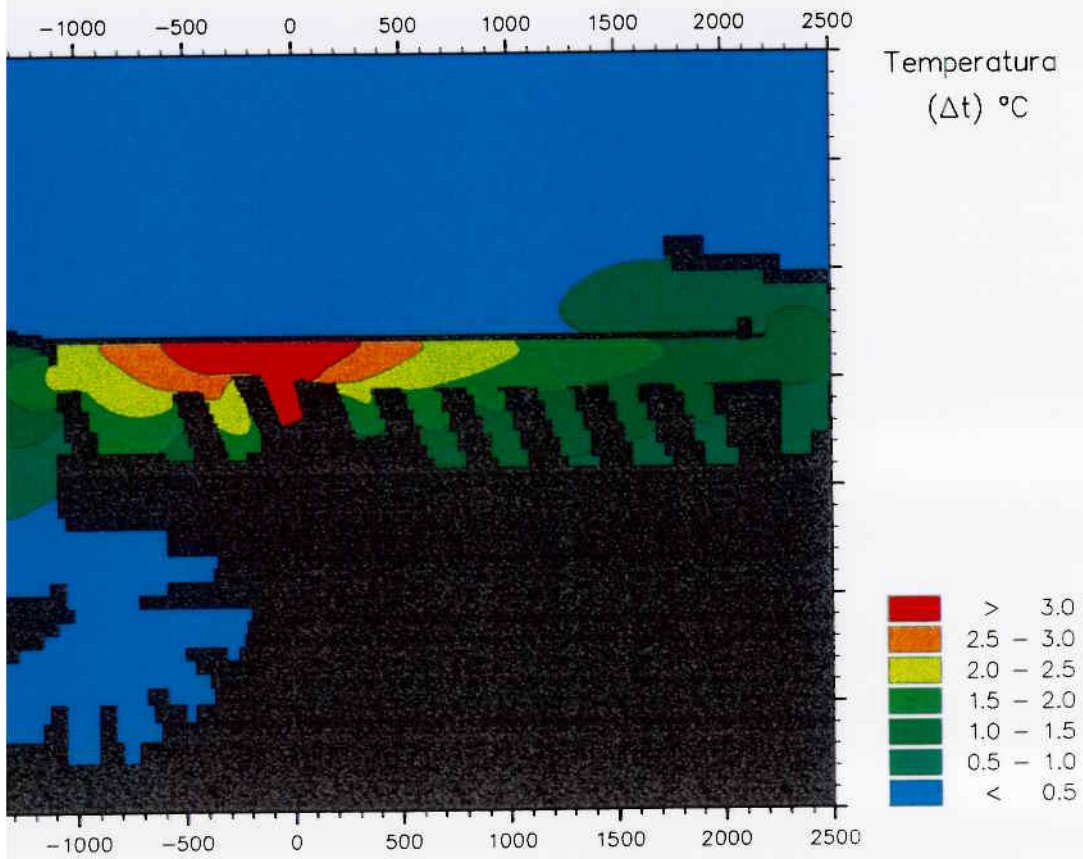
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



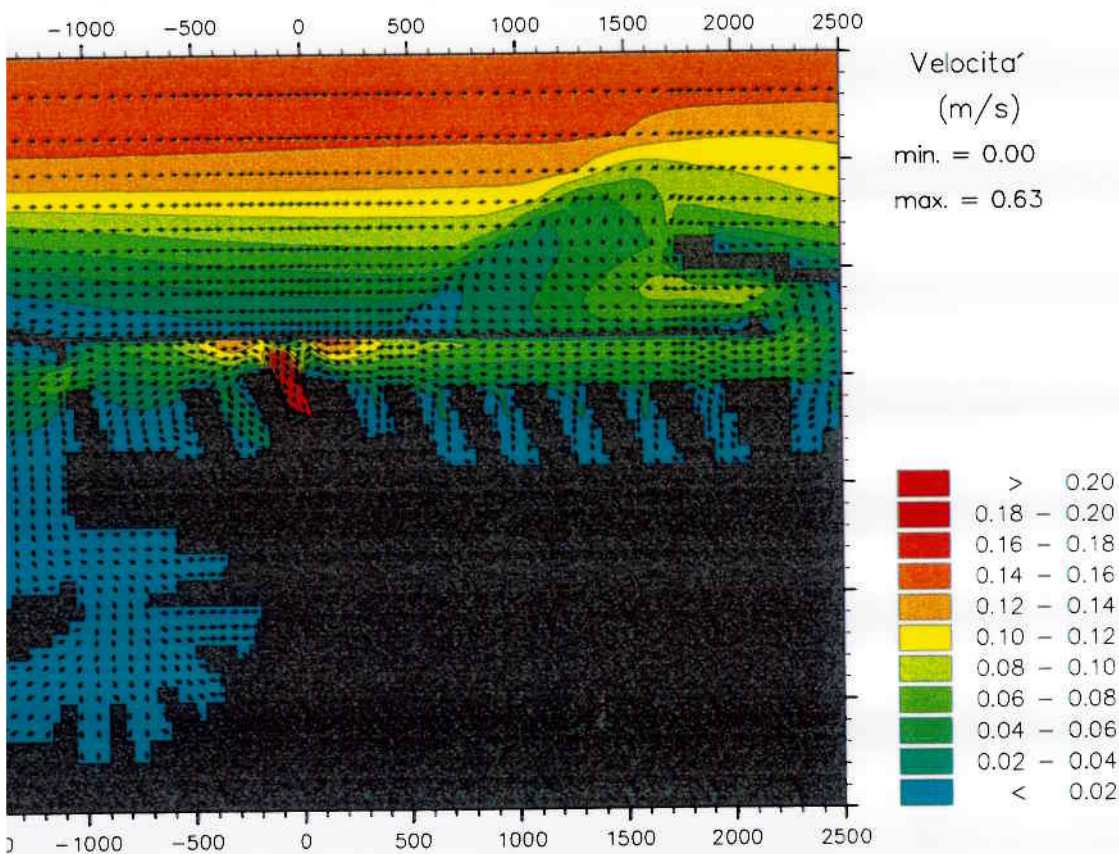
-350 -300 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100

26 gg Sezione: cella j = 27 ; Y = -313.5 m

5\_2. Sezioni longitudinale e frontale.  
po di temperatura alla presa.



6 gg Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m



26 gg Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

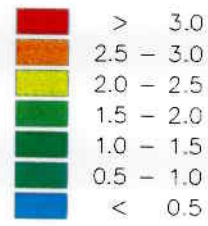
5\_3. Campo di temperatura e campo di moto.



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



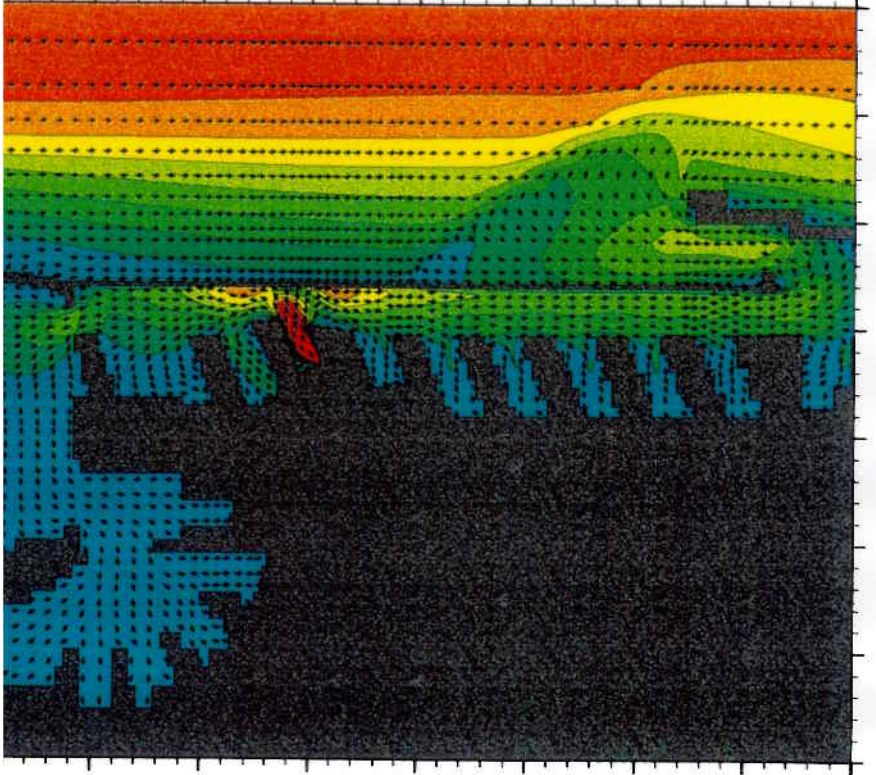
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

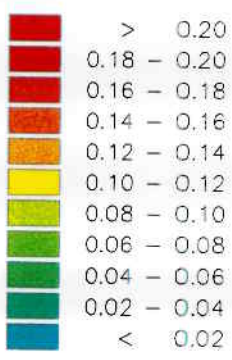
26 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

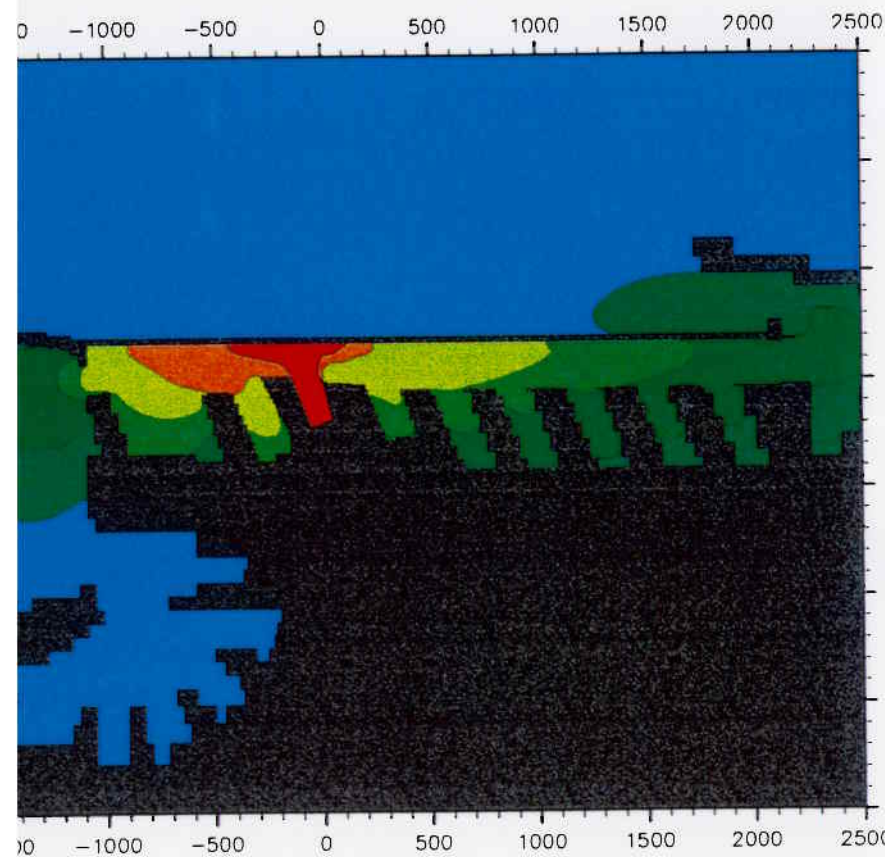


00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

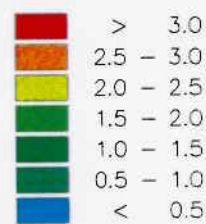
26 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

5\_3. Campo di temperatura e campo di moto.



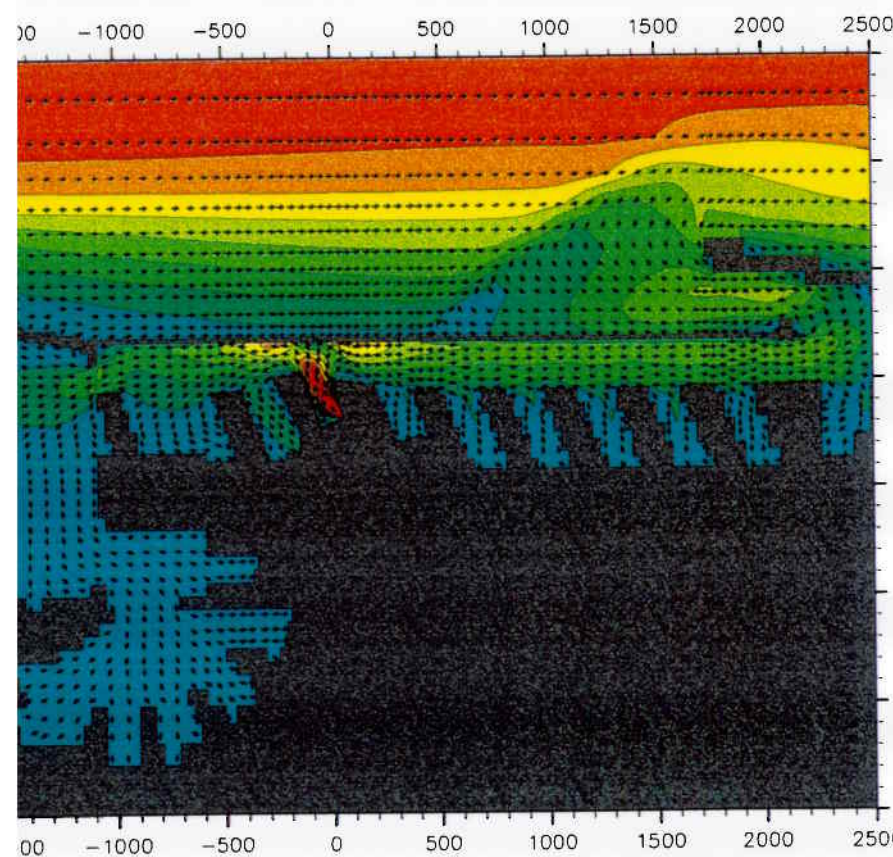


Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



26 gg

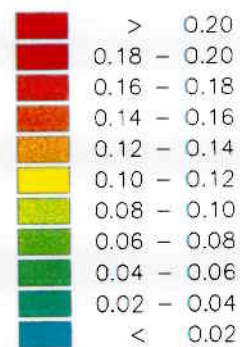
Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00

max. = 0.63

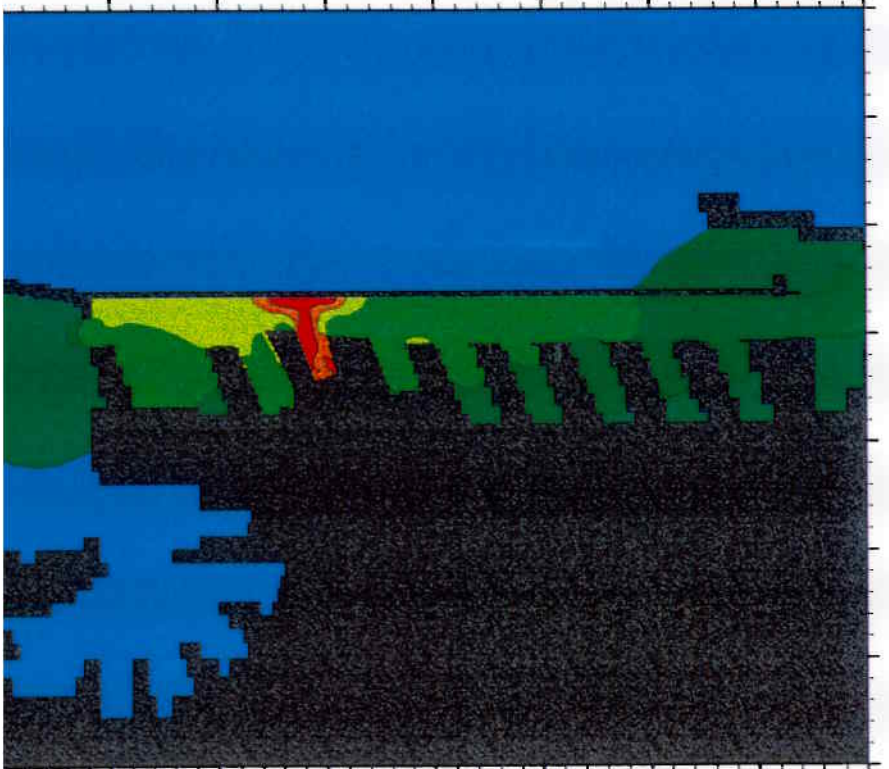


26 gg

Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m



500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



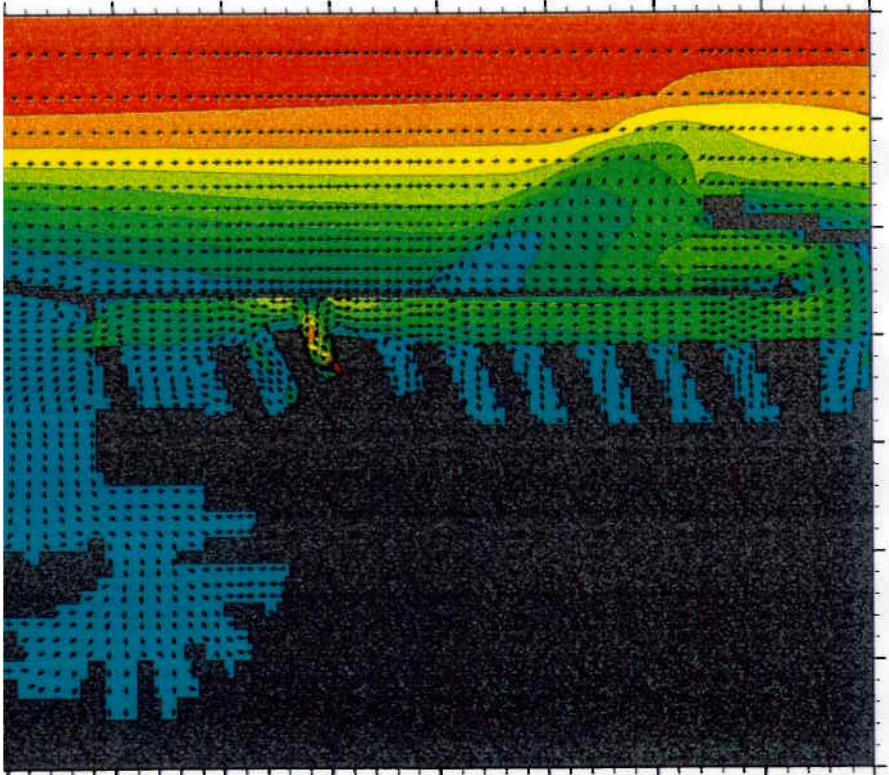
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

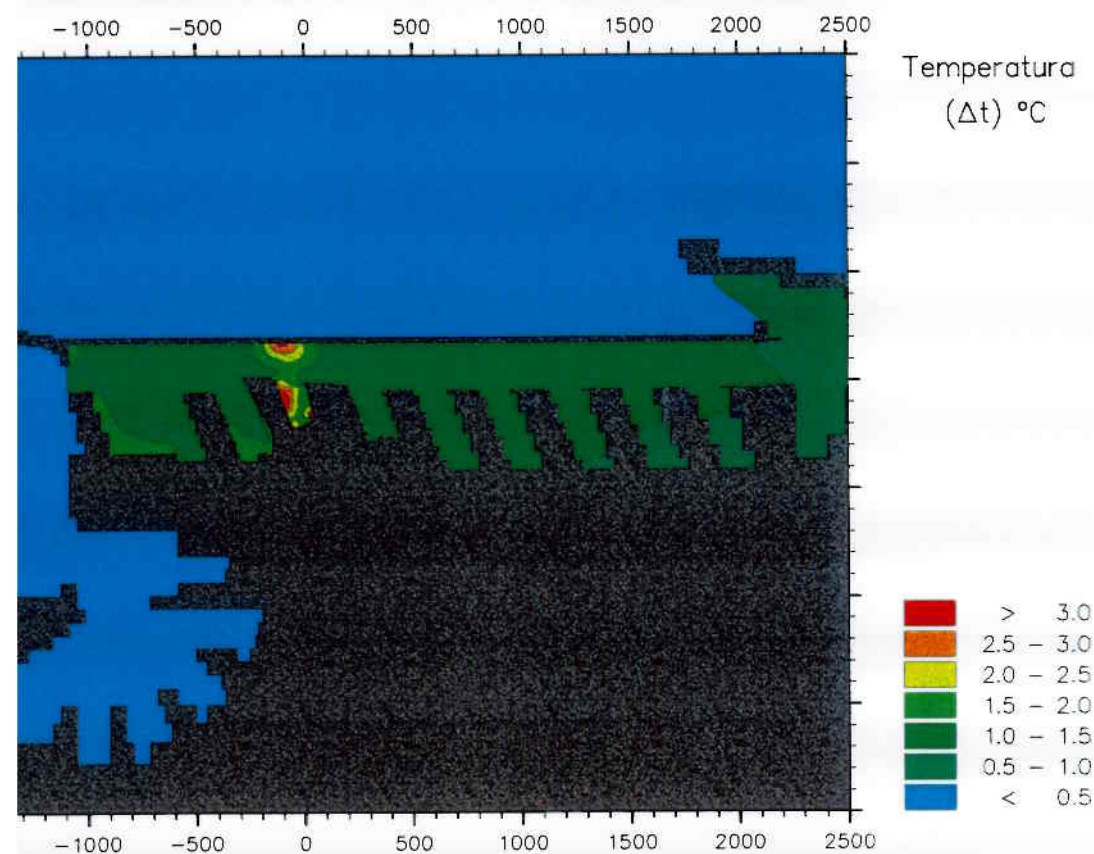
- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

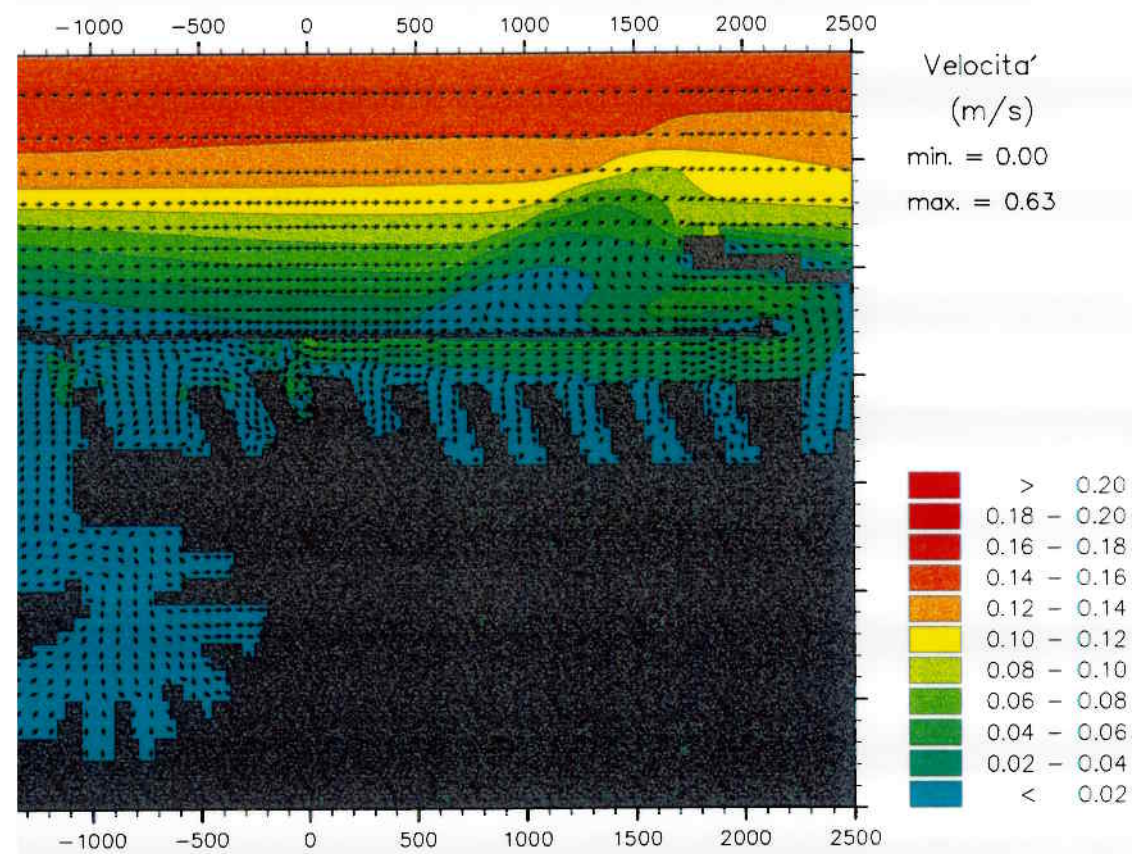
26 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

5\_3. Campo di temperatura e campo di moto.



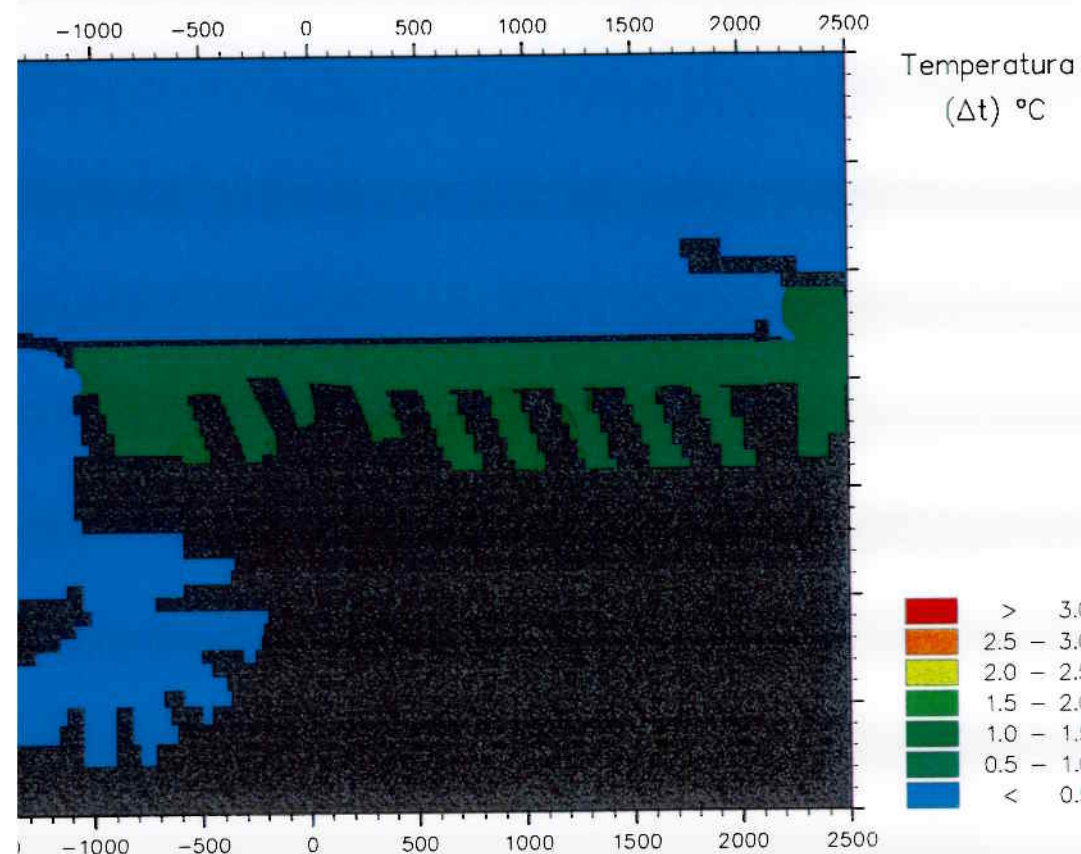


5 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

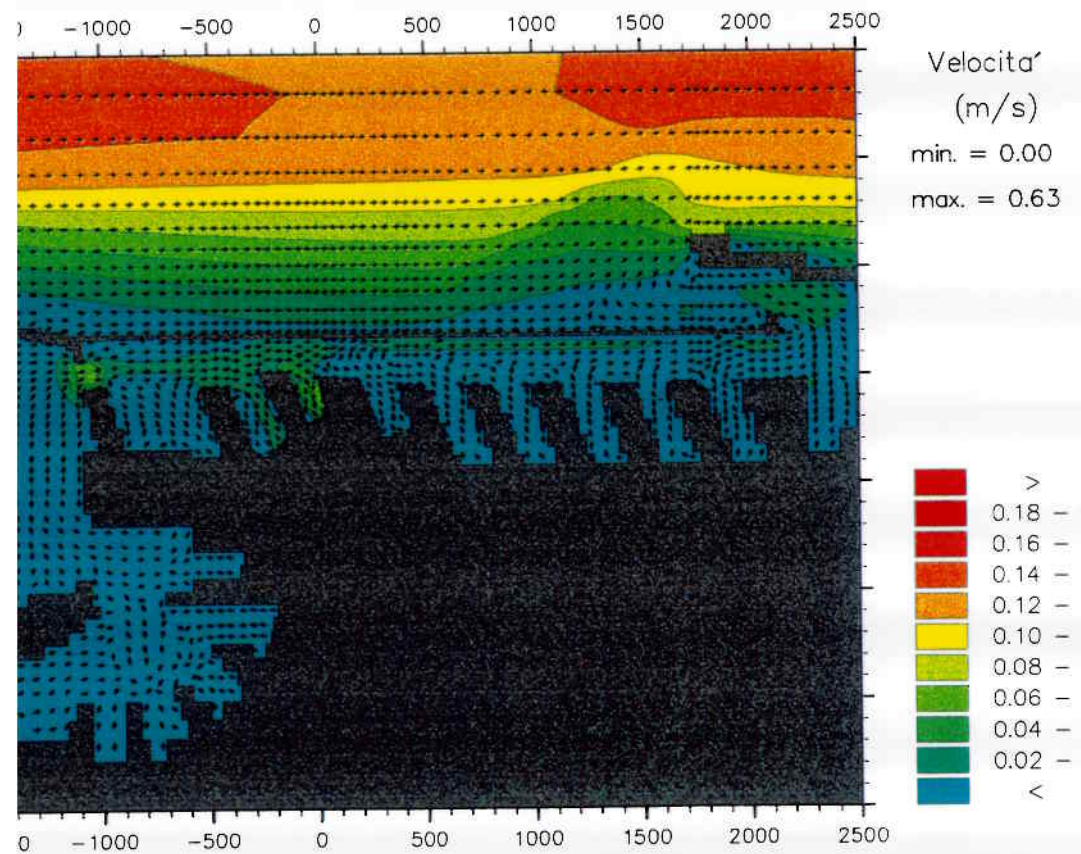


6 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

5\_3. Campo di temperatura e campo di moto.



6 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m



26 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m

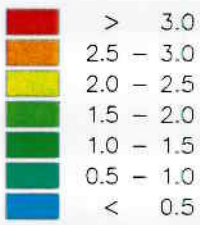
5\_3. Campo di temperatura e campo di moto.



