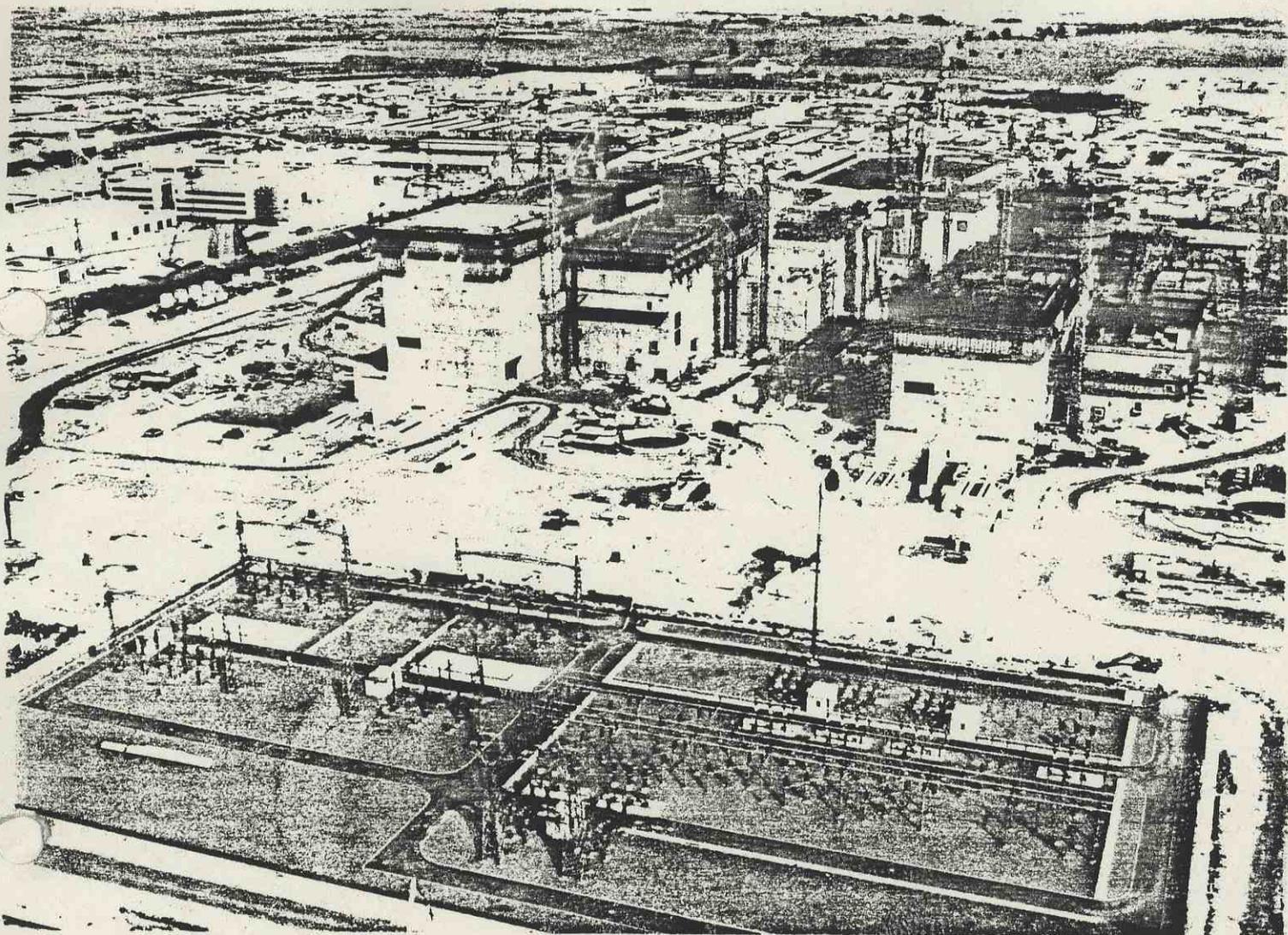




ENTE NAZIONALE PER L'ENERGIA ELETTRICA

DIREZIONE DELLE COSTRUZIONI

SEDE DI ROMA



MONTALTO NUCLEAR POWER PLANT

SISTEMA DI SMALTIMENTO  
CALORE DEL CONDENSATORE

INDICE  
0. SOMMARIO E CONCLUSIONI

1. DESCRIZIONE

2. DEFINIZIONE FISICA E FUNZIONALE

3. DIFFUSIONE DEL PENNACCHIO TERMICO

4. NOTA ESPLICATIVA DELL'ENEA DISP

5. CONCLUSIONI

ALLEGATO A : ENEA-DISP lettera Prot. 31224 DEL 22 LUGLIO 1983

ALLEGATO 1 : ENEL - CENTRALE NUCLEARE ALTO LAZIO :  
"VALUTAZIONE PREVISIONALE DELL'IMPATTO SULLA COMPONENTE  
TIRICA DERIVANTE DAI FENOMENI DI "IMPINGEMENT" ED  
"ENTRAINMENT" SULLA BASE DI VALUTAZIONI SPERIMENTALI  
PRESSO LA CENTRALE DI PIOMBINO.

ALLEGATO 2 : ENEL - CENTRALE NUCLEARE ALTO LAZIO  
"STUDI ED INDAGINI PER IL SODDISFACIMENTO DELLE  
RICHIESTE DELLE AUTORITÀ IN MERITO ALLA PREVISIONE  
E VERIFICA DELLA PERTURBAZIONE TERMICA IN MARE

ALLEGATO 3 : ENEL - CENTRALE NUCLEARE ALTO LAZIO  
TRASPORTO SOLIDO LITORANEO

## CAP. 0 - SOMMARIO E CONCLUSIONI

La parte rilevante in oggetto, che comprende in particolare l'opera di presa e l'opera di scarico, è stata valutata sia per l'impatto sull'ambiente marino, sia per l'impatto sul sicuro esercizio della centrale elettronucleare dell'ALTO LAZIO.

### a) Impatto sull'ambiente marino.

Con le prescrizioni C5 e C6 allegate al nulla osta alla localizzazione della centrale dell'ALTO LAZIO si richiedeva al titolare (ENEL) di eseguire adeguati studi sui seguenti aspetti:

- indagine talassologia costiera;
- diffusione in mare degli effluenti termici;
- valutazione dell'impatto dello scarico termico sull'ambiente marino.

Tenendo conto dei limiti di legge sullo scarico a mare (legge n. 319 del 10.5.1976) lo scopo di queste indagini è stato quello di valutare il prevedibile impatto sullo scarico a mare, sia in termini di danno economico, sia in termini di influenza sulla diffusione e la dispersione degli effluenti radioattivi.

Le indagini condotte dall'ENEL, verificate ed integrate da ~~valutazioni indipendenti~~ condotte da ENEA, hanno permesso una buona caratterizzazione dell'ambiente marino antistante la centrale ALTO LAZIO e ad un'analisi comparativa con il sito di Piombino per il quale sono oggi disponibili dati reali sull'impianto di scarico a mare di centrale termica.

Per il prevedibile impatto sull'ambiente marino allo stato attuale delle conoscenze, si può quindi affermare che non dovrebbero riscontrarsi effetti dovuti all'incremento termico delle acque di raffreddamento della centrale ALTO LAZIO.

## 1 - Descrizione

### 1.1. Sistema di smaltimento del calore

Il sistema di smaltimento del calore dal condensatore ha la funzione di trasferire al mare la potenza termica che viene asportata dai condensatori e dalle altre utenze termiche delle due unità, mediante una adeguata portata di acqua marina di refrigerazione.

Il progetto del sistema in questione è stato sviluppato in modo da poter ottemperare alla normativa agente (legge n. 319 del 10/5/76) e alle prescrizioni di cui all'allegato al documento CNEN-DISP-AL(76)4. Il sistema di smaltimento del calore dai condensatori e dalle altre utenze termiche di Centrale è stato progettato in base ai seguenti dati:

- potenza termica ceduta all'ambiente dalle due unità:  $3,45 \cdot 10^9$  Kcal/h;
- portata acqua di mare per refrigerazione:  $124 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- innalzamento della temperatura acqua di mare di refrigerazione:  $\Delta T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

L'elemento strutturalmente più importante per realizzare lo smaltimento del calore

residuo è il diffusore a mare.

Al fine di meglio seguire le considerazioni che verranno fatte può risultare comunque utile riportare una descrizione, anche se sommaria, dell'intero impianto

## 2. Definizione fisica ed interfacce

Parte rilevante N.51 (Sistema smaltimento Calore del condensatore)

### 2.1. Definizione fisica

La parte rilevante N.51 (Sistema Smaltimento calore del condensatore) è costituita da alcuni componenti dell'impianto acqua circolazione in ciclo aperto che risulta definito nel suo complesso dai disegni ENEL N° AZ1 3110 DCG1 fogli 1+ 13 (Circuito idraulico, planimetria e profili opere a terra e a mare) Rev.2 e sequenti

In particolare l'impianto in oggetto comprende:

- opera di presa
- condotte di adduzione
- vasche griglie e pompe
- tubazioni di mandata al condensatore
- condensatore (lato acqua mare)
- tubazioni di scarico del condensatore
- canali a pelo libero e condotte in pressione di scarico
- diffusore di scarico

Rientrano nella parte rilevante in oggetto essenzialmente le porzioni dell'impianto di cui sopra relative all'opera di presa e opera di restituzione (Diffusore).

Sono inoltre costituenti la parte rilevante in oggetto tutti quei componenti che non rientrano in altre parti rilevanti e necessari a svolgere le funzioni rilevanti.

Tali componenti sono:

- Diaframmi strutturali
- scogliere di protezione
- ~~Griglia~~ sbarramento (opera di presa).

## 2.2. Definizione funzionale

Le funzioni rilevanti del sistema in oggetto sono:

- a) Smaltire il calore del condensatore diffondendolo nel corpo idrico ricevente (mare) nel rispetto dei limiti delle leggi vigenti.
- b) Smaltire i vari composti chimici utilizzati durante l'esercizio della centrale nel rispetto dei limiti delle leggi vigenti.
- c) Limitare l'impatto sul corpo idrico ricevente (mare).
- d) Consentire lo scarico di acqua servizi SEHR nel caso di evento SEC.
- e) Evitare perdite di fluido primario a seguito di eventuale rotture nel fascio tubiero del condensatore.

### Opera di presa

L'opera di presa a mare è costituita da un manufatto in c.c.a., di pianta rettangolare con fronte semicircolare, suddiviso all'interno in quattro concamerazioni, ciascuna dimensionata per captare con regolarità e sicurezza una portata di  $31 \text{ m}^3/\text{sec}$ . L'opera è ubicata alla distanza di circa 800 m dalla linea di costa, su fondali di circa 12 m; è parzialmente incassata nel fondo marino ed è poggiata su idoneo imbasamento di pietrame posto in opera previo scavo subacqueo. Essa è completamente sommersa, salvo tre torrini di intercettazione ed ispezione, di cui uno centrale a due pozzi e due laterali ad un pozzo ciascuno, emergenti e collegati in sommità da una piattaforma di servizio con estradosso a quota -11,50 s.l.m. Ciascuna delle quattro concamerazioni in cui è suddivisa l'opera è munita di griglie metalliche, removibili. Ogni concamerazione è intercettabile mediante

una doppia panconatura posta in corrispondenza di ciascun torrino. All'interno delle concamerazioni è inoltre installata la parte terminale dell'impianto di clorazione dell'acqua di mare ed i conduits dell'impianto elettrico di luce e forza motrice.

Sull'opera sono installati i dispositivi di segnalazione marittima, nonché ringhiere, scale, grigliati, botole, vie di corsa per paranchi sollevamento panconi, ecc. L'opera di presa è rinfiancata con materiale proveniente da deposito provvisorio del materiale dragato ed il fondo marino circostante è protetto da una mantellata di massi, posta su sottofondo di pietrame scapolo per una estensione di circa 30 m sia frontalmente che lateralmente all'opera stessa.

#### Condotte di adduzione a mare

Le condotte di adduzione a mare sono quattro, tra loro uguali, affiancate, idraulicamente indipendenti e costituenti un unico manufatto in c.c.a., prefabbricato in tronchi fra loro collegati con idonei giunti. Ciascuna condotta è collegata alla corrispondente concamerazione della opera di presa, senza interconnessioni, ed è destinata a convogliare in condizioni di normale funzionamento, la portata di  $31 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

#### Condotte di adduzione a terra

Le condotte di adduzione a terra, in numero di quattro idraulicamente indipendenti, sono raggruppate in un unico manufatto, completamente incassato nel terreno. Ciascuna condotta è destinata a convogliare la medesima portata delle condotte a mare.

#### Vasca griglie e pompe

La vasca griglie e pompe è costituita essenzialmente da un manufatto in c.a. parzialmente incassato destinato all'installazione degli sgrigliatori per le alghe, delle griglie rotanti per la filtrazione dell'acqua e delle pompe di

circolazione.

#### Tubazioni di mandata ai condensatori

Le tubazioni di mandata collegano le pompe di circolazione con i condensatori di vapore.

In uscita dalla vasca pompe tali tubazioni convergono a due a due in un tronco di raccordo dando luogo a quattro condotte di adduzione, due per ciascuna sezione d'impianto.

Esse sono costituite da una serie di manufatti in c.a. con rivestimento metallico all'interno, interrati al di sotto del piano campagna e collegati tra loro a mezzo di idonei giunti ispezionabili. Ciascun condotto di mandata al condensatore ( $\varnothing = 3.600$  mm), all'intorno dell'edificio turbina, si sfiocca in tre tubazioni ( $\varnothing 2.700$ mm), ciascuna delle quali relativa ad una cassa dei condensatori.

#### Tubazioni di scarico dai condensatori

Dopo l'attraversamento del condensatore la portata di ciascuna unità è convogliata, prima tramite sei tubazioni  $\varnothing 2200$  e poi tramite due condotte  $\varnothing 3500$ , ad una camera di sbocco posta nelle adiacenze dell'edificio turbina. Nella camera di sbocco è posta una soglia sfiorante con top a quota -4,50 che mantiene la pressione nelle casse d'acqua dei condensatori entro i valori di progetto.

#### Canale di restituzione

Per ogni singola sezione d'impianto il convogliamento dell'acqua dal primo bacino sfiorante al secondo è realizzato mediante due canali a pelo libero progettati per mantenere la velocità dell'acqua a circa 2 m/sec e per contenere le escursioni di livello conseguenti ai transitori dell'impianto acqua di circolazione.

In prossimità della vasca pompe e griglie, ciascuno dei due canali di restituzione (delle 2 sezioni d'impianto, si immette in un secondo bacino sfiorante il cui top è a quota +1,00. Dai due bacini (ciascuno relativo a una

sezione d'impianto) i canali di restituzione a pelo libero convergono, in prossimità della fascia mediterranea protetta, in un unico manufatto in cui sono alloggiato, inferiormente, le quattro condotte di adduzione in pressione (per le due sezioni d'impianto, e, superiormente, quattro canali di restituzione a pelo libero anch'esse relative alle due sezioni d'impianto.

### D i f f u s o r e

Il diffusore è realizzato con un manufatto a cielo aperto a sezione variabile per tutta la sua lunghezza, suddiviso in quattro concamerazioni, ciascuna delle quali, collegata alla corrispondente concamerazione del tratto terminale a ciascun canale di restituzione, è dimensionata per restituire a mare la portata di  $31 \text{ m}^3/\text{sec}$ , ad una velocità di circa  $2 \text{ m/sec}$ .

Le quattro concamerazioni, tra loro affiancate, costituiscono un unico manufatto. Trasversalmente al diffusore, per tutta la sua larghezza, in prossimità dello sbocco a mare, è realizzata una barriera di travi frangiflutto.

La quota di fondo del diffusore, in corrispondenza della sezione di sbocco a mare, è di  $-2,0 \text{ m}$  e coincide con quella del fondale; la larghezza totale netta, in corrispondenza della stessa sezione, è di  $31 \text{ m}$  circa. Il fondale prospiciente la sezione di sbocco del diffusore, per una larghezza di circa  $150 \text{ m}$ , ed una larghezza di circa  $130 \text{ m}$ , è protetto da una idonea mantellata di massi, posta su sottofondo di pietrame scapolo. Tale protezione è estesa lateralmente al diffusore per una lunghezza di  $75 \text{ m}$ , in modo tale da evitare l'azione erosiva determinata sia dagli stati di agitazione del mare, sia dal fluoro di acqua di scarico, in qualsiasi condizione di circuito idraulico, nonché l'insabbiamento e l'intasamento.

La configurazione geometrica e la sistemazione del diffusore di scarico sono determinate sulla base dei seguenti criteri:

- realizzare un buon miscelamento nel mare dell'acqua di scarico;
- evitare fenomeni di erosione del litorale e di interrimento della foce.

Al fine di potere esprimere un parere di adeguatezza del sistema di smaltimento del calore dal condensatore alle esigenze della tutela dell'ambiente,

il progetto del sistema <sup>è stato</sup> esaminato alla luce delle informazioni sulle caratteristiche fisiche e biologiche dell'ambiente marino.