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



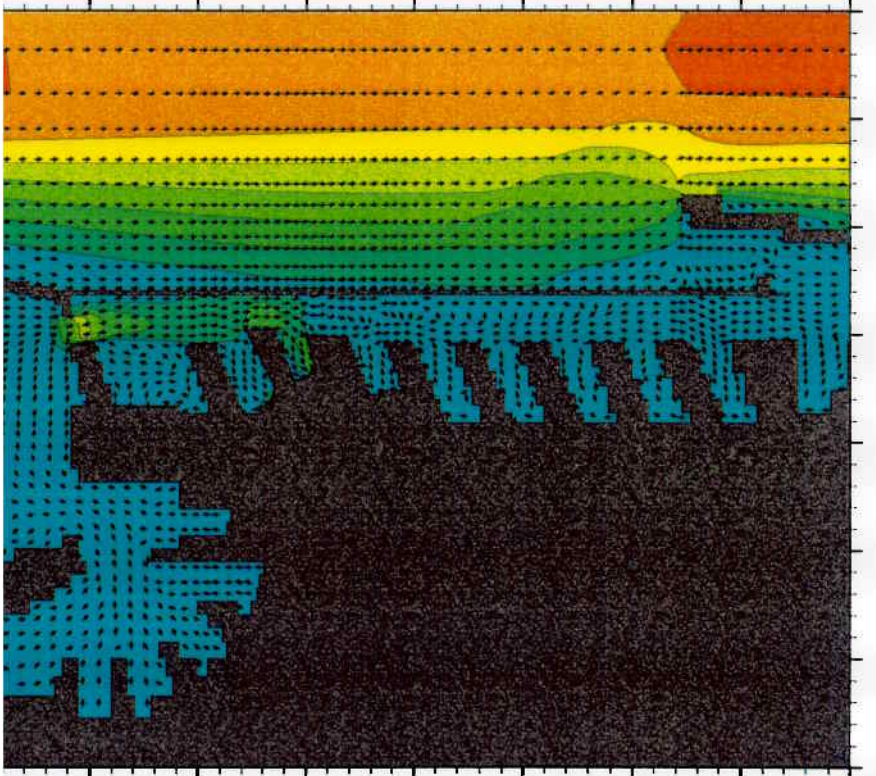
Temperatura (Δt) °C



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

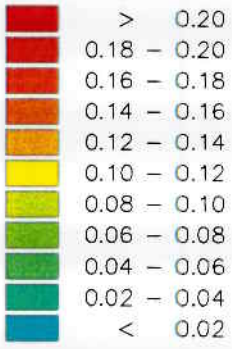
26 gg Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita' (m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



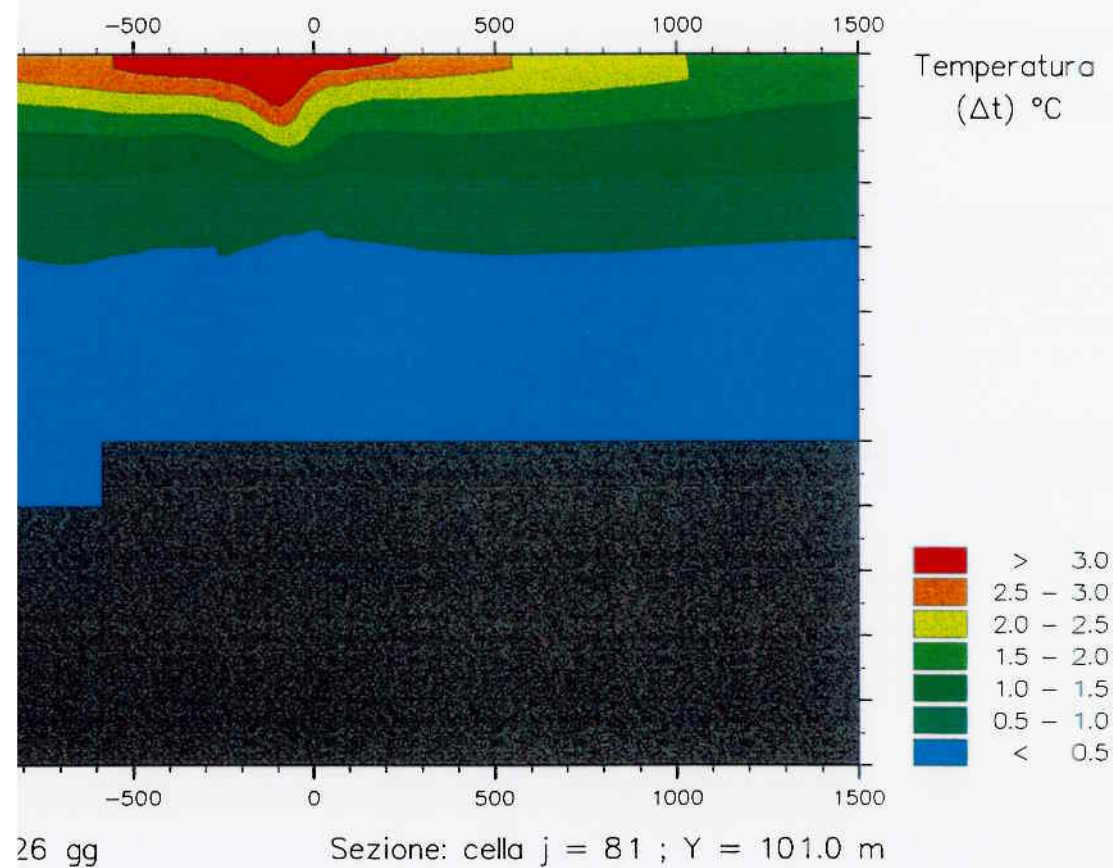
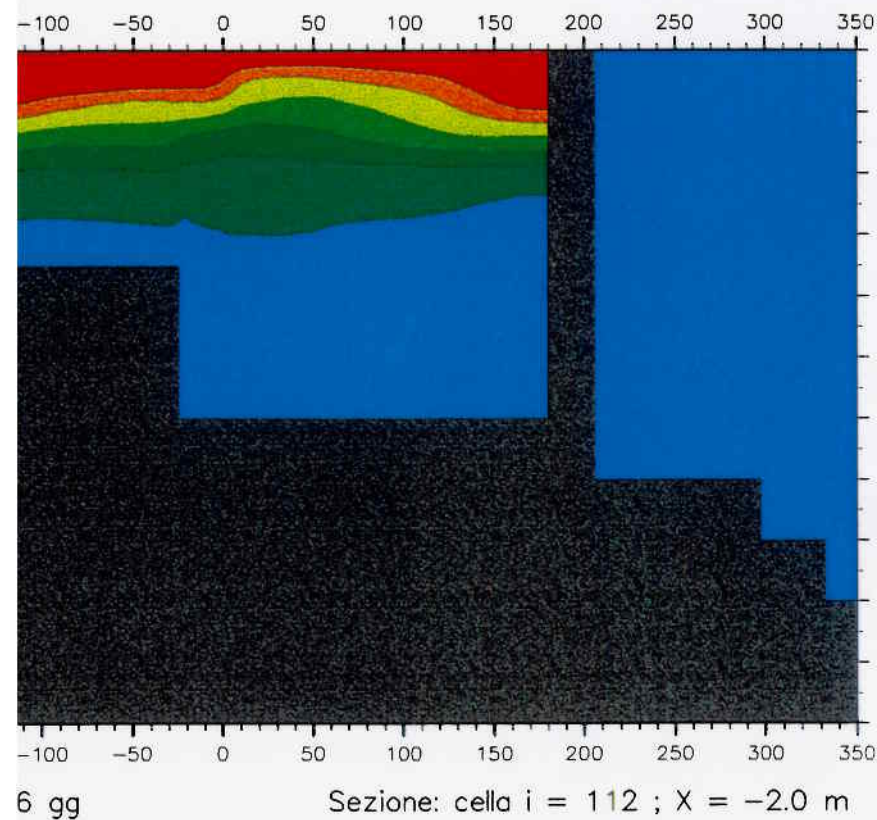
0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

5\_3. Campo di temperatura e campo di moto.

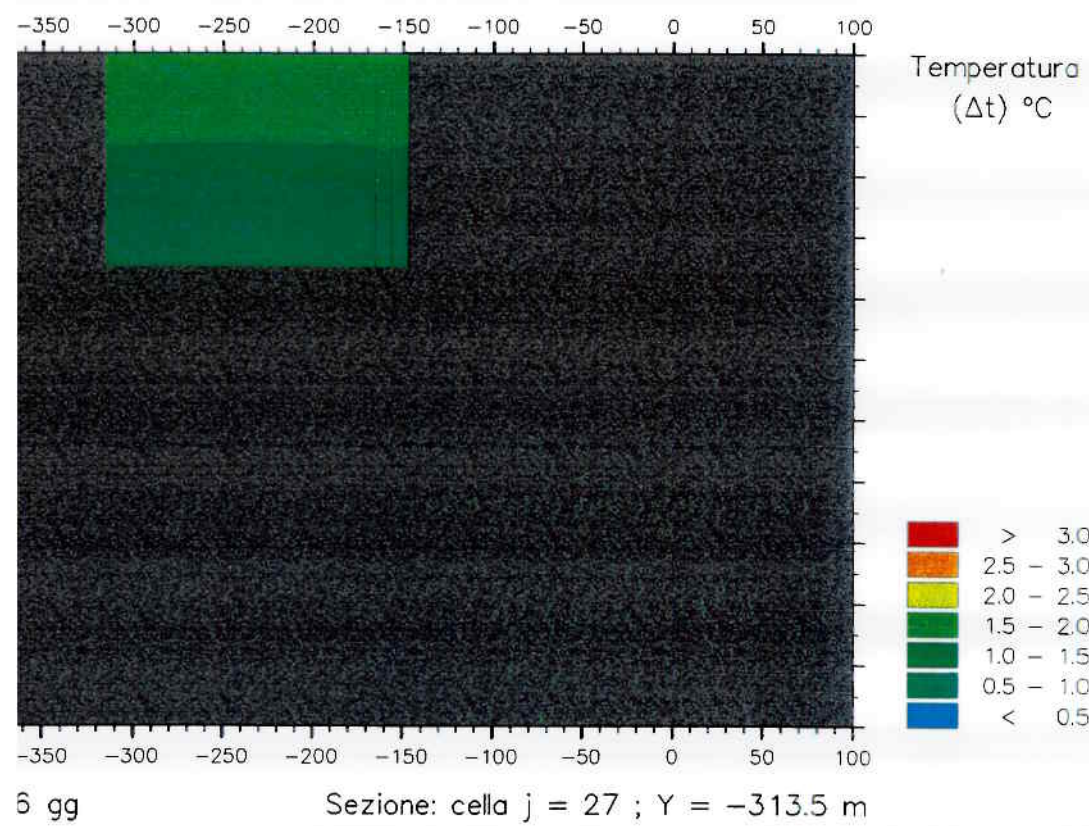
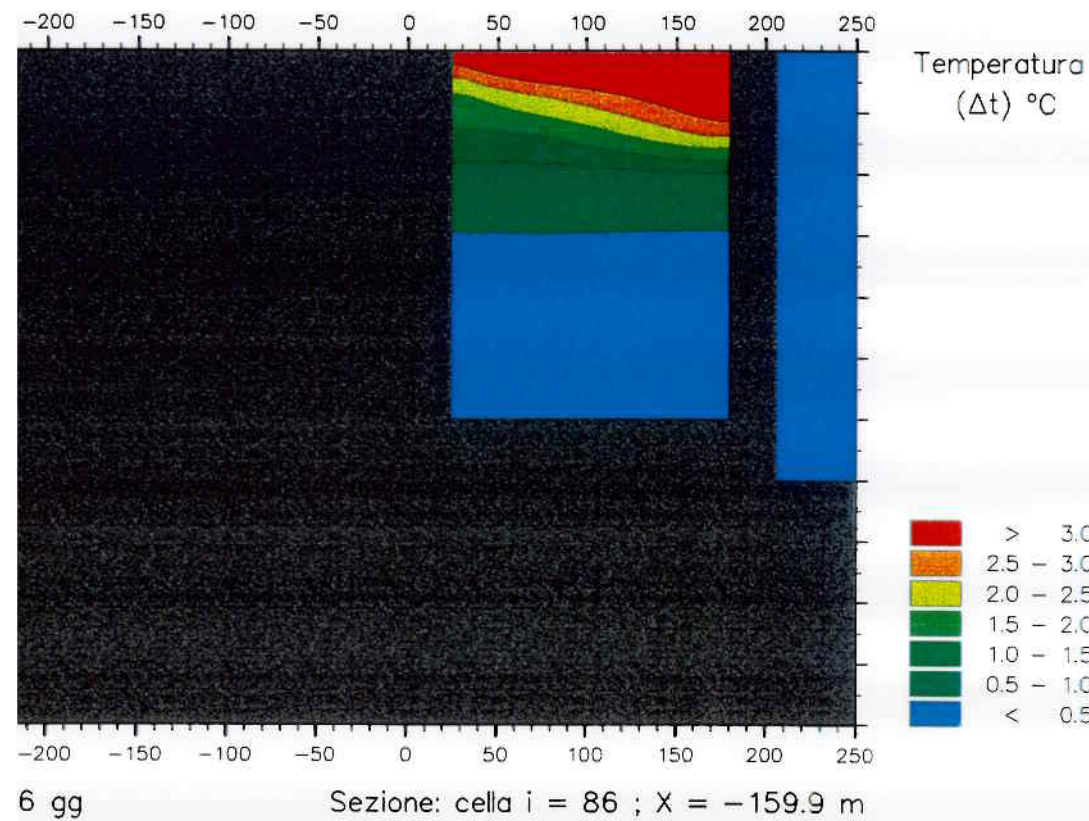
DSR CRIS

CODICE TRIMDI



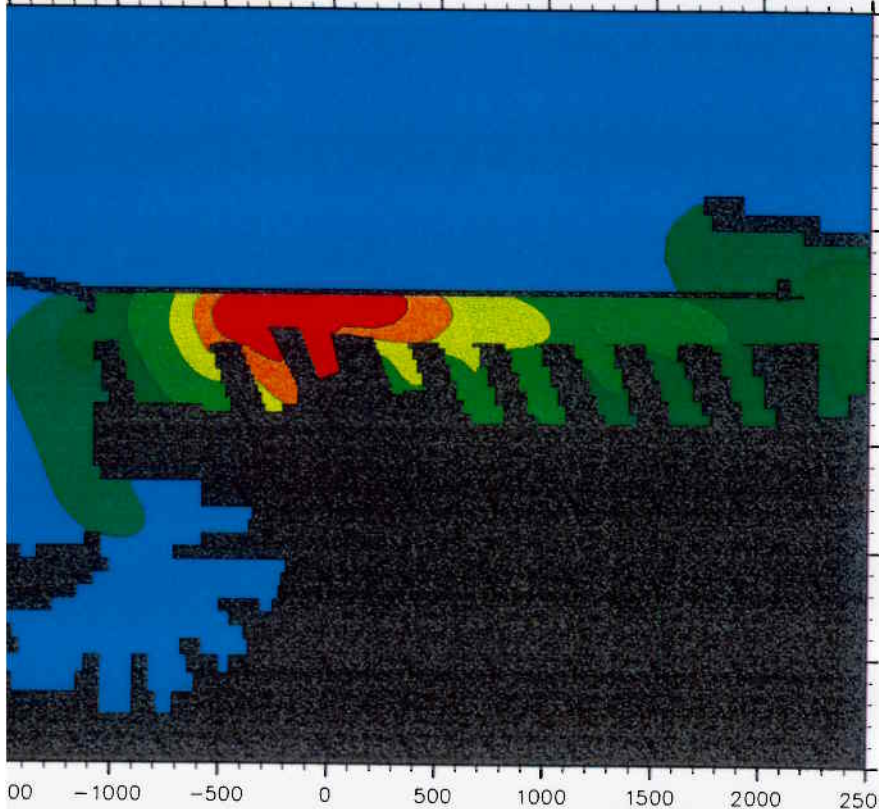
5\_3. Sezionilongitudinali nella calata di scarico e a centro canale.





5\_3. Sezioni longitudinale e frontale, di temperatura alla presa.

500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

30 gg

Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00

max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

30 gg

Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

> 5\_0\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Temperatura (Δt) °C

- █ > 3.0
- █ 2.5 - 3.0
- █ 2.0 - 2.5
- █ 1.5 - 2.0
- █ 1.0 - 1.5
- █ 0.5 - 1.0
- █ < 0.5

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

0 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita' (m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

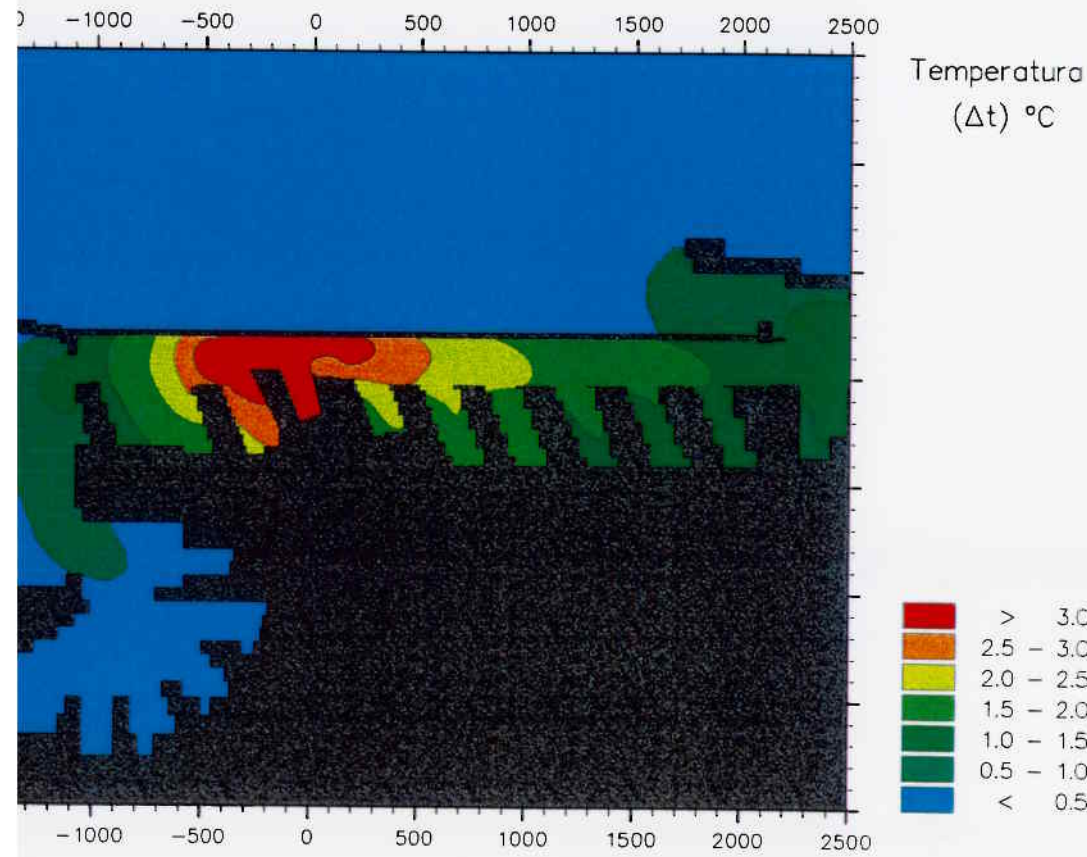
- █ > 0.20
- █ 0.18 - 0.20
- █ 0.16 - 0.18
- █ 0.14 - 0.16
- █ 0.12 - 0.14
- █ 0.10 - 0.12
- █ 0.08 - 0.10
- █ 0.06 - 0.08
- █ 0.04 - 0.06
- █ 0.02 - 0.04
- █ < 0.02

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

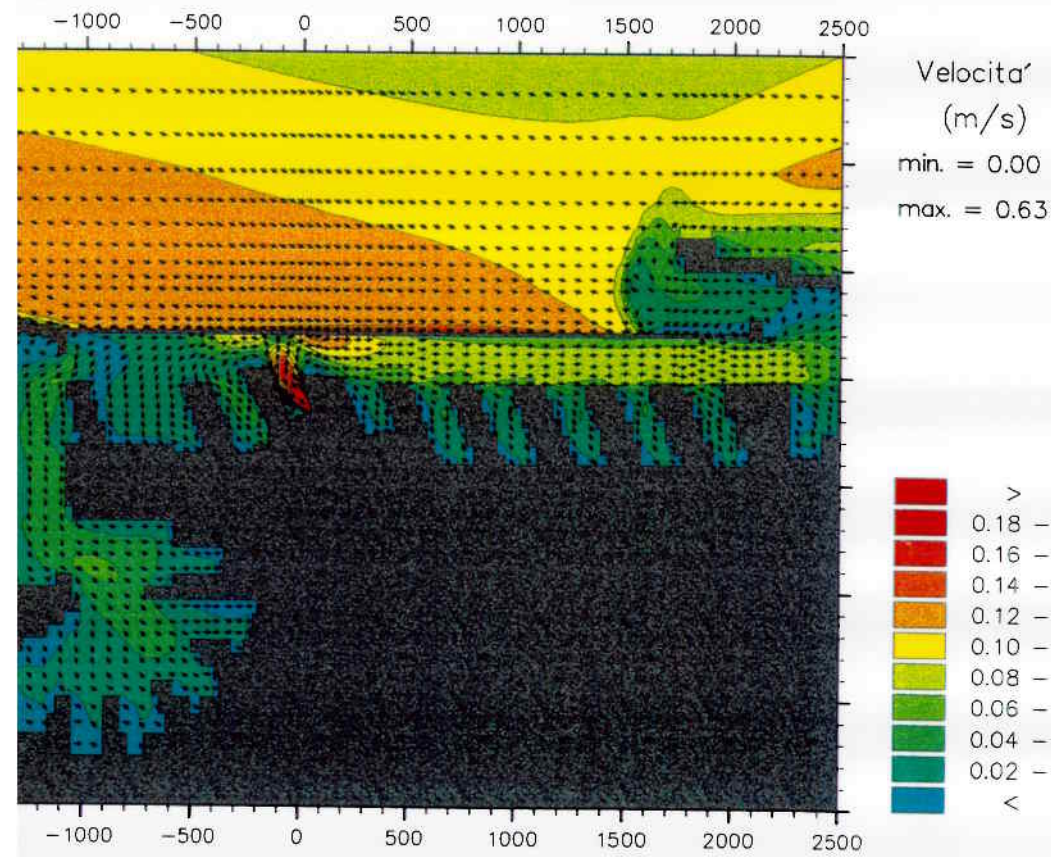
0 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

5\_0\_2. Campo di temperatura e campo di moto.





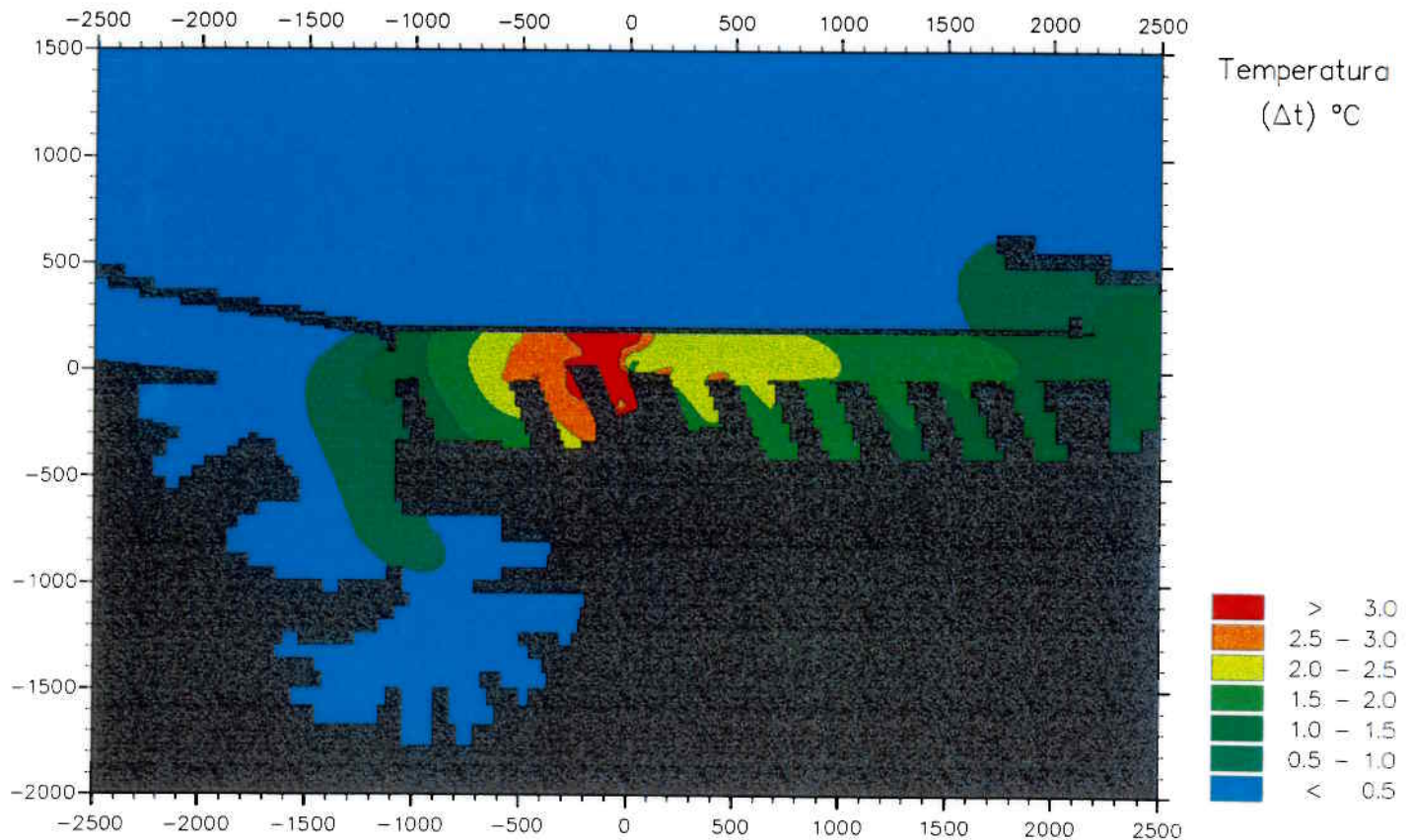
0 gg Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m



0 gg Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m

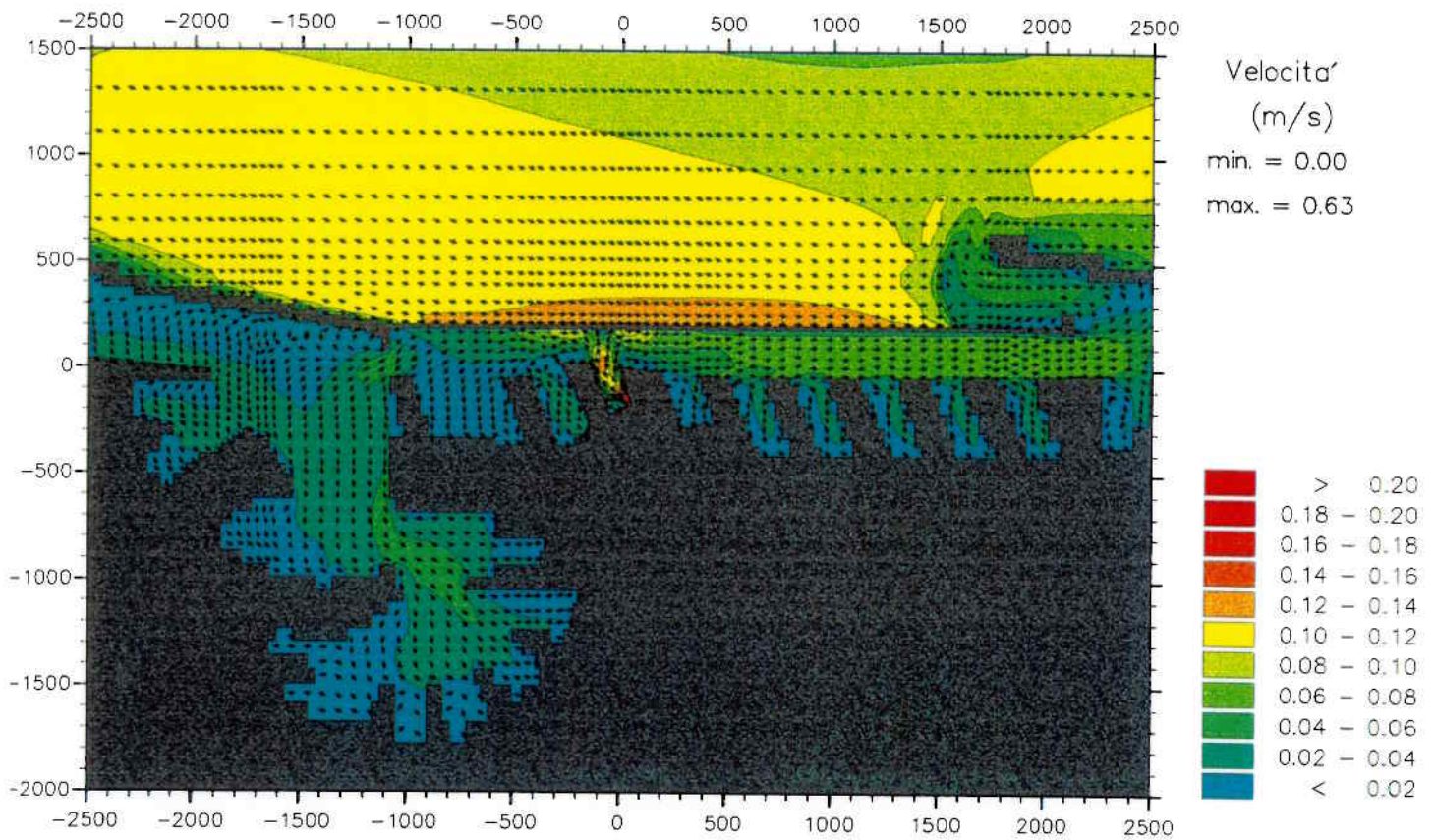
5\_0\_2. Campo di temperatura e campo di moto.