E' da fare rilevare che già sulla base delle risultanze preliminari degli studi ambientali che venivano condotti dall'ENEL sono state apportate sostanziali modifiche al progetto originario del sistema di smaltimento del calore residuo. Infatti sulla base dei risultati degli studi con i modelli di diffusione termica, al fine di permettere il rispetto dei limiti stabiliti nella legge n. 319 del 10/5/76, è stato modificato il progetto dell'opera di scarico (diffusore). Nel progetto originario il diffusore era dimensionato in modo tale da restituire a mare un flusso di acqua di refrigerazione avente una velocità di 1,5 m/s, contro i 2 m/s attuali; ciò ha comportato un aumento della lunghezza della condotta di almeno 30 m.

Inoltre, sulla base dei risultati degli studi batimetrici, correntometrici e di trasporto solito in mare, si è proceduto alla progettazione di una adeguata protezione dei fondali prospicienti la sezione di sbocco del diffusore, con una idonea mantellata in pietrame.

### 3) Diffusione del pennacchio termico

La diffusione a mare del pennacchio termico, per le due unità considerate funzionanti a pieno regime (smaltimento di una potenza termica di 4.250 MW), è stata valutata nell'ambito del progetto particolareggiato n. 20 con due modelli, uno di tipo fenomenologico-integrale (Pritchard) e l'altro matematico (Trindi).

Le valutazioni successive eseguite con il modello Trindi hanno comportato una modifica del sistema di smaltimento del calore del condensatore per il rispetto della legge Merli; nel seguito vengono analizzati e discussi i risultati e le validazioni dei modelli.

#### Modello di Pritchard

Il modello fenomenologico-integrale di Pritchard è una sintesi dei risultati di studi teorici e sperimentali per jet galleggianti e non galleggianti completati da dati ottenuti in campo. Questo considera che la dispersione del pennacchio nel corpo ricevente sia governata dai seguenti fenomeni:

- diluizione iniziale per miscelamento meccanico delle acque scaricate col corpo ricevente come risultato dell'eccesso di quantità di moto nel flusso di scarico (jet entrainment);
- miscelamento naturale degli effluenti caldi nelle acque più fredde dell'ambiente ricevente (diffusione turbolenta);
- perdita di calore per scambio termico con l'atmosfera.

Pritchard separa la dispersione in processi verticali ed orizzontali, considerando inizialmente la dispersione orizzontale dovuta al jet entrainment ed alla diffusione turbolenta e successivamente applica le correzioni derivanti dalla diluizione verticale e dal calore perso dalla superficie per scambio con l'atmosfera. I dati di ingresso ed i risultati ottenuti dall'applicazione del modello alla centrale nucleare di Alto Lazio sono riportati in fig. 3.1.

In particolare, al fine del rispetto della Legge Merli, si ha che il isoterma rappresentante l'incremento di temperatura di 3 °C è a circa 700 m

di distanza dall'opera di scarico;

Le limitazioni del modello sono dovute alla sua natura empirica, per esempio viene trascurato nello sviluppo diretto il galleggiamento e non tratta l'influenza di un fondale poco profondo.

### Il modello TRIMDI

Successivamente l'ENEL ha sviluppato un modello matematico puntuale (TRIMDI) che non fa ricorso a costanti globali rappresentative del fenomeno.

Il TRIMDI si basa sulle equazioni della fluidodinamica, principalmente le equazioni di bilancio della massa, della quantità di moto per fluidi viscosi incompressibili e dell'energia termica.

Il modello è tridimensionale con l'ipotesi che le correnti ambientali e le portate immesse siano dotate di quantità di moto prevalentemente orizzontali in modo da poter trascurare in ogni punto le accelerazioni verticali rispetto a quelle di gravità; da ciò segue un andamento idrostatico per la pressione verticale.

Le variazioni di densità si considerano trascurabili nelle equazioni di bilancio della massa e della quantità di moto nelle direzioni orizzontali, mentre si tiene conto di queste nelle equazioni di equilibrio verticale, dove influenzano la distribuzione di pressione dando origine alle spinte che determinano le correnti di densità e le stratificazioni (ipotesi di Boussinesq).

Inoltre tale modello tiene conto dell'andamento dei fondali e della conformazione della costa.

I risultati del modello applicato al caso di Montalto di Castro sono riportati nelle figg. 3.2-3.4, mentre i dati di ingresso sono in tab. 3.1.

Il modello utilizza un procedimento alle differenze finite per la discretizzazione del piano orizzontale  $x, y$ , con il dominio considerato diviso in maglie variabili, con dimensioni maggiori allontanandosi dall'opera di scarico (fig. 3.5). Lungo l'asse verticale vengono considerati 6 strati a spessore variabile come riportato in tab. 3.2, il contorno di costa è diverso da

strato a strato; ciò significa che il fondo viene schematizzato attraverso gradini a superficie orizzontale.

Dai risultati del codice si ha che le perturbazioni di temperatura e velocità interessano gli strati  $K = 6, 5, 4$  (figg. 3.2 - 3.5), mentre sono trascurabili per gli strati inferiori, inoltre dalla fig. 3.2 risulta che l'isoterma rappresentante  $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$  si ha a circa 1,2 km dalla bocca di scarico. Tale situazione ha richiesto un'ulteriore indagine e si è quindi proceduto ad una analisi di sensitività del modello ai vari parametri in gioco per ottenere un arretramento dell'isoterma con  $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$  ai fini della dimostrazione del rispetto della legge Merli.

Le modifiche così apportate al sistema di smaltimento del calore sono: larghezza e profondità della sezione di scarico e velocità media di scarico, i valori attuali sono riportati nel Cap. 2 di questa Relazione e nelle tabb. 3.3, 3.4 come dati di ingresso al codice.

Nelle figg. 3.6-3.11 sono riportati i risultati ottenuti in due casi: con assenza di correnti litoranee il primo e con una corrente di 0,15 m/s l'altro; in entrambi si ha che l'isoterma  $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$  si trova a circa 1 km dall'opera di scarico e ciò assicura il rispetto della legge Merli.

#### Validazione del modello e conclusioni

Tale modello è stato utilizzato nello studio del C.N.R. relativo all'andamento della concentrazione salina nell'immissione del fiume Tevere nel Mar Tirreno. Il confronto dei dati rilevati e di quelli calcolati per lo strato superficiale sono riportati in fig. 3.12, da questo si evidenzia un buon accordo tra calcolo e dati sperimentali.

Ai fini di confermare l'applicabilità del modello allo scarico termico                      l'ENEL, nel seguito della fase istruttoria, <sup>sta</sup>effettuando <sup>ndo</sup>una campagna di misure per la validazione del modello e dei risultati, utilizzando lo scarico a mare di una Centrale in esercizio di potenza paragonabile.

TAB. 3.1 - DATI DI INGRESSO AL TRIMDI (in assenza di correnti lateranee e di venti)

Portata d'acqua di raffreddamento	124 m <sup>3</sup> /sec
Sovralzo termico allo scarico	8 °C
Potenza termica scaricata	4.250 MW
Larghezza della sezione di scarico	56 m
Profondità della sezione di scarico	1,5 m
Velocità media di scarico	1,48 m/s
Temperatura dell'acqua ambiente	23,4 °C
Salinità	38‰
Viscosità turbolenta ambiente	0,002 m <sup>2</sup> /s

TAB. 3.2 - DISCRETIZZAZIONE IN DIREZIONE VERTICALE IN 6 STRATI ORIZZONTALI

K	H (k) (m)	Z(k) (m)	ZM (k) (m)
6	0,5	0,	-0,25
5	1,	-0,5	-1,
4	1,	-1,5	-2,
3	2,	-2,5	-3,
2	4,	-4,5	-6,
1	8,	-8,5	-12,
		-16,5	

K = indice dello strato

H(x) = spessore dello strato (H(6) spessore iniziale dello strato superficiale)

Z(k) = quote dei piani di separazione degli strati

ZM(K) = quota media di ciascuno strato a cui sono riferite le variabili del problema

TAB. 3.3 - DATI DI INGRESSO AL TRIMDI, PER I CASI IN ASSENZA DI CORRENTE  
 TRASVERSALE ED IN PRESENZA DI QUESTA, DOPO LE MODIFICHE APPORTATE  
 AL PROGETTO DELL'OPERA DI SCARICO

Portata d'acqua di raffreddamento	124 m <sup>3</sup> /s
Sovralzo termico allo scarico	8 °C
Potenza termica scaricata	4.250 MW
Larghezza della sezione di scarico	31 m
Profondità della sezione di scarico	2 m
Velocità media di scarico	2 m/s
Temperatura dell'acqua ambiente	23,4 °C
Salinità	38‰
Viscosità e diffusività turbolente ambiente	0,002 m <sup>2</sup> /s

TAB. 3.4 - DISCRETIZZAZIONE IN DIREZIONE VERTICALE, PER I CASI IN ASSENZA DI CORRENTE  
 LITORANEA ED IN PRESENZA DI QUESTA, DOPO LE MODIFICHE APPORTATE AL PROGETTO  
 DELL'OPERA DI SCARICO

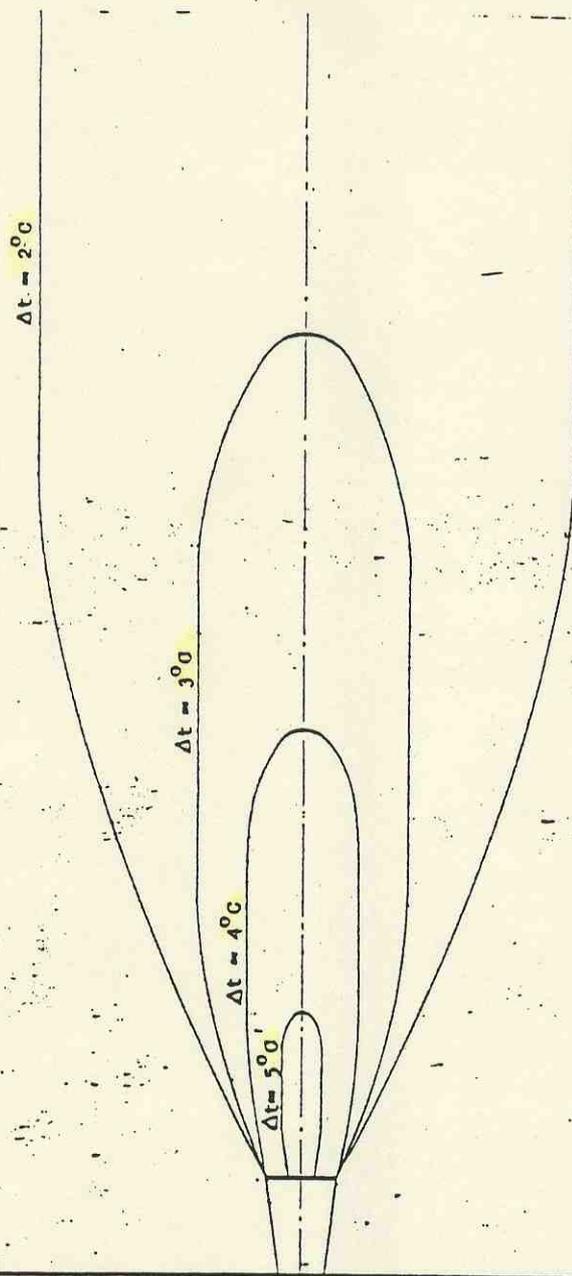
K	H(k) (m)	Z (m)	ZM (k) (m)
6	0,7	0,0	-0,35
5	1,3	-0,7	-1,35
4	1,5	-2,0	-2,75
3	2,0	-3,5	-4,50
2	3,5	-5,5	-7,25
1	7,5	-9,0	-12,75
		-16,5	

K = indice dello strato

H(k) = spessore dello strato

Z(k) = quote dei piani di separazione degli strati

ZM(k) = quota media di ciascuno strato a cui sono riferite le variabili del problema



Parametri di scarico:

- QO = 124,00 m<sup>3</sup>/s
- QH = 3,45x10<sup>9</sup> kcal/h
- DTO = 8,00 °C
- BO = 56,00 m
- HO = 1,50 m
- VO = 1,48 m/s

0 100 200 m  
Scala

CENTRALE NUCLEARE ALTO LAZIO

FIG. 1.1 - ANDAMENTO PREVISIONALE DEL PENNACCHIO TERMICO  
RISULTANTE DALL'APPLICAZIONE DEL MODELLO DI  
CALCOLO DEL "PRITCHARD"

- Q.O = Portata di acqua allo scarico
- Q.H = Potenza termica scaricata
- DTO = differenza di temperature allo scarico
- B.O = larghezza della bocca di scarico
- H.O = profondità della "
- VO = velocità dell'acqua di scarico