Tempo finale = 30 gg

Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m



Tempo finale = 30 gg

Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

Fig. 10.4 - Caso 5\_0\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



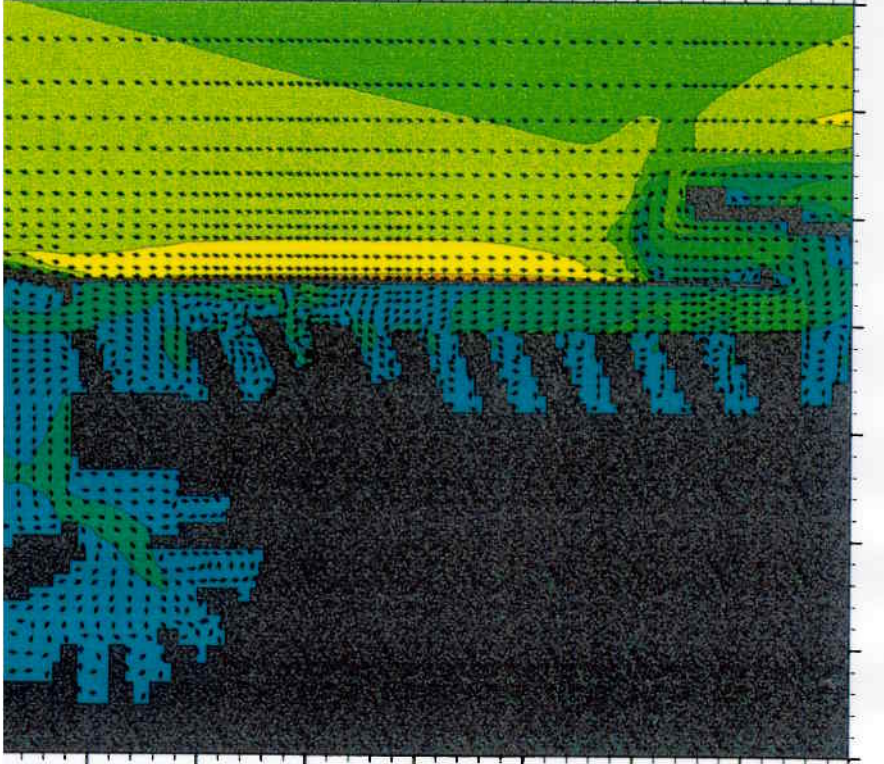
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

30 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

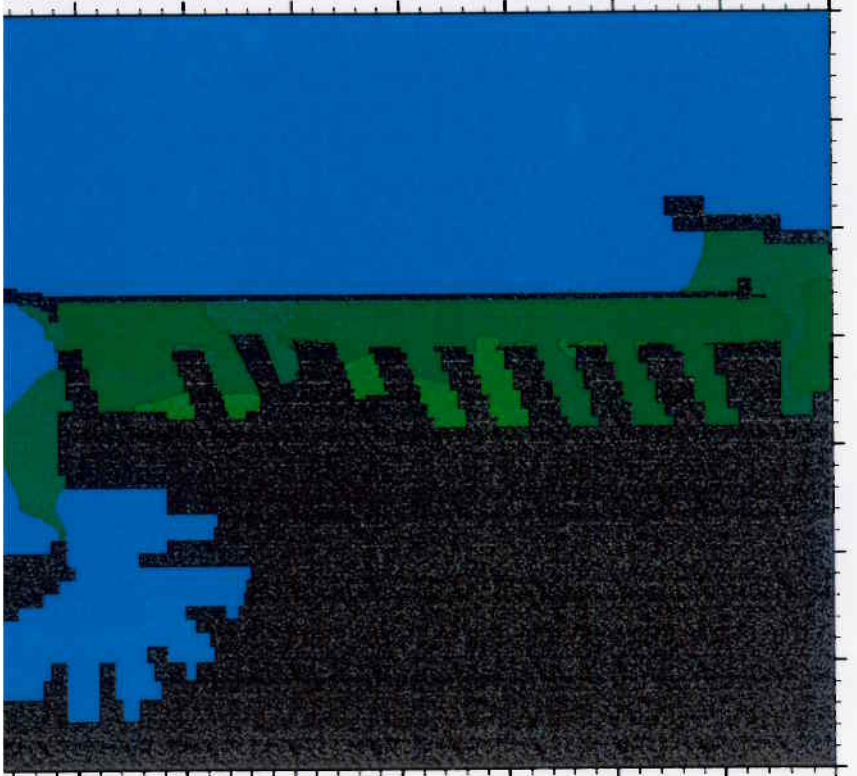
0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

10 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

5\_0\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



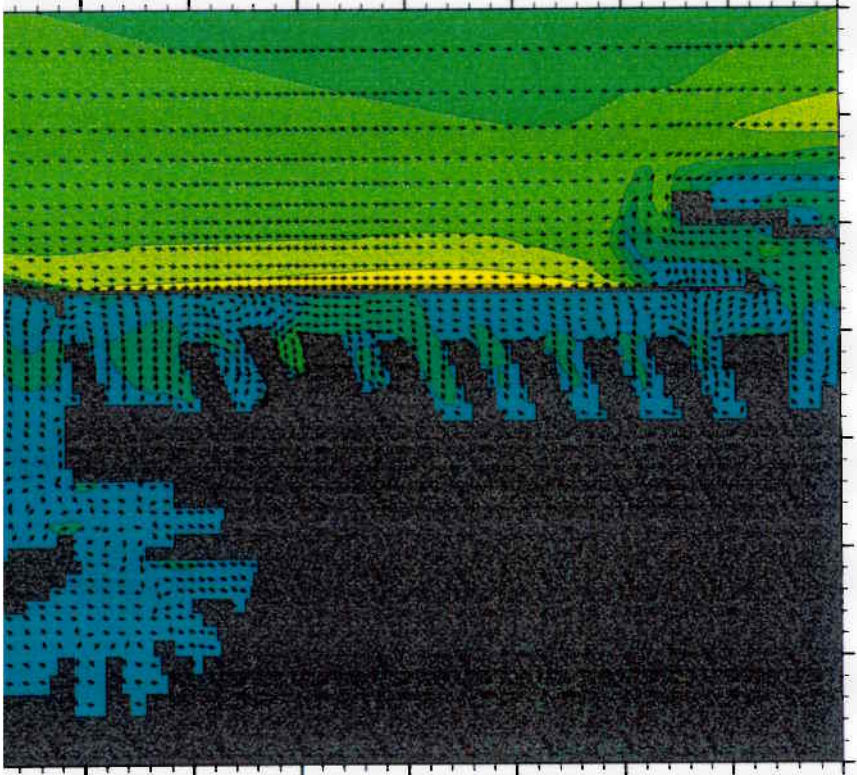
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



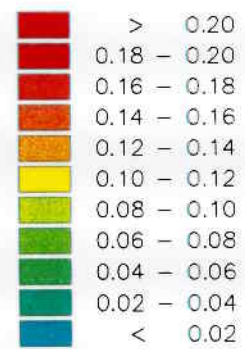
-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

0 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



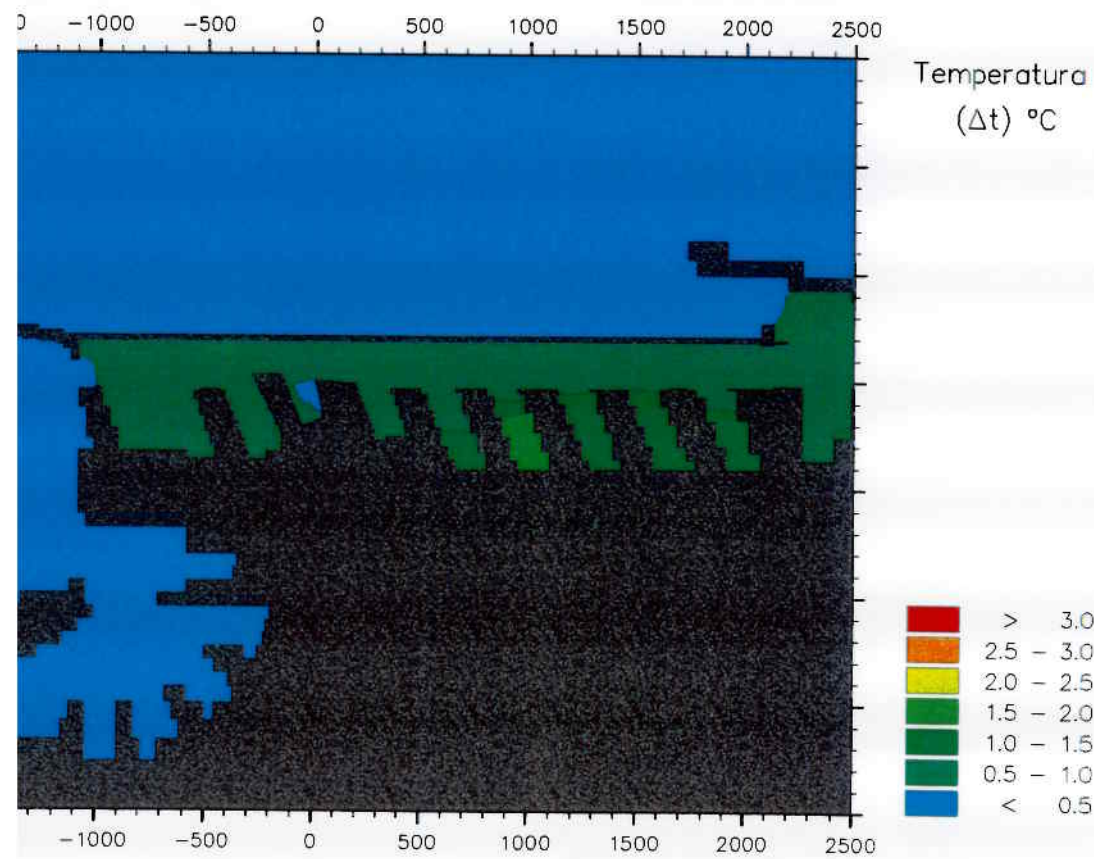
Velocita'  
(m/s)  
min. = 0.00  
max. = 0.63



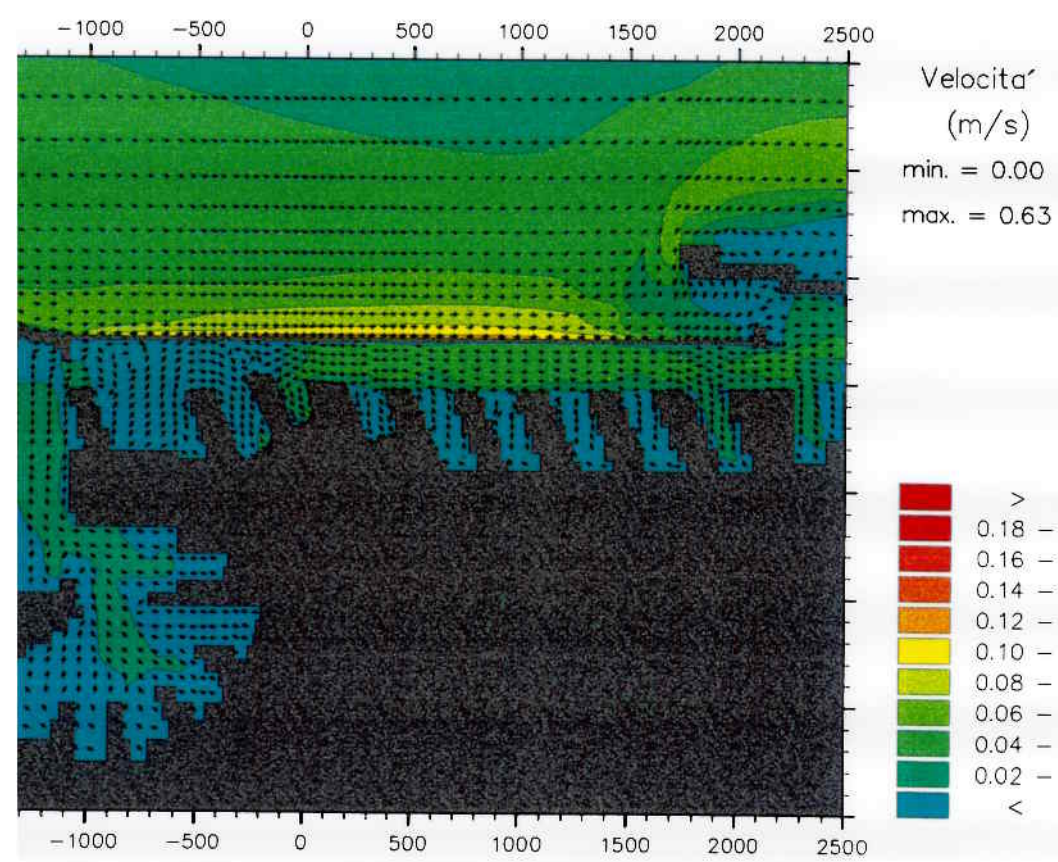
-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

10 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m

5\_0\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



0 gg Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m



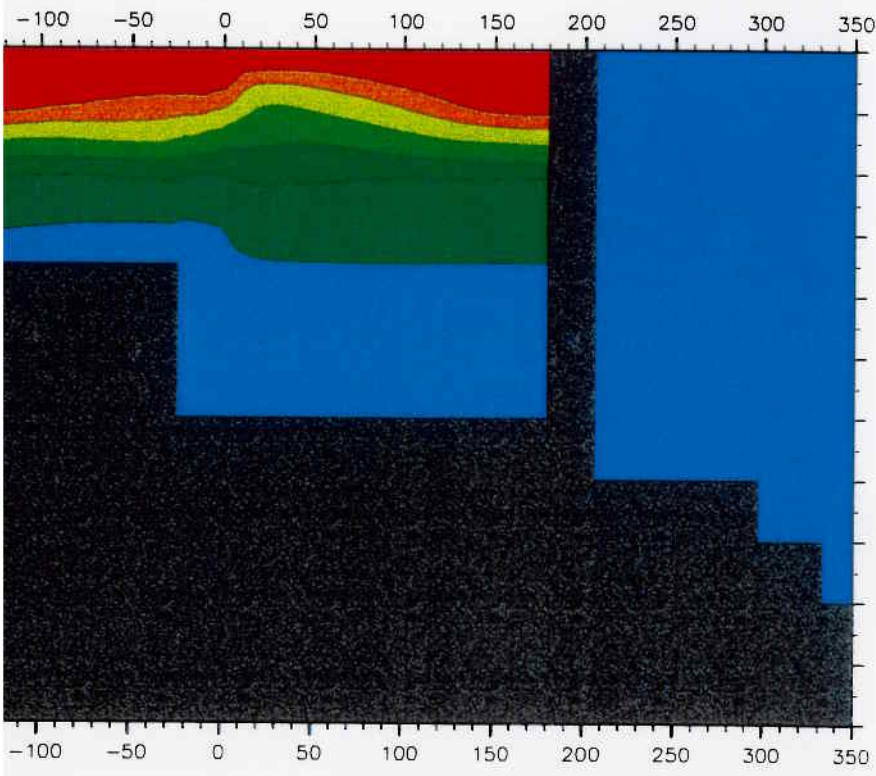
5 gg Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

5\_0\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



**DSR CRIS**

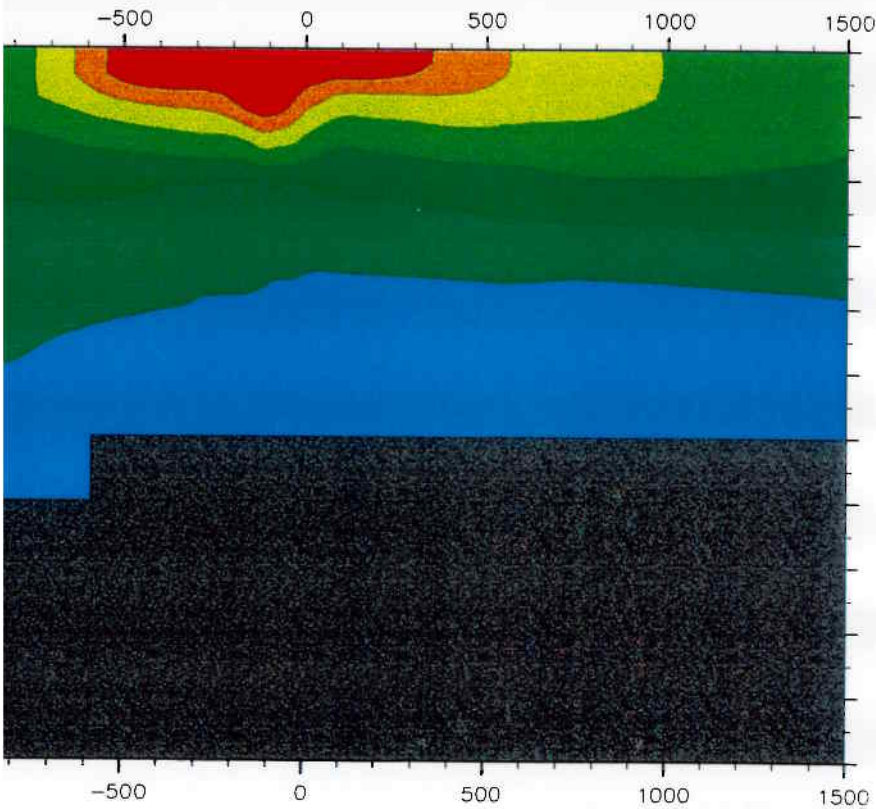
**CODICE TRIMDI**



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

Sezione: cella i = 112 ; X = -2.0 m



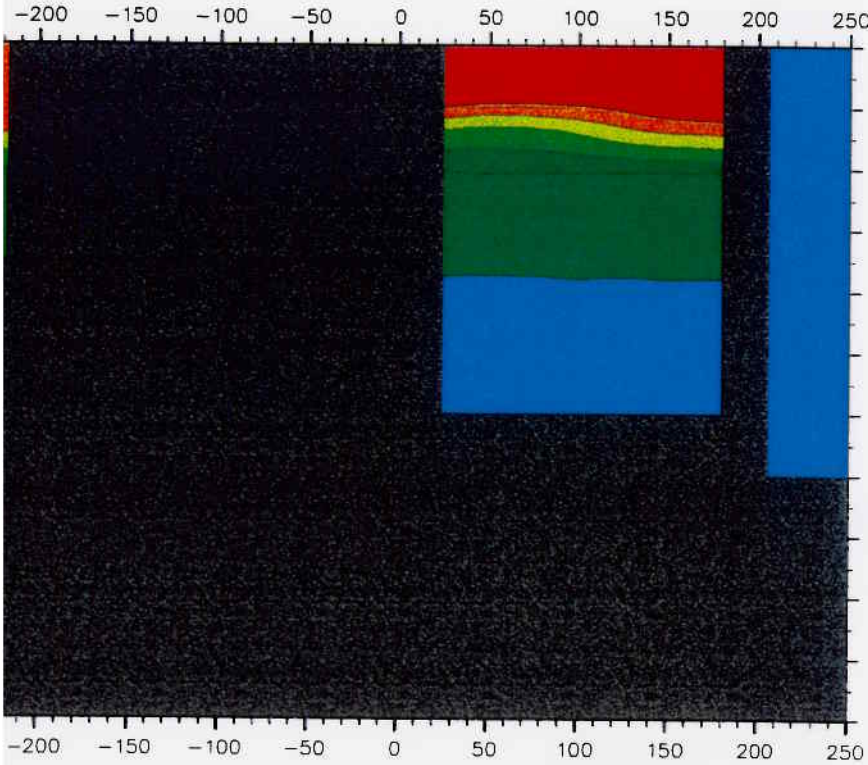
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

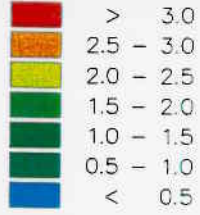
Sezione: cella j = 81 ; Y = 101.0 m

5\_0\_2. Sezioni longitudinali nella calata di scarico e a centro canale.

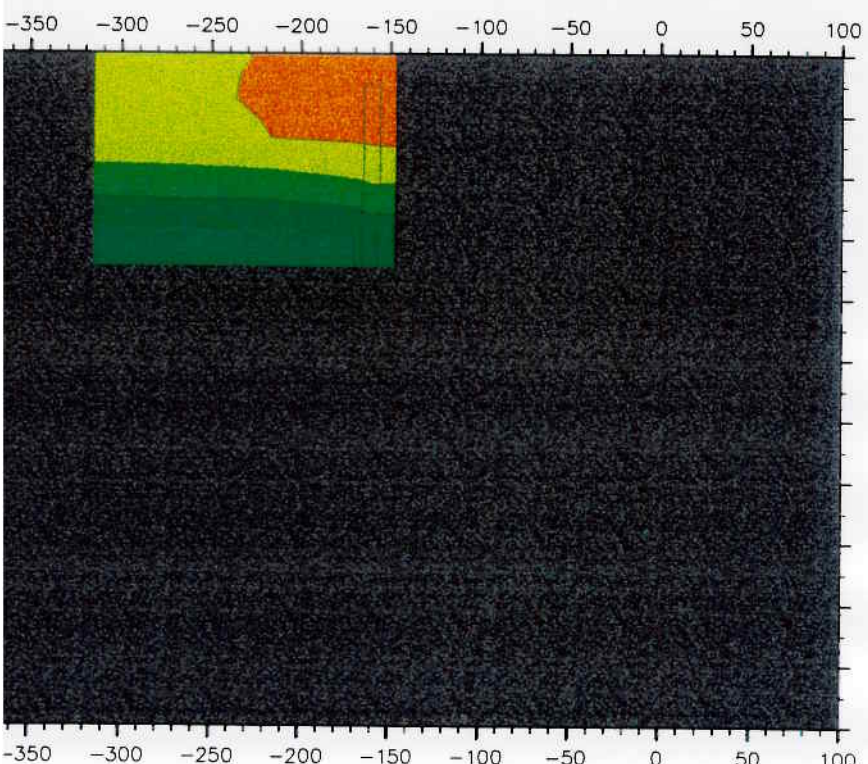




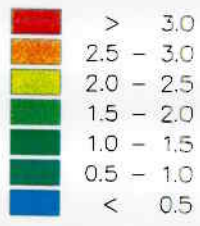
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



0 gg Sezione: cella i = 86 ; X = -159.9 m



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



0 gg Sezione: cella j = 27 ; Y = -313.5 m

5\_0\_2. Sezioni longitudinale e frontale.  
o di temperatura alla presa.

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

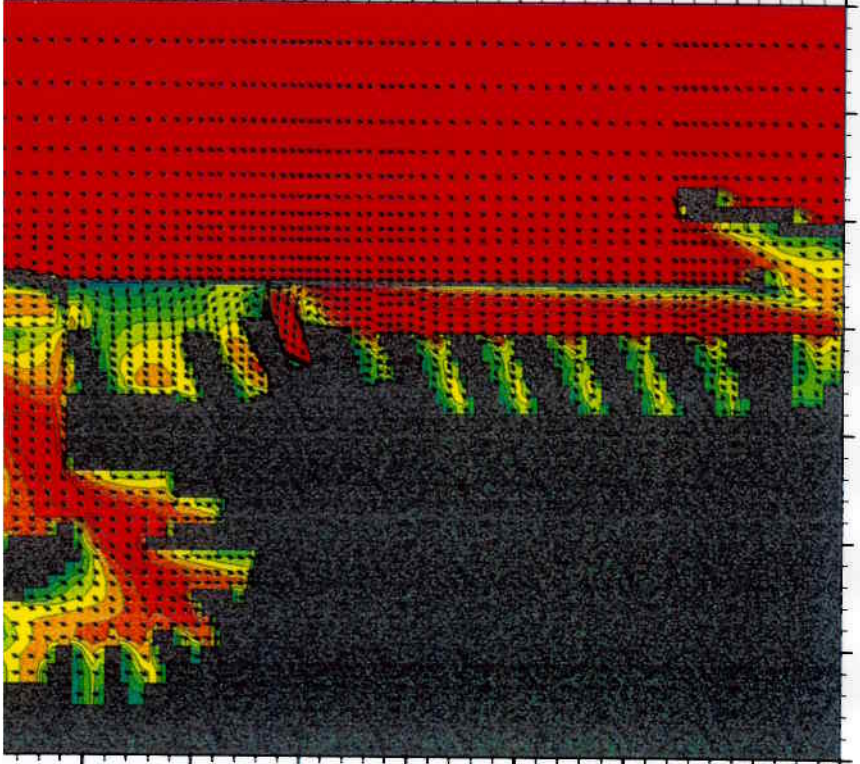
- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg

Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- < 0.02

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg

Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

5\_0\_2\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

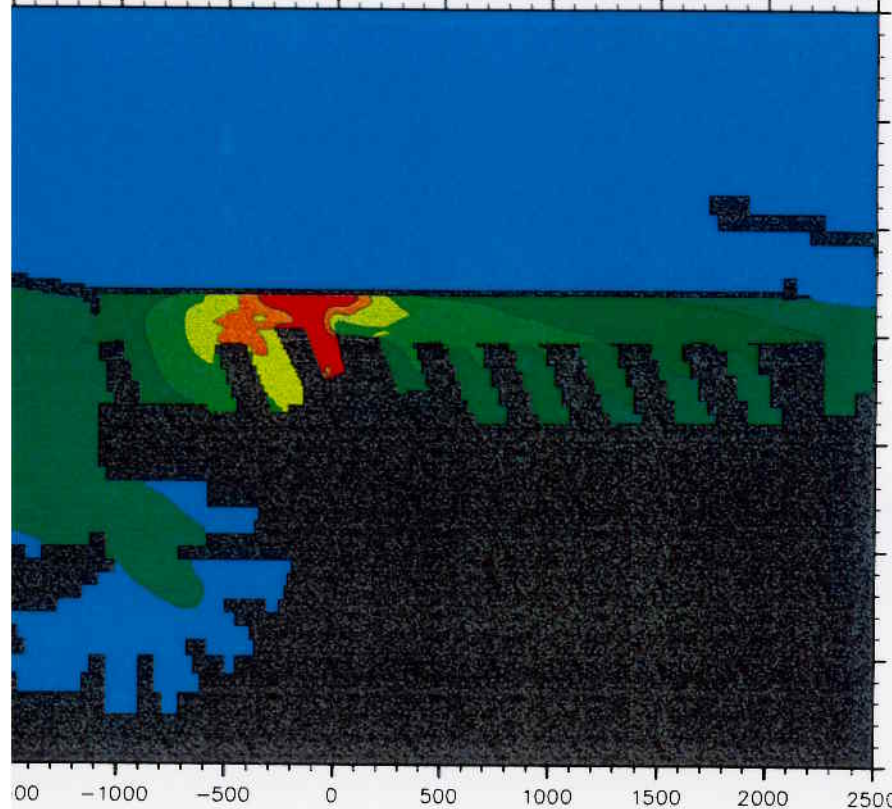
-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

5\_0\_2\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



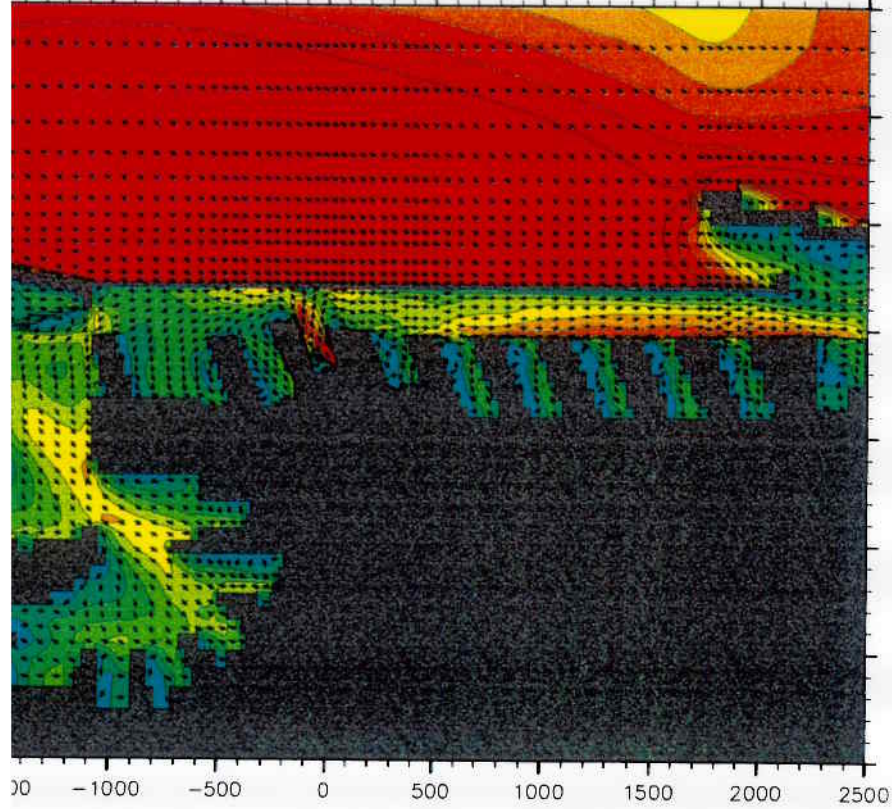
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)  
min. = 0.00  
max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m

5\_0\_2\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



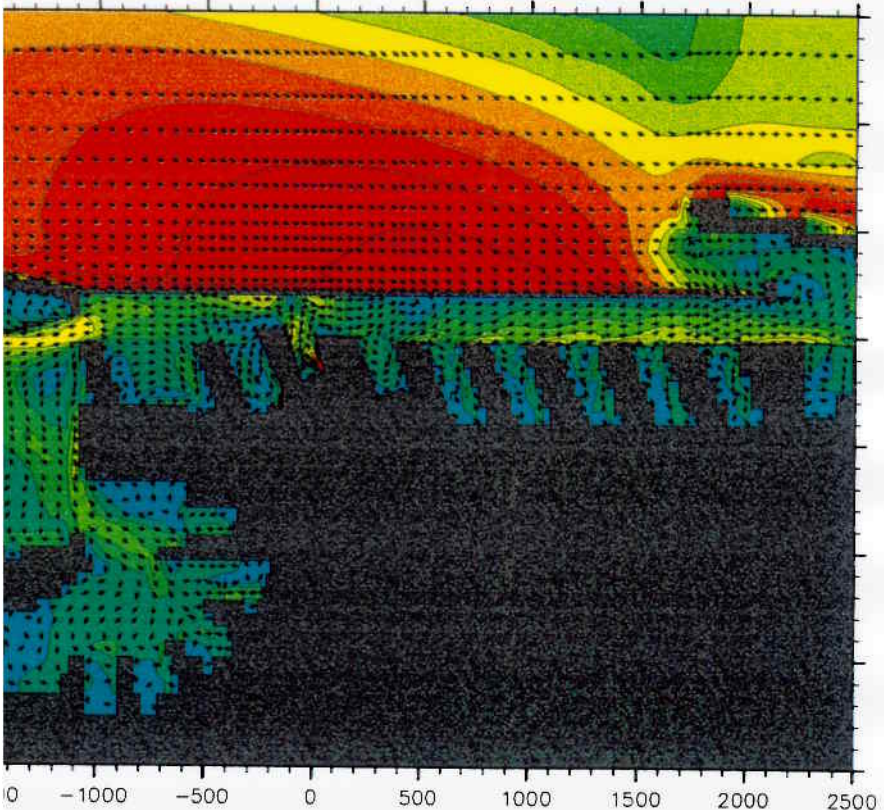
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

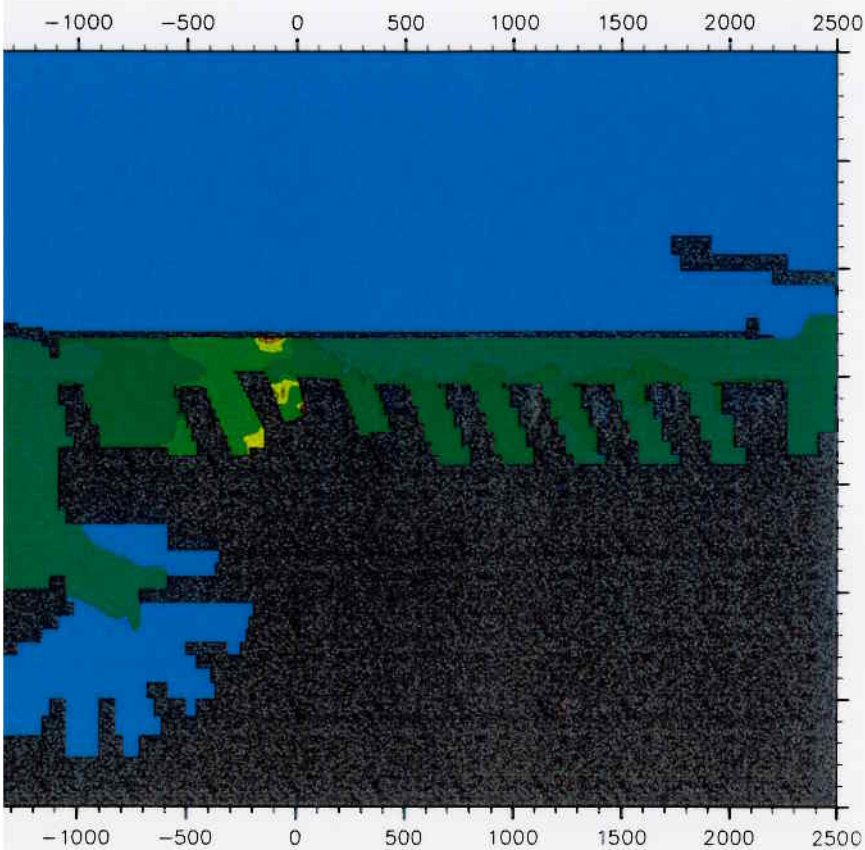
- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

5\_0\_2\_1. Campo di temperatura e campo di moto.