5600.00

0.00

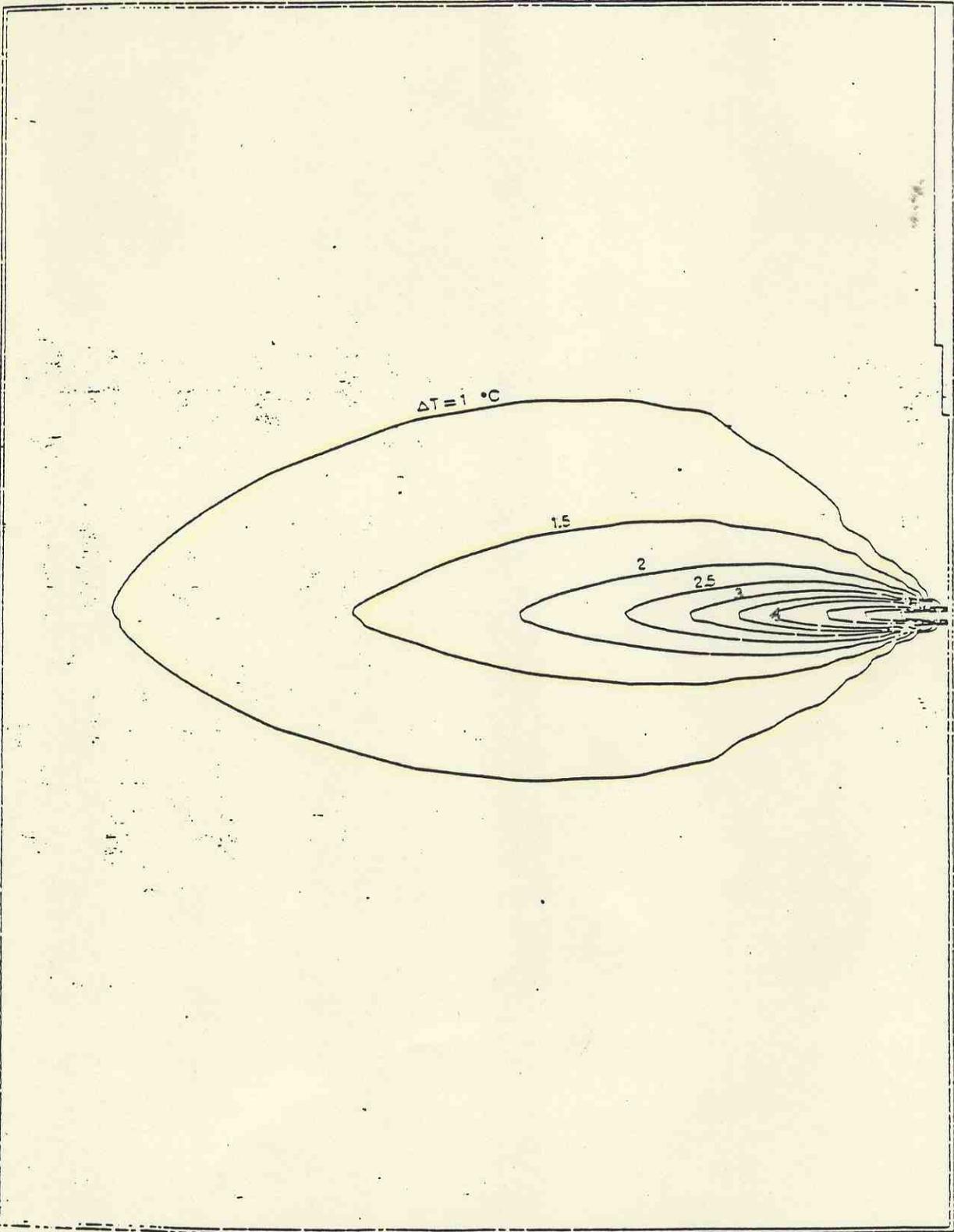


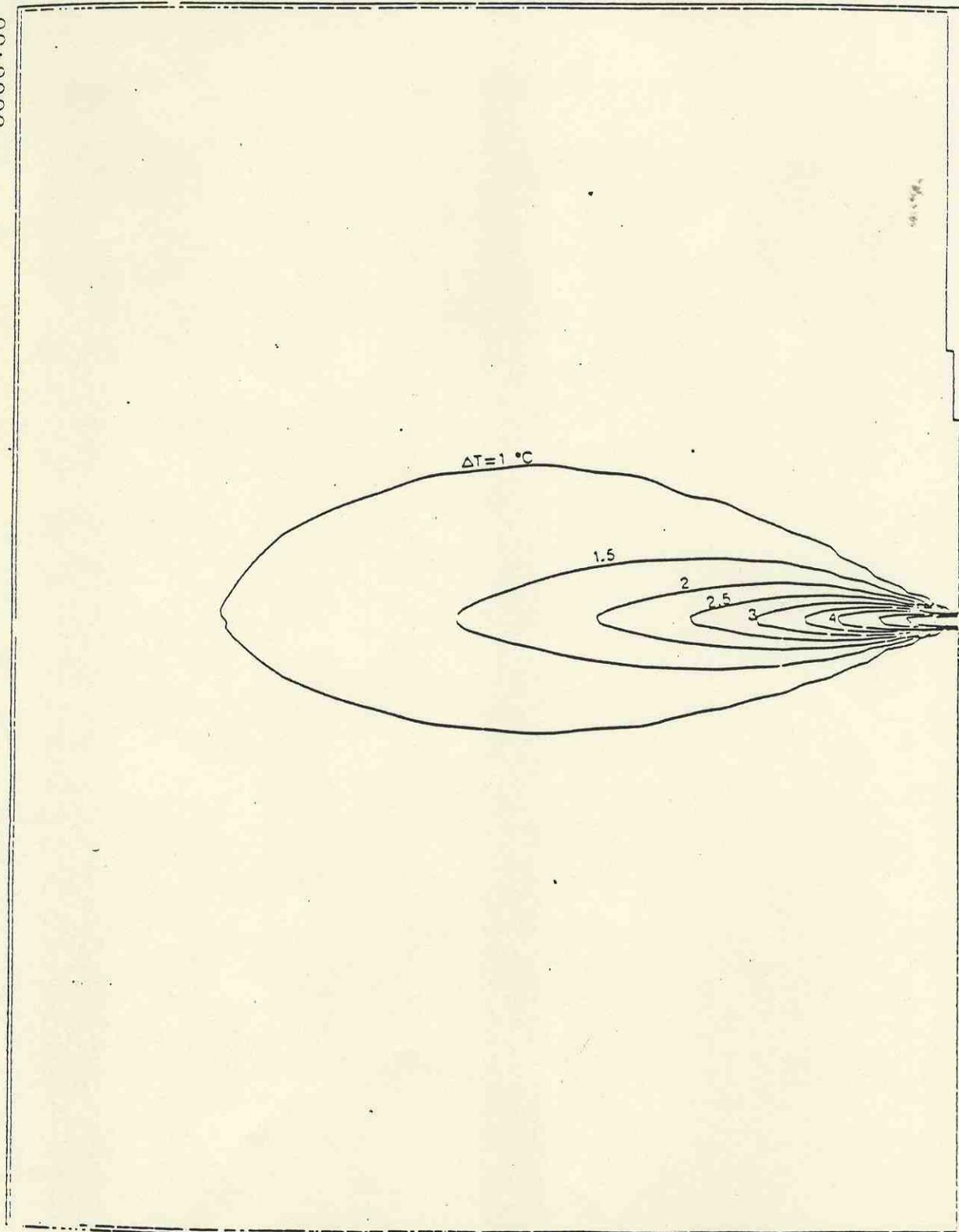
Fig. 3.2 Codice di calcolo TRIMDI - scarico a mare Isotherme

4200.50

Strato K=6 - Scala Spaziale 1 cm = 250.00 m

5600.00

0.00



0.00

Fig. 3.3 Codice di calcolo TRIMDI - scarico a mare Isotherme 4200.50

Strato K=5 - Scala Spaziale 1 cm = 250.00 m

5600.00

0.00

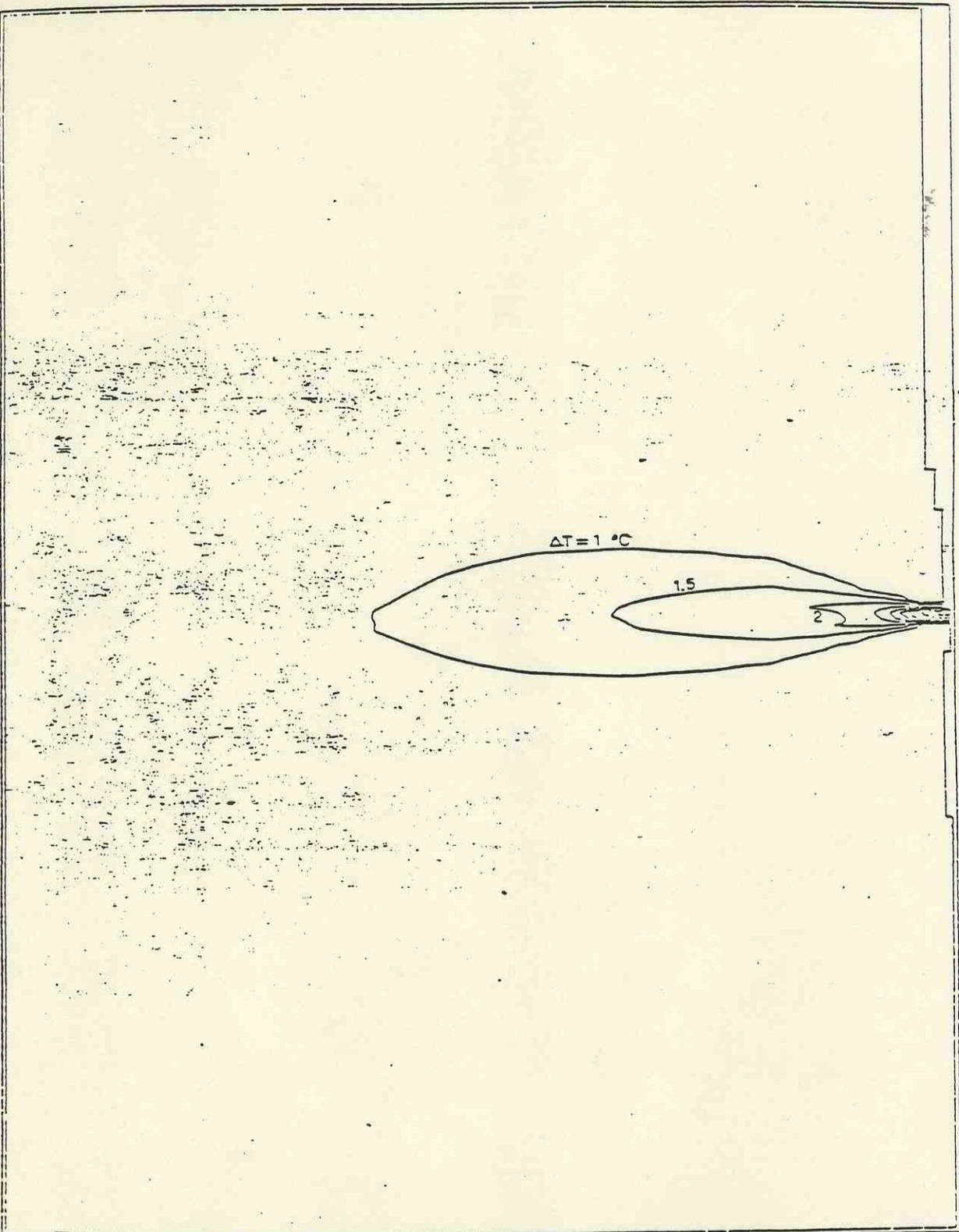


Fig. 3.4 Codice calcolo TRIMDI - Scarico a mare Isotherme  
Strato X = 4 - Scala Spaziale 1 cm = 250 m

5600.00

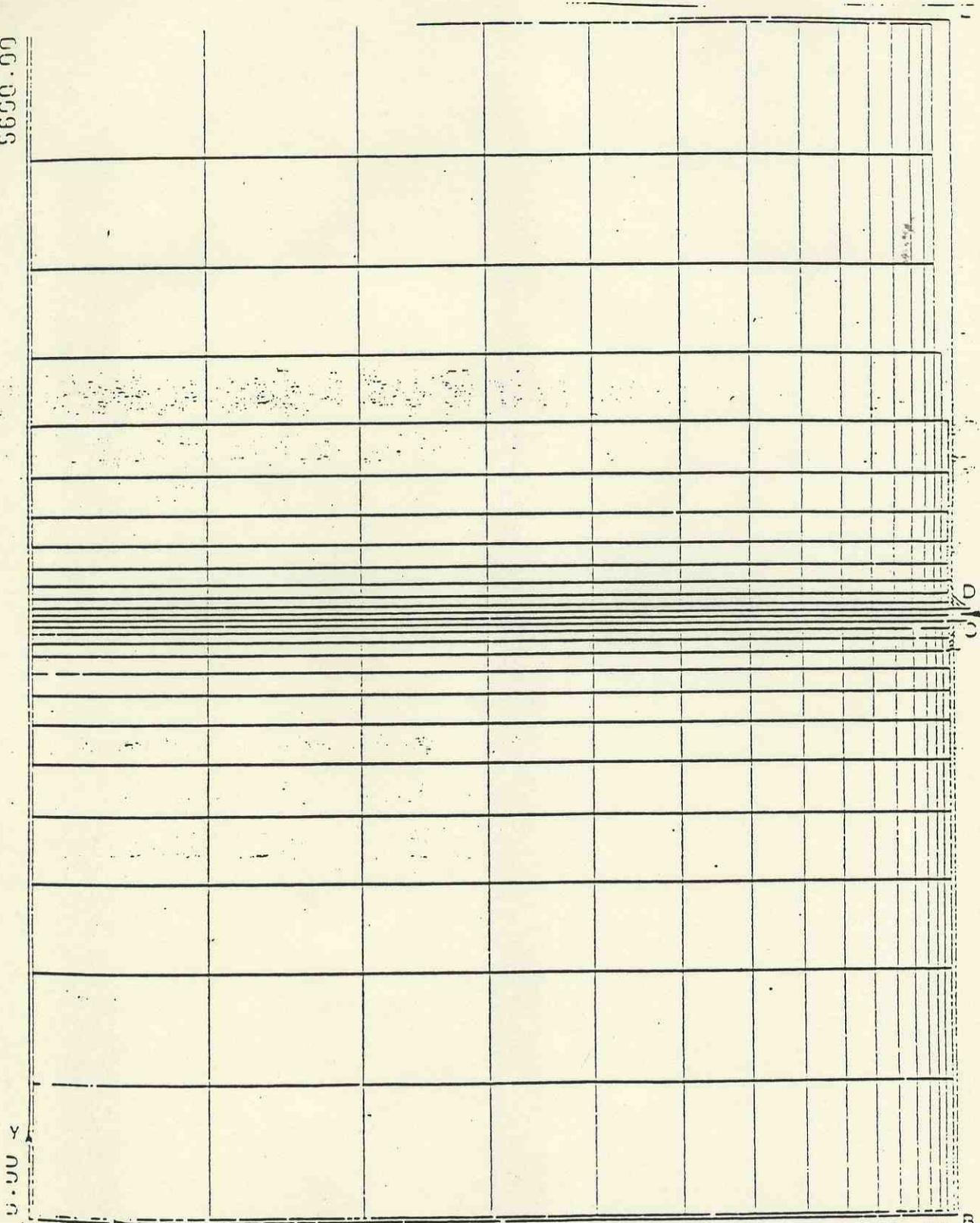


Fig. 3.5 Codice di calcolo TRIMDI - reticolo di discretizzazione nel piano spaziale x, y

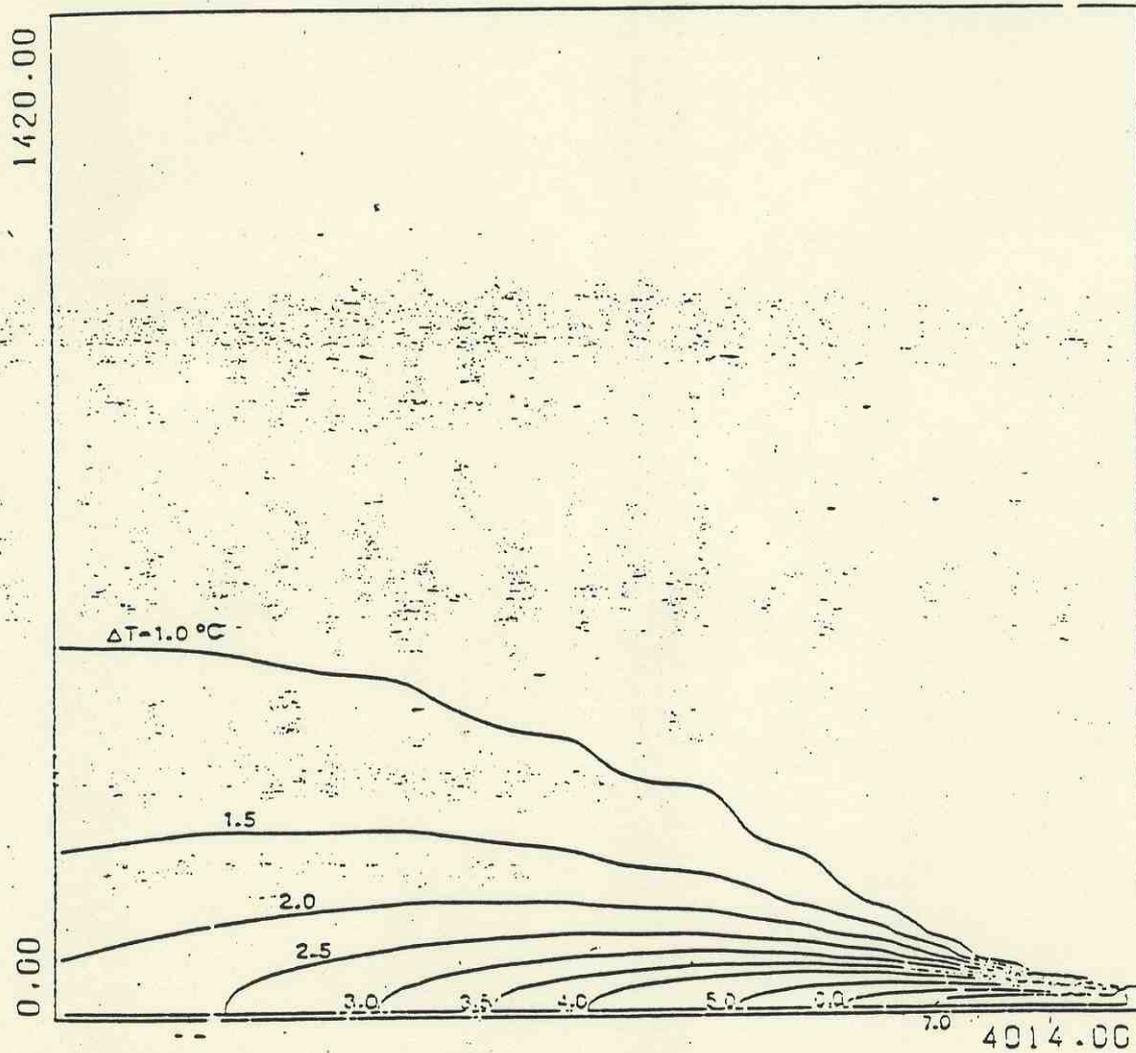


Fig. 3.6 Codice di calcolo TRIMDI  
 Isotherme in assenza di corrente trasversale  
 Strato K = 6  
 Scala Spaziale - 1 cm = 100 m