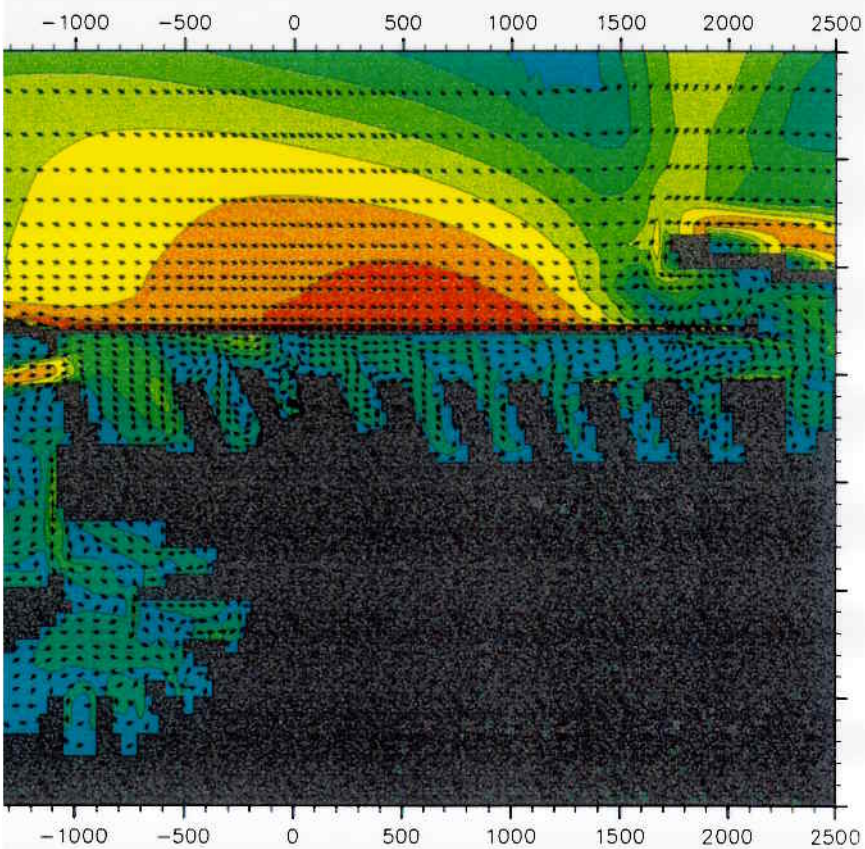




Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

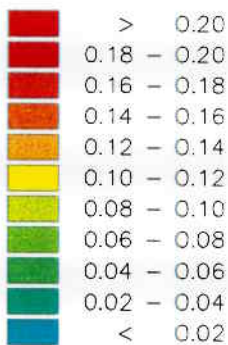


5 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m



Velocita'  
(m/s)

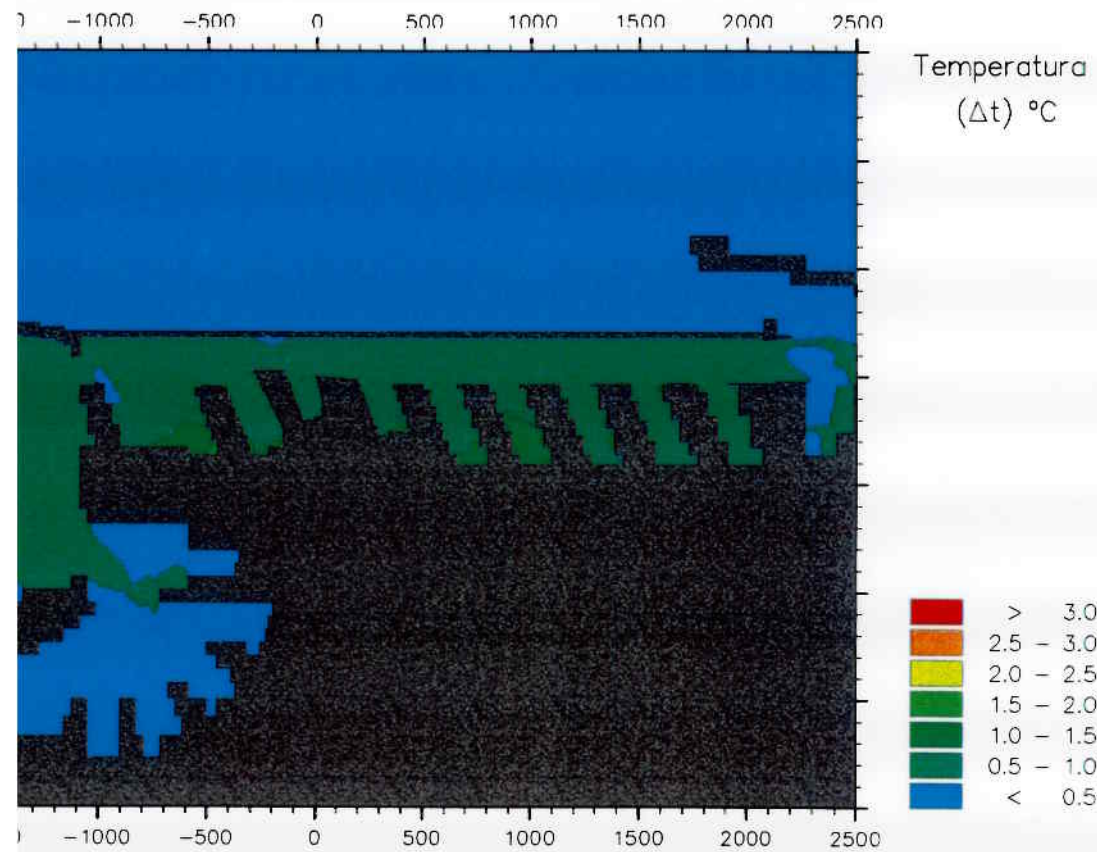
min. = 0.00  
max. = 0.63



3 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

5\_0\_2\_1. Campo di temperatura e campo di moto.

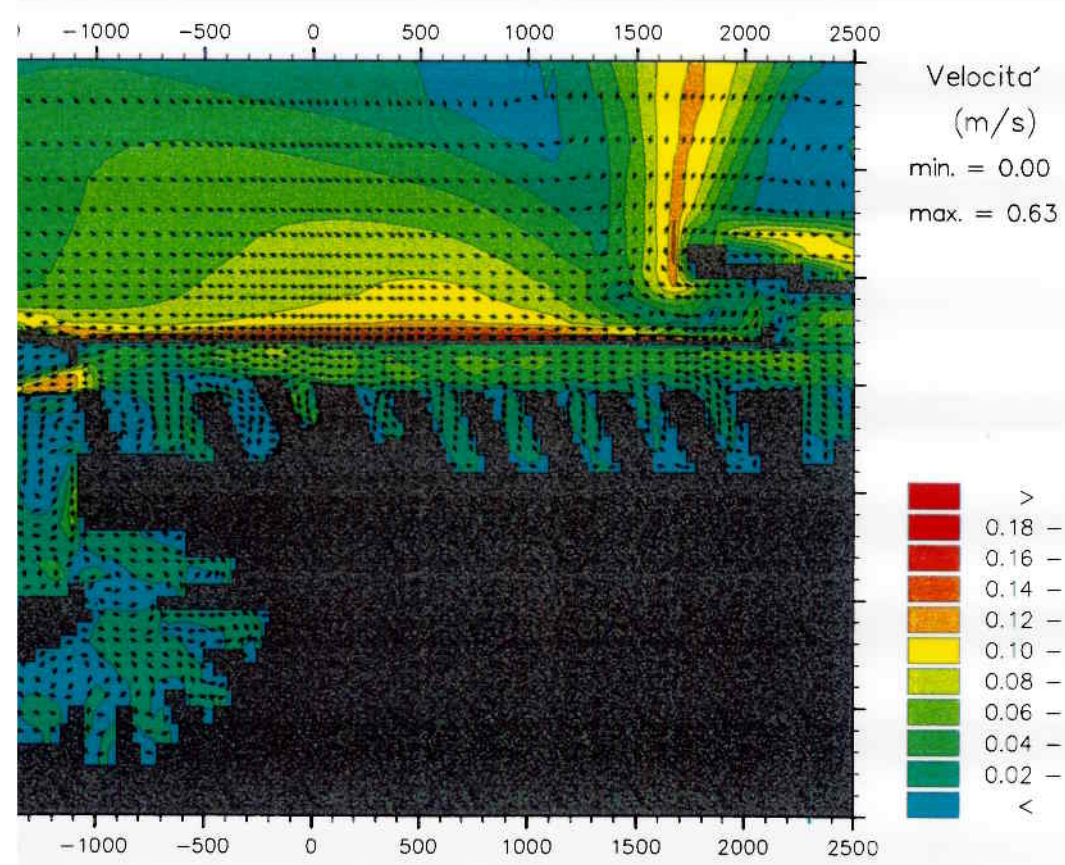




Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

6 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

6 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m

5\_0\_2\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



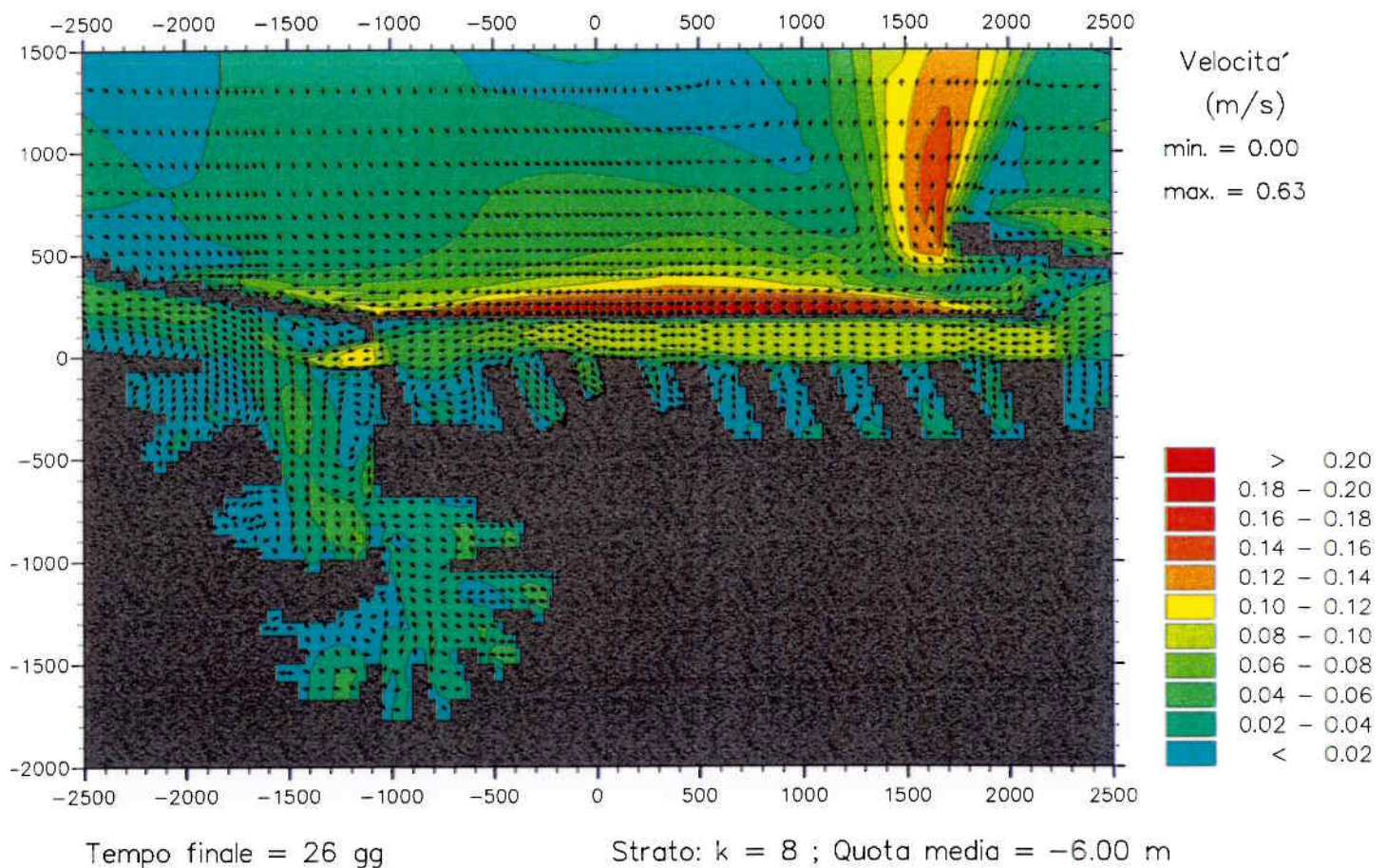
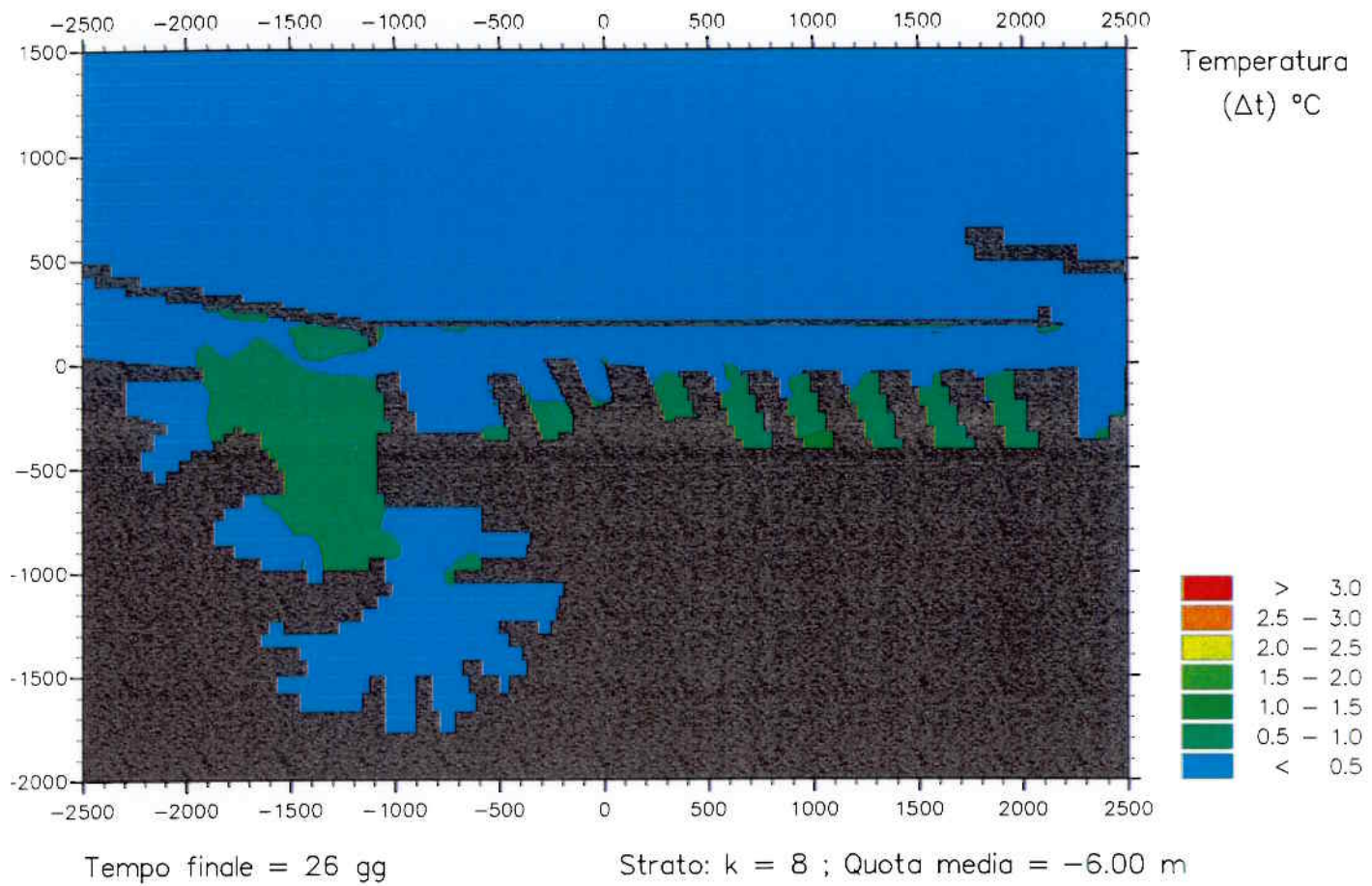


Fig. 11.7 - Caso 5\_0\_2\_1. Campo di temperatura e campo di moto.

**DSR CRIS**

**CODICE TRIMDI**

-100 -50 0 50 100 150 200 250 300 350

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



-100 -50 0 50 100 150 200 250 300 350

26 gg

Sezione: cella i = 112 ; X = -2.0 m

-500 0 500 1000 1500

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



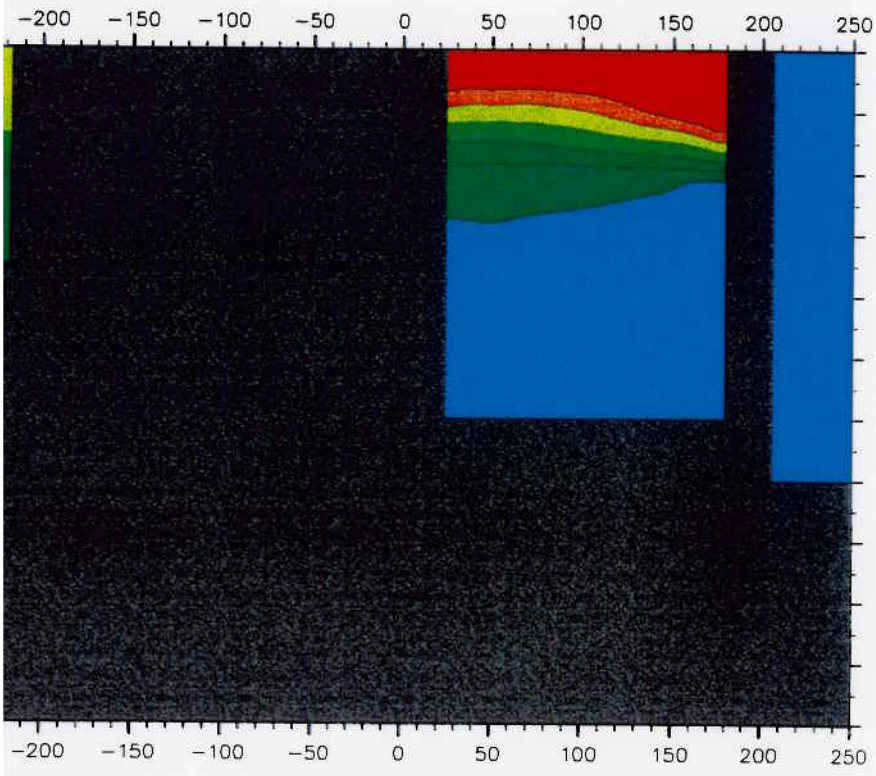
-500 0 500 1000 1500

26 gg

Sezione: cella j = 81 ; Y = 101.0 m

caso 5\_0\_2\_1. Sezioni longitudinali nella calata di scarico e a centro canale.

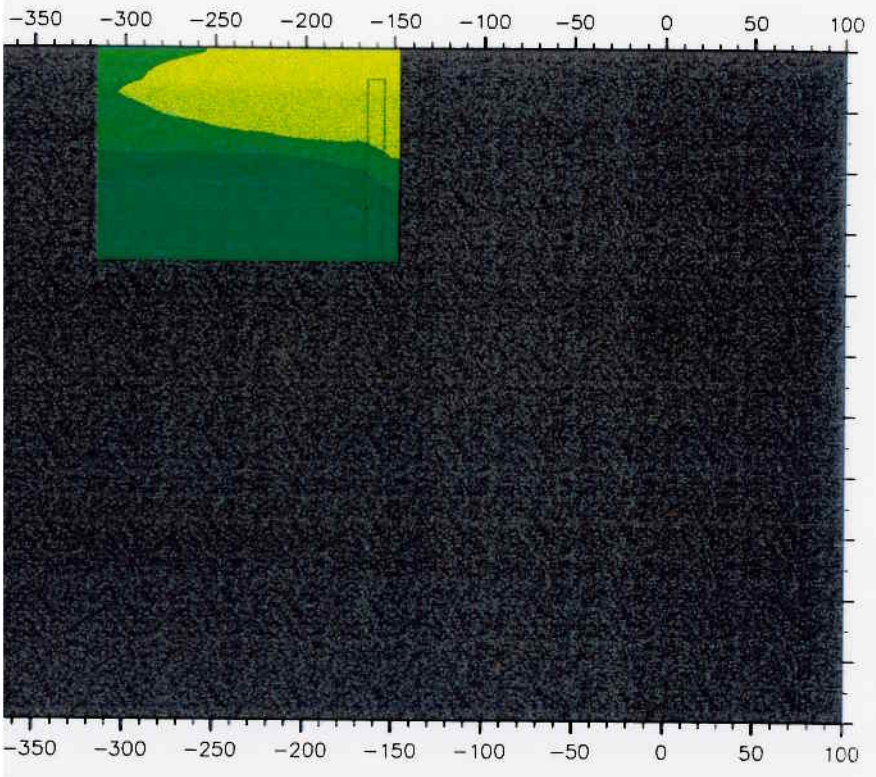




Temperatura (Δt) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

16 gg Sezione: cella i = 86 ; X = -159.9 m



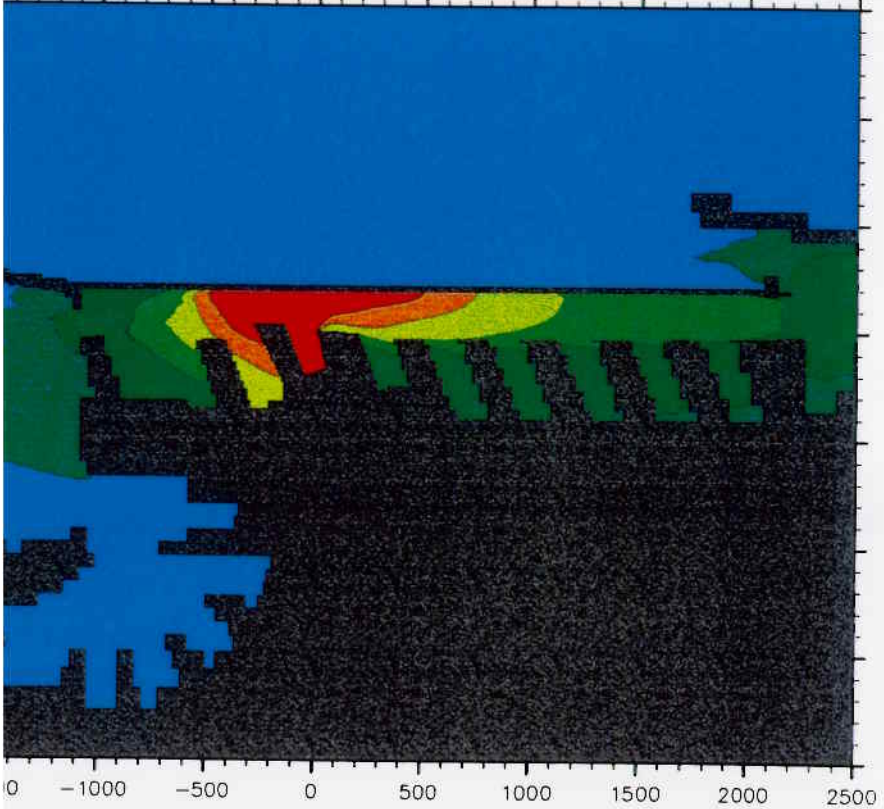
Temperatura (Δt) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

6 gg Sezione: cella j = 27 ; Y = -313.5 m

5\_0\_2\_1. Sezioni longitudinale e frontale.  
o di temperatura alla presa.

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



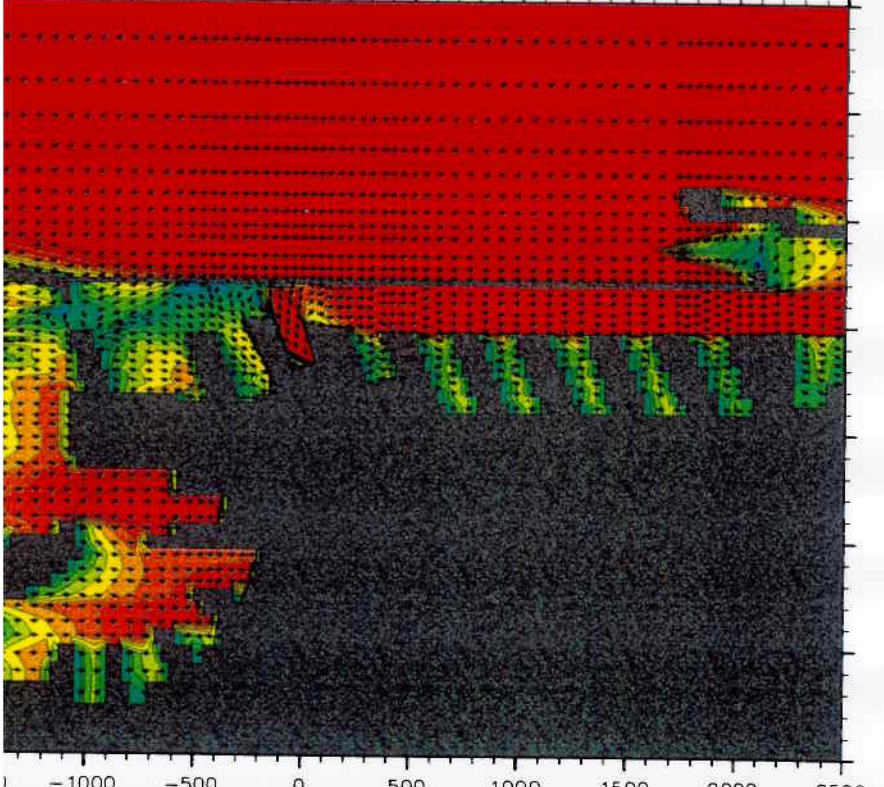
Temperatura (Δt) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita' (m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

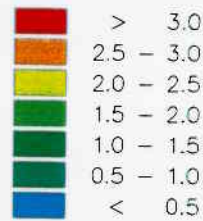
5\_0\_1\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



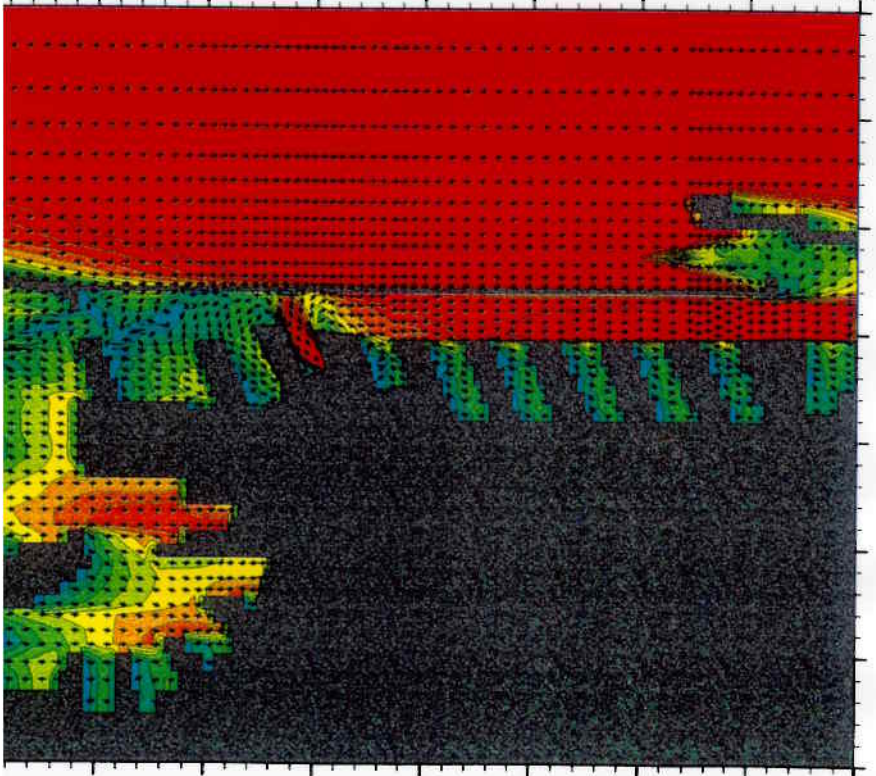
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

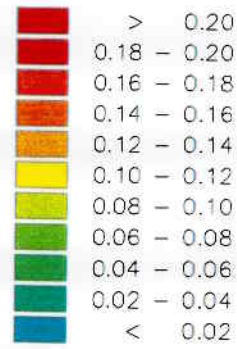
26 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m

00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

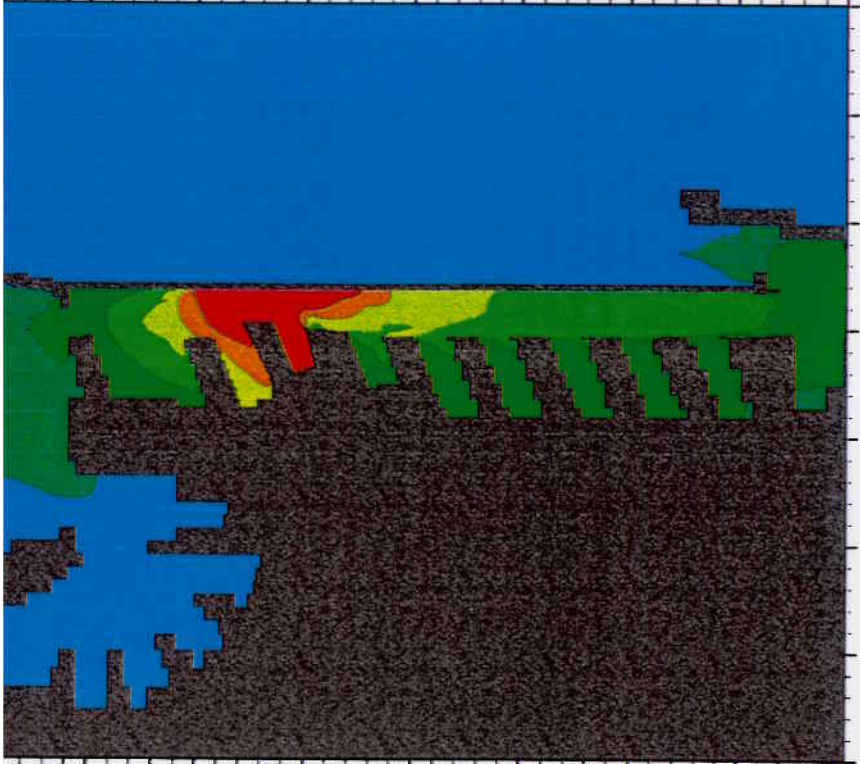


00 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

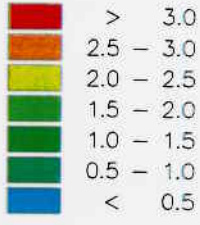
26 gg Strato: k = 13 ; Quota media = -0.43 m



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



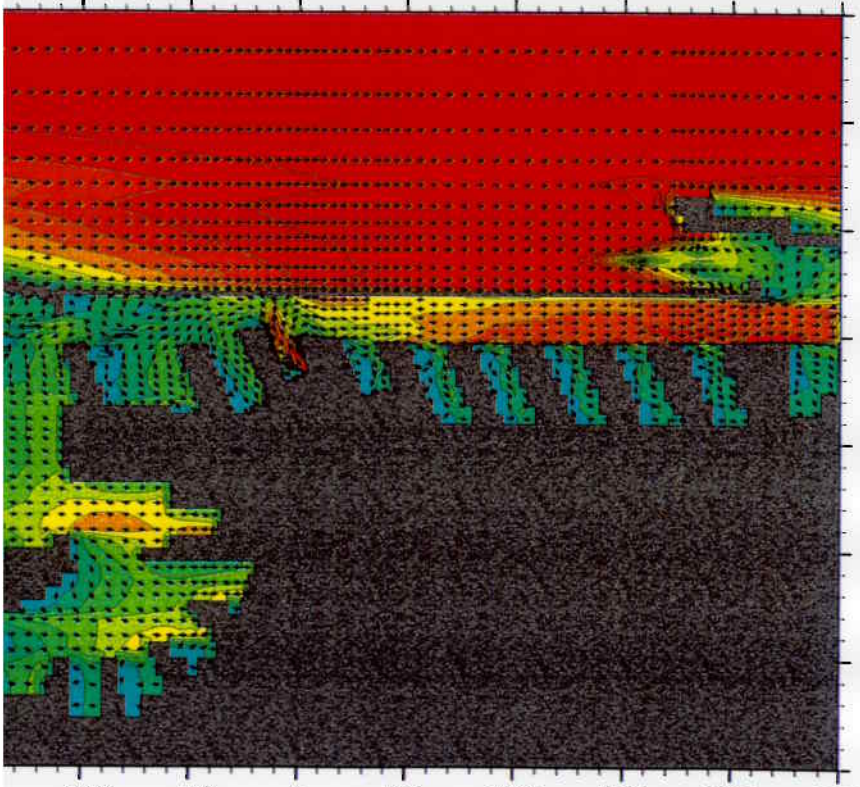
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

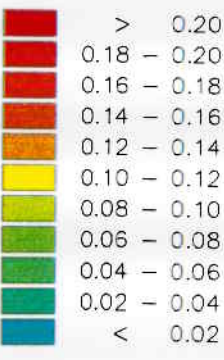
6 gg Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

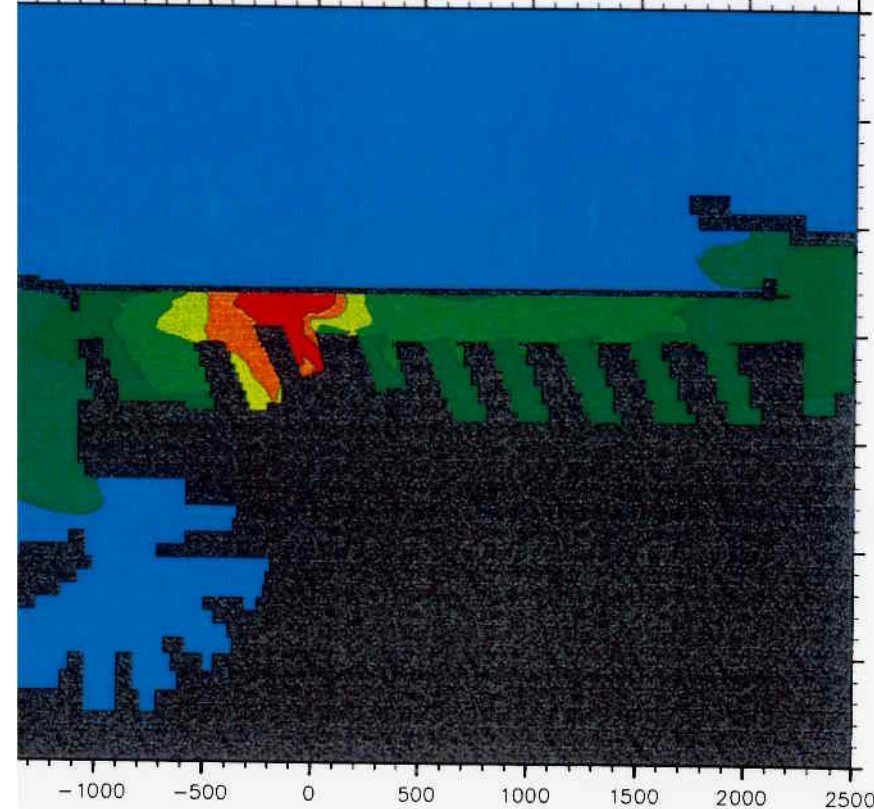
6 gg Strato: k = 12 ; Quota media = -0.80 m

\_0.1\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

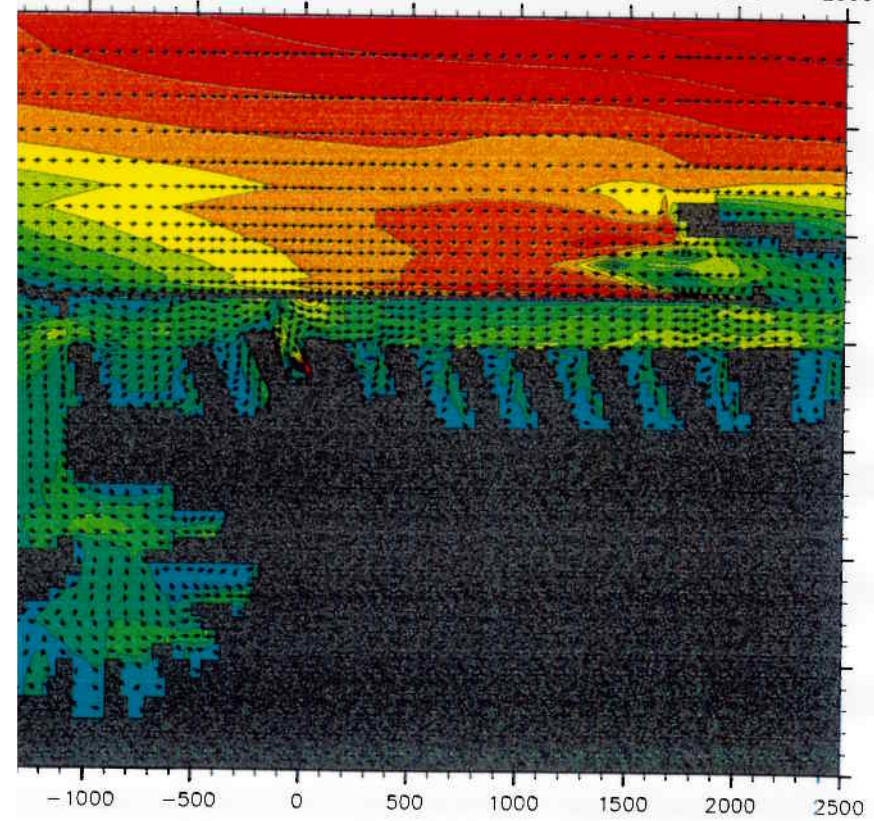
-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

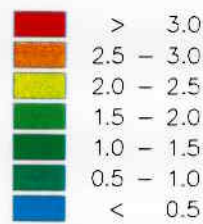
7 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

5\_0\_1\_1. Campo di temperatura e campo di moto.



-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



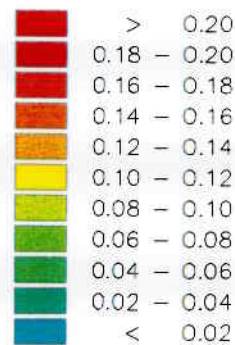
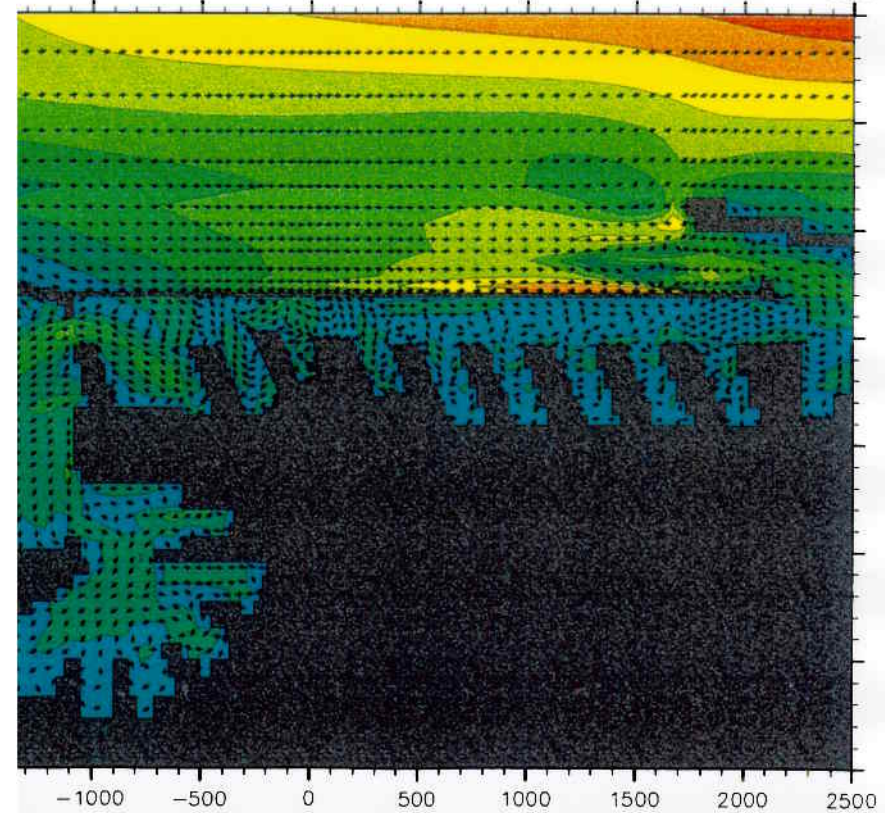
-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

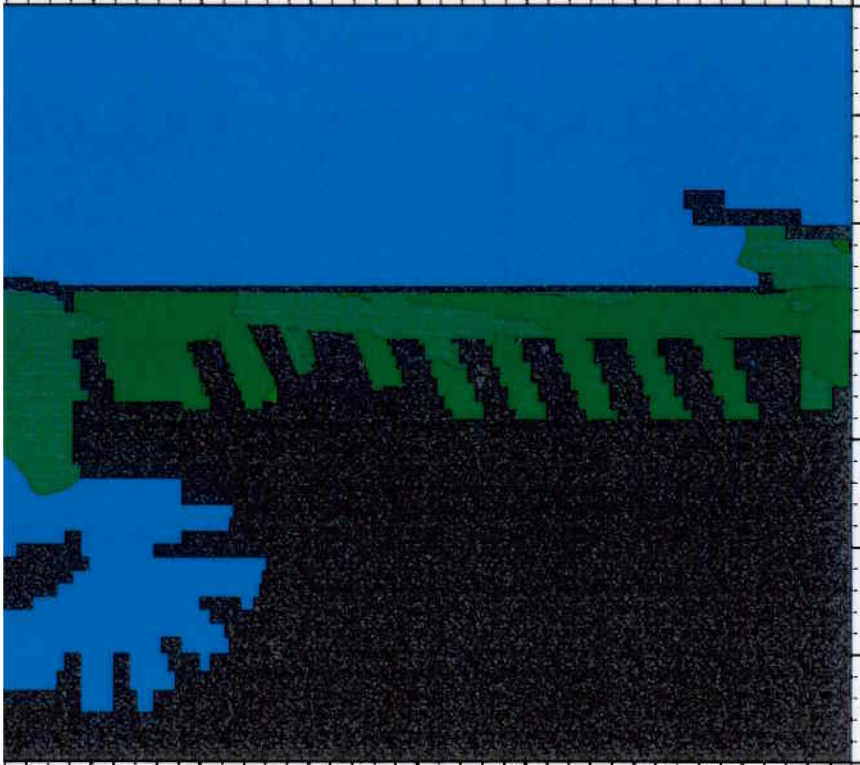


-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



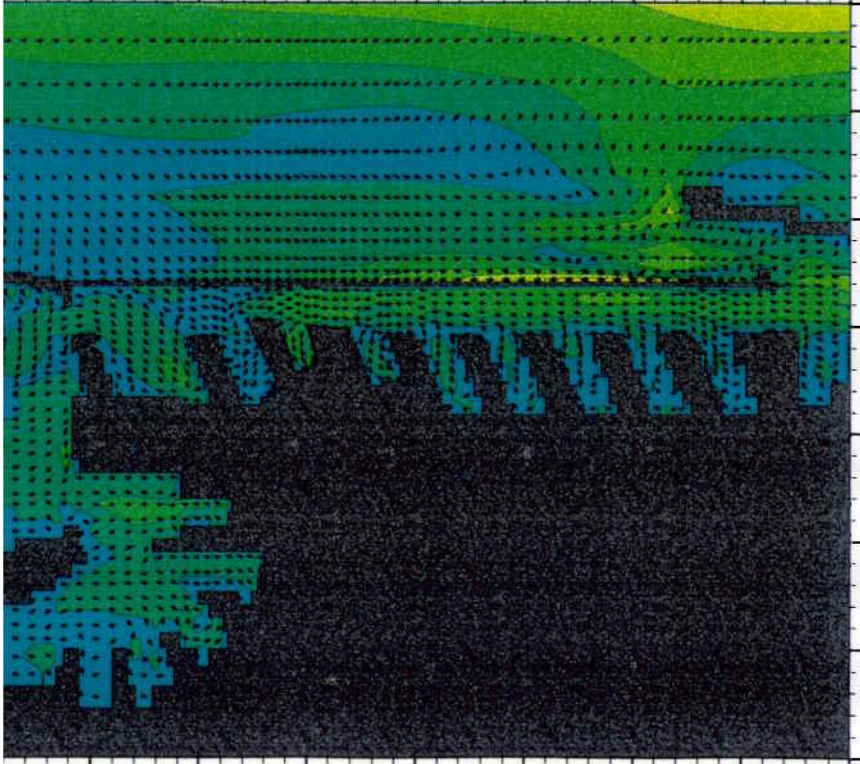
Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

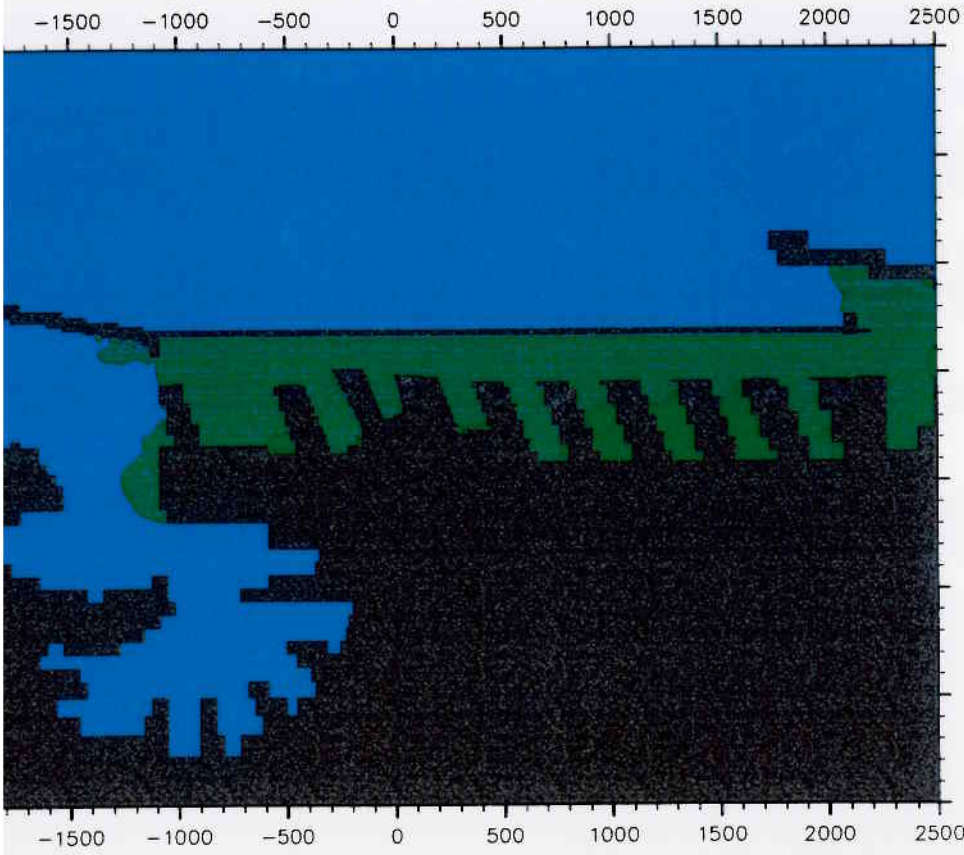
- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m

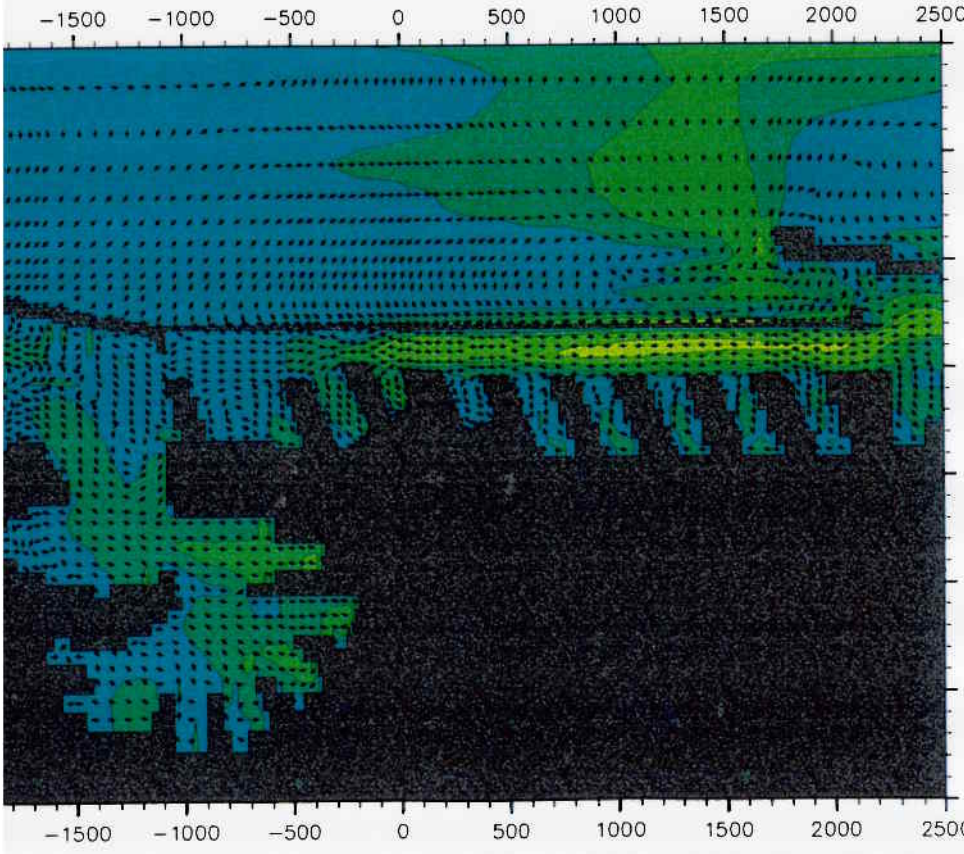
\_0\_1\_1. Campo di temperatura e campo di moto.





ale = 26 gg

Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m



ale = 26 gg

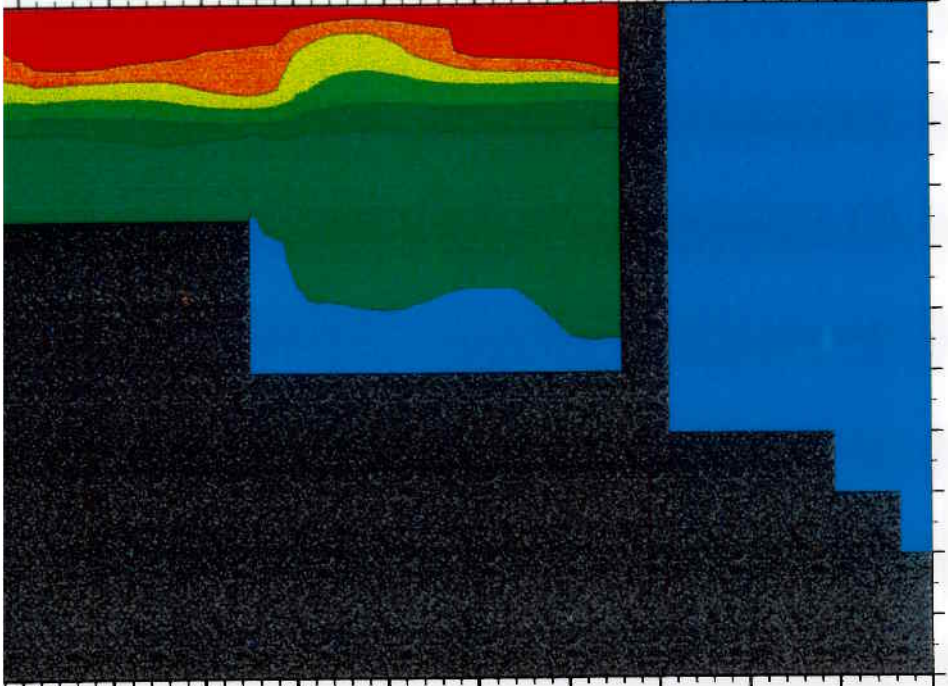
Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

Caso 5\_0\_1\_1. Campo di temperatura e campo di moto.

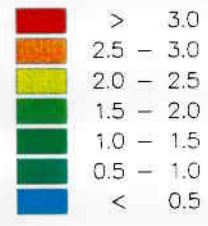
na DSR CRIS

CODICE TRIMDI

150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 300 350



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

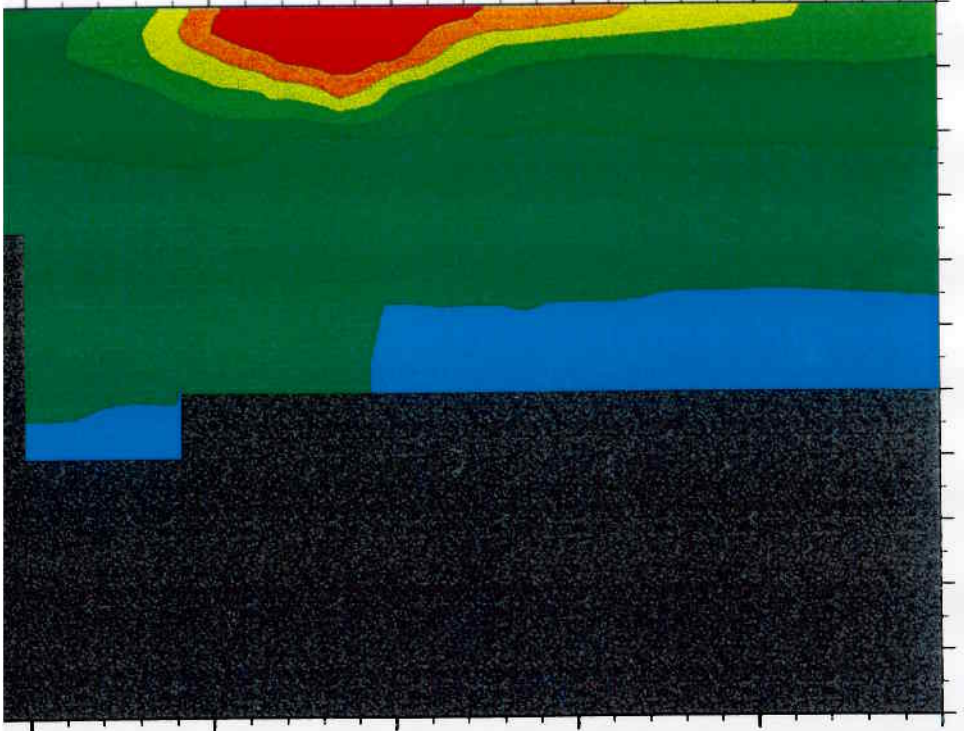


-150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 300 350

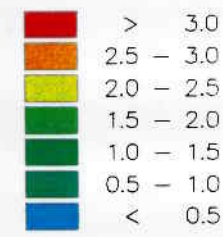
e = 26 gg

Sezione: cella i = 112 ; X = -2.0 m

1000 -500 0 500 1000 1500



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



-1000 -500 0 500 1000 1500

ale = 26 gg

Sezione: cella j = 81 ; Y = 101.0 m

- Caso 5\_0\_1\_1. Sezioni longitudinali nella calata di scarico e a centro cande.