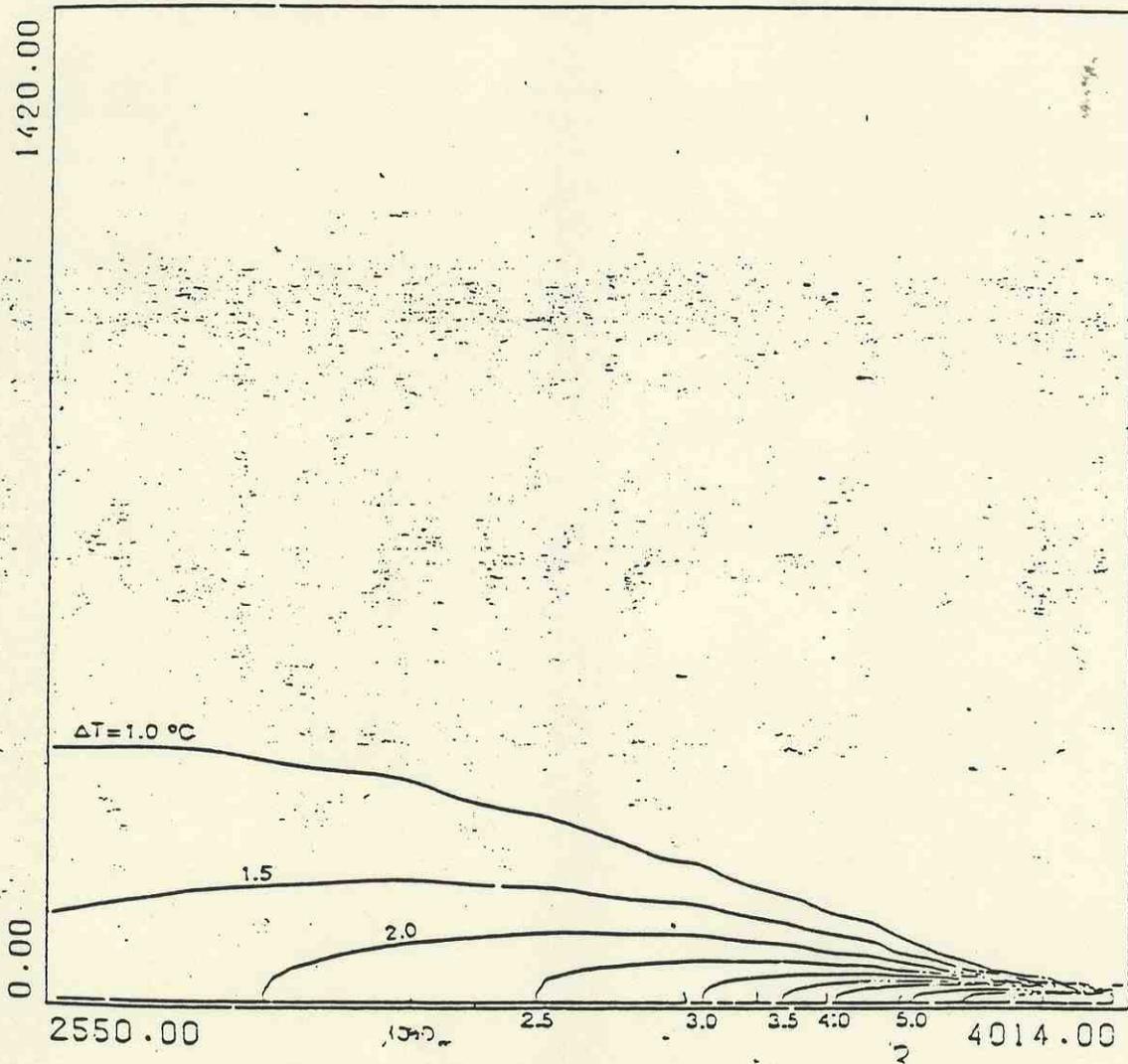


Fig. 3.7 Codice di calcolo TRIMDI

Isoterme in assenza di corrente trasversale

Strato K = 5

Scala Spaziale - 1 cm = 100 m

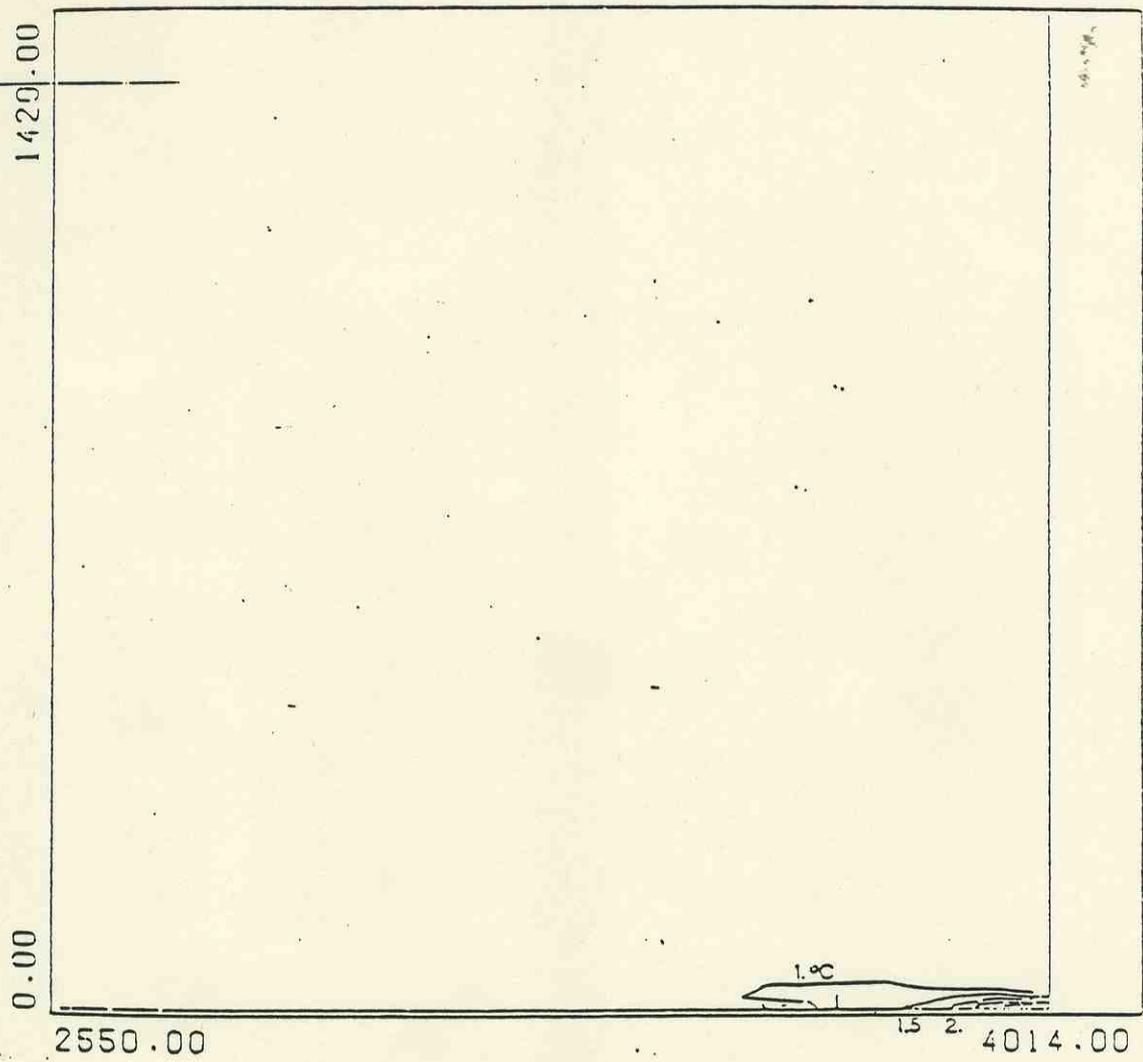


Fig. 3.8 Codice di calcolo TRIMDI  
 Isotherme in assenza di corrente trasversale  
 Strato K = 4  
 Scala Spaziale - 1 cm = 100 m

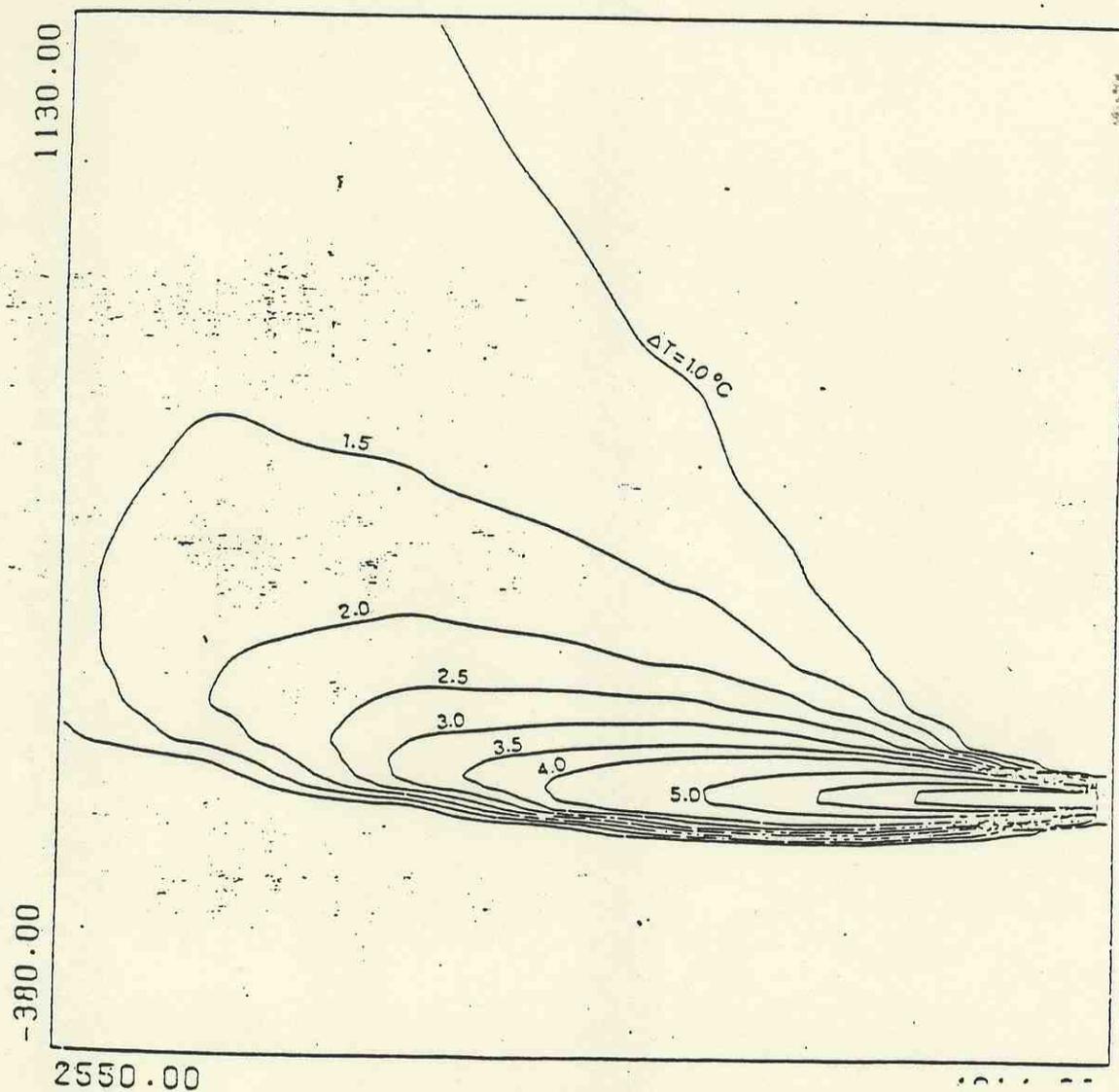


Fig. 3.9 codice di calcolo TRIMDI

Isotherme in presenza di corrente trasversale (0.15 m/s)

Strato K - 6

Scala Spaziale - 1 cm = 100 m

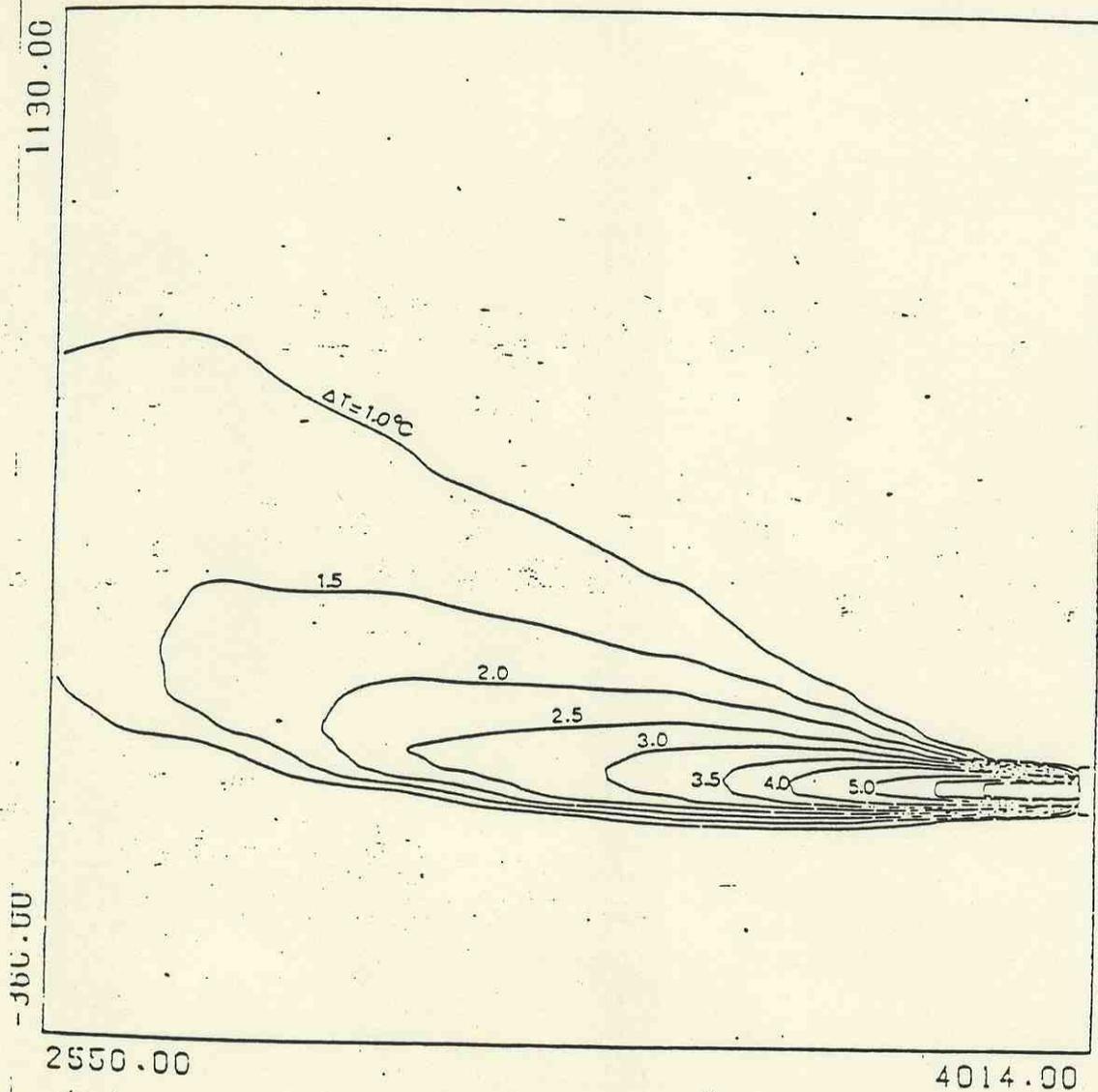


Fig. 3.10 Codice di calcolo TRIMDI  
 Isotherme in presenza di corrente trasversale (0.15 m/s)  
 Strato K = 5  
 Scala Spaziale - 1 cm = 100 m