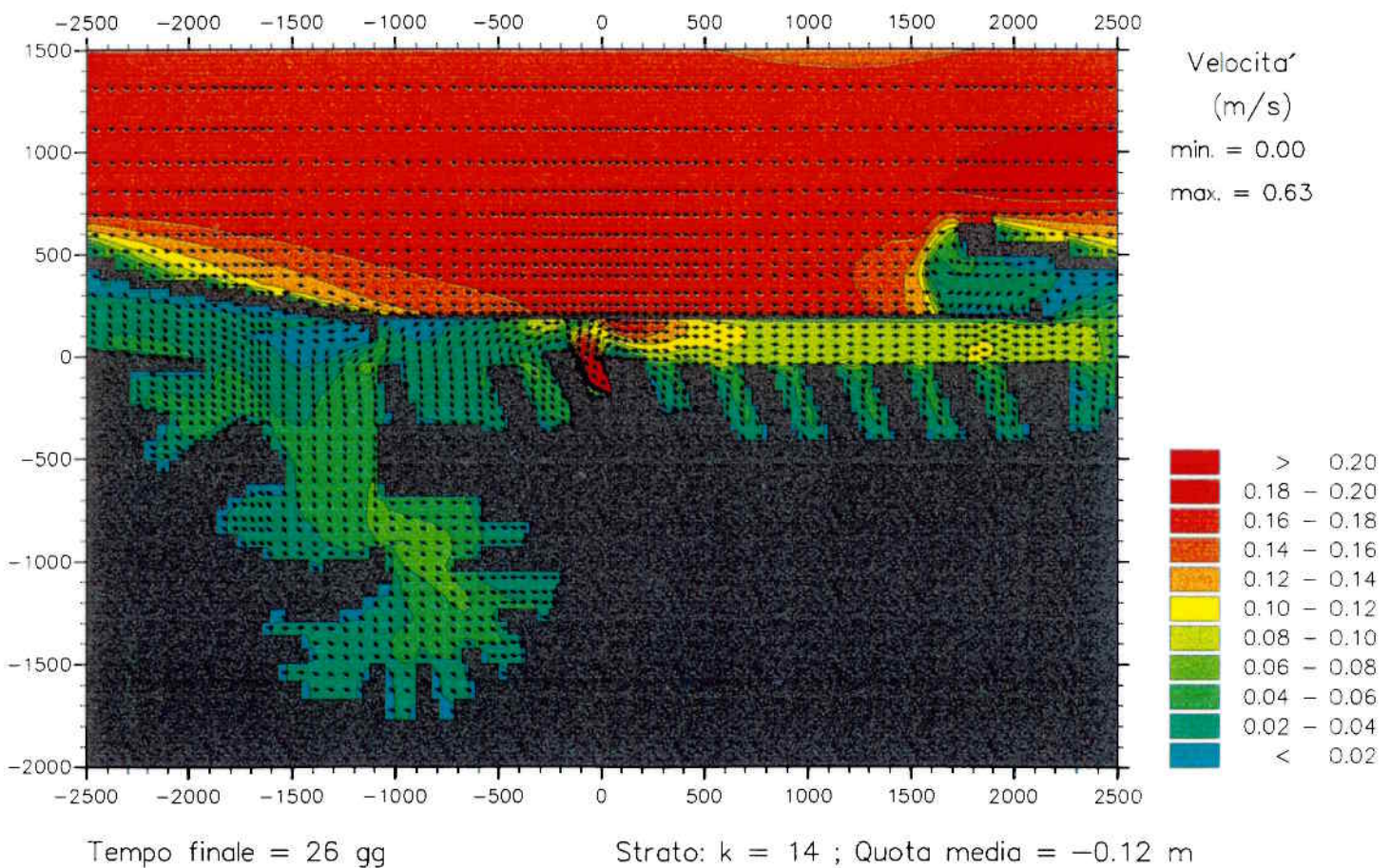
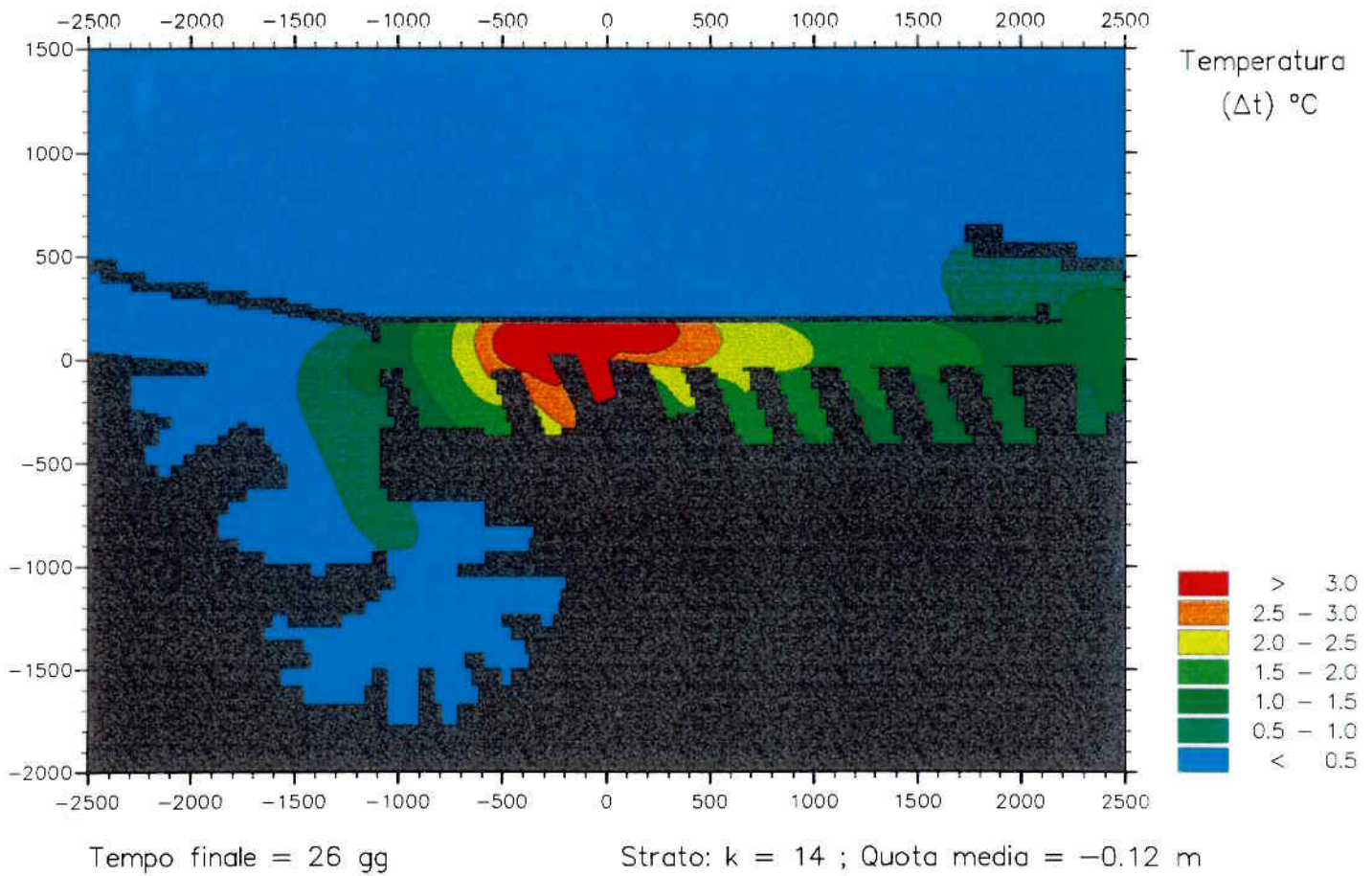
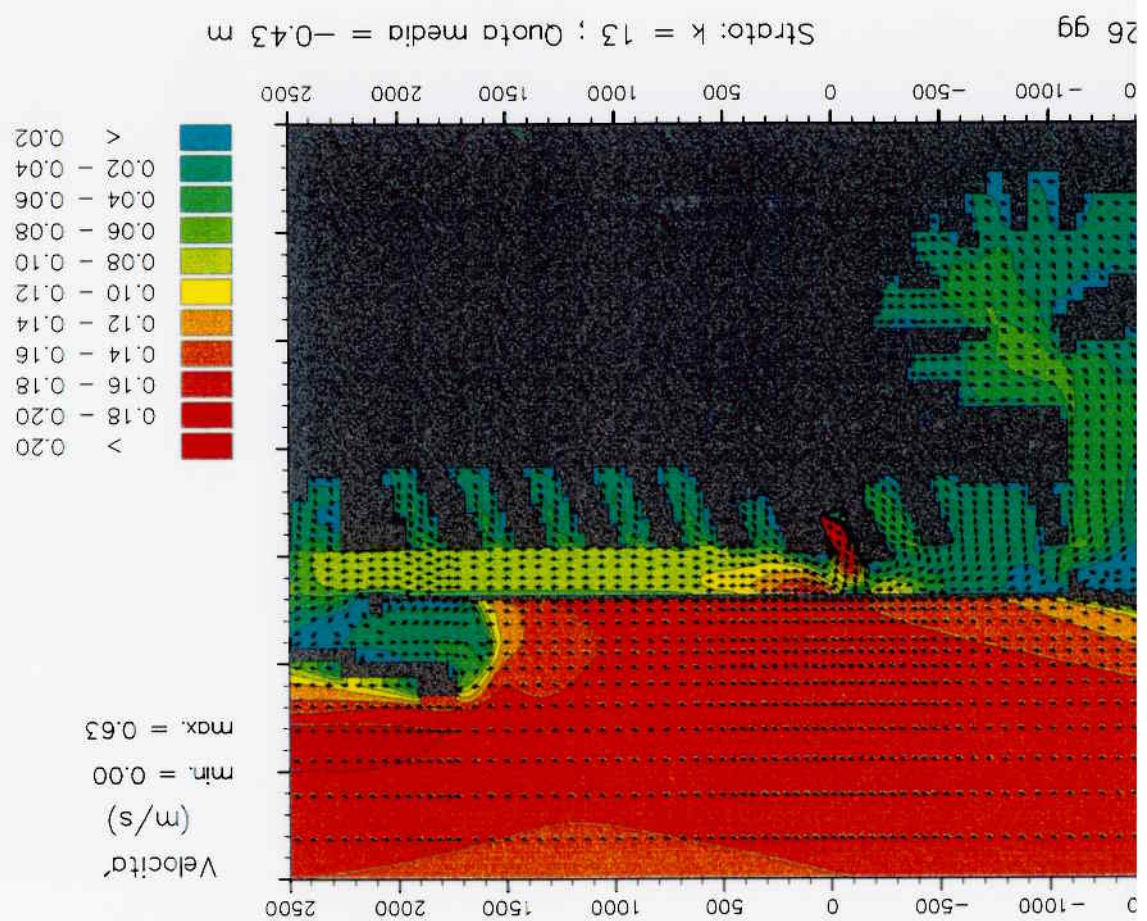
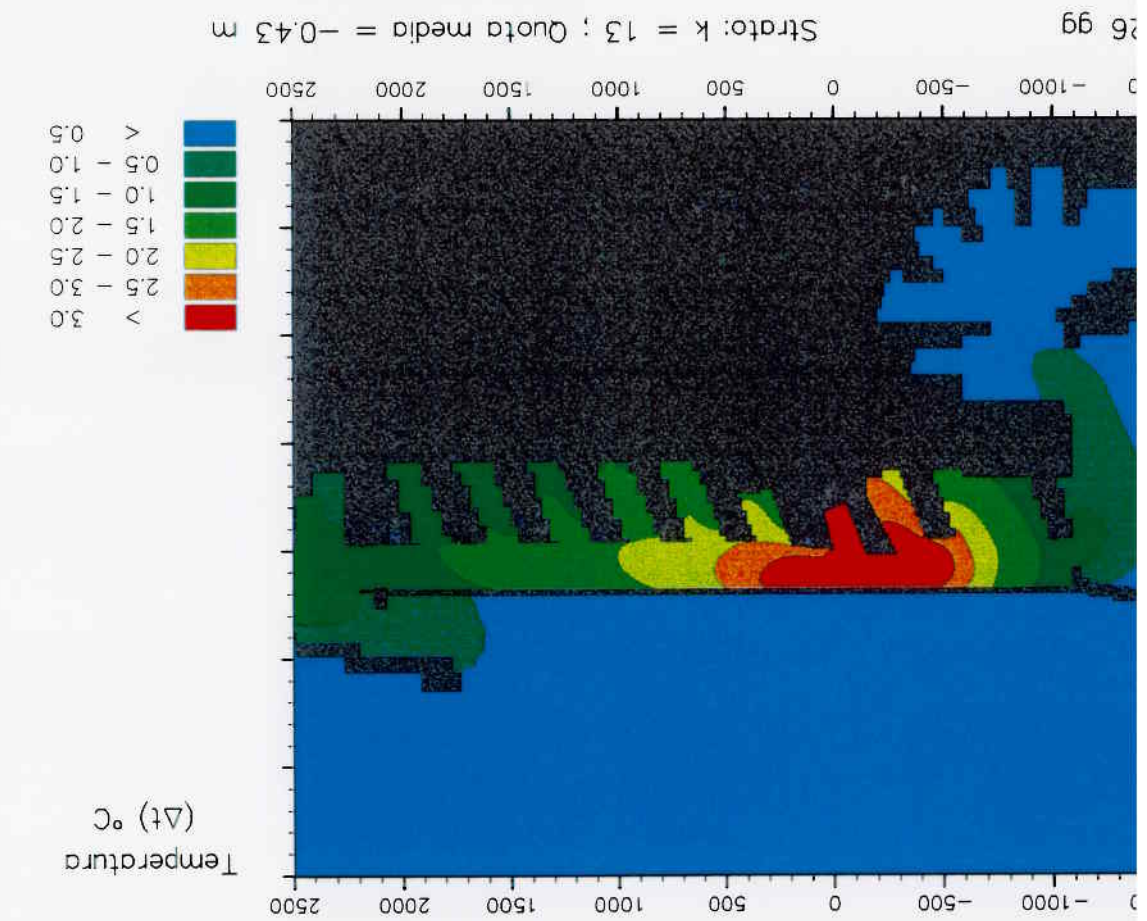


Fig. 13.1. - Caso 5\_2\_2. Campo di temperatura e campo di moto.





5-2-2. Campo di temperatura e campo di moto.



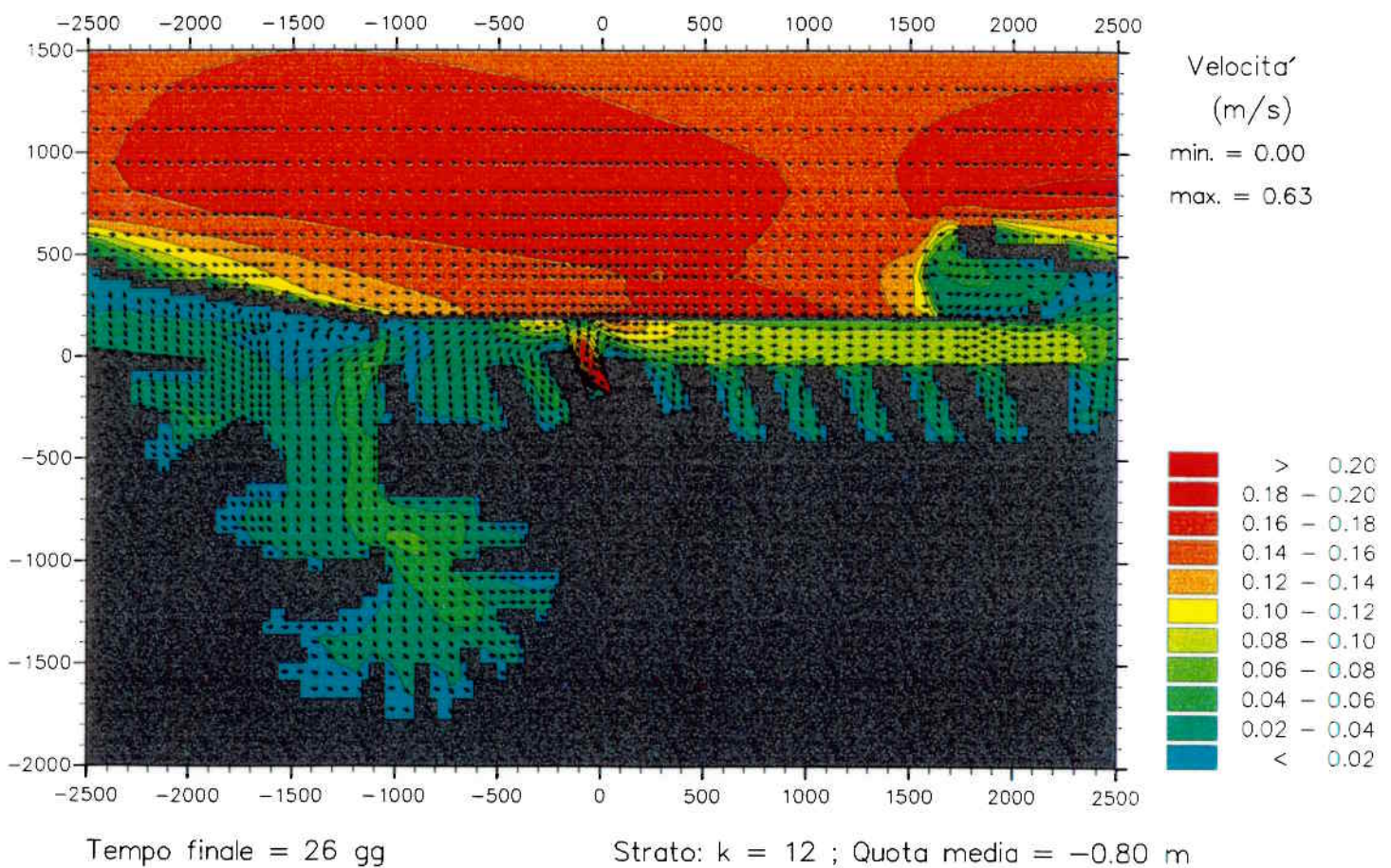
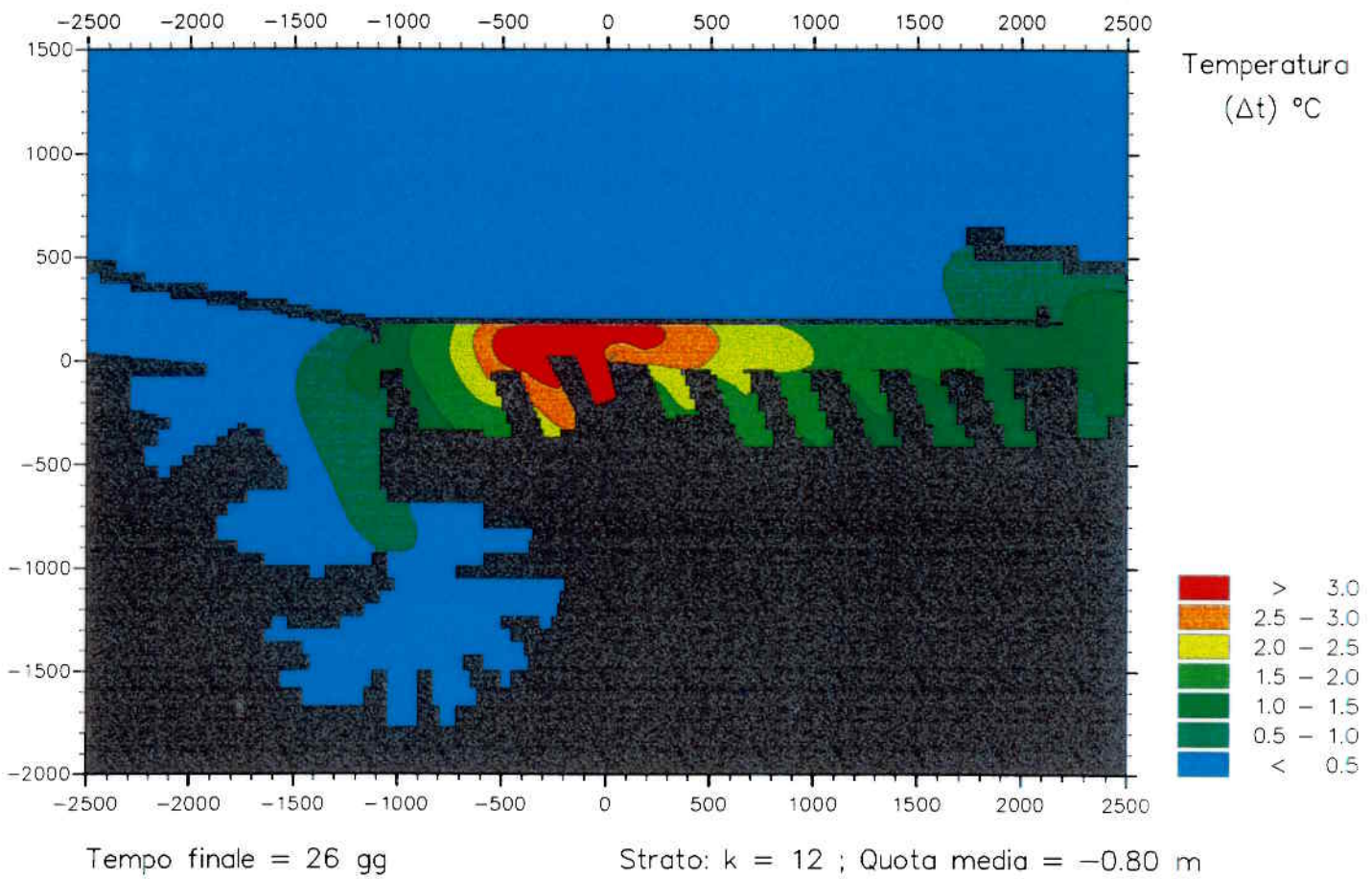
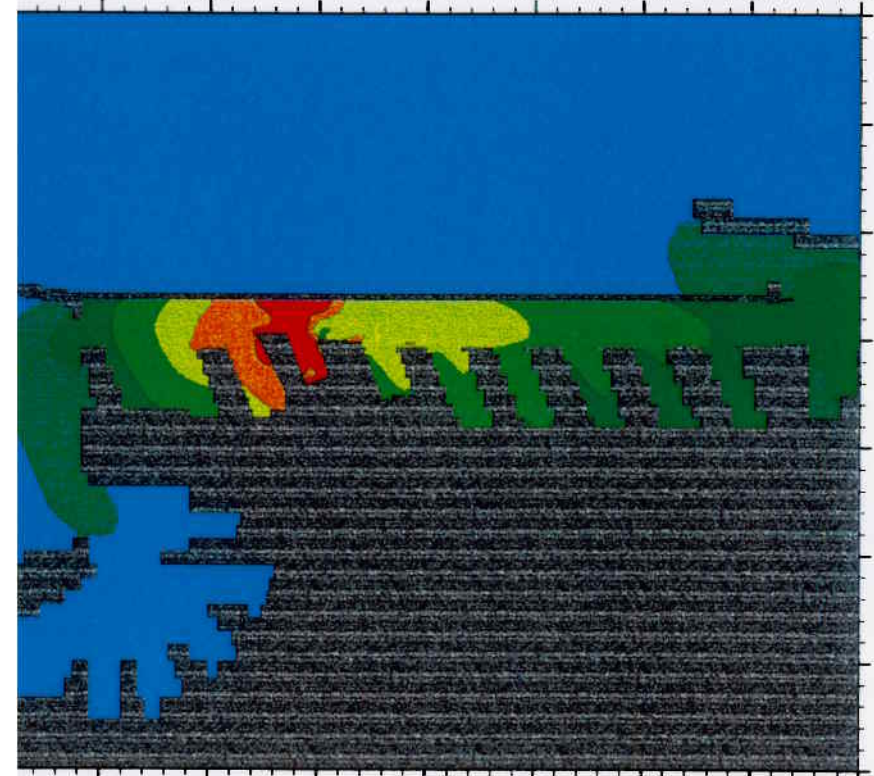


Fig. 13.3. - Caso 5\_2\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

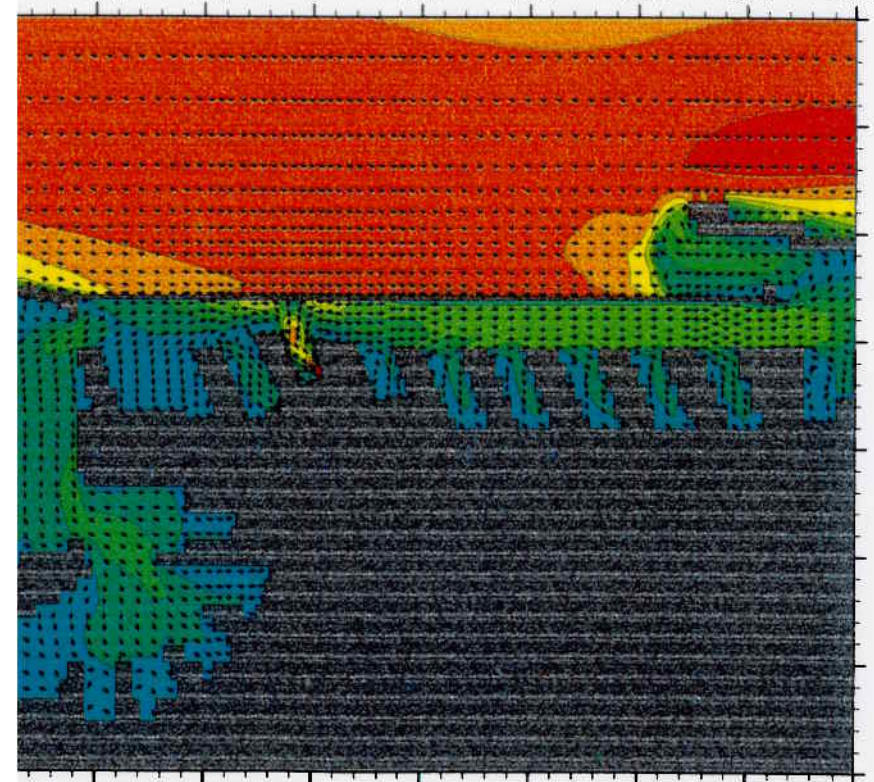
0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

6 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- 0.02 - 0.04
- < 0.02

-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

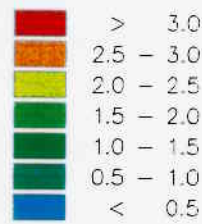
6 gg Strato: k = 11 ; Quota media = -1.50 m

5\_2\_2. Campo di temperatura e campo di moto.



0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

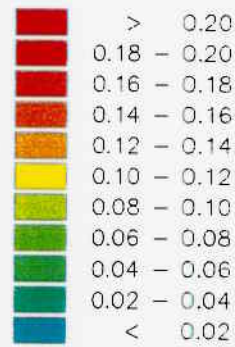
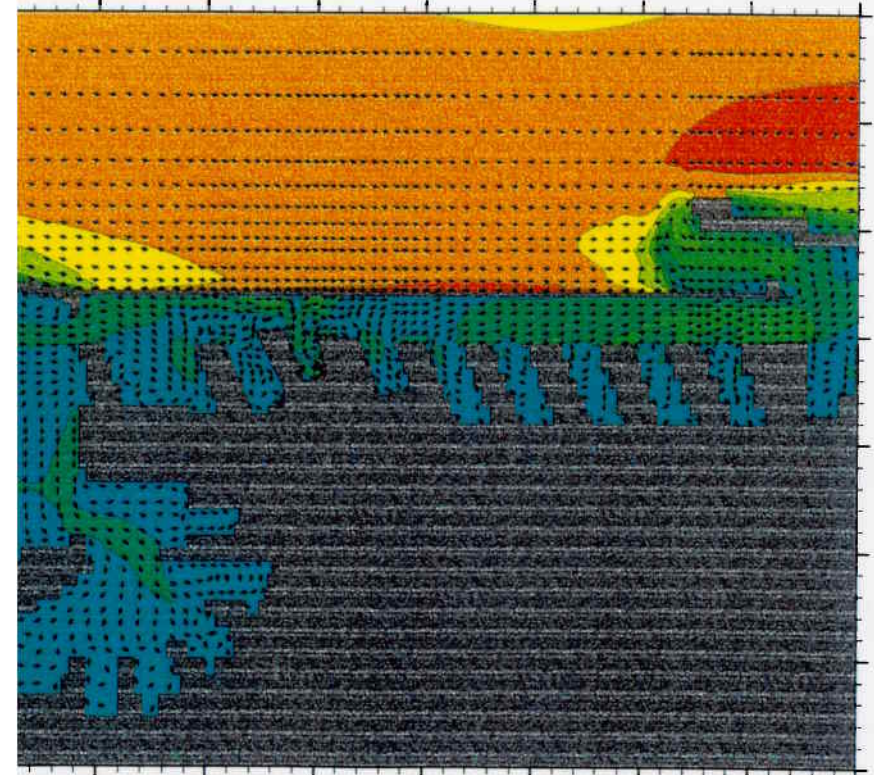


0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

26 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

0 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Velocita'  
(m/s)  
min. = 0.00  
max. = 0.63

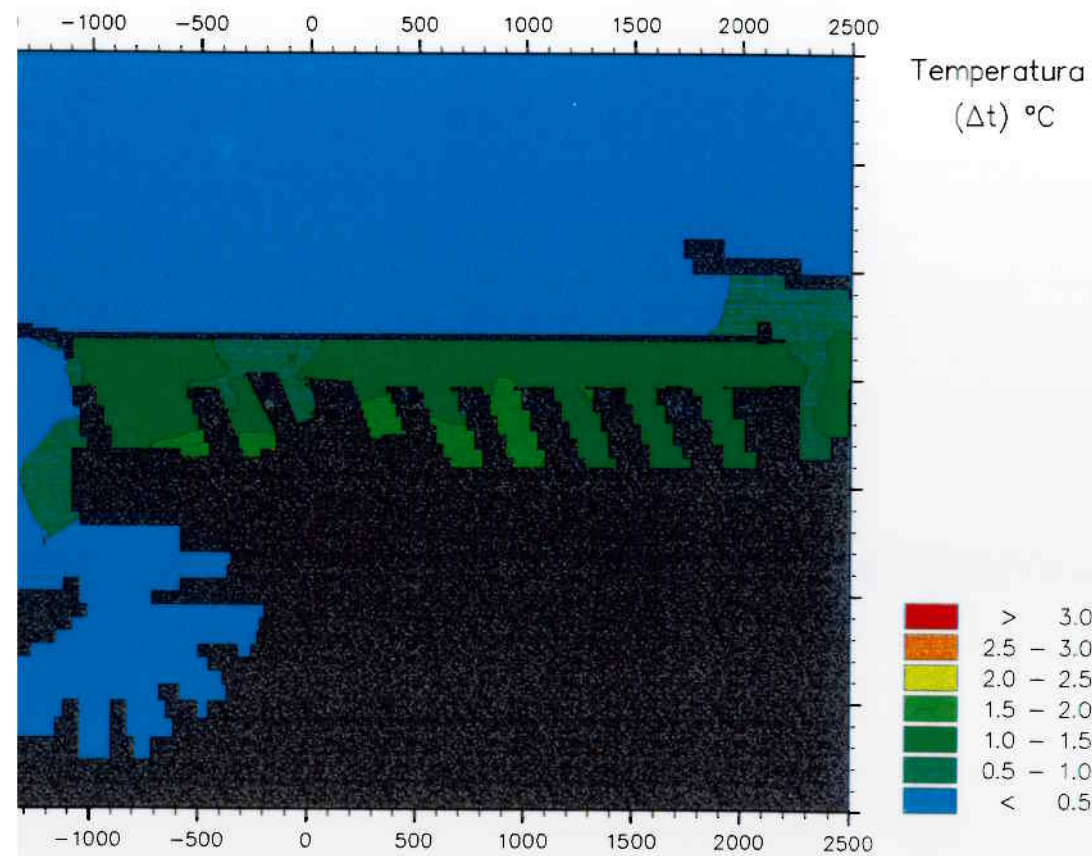


-1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

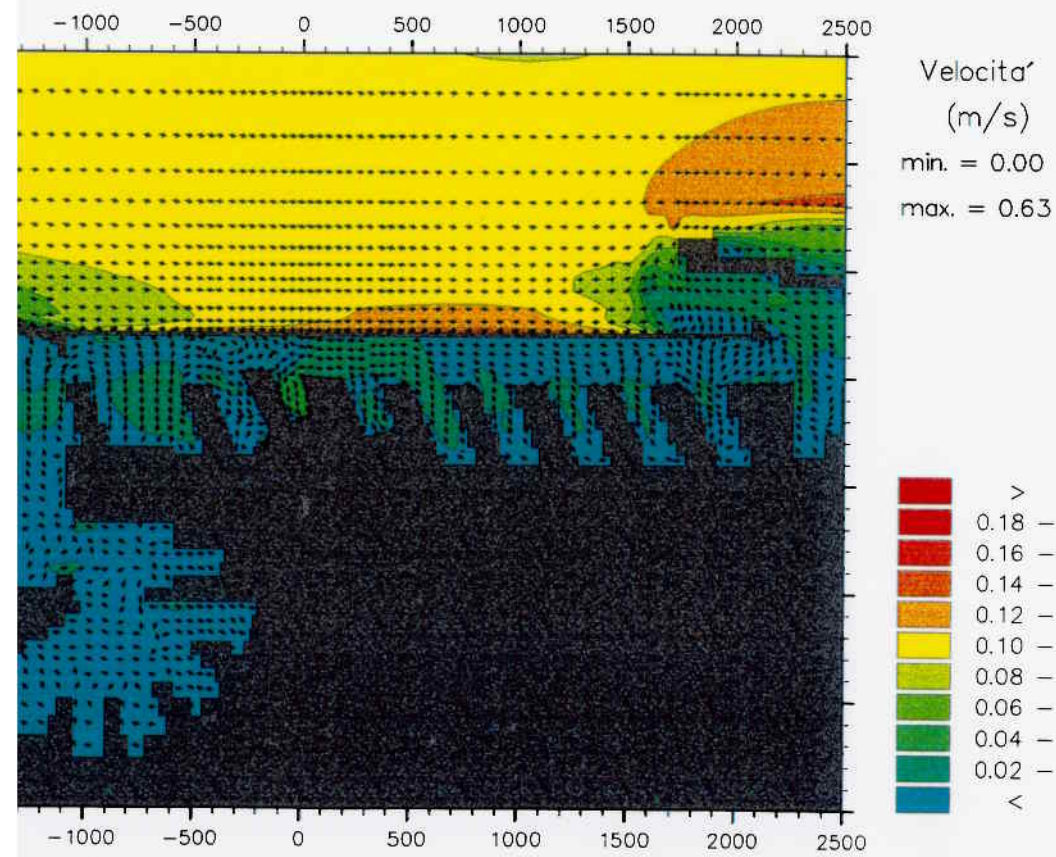
6 gg Strato: k = 10 ; Quota media = -2.75 m

5.2.2. Campo di temperatura e campo di moto.





5 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m



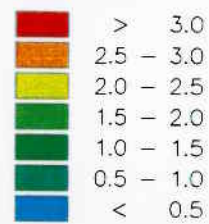
5 gg Strato: k = 9 ; Quota media = -4.25 m

5.2.2. Campo di temperatura e campo di moto.



-1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C



-1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

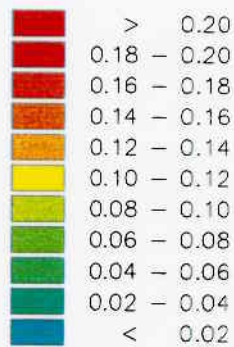
le = 26 gg

Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

-1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63



-1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

le = 26 gg

Strato: k = 8 ; Quota media = -6.00 m

Caso 5.2.2. Campo di temperatura e campo di moto.



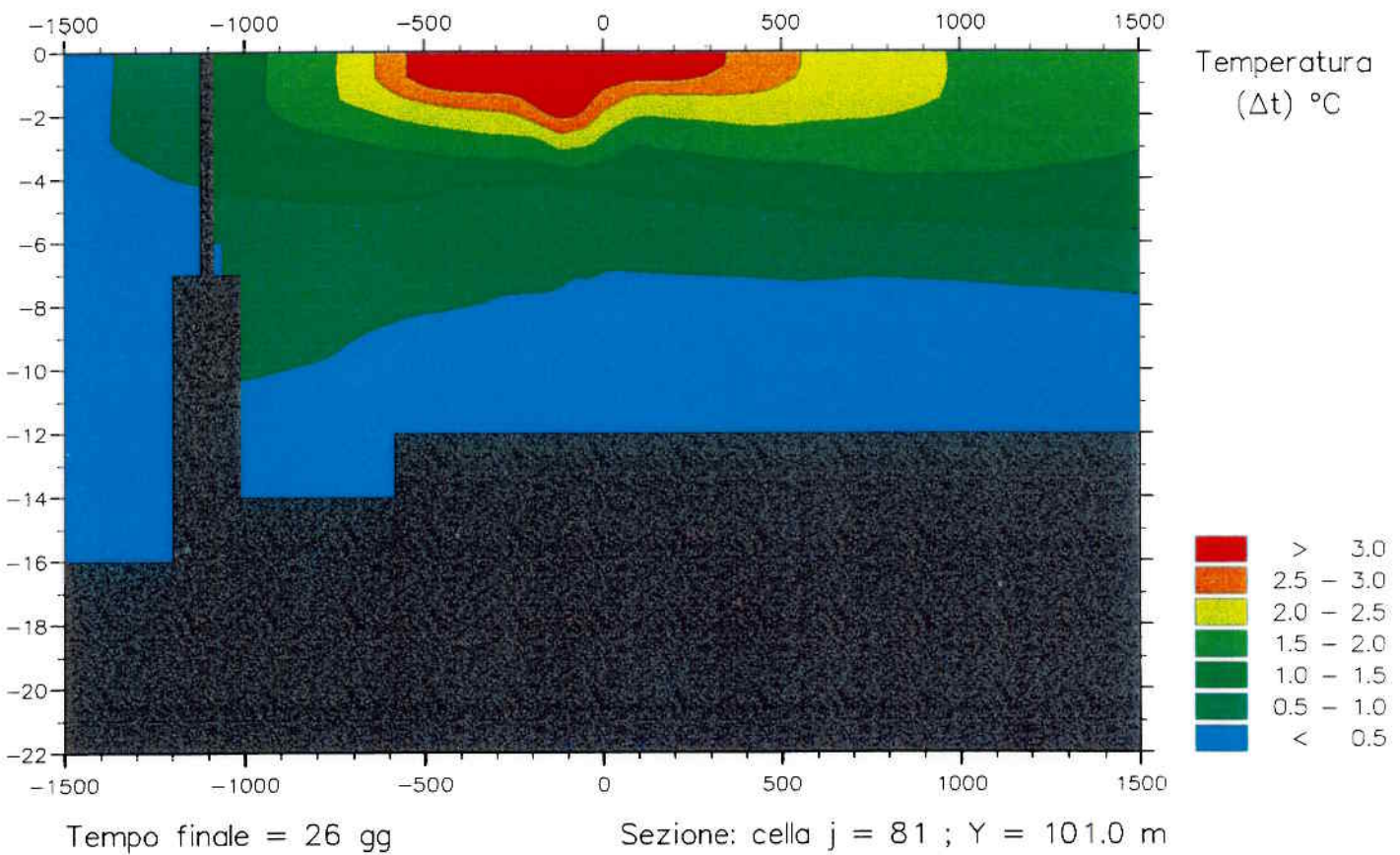
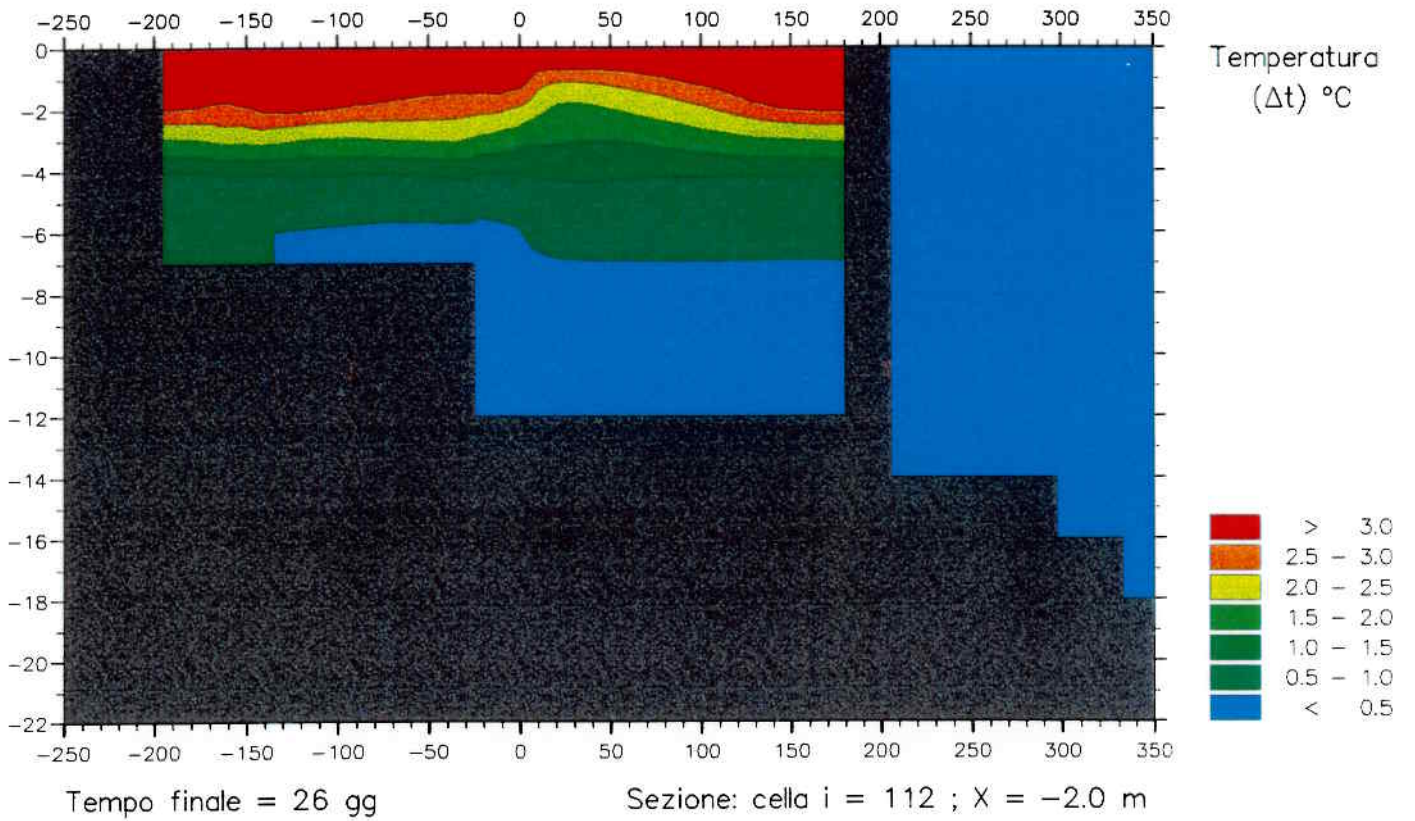
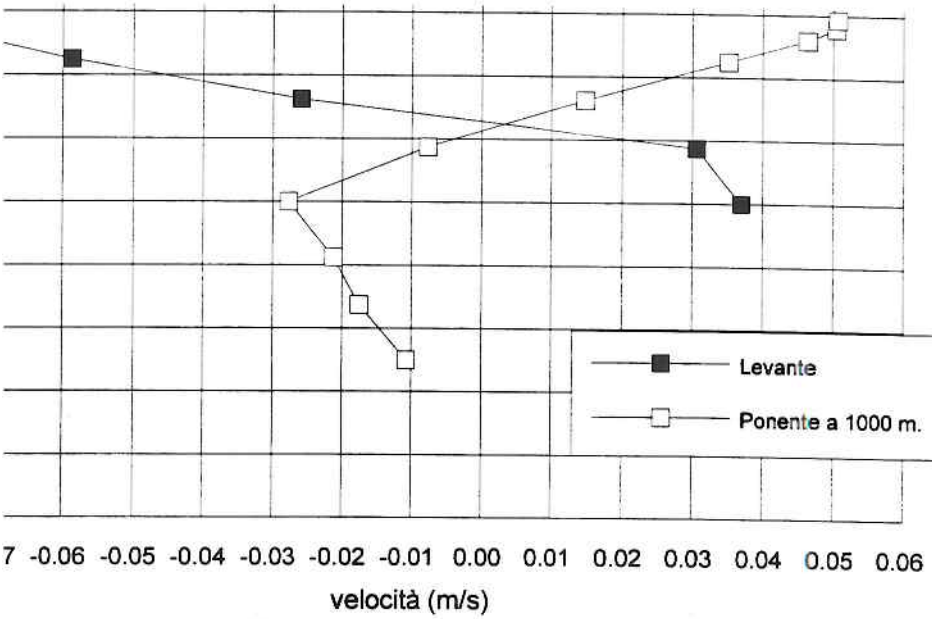
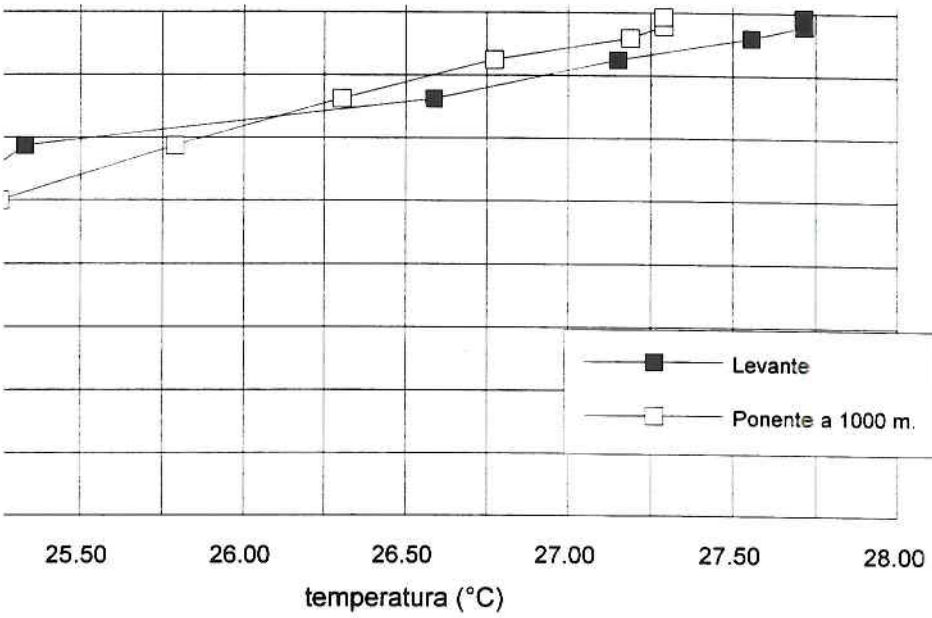


Fig. 13.8. – Caso 5\_2\_2. Sezioni longitudinali nella calata di scarico e a centro canale.

### Andamento velocità



### Andamento temperatura



Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.



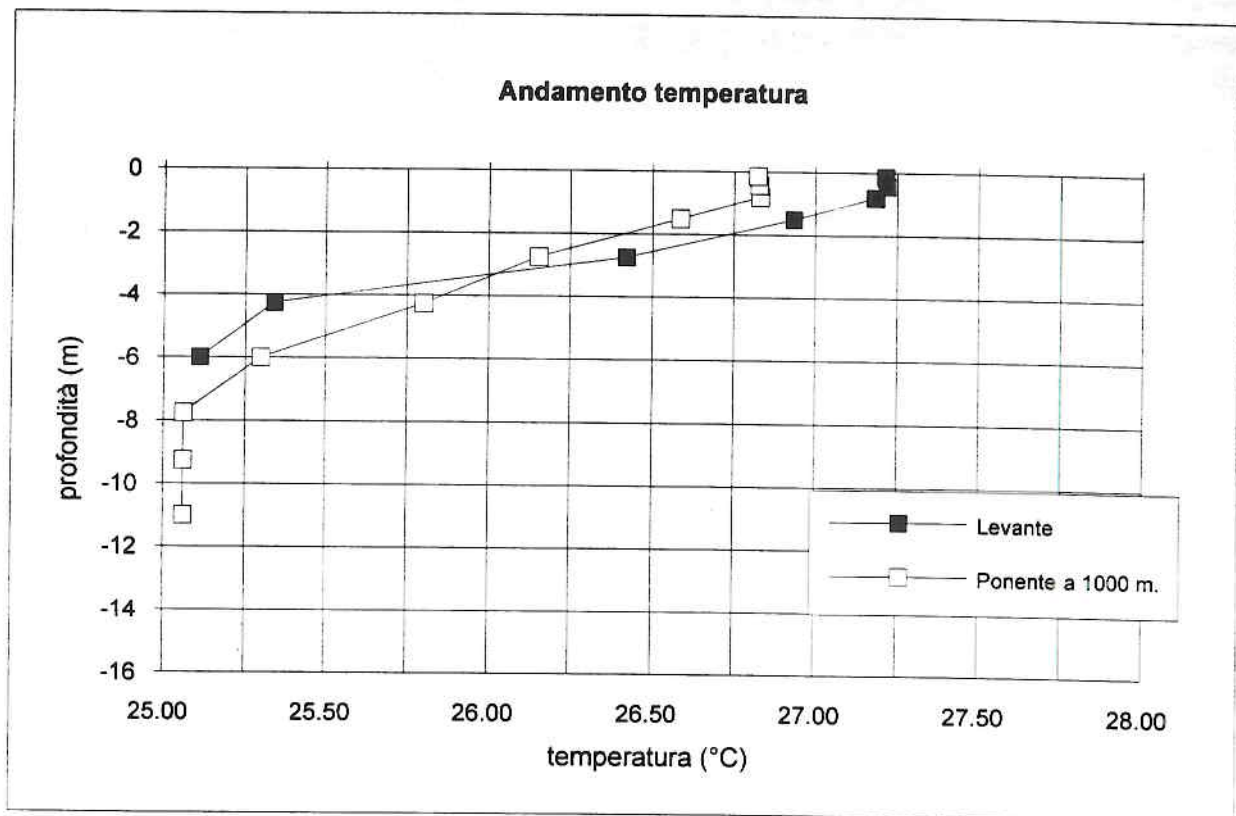
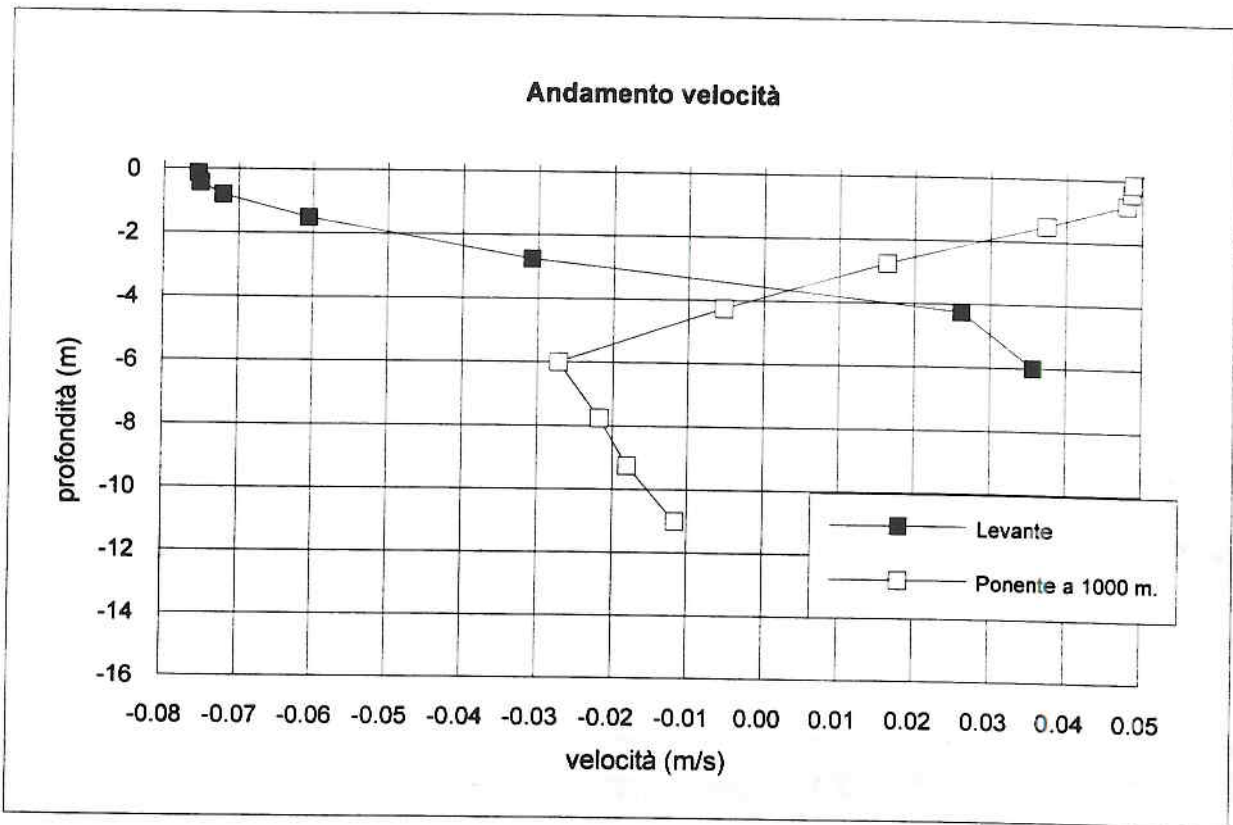
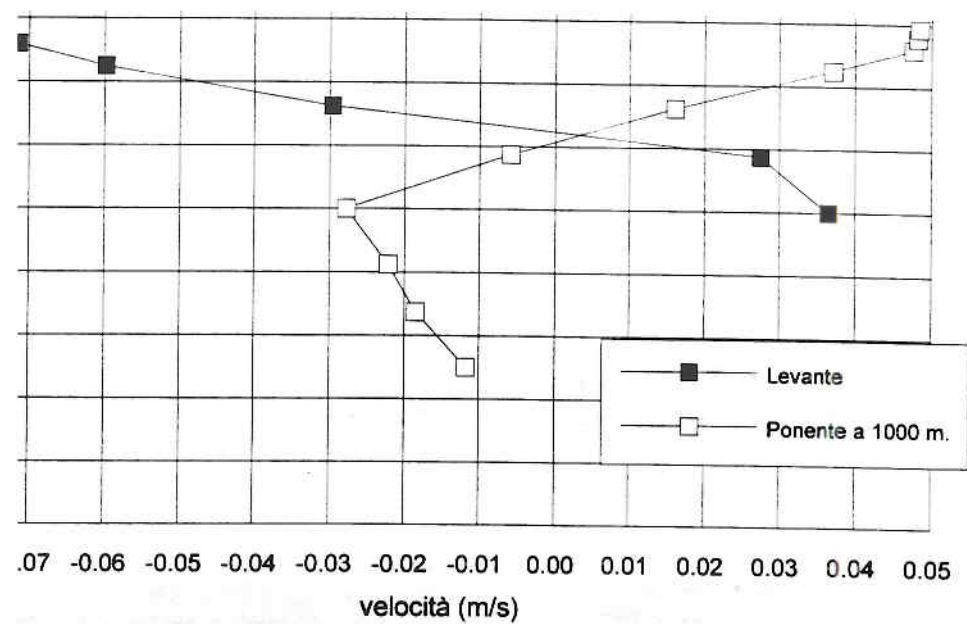
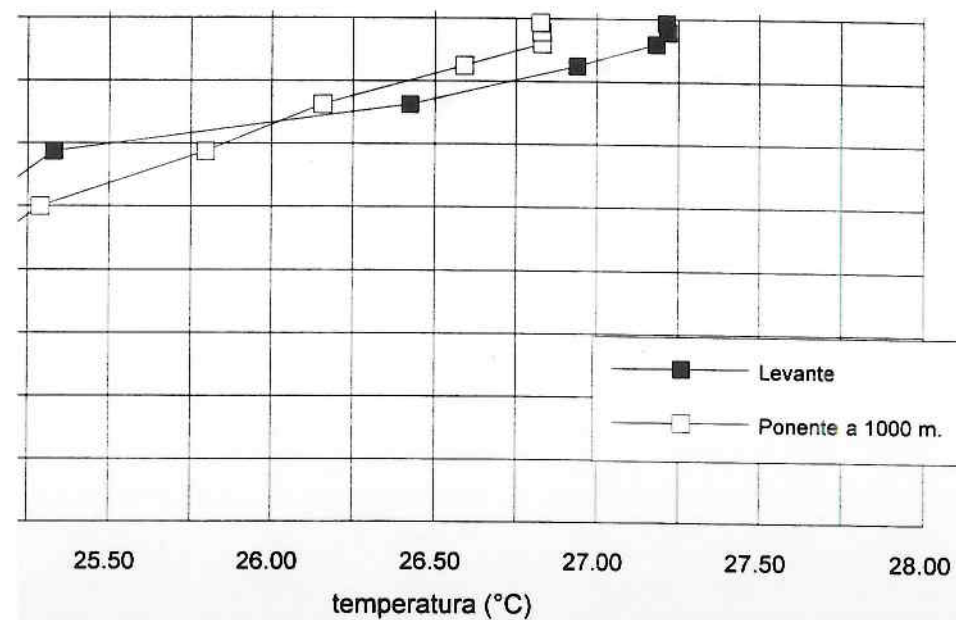


Fig. 14.2. - Caso 5. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.

### Andamento velocità



### Andamento temperatura

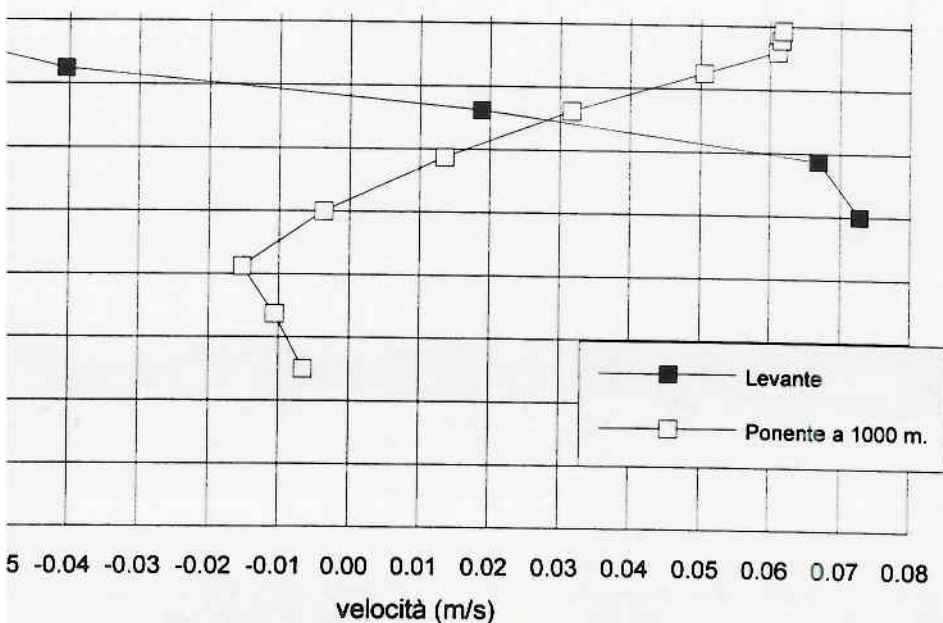


\_1. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.

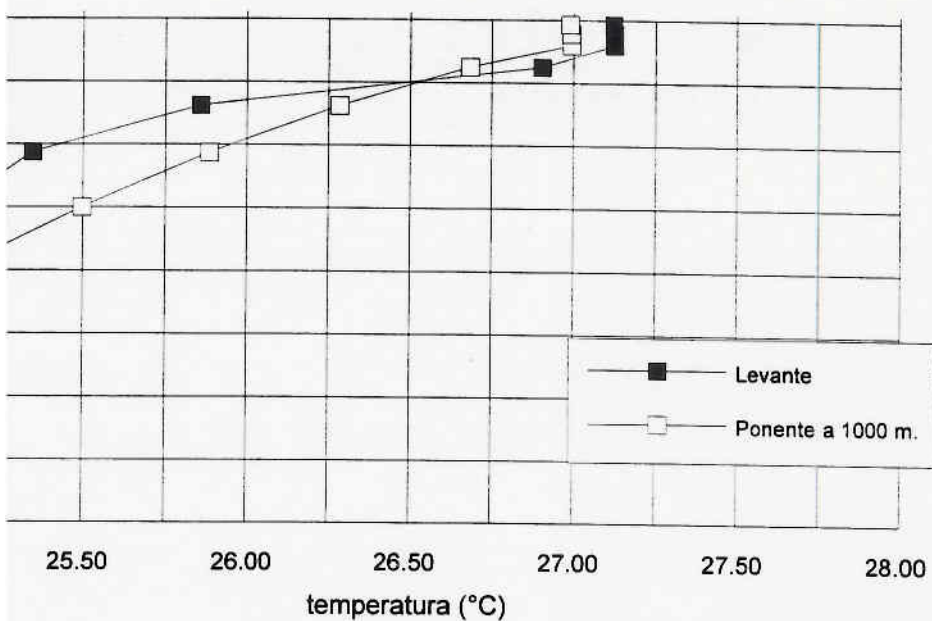




Andamento velocità

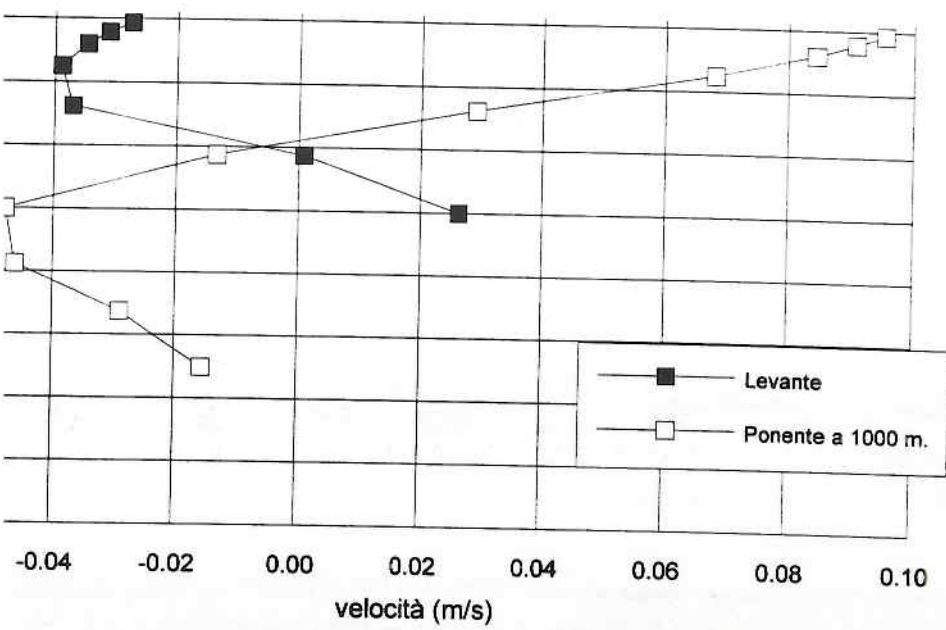


Andamento temperatura

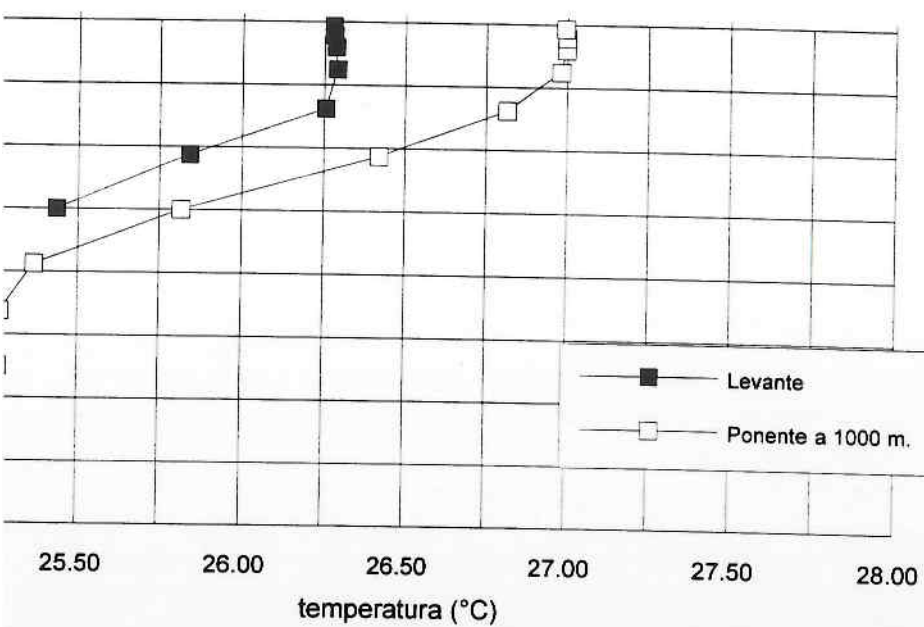


3. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.