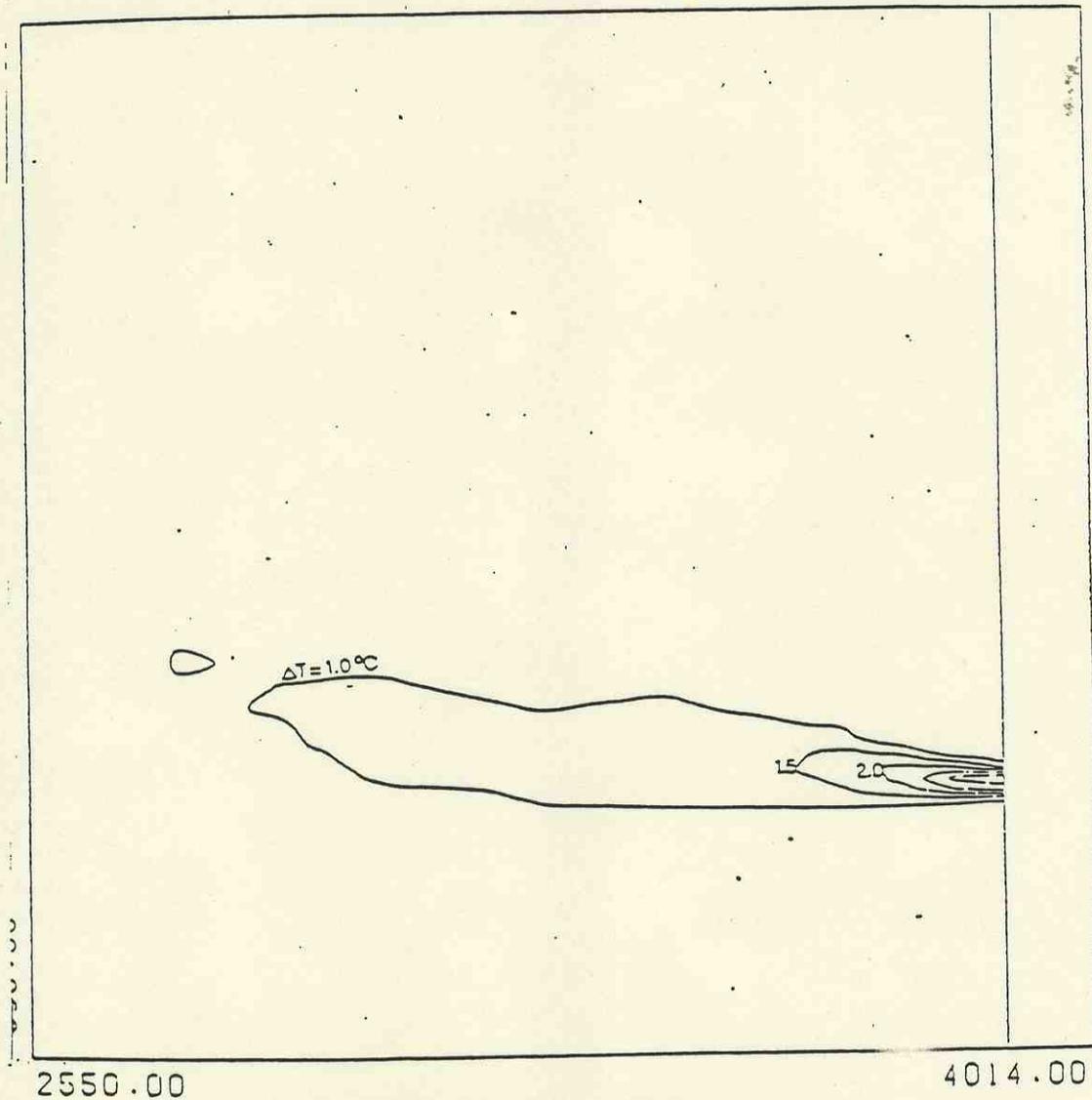
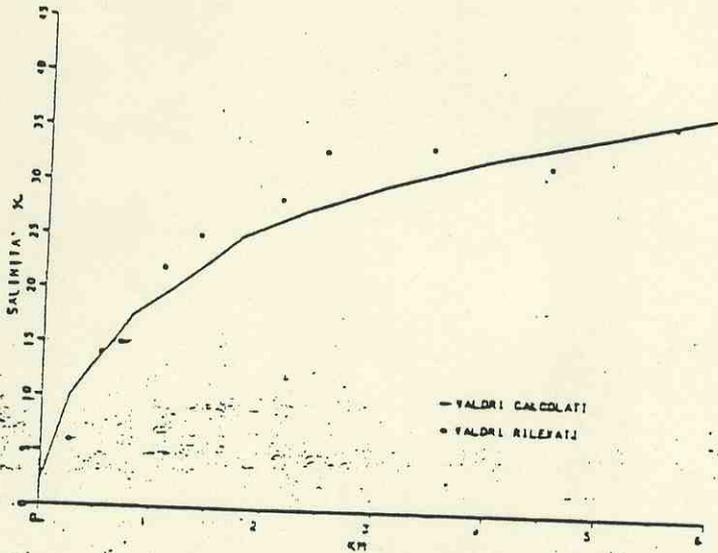


Fig. 3.11 Codice di calcolo TRIMDI

Isoterme in presenza di corrente trasversale (0.15m/s)

Strato K = 4

Scala Spaziale - 1 cm = 100 m



confronto tra i valori di salinità calcolati e quelli rilevati lungo l'asse mediano del pennacchio relativi allo strato superficiale.

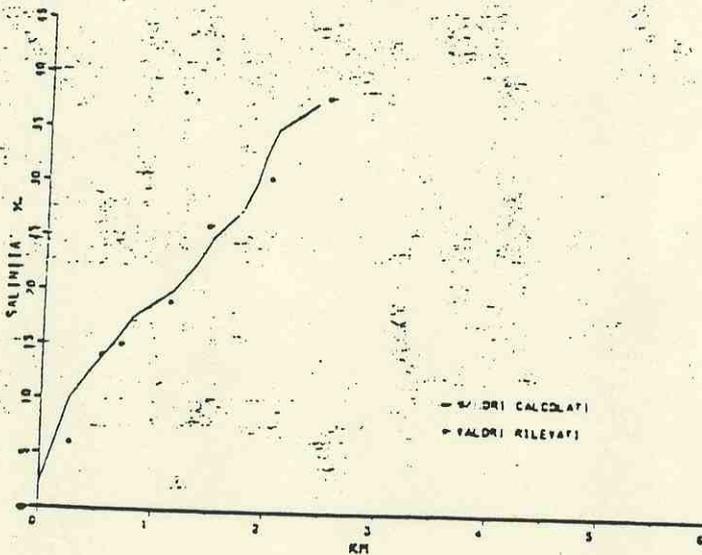


Fig. 3.12 - Confronto tra i valori di salinità calcolati e rilevati

#### 4 - NOTA ESPLICATIVA DELL'ENEA DISP

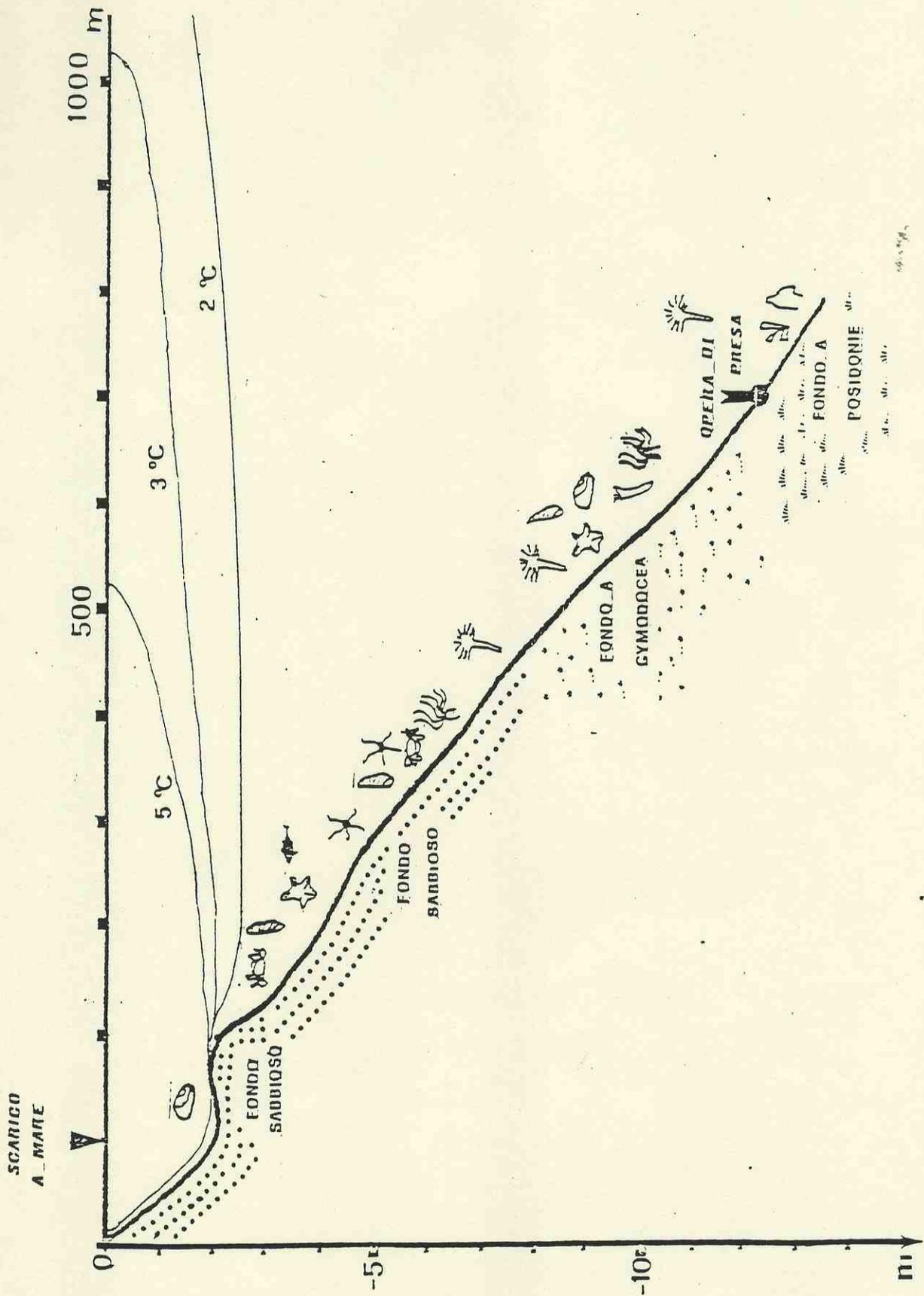
Il paesaggio sottomarino costiero formato da un complesso mosaico di biocenosi vegetali, animali e a composizione mista, deve essere tutelato in modo efficace e ciò anzitutto in quanto fondamentale è il ruolo che esso assolve nell'ecosistema marino.

Nel sistema litorale (quella fascia fra 0 e 150 m, in cui si esplica la più ricca e complessa vita bentonica e che è nello stesso tempo per la limitata profondità delle acque e la vicinanza della costa la più direttamente minacciata) il benthos costituisce un ecosistema completo in quanto è presente anche la componente dei produttori dovuta alla possibilità di attuazione della fotosintesi clorofilliana.

I principali produttori non sono rappresentati dal minuto fitoplancton, anch'esso naturalmente presente, ma dalle alghe macrofittiche e dalle Fanerogame marine (cioè quella vegetazione erbosa che copre spesso i fondi sabbiosi o fangosi, formando le cosiddette Praterie a Posidonia e a Cymodocea (Fanerogame appartenenti alla famiglia delle Zoosteracee). Questo permette ad un particolare complesso faunistico di aderire epifiti sulla vegetazione stessa, oppure di nascondersi mimeticamente mezzo ad essa e di nutrirsi. Questi consumatori costituiscono una vasta serie, dalle più differenti abitudini di vita, di forme senili attaccate al substrato, infossate in esso, di vari gruppi di forme vagili e infine natanti sul substrato. La straordinaria varietà dei popolamenti e degli organismi si riflette in quella delle loro abitudini alimentari: forme fitofaghe, saprofaghe, zoofaghe; particolarmente numerosi sono però - e questo è un elemento rilevante per il problema degli inquinamenti - i filtratori che, con i più svariati meccanismi, sfruttano il detrito e i microorganismi che si trovano nel sedimento o nell'acqua in prossimità di esso. Infine vi è un forte contingente di decompositori, cioè di batteri infeudati al sedimento, che mineralizzando la sostanza organica rigenerano lo stock di indispensabili ai vegetali per chiudere il ciclo biogeochimico.

Pertanto le biocenosi bentoniche, date le loro caratteristiche di relativa immobilità, si prestano particolarmente per evidenziare eventuali stress indotti da interventi umani sull'ambiente acquatico; inoltre gli organismi bentonici

essendo dotati di scarse capacità di movimento, almeno nella fase adulta, non possono evitare con migrazioni eventuali alterazioni di un fondale o modificazioni permanenti delle condizioni chimico-fisiche dello specchio d'acqua. E' d'altronde accertato che il benthos litorale è in larga misura dotato di plasticità adattativa in quanto deve vivere in un ambiente mutevole per cicli di variazioni che si svolgono entro periodi di tempo di ampiezza diversa. Perciò questa plasticità adattativa consente a questi organismi di sopravvivere purché non vengano superate determinate soglie. Se si superano queste soglie la fauna e la flora che s'installeranno negli ambienti alterati avranno caratteristiche diverse dalle biocenosi normali, saranno cioè composte da quegli elementi che nell'ambito delle biocenosi litorali presentano sufficiente tolleranza al diverso valore dei fattori ecologici delle acque inquinate. Pertanto uno studio, rivolto al controllo di questa frazione macropo o bentonica, permetterà di svolgere analisi comparative tra diverse situazioni ecologiche e di valutare cambiamenti qualitativi e quantitativi e quindi eventuali spostamenti degli equilibri ecologici all'interno dell'ecosistema dovuti ad agenti esterni.



## 5. CONCLUSIONI

A SEGUITO DELLA DOCUMENTAZIONE CONSEGNATA DALL'ENEL (FACENTE PARTE DEL PR. 20 SOPRACITATO) L'ENEA-DISP CON L'ATTO PROTOCOLLO 31224 DEL 22 LUGLIO 1983 HA APPROVATO IL SUCCITATO "SISTEMA DI SMALTIMENTO DEL CALORE DEL CONDENSATORE" (TALE ATTO È RIPORTATO NELL'ALLEGATO A ALLA PRESENTE RELAZIONE CON LE SEGUENTI PRESCRIZIONI, LA CUI ATTUAZIONE È IN CORSO ED È RIPORTATA NEGLI ALLEGATI N.° 1, N.° 2, N.° 3.

LE PRESCRIZIONI ENEA SONO LE SEGUENTI: (Cfr. pag. 2 ATTO prot 31224 ENEA SOPRAC)

- VALUTAZIONE DEL POSSIBILE IMPATTO DELL'OPERA DI PRESA SUGLI ORGANISMI COSTITUENTI L'ITTIOFAUNA GIOVANILE LOCALE: L'ENEL HA IN CORSO IL PROGRAMMA DI INDAGINI RIPORTATO NELL'ALL. 1
- CAMPAGNA DI MISURE ATTE A CONVALIDARE LA APPLICABILITÀ DEL MODELLO DI CALCOLO TRIMDI, DEL TITOLARE ENEL, ALLO SCARICO TERMICO DELL'IMPIANTO ALTOLAZIO: L'ENEL HA IN CORSO IL PROGRAMMA DI INDAGINI RIPORTATO NELL'ALLEGATO 2.
- CONTROLLO DEI PARAMETRI IDROGRAFICI DELLA ZONA, E DELLA EVOLUZIONE STORICA DELLA LINEA DI COSTA; L'ENEL HA IN CORSO IL PROGRAMMA RIPORTATO NELL'ALLEGATO N. 3 dell'ENEA-DISP.)

Le conclusioni a cui sono pervenuti gli Uffici, in seguito all'esame della documentazione prodotta dall'ENEL e alle analisi effettuate, sono riportate di seguito.

" Si ritiene di potere esprimere un parere complessivamente favorevole all'approvazione del Progetto Particolareggiato n. 20 "Sistema di smaltimento del calore del condensatore" per la centrale di ALTO LAZIO per quanto riguarda l'opera di scarico; infatti, l'esame delle valutazioni e dei calcoli previsionali sulla diffusione del pennacchio termico sembrano indicare un sostanziale rispetto dei limiti della legge Merli ( $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$  a 1000 m dal punto di scarico) e le valutazioni sull'impatto ecologico, anche per confronto con situazioni reali presso centrali in esercizio, (Centrale di Piombino) sembrano indicare una scarsa incidenza dello scarico termico e chimico (clorazione).

Qualche riserva rimane a proposito del possibile impatto ecologico dell'opera di presa nei confronti dell'equilibrio delle forme giovanili dell'ittiofauna; si ritiene pertanto di dovere richiedere all'ENEL l'effettuazione di alcuni studi e controlli sull'entità del fenomeno, da presentare nel prosieguo dell'istruttoria.

Si fa notare che eventuali correttivi, a valle di detti studi, potrebbero essere realizzati senza difficoltà con adeguate soluzioni ingegneristiche (per ridurre la velocità di trascinamento, per restituire gli organismi intrappolati, etc.) che riducono notevolmente l'impatto ecologico dell'opera di presa e che non pregiudicano nel complesso l'attuale progetto. Sia pure con la presente riserva, si ritiene quindi di potere esprimere un parere favorevole. "

allegato **A**

PROT. N. 31224

22 LUG. 1983

00198 ROMA,  
Viale Regina Margherita, 125 - Telef. 85281

OGGETTO: Centrale Elettronucleare ALTO LAZIO - Progetti Particolareggiati n. 5 (Contenimento Primario, Gru Polare, Reintegro Piscina Soppressione, Isolamento Contenitore Primario); n. 6 (Assieme Reattore - Generatore Nucleare di vapore Ricircolazione); n. 20 (Sistema di Smaltimento Calore del Condensatore).

Spett.le  
ENEL-CTN  
V.le Regina Margherita, 137

00198 R O M A

Si trasmettono, allegati a la presente, gli atti di approvazione dei Progetti Particolareggiati in oggetto, ai sensi dell'art. 42 del D.P.R. 13 febbraio 1964, n. 185, comprensivi della indicazione di prescrizioni tecniche e di punti predeterminati di controllo, in linea con quanto specificato nella Guida Tecnica n. 4 DISP, capp. 4 e 5.

Si coglie l'occasione per fare presente che nel corso della istruttoria sul Progetto Particolareggiato n. 7 dovrà essere sottoposto all'esame degli Uffici DISP il Programma di qualificazione dei componenti elettrici e di strumentazione della Centrale ALTO LAZIO.

Con i migliori saluti.

Comitato Nazionale per la Ricerca e per lo Sviluppo  
dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative  
41 Direttore della Sicurezza Nucleare e della Protezione Sanitaria  
(Dr. Ing. G. Naschi)

*Giuseppe Naschi*

CTN - ROMA

Protocollo 1358

A 1210043 Z X

Corr. All. Corr. All.

DIR	I	VDR	I
VDP	I	AVV	I
AUT	I	di A.	I
CIV	I	R.G.	
ELT	I	ENEL	
MEC	I	ENEL	
RTK	I	CRD	I
SIS	R	BUGO	I
UID	I		

CONFERMA: 3

1 = per deposito - 1 = per informaz.  
ALLEGATI  
1 = per deposito - 0 = per coll. inv.

ENEL CTN - ROMA

483014285 | 28 LUG 83

DIREZIONE SICUREZZA NUCLEARE  
E PROTEZIONE SANITARIA

ATTO DI APPROVAZIONE

ai sensi dell'art. 42 del D.P.R. 13 febbraio 1964, n. 185

DEL PROGETTO PARTICOLAREGGIATO

della parte dell'impianto:

ALTO LAZIO dell'ENEL

ubicato in:

Località Pian dei Cangani  
Montalto di Castro - Viterbo

denominata:

Sistema di Smaltimento del  
Calore dal Condensatore (Par  
te di Impianto r.f.s. n. 51)

L'ENEA DISP

VISTE le disposizioni in materia di sicurezza nucleare e di protezione sanitaria di cui alla legge del 31 dicembre 1962, n. 1360 ed al D.P.R. del 13 febbraio 1964, n. 185;

VISTO il Nulla Osta alla costruzione rilasciato per l'impianto di cui sopra dal Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, con Decreto n. VII-92 del 19 febbraio 1979;

TENUTI PRESENTE

- l'atto di approvazione del Programma di Garanzia della Qualità dell'Impianto ALTO LAZIO, rilasciato dal C.N.E.N. il 30 luglio 1981 (Doc. DISP/AL (81)2);

ENI

./.

- l'elenco delle parti costitutive dell'Impianto ritenute rilevanti dal C.N.E.N. ai sensi del primo comma dell'art. 42 del D.P.R. 13 febbraio 1964, n. 185, comunicato all'ENEL il 26 febbraio 1978 (SC prot. n. 5773);

ESAMINATO il Doc. ENEL AZ1 0043 LIDTM 003.02 del giugno 1983: Centrale ALTO LAZIO - Progetto Particolareggiato n. 20 - Sistema di Smaltimento del Calore dal Condensatore - Vol. 1;-

ESAMINATI gli obiettivi, i criteri, i requisiti, i dati e le soluzioni di progetto, le norme ed i metodi di calcolo proposti dal Titolare del Nulla Osta nella documentazione relativa al Progetto Particolareggiato in argomento, e illustrati nella Relazione, di cui al Doc. ENEL AZ1 0043 LIDTM 002.02 del giugno 1983, ai fini della rispondenza alle esigenze di sicurezza nucleare e di protezione sanitaria;

SENTITA la Commissione Tecnica di cui all'art. 11 del D.P.R. 185/1964;

CONSIDERATO che la rispondenza del Progetto esecutivo e della realizzazione ai criteri e norme di cui sopra dovrà essere verificata dalla DISP in sede di vigilanza, anche sulla base di quanto appresso specificato;

#### A P P R O V A

il Progetto Particolareggiato delle parti di impianto suindicate, qule risulta dalla documentazione sopra citata.

Ai fini del controllo tecnico da effettuare ai sensi dell'art. 42, ultimo comma, del D.P.R. 185/1964, dovrà essere resa disponibile dal Titolare del Nulla Osta, nel corso della realizzazione dell'Impianto e con sufficiente anticipo rispetto all'inizio delle Prove Nucleari, la documentazione relativa a quanto segue:

EU  
-

./.

- 10210 N.
- a) valutazione del possibile impatto dell'opera di presa sugli organismi costituenti l'ittiofauna giovanile locale;
  - b) campagna di misure atte a convalidare la applicabilità del modello di calcolo TRIMDI, del Titolare, allo scarico termico dell'Impianto ALTO LAZIO;
  - c) controllo dei parametri idrografici della zona, e della evoluzione storica della linea di costa.

Comitato Nazionale per la Ricerca e per lo Sviluppo  
dell'Energia Nucleare e della Luce e dell'Atmosfera  
in Direzione della Sorveglianza Nazionale e della Protezione Sanitaria  
(Dr. Ing. G. Nasini)

*Olivero Nasini*

# ALLEGATO n. 1

ATTUAZIONE DELLA PRESCRIZIONE ENEA CONTENUTA NEL PUNTO a) DELL'ATTO DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO PARTICOLAREGGIATO n. 20 (lettera ENEA prot. 31224 del 22/7/1983 riportata in allegato "A") :

" a) VALUTAZIONE DEL POSSIBILE IMPATTO DELLA OPERA DI PRESA SUGLI ORGANISMI COSTITUENTI L'ITTIOFAUNA GIOVANILE LOCALE "



Direzione  
delle costruzioni  
sede di Roma

centrale nucleare ALTO LAZIO

**VALUTAZIONE PREVISIONALE DELL'IMPATTO SULLA COMPONENTE  
ITTICA DERIVANTE DAI FENOMENI DI "IMPINGMENT" ED  
"ENTRAINMENT" SULLA BASE DI VALUTAZIONI SPERIMENTALI  
PRESSO LA CENTRALE DI PIOMBINO**

PIANO DI LAVORO

( informazione XVI/Z19 )

DIC. 1985

AZ1.0317.LRXT.2073.01

CENTRALE DI MONTALTO DI CASTRO

VALUTAZIONE PREVISIONALE DELL'IMPATTO SULLA COMPONENTE ITTICA  
DERIVANTE DAI FENOMENI DI "IMPINGEMENT" ED "ENTRAINMENT" SULLA  
BASE DI VALUTAZIONI SPERIMENTALI PRESSO LA CENTRALE DI PIOMBINO  
(Piano di Lavoro)

SOMMARIO

Data la documentata affinità ecologica tra le zone di mare interessate dalle Centrali di Piombino e di Montalto di Castro, la valutazione previsionale dell'impatto ecologico dell'impingement e dell'entrainment sul sito laziale può essere effettuata per estrapolazione sulla base dei dati raccolti su questi fenomeni presso l'impianto toscano, attualmente già funzionante.

Vengono quindi descritti il piano sperimentale ed i metodi per un'indagine da condursi a Piombino allo scopo di stimare i tassi di cattura di organismi marini alle griglie dell'opera di presa e le possibilità di sopravvivenza delle frazioni ittiche e zooplanctoniche trascinate attraverso il circuito di raffreddamento.

Infine, vengono definiti gli assunti di base e le metodologie per l'estrapolazione dei dati raccolti presso la Centrale toscana in modo da ottenere gli elementi per la valutazione previsionale dell'impatto dell'impingement e dell'entrainment sull'ecosistema costiero antistante l'impianto laziale.

1.

INTRODUZIONE

Il prelievo d'acqua marina per il raffreddamento di una Centrale Termoelettrica costiera induce la cattura di giovani pesci, molluschi cefalopodi e crostacei all'interno dell'opera di captazione ("impingement") ed il trasciamento di piccoli organismi (plancton e uova e larve di pesci) attraverso il circuito di raffreddamento ("entrainment").

Gli effetti di questo fenomeno, in genere, vengono ampiamente assorbiti dai meccanismi compensativi che regolano l'equilibrio dell'ecosistema acquatico. Il problema può acquistare rilevanza, fino a raggiungere il livello di danno effettivo, nel caso in cui il prelievo d'acqua coinvolga aree di riproduzione o accrescimento ristrette ed esclusive, habitat unici di specie rare di taglia catturabile, rotte interessate da migrazioni massive, o, più in generale, comparti ecologici che svolgano funzioni peculiari ed insostituibili nei confronti dell'ecosistema in cui sono inseriti e presentino una particolare delicatezza sotto questo punto di vista.

La valutazione previsionale del rischio per le popolazioni acquatiche soggette a questi fenomeni in un determinato sito può essere validamente effettuata sulla base delle indicazioni fornite dal controllo del tasso di impingement ed entrainment presso un impianto già in esercizio in un'altra area con caratteristiche ecologiche simili a quella in esame.

La previsione dell'impatto sulla componente ittica del sito di Montalto di Castro può essere realizzata quindi esaminando l'entità e gli andamenti dei fenomeni citati pres-

so la Centrale termoelettrica di Piombino, in esercizio sulla costa del Golfo di Follonica.

I tratti di mare interessati dai due impianti, infatti, oltre ad essere relativamente vicini ed inseriti nello stesso areale tirrenico, presentano lineamenti morfologici affini. In entrambi i casi la costa è lineare, bassa e sabbiosa, con una pendenza batimetrica intorno all'1%. I corsi d'acqua sono brevi, con portate modeste e regimi torrentizi. La struttura dello strato superficiale dei due fondali è praticamente la stessa: al sedimento medio e medio-fine prossimo alla riva fa seguito, verso il largo, una fascia di prateria a Posidonia oceanica, confinante con i fondali limosi del piano circalitorale. Gli insediamenti animali dei due siti, che sono quelli tipici delle coste tirreniche a fondo molle, presentano notevoli omogeneità strutturali, come evidenziato da recenti indagini (Relaz. ENEL-DCO/LCP aAct/17/83). Tale omogeneità riguarda, in particolare, le comunità della fascia batimetrica più vicina alla riva, cioè quella più interessata dalle opere di captazione.

Le indicazioni fornite da uno studio sul fenomeno dell'intrappolamento e trascinamento presso Piombino possono, quindi, essere considerate una valida base per la previsione dell'impatto sulle risorse marine, ittiche in particolare, nel sito di Montalto di Castro.

## 2. INDAGINE SULL'IMPINGEMENT E L'ENTRAINMENT PRESSO LA CENTRALE DI PIOMBINO

### 2.1 Scopi e lineamenti del piano sperimentale

In generale, la quantità di organismi interessati dai fenomeni dell'impingement e dell'entrainment dipende principalmente dai seguenti fattori:

- ora del giorno,
- stagione,
- situazione meteo-oceanografica locale,
- portata del circuito di raffreddamento e potenza erogata dall'impianto,
- clorazione dell'acqua di raffreddamento.

L'obiettivo dell'indagine presso la Centrale di Piombino è quello di stimare la quantità di organismi dei vari taxa zoologici catturati durante un ciclo annuale e la sua variabilità nel brevissimo, breve e medio termine in funzione dei fattori elencati precedentemente, nonché quello di valutare le possibilità di sopravvivenza delle principali componenti ittio- e zooplanctoniche trascinate attraverso il circuito di raffreddamento.

#### 2.1.1 Controlli sull'impingement

Il piano sperimentalmente adottato per il controllo della biomassa degli organismi catturati alle griglie dell'opera di presa è di tipo stratificato sistematico.

La cadenza dei campionamenti è quindicinale, in modo da tener conto della variabilità a breve termine legata alla fenologia delle componenti biologiche interessate dall'impingement; ogni campionamento è costituito dal censimento

totale (o da una stima) delle catture di un periodo di 24h, per assorbire le oscillazioni a brevissimo termine dipendenti dai cicli circadiani.

Per la stima dell'entità dell'andamento del fenomeno nel medio termine viene adottata una stratificazione basata sui fattori "stagione" e "situazione meteo-oceanografica", secondo lo schema che segue:

STAGIONE	SITUAZIONE METEO-OCEANOGRAFICA	N° MEDIO DI ORGANISMI CATTURATI
PRIMAVERA	Mare calmo	-
	Mare agitato	-
ESTATE	Mare calmo	-
	Mare calmo	-
AUTUNNO	Mare agitato	-
INVERNO	Mare calmo	-

Durante le stagioni di transizione (Primavera ed Autunno), il trattamento dei dati prevede la distinzione tra le due situazioni meteo-oceanografiche più tipiche, che in questi periodi si alternano con frequenza dello stesso ordine di grandezza; la cadenza dei campionamenti può essere quindi occasionalmente modificata allo scopo di effettuare le osservazioni in entrambe le condizioni. In Estate ed in Inverno, invece, i risultati vengono riferiti alle condizioni di mare calmo, che sono prevalenti e quindi rappresentative.

Per migliorare la precisione di queste stime, l'interferenza dovuta alle variazioni dei fattori misurabili e controllabili (portata del circuito di raffreddamento e clorazione) viene annullata fissando i loro valori ad un livello standard per tutti i periodi di campionamento. Quindi, la portata del circuito di raffreddamento viene mantenuta costantemente al suo massimo, mentre la clorazione viene effettuata all'ingresso del circuito (opera di presa a mare) ad intermittenza, con la frequenza più alta consentita dall'impianto.

Stagionalmente, inoltre, viene stimato un indice della variabilità nel brevissimo periodo, eseguendo un ciclo di osservazioni nictemerale continuativo di 48 h; il controllo ha, in particolare, lo scopo di verificare l'entità delle oscillazioni durante le fasi di luce crepuscolare quando, secondo la letteratura, la mobilità del pesce è molto elevata.

#### 2.1.2 Controlli sull'entrainment

Vengono effettuate, con frequenza stagionale, osservazioni

sul tasso di sopravvivenza a breve e lungo termine di campioni ittio- e zooplanctonici prelevati all'ingresso ed all'uscita del circuito di raffreddamento, con clorazione e senza clorazione.

Il controllo viene condotto mantenendo gli organismi-test per 48 h in acqua marina a ricambio continuo e registrando periodicamente la % di vivi e morti.

La possibilità di sopravvivenza delle componenti planctoniche dopo l'attraversamento del circuito di raffreddamento viene valutata in base al confronto fra il tasso di mortalità rilevato all'ingresso e quello rilevato allo scarico, in assenza e in presenza di clorazione.

## 2.1 Metodi

### 2.2.1 Impingement

Il prelievo del materiale biologico viene effettuato, nell'ambito degli strati statistici sopra definiti, setacciando con un attrezzo fisso il canale di scolo dell'acqua di lavaggio delle griglie rotanti del sistema di captazione. Questo canale convoglia al mare tutto il materiale che rimane impigliato nelle griglie prima dell'ingresso nel circuito di raffreddamento; le griglie hanno aperture quadrate di 4 mm di lato, mentre il setaccio ha apertura quadrate di 3 mm di lato.

Sugli organismi prelevati (o su loro sottocampioni rappresentativi) vengono determinati:

- collocazione tassonomica (possibilmente alla famiglia o al genere),

- numero e peso per taxon,
- caratteristiche biometriche individuali.

Ogni campionamento è costituito dal censimento completo (o di sottocampioni casuali rappresentativi) degli organismi trattenuti dall'attrezzo durante un ciclo di 24 h.

Nei casi in cui si ricorra a sottocampioni, la biomassa totale catturata per taxon viene stimata come segue:

$$\hat{X}_i = N \left( \sum_{j=1}^n x_{ij} \right) / n$$

con

$$S_{(i)}^2 = \sum_{j=1}^n \left( x_{ij} - \frac{X_i}{N} \right)^2 / (n-1)$$

in cui:

$\hat{X}_i$  = stima non viziata del n° o peso totale per il taxon "i";

$N$  = n° totale dei sottocampioni che costituiscono il campione;

$n$  = n° dei sottocampioni censiti;

$x_{ij}$  = n° o peso rilevato per il taxon "i" nel sottocampione "j";

$X_i$  = n° o peso totale per il taxon "i" rilevato negli n sottocampioni censiti;

$S_{(i)}^2$  = varianza della stima  $\hat{X}_i$

Quando l'intasamento o l'abbondanza del materiale biologico rende impraticabile il setacciamento continuo, il campionamento viene attuato operando cinque diversi prelievi di 1 ora ciascuno distribuiti nell'arco delle 24 h (2 di

giorno, 1 al tramonto, 1 di notte, 1 all'alba) ed il totale della biomassa viene stimato interpolando linearmente tra i valori orari rilevati ed integrando sull'intero ciclo nictemerale.

Per ogni strato statistico il tasso medio di biomassa catturata viene calcolato secondo lo schema:

$$\tilde{R}_i = \bar{x}_i / \bar{y}_i$$

in cui:

$\tilde{R}_i$  = biomassa media catturata per unità di volume d'acqua nello strato "i";

$\bar{x}_i$  = biomassa media catturata durante le osservazioni dello strato "i" (con varianza  $S^2_{(x_i)}$ );

$\bar{y}_i$  = volume medio dell'acqua prelevata durante le osservazioni dello strato "i" (con varianza nulla).

Essendo il flusso d'acqua costante durante le osservazioni, la varianza del tasso di impingement per strato è:

$$V_{(\tilde{R}_i)} = S^2_{(x_i)} / \bar{y}_i^2$$

I valori medi calcolati per ciascuno degli strati costituiscono la base per la stima dell'entità annuale della sottrazione di biomassa ipotizzabile per il sito di Montalto di Castro.

### 2.2.2 Entrainment

Il campionamento degli organismi da destinare ai tests viene attuato impiegando retini da plancton da 80  $\mu$  per la componente zooplanctonica e da 500  $\mu$  per quella ittio-

planctonica. I prelievi per il controllo della mortalità in ingresso vengono effettuati nella parte finale del canale di adduzione dell'acqua di raffreddamento (vasca di calma), a monte delle griglie rotanti, delle pompe e del condensatore; le catture per il controllo della mortalità dopo l'attraversamento del circuito vengono invece operate nel canale di scarico, campionando i planctonti che hanno subito la serie completa di shocks fisici. Gli organismi destinati alle prove per la valutazione della sopravvivenza dopo clorazione vengono catturati durante le operazioni di trattamento chimico anti-fouling.