Andamento velocità

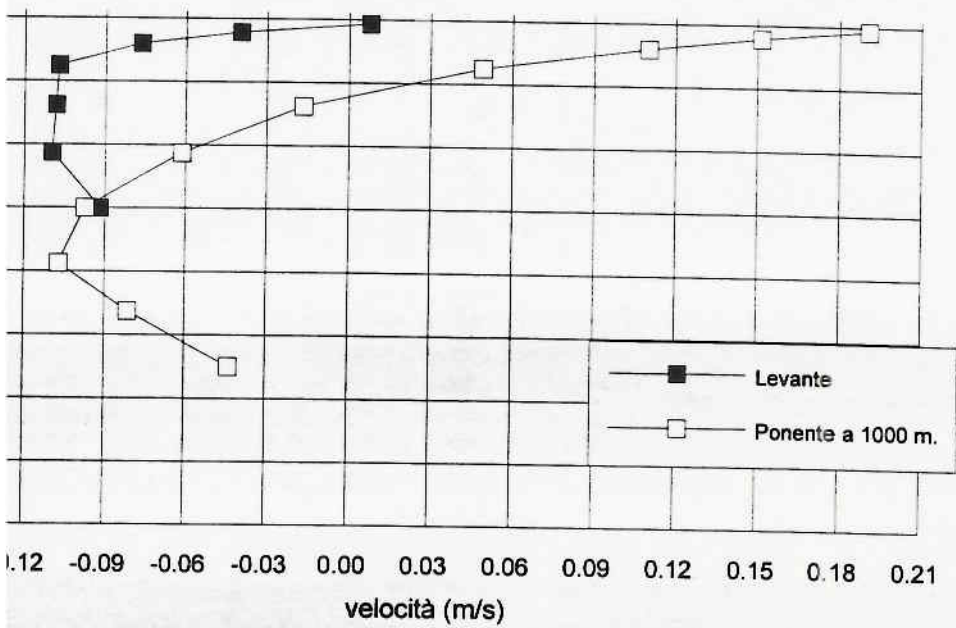


Andamento temperatura

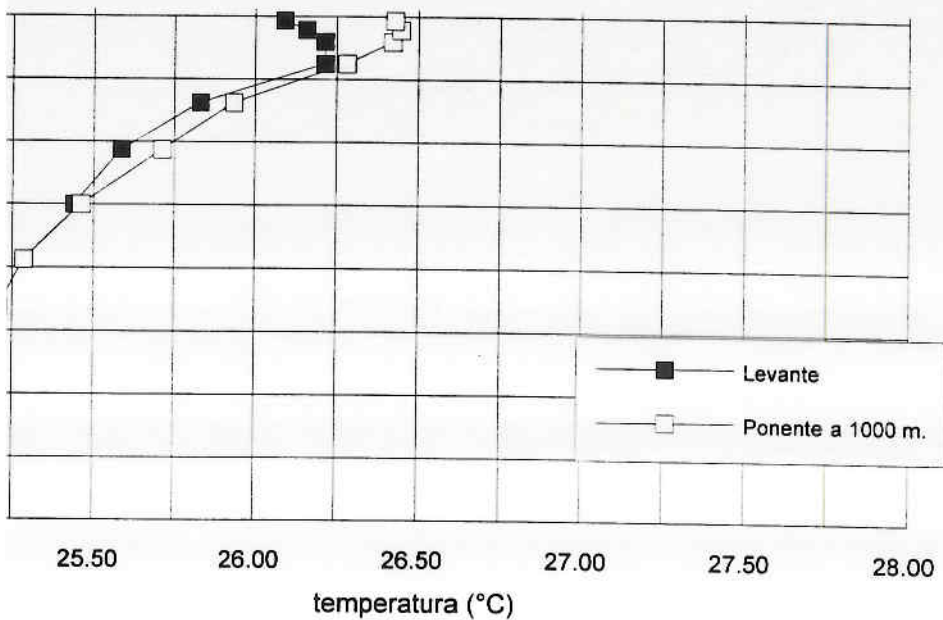


)\_2. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.

### Andamento velocità



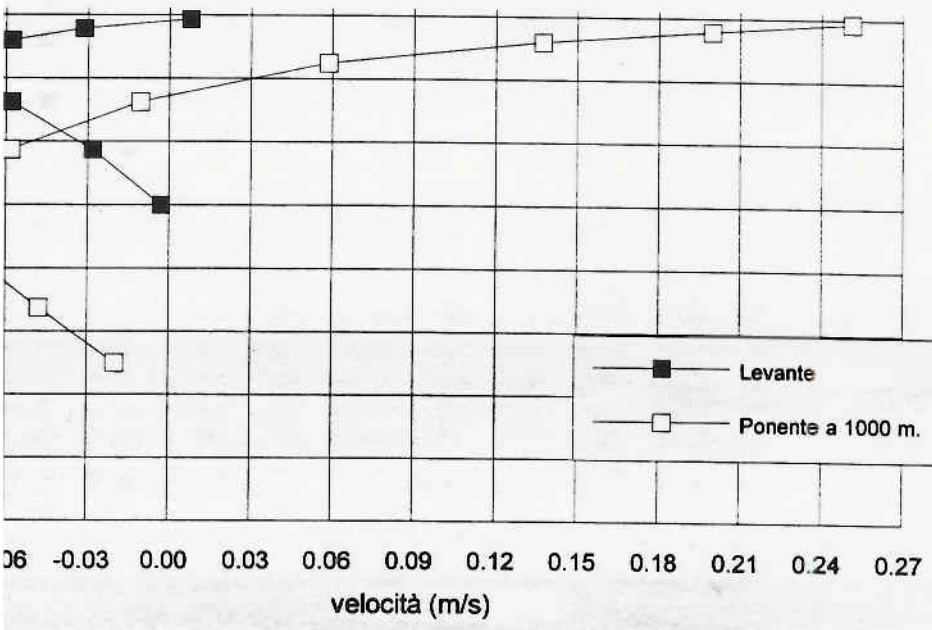
### Andamento temperatura



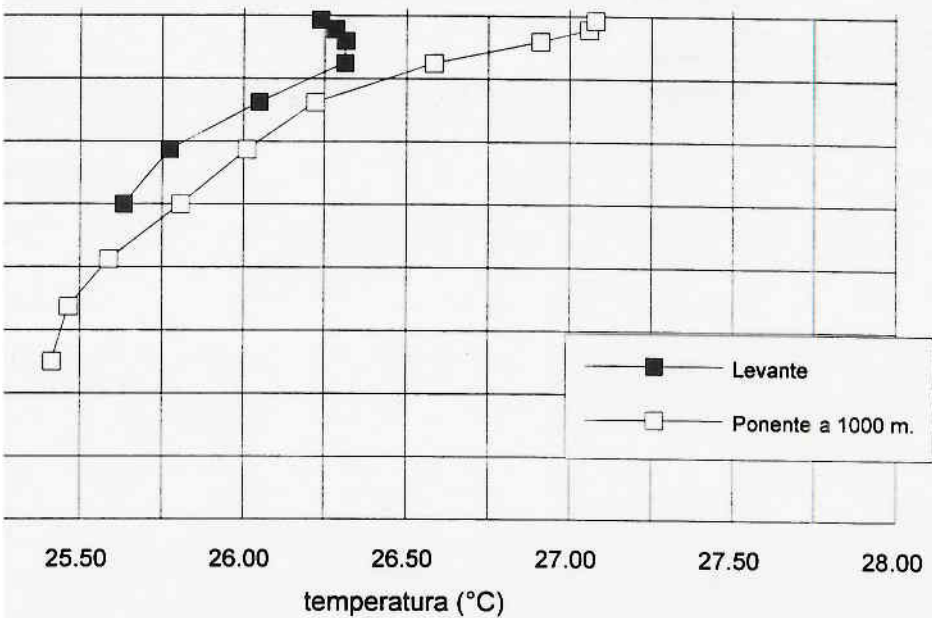
0\_2\_1. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.



### Andamento velocità

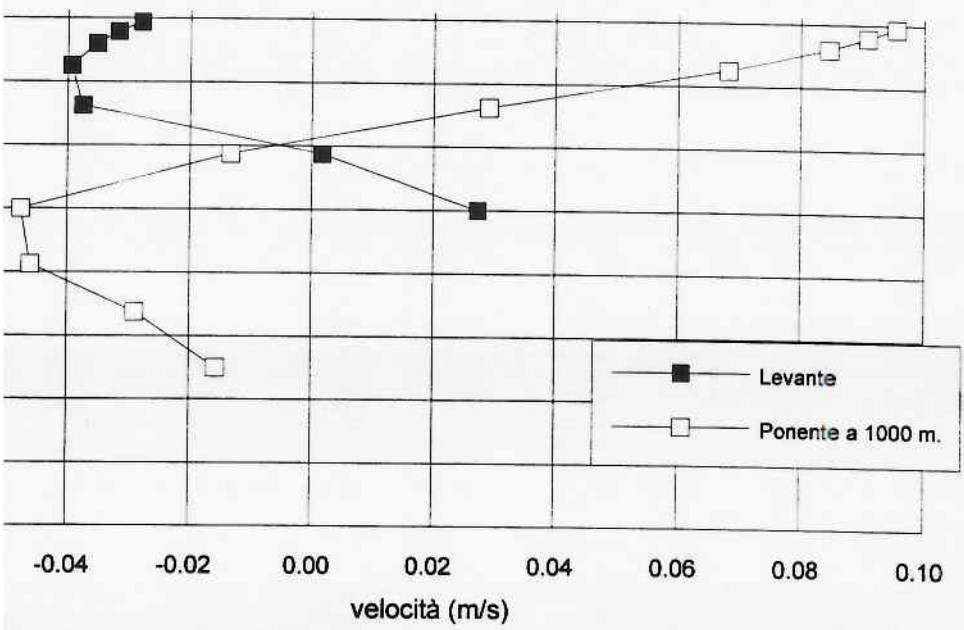


### Andamento temperatura

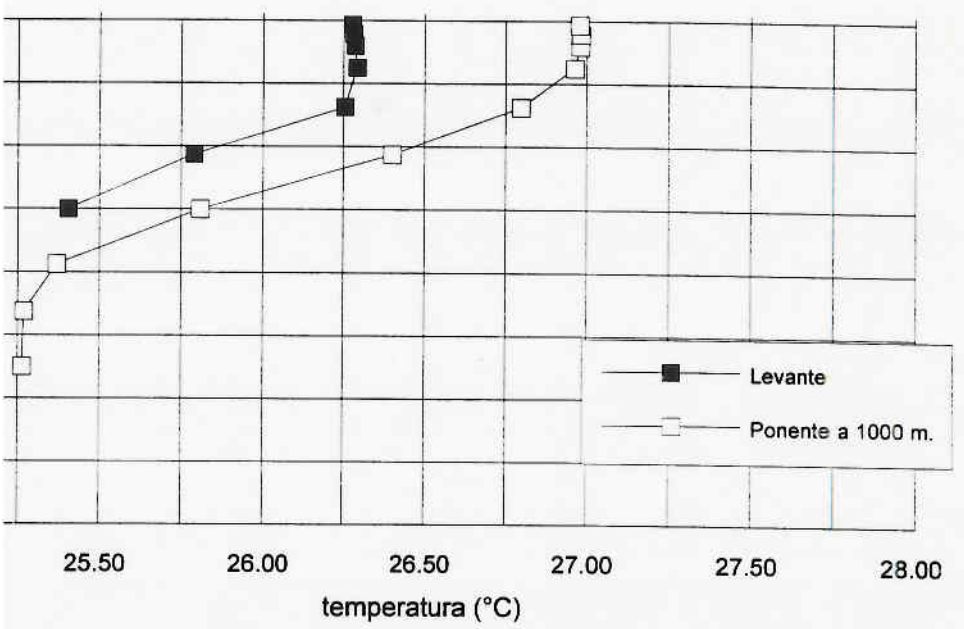


0\_1\_1. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.

### Andamento velocità



### Andamento temperatura



\_2\_2. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.

0 -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

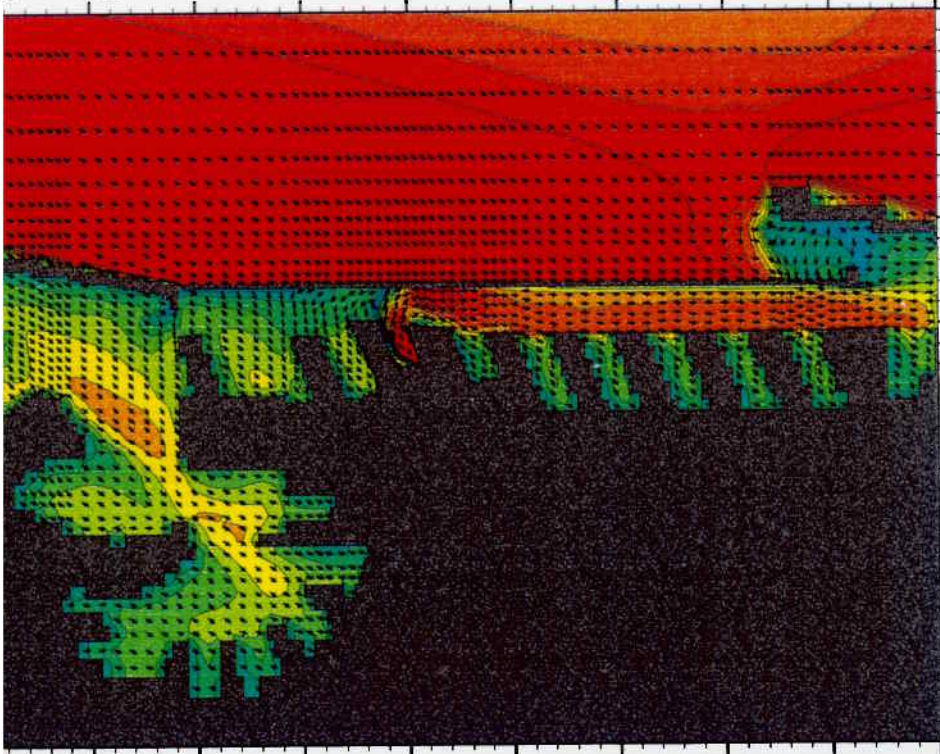
- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

0 -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

inale = 30 gg

Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

0 -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500



Velocita'  
(m/s)

min. = 0.00  
max. = 0.63

- > 0.20
- 0.18 - 0.20
- 0.16 - 0.18
- 0.14 - 0.16
- 0.12 - 0.14
- 0.10 - 0.12
- 0.08 - 0.10
- 0.06 - 0.08
- 0.04 - 0.06
- < 0.02

0 -1500 -1000 -500 0 500 1000 1500 2000 2500

inale = 30 gg

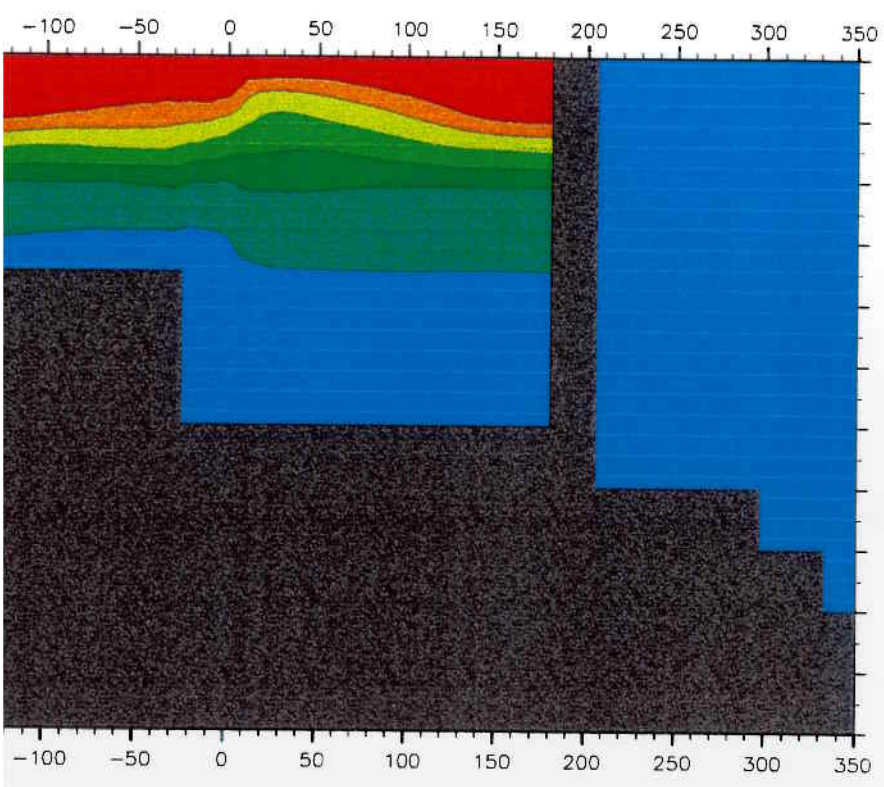
Strato: k = 14 ; Quota media = -0.12 m

- Caso 5\_0\_2bis. Campo di temperatura e campo di moto.

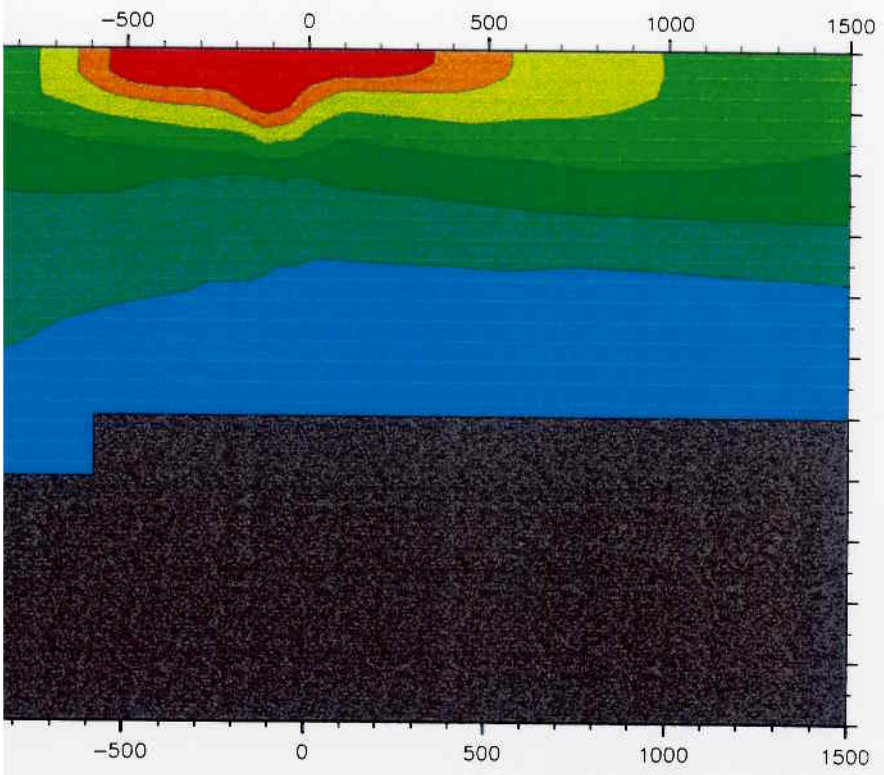


**DSR CRIS**

**CODICE TRIMDI**

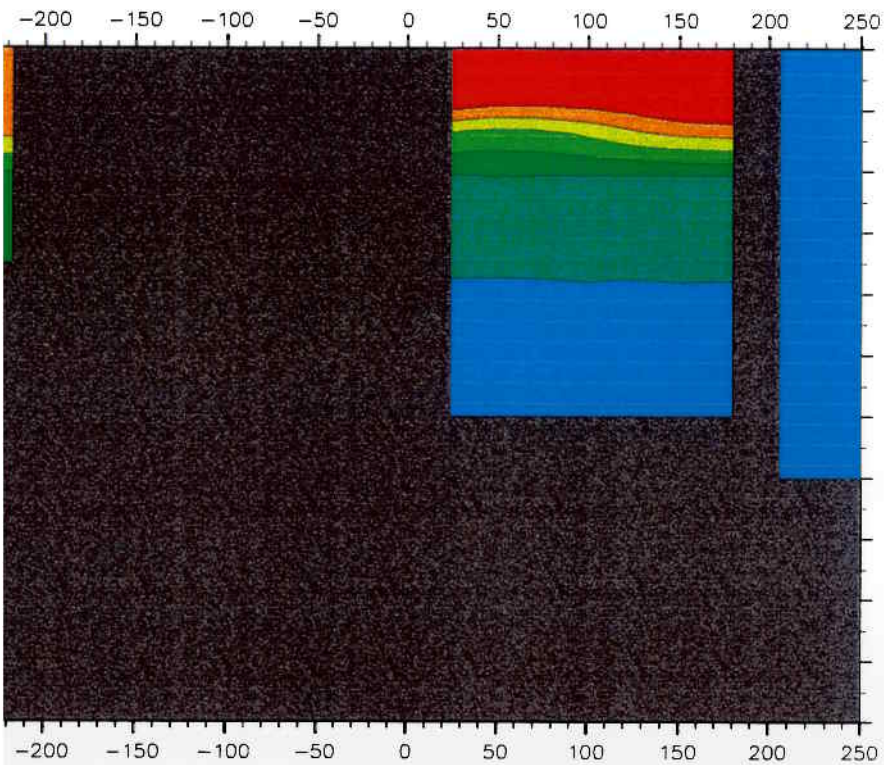


30 gg Sezione alla coordinata X = -2.0 m



0 gg Sezione alla coordinata Y = 101.0 m

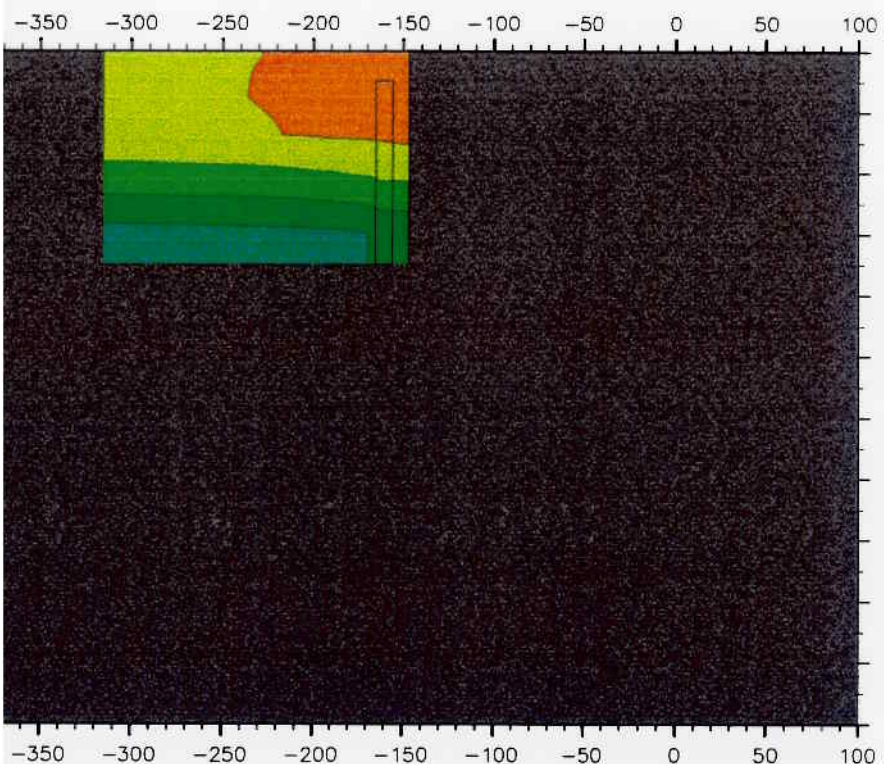
5\_0\_2bis. Sezioni longitudinali nella calata di scarico e a centro canale.



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

30 gg Sezione alla coordinata X = -159.9 m



Temperatura  
( $\Delta t$ ) °C

- > 3.0
- 2.5 - 3.0
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- < 0.5

50 gg Sezione alla coordinata Y = -313.5 m

5\_0\_2bis. Sezioni longitudinale e frontale.  
po di temperatura alla presa.



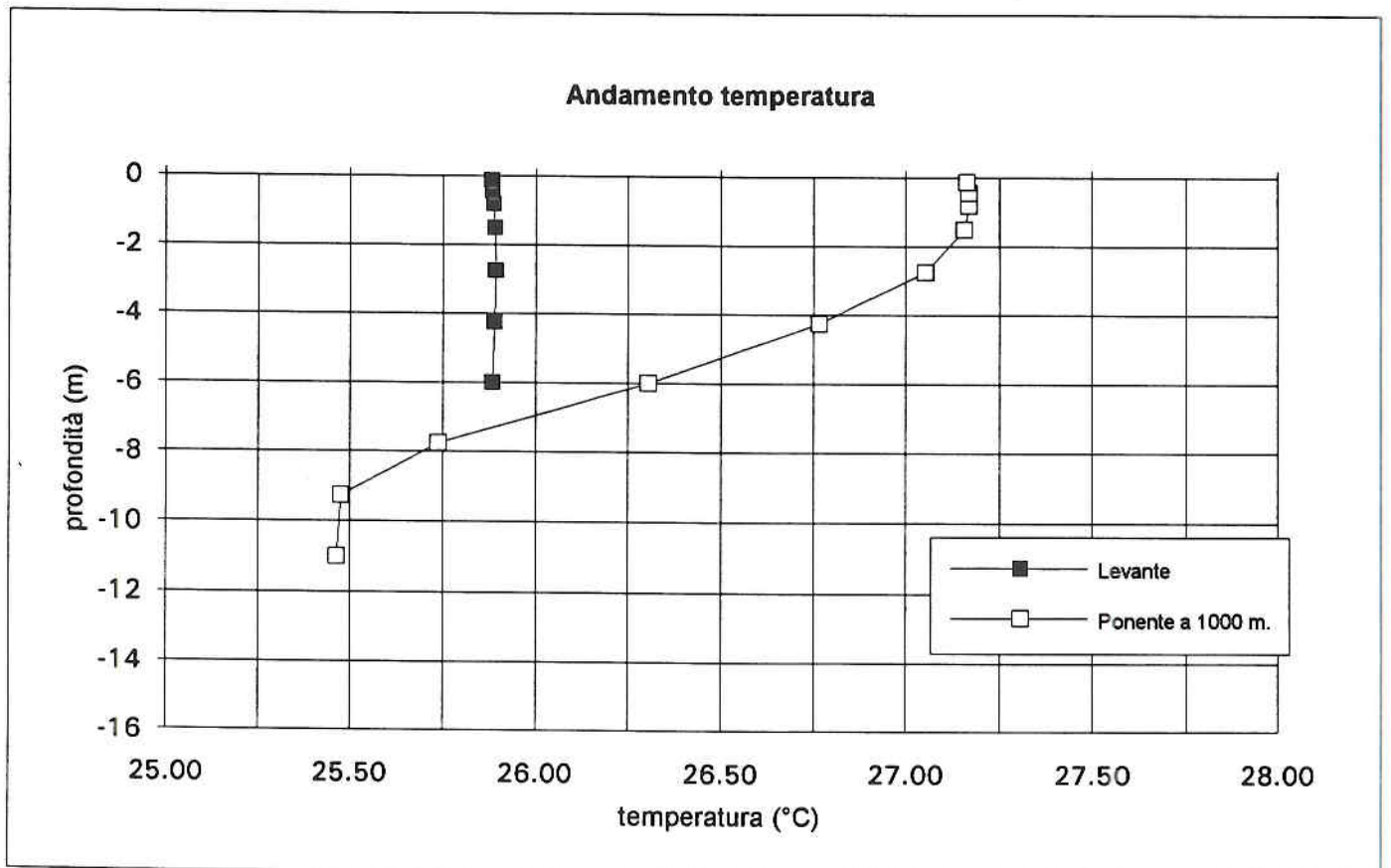
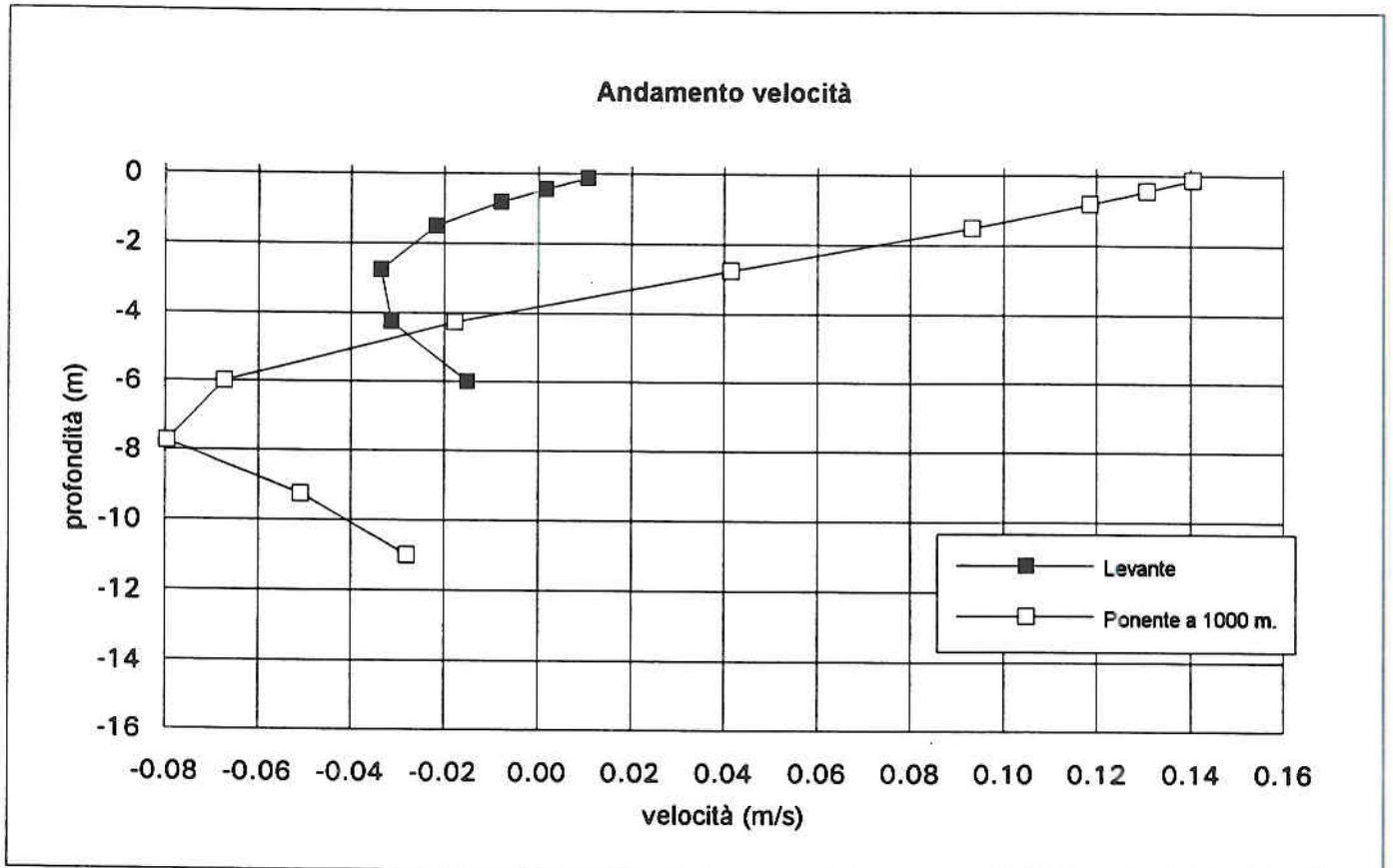


Fig. 15.4. - Caso 5\_0\_2bis. Velocità e temperatura al centro del bacino a 1000 m a Levante e Ponente.