I campioni destinati ai tests di sopravvivenza vengono suddivisi in 6 aliquote isolate in contenitori alimentati con acqua di mare in circolazione continua; l'acqua viene prelevata dal circuito di raffreddamento a monte del condensatore, non viene clorata ed è filtrata con un retino di maglie da 60  $\mu$ .

Ad intervalli progressivi (dopo rispettivamente 1-3-6-12-24-48 h dall'inizio del test) viene sospesa la prova di un'aliquota per procedere al suo controllo. L'esame consiste nel conteggio del numero di organismi vivi e morti per selezionati taxa (zooplancton) o per i principali stadi di sviluppo (ittioplancton); il riconoscimento dello stato vivente viene effettuato utilizzando coloranti vitali ed osservando la motilità. Il tasso di mortalità rilevato al termine di ciascun periodo di prova a carico dell'aliquota prelevata in ingresso viene considerato stima della mortalità non dipendente dall'entrainment (fattori naturali, manipolazioni, etc.); il tasso di mortalità corrispondente riscontrato allo scarico, invece, viene considerato come

la combinazione di quello imputabile al trascinarsi con quello imputabile agli altri fattori.

Assumendo che le due mortalità siano causate da fenomeni indipendenti, ne deriva che la loro composizione non è additiva, ma moltiplicativa, per legge probabilistica; quindi:

$$S_S = S_I (1 - M_E)$$

cioè:  $M_E = 1 - \frac{S_S}{S_I}$  con varianza =  $\frac{1 - M_E}{N_S} \left( \frac{1}{S_I} + M_E - 1 \right)$

dove  $S_S$  = tasso di sopravvivenza rilevato allo scarico;

$S_I$  = tasso di sopravvivenza rilevato all'ingresso del circuito;

$M_E$  = stima del tasso di mortalità imputabile all'entrainment;

$N_S$  = n° totale di organismi raccolti allo scarico.

La valutazione della mortalità indotta dal trattamento con il cloro viene effettuata confrontando, sulla base della stessa ipotesi, la stima della mortalità in ingresso senza clorazione con quella dello scarico con clorazione.

I tassi ricavati con questo metodo vengono utilizzati per stimare in via previsionale l'ammontare della sottrazione di biomassa che il fenomeno dell'entrainment può operare nel sito di Montalto di Castro.

3. VALUTAZIONE PREVISIONALE DELL'IMPATTO SULL'ECOSISTEMA  
COSTIERO DI MONTALTO DI CASTRO

3.1 Assunti di base

Vista la documentata affinità ecologica tra le zone di mare interessate dagli insediamenti di Piombino e di Montalto di Castro, si può plausibilmente ritenere che i fattori in grado di differenziare l'entità dei prelievi di biomassa operati dai due impianti siano la portata dell'acqua captata e le caratteristiche di progetto dell'opera di presa e del circuito di raffreddamento.

Per quanto riguarda la portata (circa 5 volte maggiore a Montalto), appare ragionevole effettuare la previsione dell'impingement del sito laziale estrapolando i dati di Piombino sulla base di un'ipotesi di proporzionalità.

Per valutare la biomassa sottratta nel processo di entrainment, invece vengono utilizzati i tassi di sopravvivenza riscontrati presso la Centrale toscana senza particolari correzioni, non sussistendo elementi consistenti per ritenere che l'incremento del volume dell'acqua prelevata debba modificarli significativamente.

Circa gli effetti delle eventuali differenze nella conformazione dell'opera di presa e del circuito di raffreddamento, non sono disponibili informazioni che permettano di stimarli quantitativamente, per cui il giudizio sulla loro importanza viene definito in termini qualitativi, sulla base delle caratteristiche del progetto dettagliato dell'impianto.

## 3.2 Metodi

### 3.2.1 Stima previsionale dell'impingement a Montalto

Visti gli assunti di cui sopra, la stima dell'impingement a Montalto di Castro viene effettuata applicando i tassi di cattura rilevati a Piombino ai volumi d'acqua che si prevede che l'impianto laziale possa prelevare nell'ambito di ciascuno strato statistico, secondo lo schema di calcolo che segue:

$$\tilde{C} = \sum_{i=1}^I \tilde{R}_i \cdot W_i$$

dove:  $\tilde{C}$  = stima della biomassa totale catturata durante un ciclo annuale (a Montalto);  
 $I$  = n° totale degli strati statistici;  
 $\tilde{R}_i$  = biomassa media catturata per unità di volume d'acqua nello strato "i" (a Piombino);  
 $W_i$  = volume totale d'acqua prelevabile nello strato "i" (a Montalto).

L'estensione temporale degli strati riferiti alle condizioni meteo-oceanografiche verrà fissata in base alle frequenze relative delle situazioni di mare calmo e mare agitato rilevabili da osservazioni oceanografiche sull'area di interesse. Per disporre di un valore che dia un'indicazione approssimativa della varianza associabile a  $\tilde{C}$ , nell'ipotesi che le variabilità osservate a Piombino siano osservabili anche per il sito laziale, si può effettuare una stima secondo lo schema:

$$V(\tilde{C}) = \sum_{i=1}^I \left( \frac{1}{n_i} - \frac{1}{N_i} \right) \frac{N_i}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \tilde{R}_i y_{ij})^2$$

- in cui:  $X_{ij}$  = biomassa catturata all'osservazione "j" dello strato "i" (a Piombino);
- $Y_{ij}$  = volume d'acqua prelevato durante l'osservazione "j" dello strato "i" (a Piombino);
- $\bar{X}_i$  = biomassa media catturata nelle osservazioni dello strato "i" (a Piombino);
- $\bar{Y}_i$  = volume medio d'acqua prelevato durante le osservazioni dello strato "i" (a Piombino);
- $\bar{R}_i$  = stima della biomassa media per unità di volume catturata nello strato "i" (a Piombino);
- $n_i$  = n° di osservazioni effettuate nello strato "i" (a Piombino);
- $N_i$  = n° di giorni dello strato "i" (a Montalto);
- $W_i$  = volume totale d'acqua prelevabile nello strato "i" (a Montalto);
- $I$  = n° totale degli strati statistici.

### 3.2.2 Stima previsionale dell'entrainment a Montalto

Nell'ambito del programma R.E.M. sono state raccolte informazioni sulla densità di zoo- e ittioplancton nella zona di mare interessata dal posizionamento dell'opera di presa della centrale di Montalto.

La stima della biomassa planctonica che può essere trascinata all'interno del circuito di raffreddamento viene effettuata sulla base di questi dati e del volume totale d'acqua che si prevede che l'impianto prelevi nello strato

temporale di interesse (stagione).

Per cui:

$$\tilde{E}_i = \bar{D}_i \cdot W_i$$

dove:  $\tilde{E}_i$  = biomassa planctonica trascinabile attraverso il circuito nello strato "i";

$\bar{D}_i$  = densità planctonica media riscontrata a Montalto nello strato "i";

$W_i$  = volume totale d'acqua prelevabile nello strato "i".

Ponendo per semplicità  $W_i$  costante, si può effettuare una stima della varianza di  $\tilde{E}_i$  secondo la relazione:

$$V(\tilde{E}_i) = V(\bar{D}_i) \cdot W_i^2$$

in cui:  $V(\tilde{E}_i)$  = Varianza associata alla stima  $\tilde{E}_i$

$V(\bar{D}_i)$  = Varianza associata alla stima  $\bar{D}_i$ .

La valutazione della biomassa planctonica sottratta all'ambiente marino di Montalto per effetto della mortalità indotta dall'entrainment viene effettuata applicando a  $\tilde{E}_i$  i tassi di mortalità stimati presso la Centrale di Piombino, per cui:

$$S_{E_i} = \tilde{E}_i \cdot M_{E_i}$$

essendo:  $S_{E_i}$  = stima della biomassa planctonica sottratta nello strato "i" (a Montalto);

$M_{E_i}$  = stima del tasso di mortalità indotto dall'entrainment nello strato "i" (a Piombino).

Ponendo  $M_{Ei}$  costante, una stima della varianza associata a  $S_{Ei}$  può essere data da :

$$V_{(S_{Ei})} = V_{(\tilde{E}_i)} \cdot M_{Ei}^2$$

### 3.3 Valutazione previsionale dell'impatto sull'ecosistema marino di Montalto

Le stime previsionali di impingement e di entrainment conseguite dovranno essere confrontate, da una parte, con le densità delle varie componenti biotiche interessate nel tratto di mare antistante Montalto, dall'altra con i prelievi commerciali della zona.

Questi tipi di valutazione, pur necessari per stimare l'impatto della Centrale sull'economia generale dell'ecosistema, si presentano sul piano metodologico molto incerti.

Se le perdite di biomassa previste risultassero, in termini assoluti, poco significative, tale incertezza non comporterebbe ovviamente problemi in relazione alla valutazione dell'impatto complessivo della Centrale.

In caso contrario, nonostante le obbiettive difficoltà metodologiche sopra ricordate, occorrerebbe comunque pervenire a valutazioni della densità, produzione e prelievi commerciali.

I controlli a questi fini potranno essere programmati dopo l'esito delle indagini sopra delineate.

Nell'ambito del programma R.E.M., comunque, sono già state effettuate stime delle densità dell'ittiobenthos e del

macrobenthos nella fascia di mare compresa tra l'Argentario e la foce del fiume Fiora, oltre che dell'abbondanza delle componenti zoo- e ittioplanctoniche nell'area interessata dal progetto dell'opera di presa.

## ALLEGATO n. 2

ATTUAZIONE DELLA PRESCRIZIONE ENEA  
CONTENUTA NEL PUNTO b) DELL'ATTO DI  
APPROVAZIONE DEL PROGETTO PARTICOLA-  
REGGIATO n. 20 (lettera ENEA prot. 31224  
del 22/7/1983 riportata in allegato "A"):

"b) CAMPAGNA DI MISURE ATTE A CONVA-  
LIDARE LA APPLICABILITA' DEL MODELLO  
DI CALCOLO TRIMDI DEL TITOLARE, ALLO  
SCARICO TERMICO DELL'IMPIANTO ALTO  
LAZIO "

GRUPPO SICUREZZA

CENTRALE NUCLEARE ALTO LAZIO

STUDI ED INDAGINI PER IL SODDISFACIMENTO DELLE RICHIESTE DELLE  
AUTORITA' IN MERITO ALLA PREVISIONE E VERIFICA DELLA PERTURBA-  
ZIONE TERMICA IN MARE:

VALIDAZIONE DEL CODICE TRIMDI SULLA BASE DI MISURE IDROTERMICHE  
ALLO SCARICO DELLA CENTRALE DI TORVALDALIGA NORD

( INFORMAZIONE XVI/Z-32 )

ENEL C.R.T.N. - MILANO

AGOSTO 1987

AZ1.0300.LRXT.2099.01

CENTRALE DI ALTO LAZIO  
STUDI ED INDAGINI PER IL SODDISFACIMENTO  
DELLE RICHIESTE DELLE AUTORITA'  
IN MERITO ALLA PREVISIONE E VERIFICA  
DELLA PERTURBAZIONE TERMICA IN MARE

ENEL-300  
07013908

29LUG87

Validazione del codice TRIMDI  
sulla base di misure idrotermiche allo scarico  
della Centrale di Torvaldaliga Nord

Luglio 1987  
3523 ADM/EP/ta

AZI.0314.RRXK.3386/c1

CENTRALE DI ALTO LAZIO  
STUDI ED INDAGINI PER IL SODDISFACIMENTO DELLE RICHIESTE  
DELLE AUTORITA' IN MERITO ALLA PREVISIONE E VERIFICA  
DELLA PERTURBAZIONE TERMICA IN MARE

Parte II:

Validazione del codice TRIMDI sulla base di misure idrotermiche  
allo scarico della Centrale di Torvaldaliga Nord

Sommario

Si descrivono i risultati di un confronto tra la risposta di un modello matematico di diffusione termica della zona di mare antistante lo scarico della Centrale di Torvaldaliga Nord, basato sul codice di calcolo TRIMDI, e dati idrotermici rilevati nello stesso sito.

Una moderna tecnica di rilievo di temperatura, basata sull'impiego di termometri registratori, ha consentito la facile individuazione di una condizione stazionaria, utilizzata per la validazione.

Dal confronto tra risultati numerici e dati sperimentali risulta un buon comportamento del modello matematico e perciò una convalida indiretta degli studi previsionali effettuati con il codice TRIMDI per situazioni simili.

## 1. Introduzione

La presente relazione riporta i procedimenti e i risultati di un confronto tra un modello matematico della zona di mare antistante il canale di scarico dell'acqua di raffreddamento dei condensatori della centrale termoelettrica di Torvaldaliga Nord e misure di temperatura eseguite nella stessa zona.

Il modello matematico è basato sull'impiego del codice di calcolo TRIMDI per lo studio della diffusione termica (o di sostanze inquinanti) in correnti liquide.

Le misure a cui si fa riferimento sono state eseguite a cura dell'Unità Laboratorio Centrale di Piacenza (DCO) dell'ENEL, nel periodo 17-18/3/1987 e sono descritte in dettaglio in [1].

Lo scopo del confronto è quello di verificare il grado di approssimazione ottenibile dai risultati del modello matematico, al fine di ricavare elementi di giudizio per la valutazione (e validazione) di risultati numerici ottenuti con il codice TRIMDI nel corso di studi previsionali, con particolare riferimento a quelli svolti per la Centrale di Alto Lazio [2].

Pur essendo il codice TRIMDI basato su equazioni di bilancio non stazionarie, non sembrano realizzabili confronti con dati sperimentali rilevati in situ in condizioni non stazionarie. Occorrerebbe infatti una grande mole di dati per descrivere la distribuzione spazio-temporale delle grandezze idrotermiche in gioco (velocità della corrente e temperatura) e per definire in modo univoco la condizione iniziale e le condizioni al contorno.

Per tale motivo si ritengono più praticabili confronti su situazioni stazionarie (o quasi tali), anche se queste sono difficilmente individuabili in mare per la caratteristica variabilità delle condizioni soprattutto di vento e di corrente nei siti costieri.

Tali difficoltà erano già state messe in luce in occasione di precedenti confronti di risultati del codice TRIMDI con dati sperimentali [3, 4].

Le passate esperienze hanno suggerito perciò l'adozione di procedure diverse nel rilievo delle temperature: nel caso in esame, piuttosto che rilievi istantanei effettuati da una imbarca-

zione che si sposta ciclicamente in diverse stazioni di misura, si sono utilizzati diversi termometri registratori, tenuti in posizioni fisse e operanti contemporaneamente per parecchie ore.

L'elaborazione successiva dei dati registrati ha permesso di individuare un periodo di alcune ore in cui la situazione termica, a meno di fluttuazioni attribuibili a fenomeni turbolenti a grande scala spazio-temporale, poteva essere accettata come stazionaria.

Tale situazione è stata simulata con il modello matematico assegnando in ingresso i dati idro-termici al contorno e producendo in uscita la distribuzione spaziale di velocità e temperatura nella zona di mare riprodotta.

Nel seguito, dopo aver richiamato le principali caratteristiche del codice TRIMDI, si descrivono in dettaglio, i dati di ingresso del modello e i risultati prodotti, concludendo con considerazioni sul confronto con la situazione reale.

## 2. Principali caratteristiche del codice TRIMDI

Prima di descrivere l'applicazione specifica si ritiene utile richiamare le caratteristiche principali del codice TRIMDI, rimandando a [5, 6] per ulteriori approfondimenti.

Il codice di calcolo è finalizzato alla simulazione numerica della dispersione del calore (o di una sostanza solubile o trasportabile in sospensione) in corpi d'acqua a superficie libera (fiume, lago, mare).

Esso tiene conto delle variazioni spaziali della densità dell'acqua derivanti dalle variazioni di temperatura (o di concentrazione) in modo che possono essere riprodotte correnti convettive di densità e fenomeni di stratificazione.

La base matematica è costituita dalle equazioni generali della fluidodinamica e del trasporto in forma tridimensionale, modificate sulla base delle seguenti ipotesi:

- a) Tutti gli scarichi e le prese rispettivamente apportano e sottraggono acqua con quantità di moto prevalentemente orizzontale in modo che la componente verticale dell'accelerazione delle particelle d'acqua risulti in ogni punto trascurabile rispetto all'accelerazione di gravità. Per conseguenza la distribuzione verticale della pressione segue la legge idrostatica (tenendo conto della variazione di densità in senso verticale).
- b) Le variazioni di densità dovute alle variazioni di temperatura (o di concentrazione) sono introdotte solo nell'equazione di equilibrio verticale (ipotesi di Boussinesq); ciò consente una corretta valutazione dei gradienti di pressione che danno origine alle correnti convettive e quindi ai fenomeni di galleggiamento e stratificazione.
- c) La dimensione caratteristica della profondità è supposta piccola rispetto a quella delle distanze orizzontali. Per conseguenza la componente verticale di velocità dell'acqua si può supporre altrettanto piccola rispetto a quelle orizzontali (ma non viene trascurata per consentire la simulazione delle circolazioni in piani verticali);

In base alle precedenti ipotesi le equazioni sulle quali

si fonda il codice TRIMDI sono le seguenti:

- equazione di bilancio della massa per fluidi incomprimibili;
- equazioni di bilancio della quantità di moto nelle direzioni orizzontali ortogonali  $x$  e  $y$ , scritte in termini di componenti di velocità  $u, v, w$  mediate rispetto alle fluttuazioni turbolente;
- equazione di bilancio della quantità di moto nella direzione verticale  $z$ , che per l'ipotesi a), si riduce all'equazione di equilibrio idrostatico;
- equazione di bilancio del calore (o della massa di un soluto);
- equazione di stato che definisce la legge di dipendenza della densità dell'acqua dalla temperatura (o dalla concentrazione del soluto);
- condizione cinematica sulla superficie libera;
- appropriate condizioni sui contorni solidi (fondo e costa) e sui contorni aperti (quelli dai quali l'acqua può entrare o uscire).

Il trattamento numerico delle equazioni enumerate si articola come segue.

Una prima discretizzazione è ottenuta suddividendo il dominio occupato dall'acqua in un numero  $L$  di strati orizzontali sovrapposti, tutti di spessore costante eccettuato quello superficiale il cui spessore dipende dalla configurazione spazio-temporale della superficie libera. Un procedimento di integrazione e di media sugli spessori dei vari strati suddivide ogni equazione di base in  $L$  equazioni ridotte (in quanto viene eliminata la variabile indipendente  $z$ ). In questo modo, per ogni strato di indice  $k$  ( $k = 1, \dots, L$ ) si hanno le seguenti variabili: componenti di velocità  $\bar{u}_k, \bar{v}_k, \bar{w}_k$ ; temperatura  $\bar{T}_k$ , pressione  $\bar{p}_k$ , densità  $\bar{\rho}_k$  (come valori medi sullo spessore dello strato) e, per il solo strato superficiale ( $k = L$ ), il livello della superficie libera  $\eta$ . Tutte le precedenti variabili sono funzioni delle coordinate orizzontali  $x, y$  e del tempo  $t$ .

Ciascuna equazione risultante dalla integrazione in direzione verticale viene poi discretizzata nel piano orizzontale  $x, y$  secondo un metodo alle differenze finite appoggiato ad un sistema di tre griglie a maglie rettangolari sfalsate [7].

Ne deriva un sistema di equazioni differenziali ordina-

rie che viene integrato nel tempo per mezzo dello schema implicito di Crank-Nicholson [7].

Questa procedura conduce ad un sistema con un elevato numero di equazioni non-lineari, in un ugual numero di incognite (tipicamente alcune decine di migliaia nelle applicazioni di interesse pratico), la cui soluzione richiede un ciclo iterativo ad ogni passo temporale. Nel codice TRIMDI viene impiegata allo scopo una estensione del ben noto metodo SIMPLE [8].

Gli sforzi di Reynolds che appaiono nelle equazioni di bilancio delle quantità di moto orizzontali vengono trattati come sforzi viscosi turbolenti, mentre gli analoghi termini nell'equazione di bilancio del calore vengono trattati come flussi diffusivi turbolenti. Un semplice modello di turbolenza, basato sui concetti di lunghezza di mescolamento [9] e di viscosità turbolenta a scala sub-griglia [10], permette di fissare i valori locali della viscosità  $\bar{\nu}_{tk}$  e della diffusività  $\bar{\alpha}_{tk}$  turbolente, in ogni strato come funzioni del posto. Questi valgono per definire rispettivamente gli sforzi e i flussi diffusivi turbolenti che si trasmettono orizzontalmente (attraverso piani verticali). I valori locali di  $\bar{\nu}_{tk}$  e  $\bar{\alpha}_{tk}$  derivanti dal modello di turbolenza, quando risultano inferiori ai corrispondenti valori  $\bar{\nu}_{ta}$  e  $\bar{\alpha}_{ta}$  legati alla turbolenza ambiente, assegnati dall'utilizzatore, vengono sostituiti con questi ultimi. I valori di  $\bar{\nu}_{tk}$  e  $\bar{\alpha}_{tk}$  vengono inoltre opportunamente ridotti, per definire gli sforzi e i flussi diffusivi turbolenti che si trasmettono verticalmente (attraverso piani orizzontali), per tener conto di fenomeni di stratificazione. Per questo si fa uso delle relazioni semi-empiriche, proposte in [11], che riducono i valori di  $\bar{\nu}_{tk}$  e  $\bar{\alpha}_{tk}$  al crescere del numero di Richardson che misura il grado di stratificazione.

Il codice tiene conto anche dello scambio di calore con l'atmosfera attraverso la superficie libera per mezzo di un opportuno termine che compare nell'eq. del bilancio del calore nello strato superficiale e che rappresenta il flusso di calore per unità di superficie. Quest'ultimo viene supposto proporzionale alla differenza tra la temperatura locale nello strato superficiale e la temperatura dell'acqua non perturbata [12]. Il coefficiente di proporzionalità  $K_s$ , noto con il nome di coefficiente di scambio del calore in eccesso, dipende essenzialmente dalla velocità del

vento e dalla temperatura naturale dell'acqua (temperatura indisturbata). In assenza di vento tale coefficiente ha il suo valore minimo che si colloca intorno ai  $20 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Si deve comunque considerare che lo scambio di calore con l'atmosfera, per valori tipici del  $K_s$  ( $\leq 100 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ), ha influenza trascurabile sulla distribuzione della temperatura nel corpo d'acqua entro distanze di qualche km dallo scarico (campo vicino e intermedio), mentre fa sentire la sua influenza a distanze maggiori (campo lontano).

Essendo il modello analitico di base costituito dalle equazioni generali della fluidodinamica, il codice TRIMDI può trattare, in via di principio, una ampia gamma di situazioni variabili per forma e dimensioni del volume d'acqua recipiente, per configurazione del fondo e dei contorni, per numero e posizione degli scarichi e delle prese, per intensità e direzione delle correnti naturali.

Per quanto concerne queste ultime, non esistono limitazioni di principio sul valore delle velocità riproducibili con il TRIMDI in quanto anche le correnti naturali sono governate dalle stesse equazioni di base.

Limitazioni nell'impiego del codice TRIMDI possono derivare dal numero di variabili da trattare, dipendenti dal numero di strati orizzontali e dal numero di celle in ciascuno strato orizzontale. E' ovvio che nel fissare la fittezza del reticolo di calcolo si devono seguire criteri basati sul giusto compromesso tra l'approssimazione numerica e il costo del calcolo. In generale si può dire che reticoli costituiti da  $6 \div 8$  strati orizzontali, con spessori variabili da qualche decimetro ad alcuni metri, ciascuno con maglie di  $30 \times 30$  celle in senso orizzontale, di dimensioni variabili da qualche decina di metri a qualche centinaio di metri, permettono di trattare molti problemi pratici con un onere di calcolo accettabile.

### 3. Dati caratteristici del modello matematico

#### 3.1 Geometria del reticolo

Sulla base della batimetria della zona costiera anti-stante lo scarico della centrale, è stato costruito un reticolo tridimensionale coerente con i procedimenti di discretizzazione del codice TRIMDI.

Tale reticolo copre, nel piano orizzontale, un'area rettangolare le cui dimensioni sono di 5460 m (-800 m, +4660 m) nella direzione N-NE (asse x) e di 6000 m (0 m, +6000 m) nella direzione O-NO (asse y).

Esso è composto di 34 x 34 celle rettangolari nelle due direzioni x e y (Fig. 1). Le celle sono di dimensioni più piccole in vicinanza dello scarico e gradualmente maggiori allontanandosi da questo.

In direzione verticale il reticolo è composto di n. 7 strati orizzontali sovrapposti. Qui di seguito sono tabellati: l'indice k di ciascuno strato e il relativo spessore  $\Delta z$ , le quote z dei piani di separazione e le quote  $z_m$  dei piani medi dei 7 strati.

k	$\Delta z$ (m)	z (m)	$z_m$ (m)	
		0.0		
7	0.5	- 0.5	- 0.25	} scarico
6	1.0	- 1.5	- 1.00	
5	1.0	- 2.5	- 2.00	
4	1.5	- 4.0	- 3.25	
3	2.0	- 6.0	- 5.00	
2	4.0	- 10.0	- 8.00	
1	10.0	- 20.0	- 15.00	presa

Nella precedente tabella sono anche indicati gli strati dove sono collocati lo scarico e la presa.

La scelta degli spessori degli strati più superficiali ( $k = 7,6,5$ ) è stata dettata dalla opportunità di far coincidere le quote medie degli strati con le quote dei sensori utilizzati per i rilievi di temperatura (-0.25 m, -1.00 m, -2.00 m); ciò al fine di rendere più immediato il confronto tra risultati numerici e misure.

Le Figg. 1 ÷ 6 mostrano le proiezioni orizzontali dei 7 strati del reticolo.

Il numero complessivo di celle tridimensionali è perciò  $34 \times 34 \times 7 = 8092$ ; ciò significa che ad ogni passo temporale è richiesta la soluzione di un sistema di  $8092 \times 6 + 34 \times 34 = 49708$  equazioni algebriche non lineari (con altrettante incognite).

Essendo la situazione reale da riprodurre caratterizzata da una modesta corrente in direzione N-NE, il reticolo è leggermente dissimmetrico rispetto all'asse dello scarico.

### 3.2 Dati caratteristici della situazione reale da riprodurre con il modello matematico

Come già accennato, nel corso della campagna di misura eseguita nel sito della centrale di Torvaldaliga Nord, è stato individuato un periodo di tempo, compreso tra le ore 21 del 17.3.87 e le ore 2 del 18.3.87, in cui la situazione idrotermica può considerarsi pressochè stazionaria. Si è perciò deciso di simulare tale situazione con il modello matematico.

La condizione prescelta è caratterizzata dai seguenti dati [1]:

Potenza elettrica della centrale	2580 MW
Portata prelevata e scaricata	112 m <sup>3</sup> /s
Temperatura dell'acqua alla presa	11.8 °C
Temperatura dell'acqua allo scarico	18.7 °C
Incremento termico allo scarico	6.9 °C
Temperatura dell'acqua ambiente a - 2 m	12.2 °C
" " " a - 1 m	12.3 °C
" " " a - 0.25 m	12.7 °C
Velocità della corrente marina ambientale, diretta	

verso NW (parallela alla costa)

0.03 ÷ 0.06 m/s

Ai precedenti dati si sono poi aggiunti i seguenti altri, necessari per l'input al codice TRIMDI

Larghezza della sezione di scarico	50 m
Profondità della sezione di scarico	1.5 m
Area della sezione di scarico	75 m <sup>2</sup>
Velocità media allo scarico	1.5 m/s
Velocità media alla presa	0.18 m/s
Salinità	38 ‰
Temperatura dell'acqua ambiente	11.8 °C
Coefficiente di scambio del calore in eccesso	20 W/m <sup>2</sup> °C
Viscosità e diffusività turbolente ambiente	0.002 m <sup>2</sup> /s
Coefficiente che definisce la lunghezza di mescolamento (v. [6])	0.07

Riguardo ai precedenti dati, si fa notare quanto segue:

- Il codice TRIMDI non può simulare situazioni caratterizzate da un gradiente verticale stabile della temperatura naturale indisturbata dell'acqua, come si riscontra nella situazione reale in oggetto. Ciò perchè tale gradiente tenderebbe gradualmente ad annullarsi al procedere del calcolo, coerentemente con le equazioni di base del codice.  
Per piccole variazioni di temperatura (rispetto al sovrizzo termico allo scarico) è comunque possibile eseguire il calcolo per una temperatura dell'acqua ambiente uniforme e poi effettuare una correzione delle temperature restituite dal codice secondo un semplice procedimento illustrato in Appendice.  
Nel caso in esame si è fatto riferimento ad una temperatura indisturbata dell'acqua di 11.8 °C e poi si sono corrette le temperature nei tre strati superficiali per i quali sono state rilevate differenti temperature ambiente.
- Per il valore assegnato al coefficiente di scambio del calore in eccesso vale quanto già detto al par. 2.

- Essendo lo scopo principale di questo studio la validazione dei calcoli previsionali effettuati con il TRIMDI per lo scarico termico della Centrale di Alto Lazio [2], i valori dei parametri che definiscono il modello di turbolenza sono stati mantenuti uguali a quelli adottati nei calcoli previsionali citati. Perciò nessun aggiustamento di tali parametri è stato effettuato al fine di un miglioramento del confronto tra risultati numerici e sperimentali.

### 3.3 Condizioni al contorno

Per i 7 strati sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno (v. Figg. 1 ÷ 7).

Lato AB (contorno di ingresso della corrente costiera):

componente di velocità secondo x  $u = 0.0427$  m/s;

componente di velocità secondo y  $v = 0$ ;

temperatura  $T = T_a = 11.8$  °C (temperatura ambiente indisturbata).

Lato CD (contorno di uscita della corrente costiera):

componenti di velocità  $u = 0.05$  m/s,  $v = 0$ ;

derivata normale di temperatura = 0.

Sebbene quest'ultima condizione può non corrispondere alla realtà, si ritiene ammissibile che, data la distanza, essa non influenzi in modo apprezzabile la distribuzione di temperatura nel campo più vicino allo scarico.

I valori diversi di velocità della corrente sui due tratti di contorno aperto AB e CD (ai quali corrispondono diverse aree di sezione verticale) derivano dalla necessità di far coincidere le portate globali dovute alla corrente, rispettivamente entrante e uscente, per evitare accumulo o perdita d'acqua nel volume racchiuso dal reticolo. I valori assegnati alla corrente sui tratti AB e CD realizzano una velocità di corrente costiera, nella zona antistante lo scarico, di circa 0.045 m/s, pari al valore medio osservato nel periodo scelto per la simulazione.

Lato BD (contorno di mare aperto):

data-la grande distanza dallo scarico si assume tale tratto di contorno come linea di corrente impermeabile al calore assegnando  $\partial u/\partial y = 0$ ;  $v = 0$ ;  $\partial T/\partial y = 0$ .

Lato AC (linea di costa):

la linea di costa è stata riprodotta con fedeltà topografica per circa 1 km a destra e sinistra dello scarico, mentre è stata supposta rettilinea al di là di tale distanza. Ciò perchè è ammissibile che, oltre tale distanza, l'influenza dei particolari topografici sul getto caldo è trascurabile.

Lungo tale contorno viene posto  $u = v = 0$  e derivata normale di temperatura = 0.

Si noti che questo tratto di contorno ha forme differenti da strato a strato per adattarsi alla batimetria del sito.

Lato EF (sezione dello scarico, strati 7 e 6, v. Fig. 1):

componenti di velocità  $u = 0$ ,  $v = 1.5$  m/s;  
temperatura  $T = 18.7$  °C.

Lato GH (sezione della presa, strato 1, v. Fig. 6):

componenti di velocità  $u = 0$ ,  $v = -0.19$  m/s;  
per la temperatura  $\partial T/\partial y = 0$ .

### 3.4 Condizioni iniziali

Essendo il TRIMDI basato su equazioni valide in regime non-stazionario, quando si tratta di riprodurre una situazione stazionaria questa viene raggiunta simulando un transitorio che, a partire da una condizione iniziale assegnata, conduce alla stazionarietà.

Nel caso in esame la condizione iniziale da cui si è partiti corrisponde a quella con velocità  $u = 0.03$  m/s,  $v = 0$  e temperatura  $T = 11.8$  °C in tutte le celle del reticolo.

A partire da questa condizione si è simulato un primo transitorio della durata di 3600 s (tempo reale) nel quale si sono

fatte variare con legge lineare le velocità sui contorni dai valori iniziali a quelli specificati al punto 3.3. In questa fase non è stata attivata l'equazione del calore.

Successivamente è stato attivato anche lo scarico termico e si è simulato un transitorio di ulteriori 216000 s (tempo reale) fino a soddisfare praticamente il bilancio globale nel sistema tra calore entrante e uscente. E' da notare comunque che già fra i 60000 s e i 70000 s le temperature nella zona più vicina allo scarico (distanze entro i 2 km) risultano praticamente stabilizzate sul valore di regime stazionario.

#### 4. Risultati e confronto con i dati sperimentali

Nelle Figg. 7 ÷ 13 sono rappresentati i campi di velocità ottenuti dal TRIMDI, relativi ai 7 strati del reticolo tridimensionale, da quello superficiale  $k = 7$  al più profondo  $k = 1$ . Tali campi sono descritti per mezzo di frecce orientate, rappresentative della proiezione sul piano orizzontale del vettore velocità in tutte le celle di ciascuno strato.

Nelle Figg. 14 ÷ 20 sono rappresentati i campi di temperatura relativi ai 7 strati, anche qui da quello superficiale al più profondo.

Tali campi di temperatura sono descritti per mezzo di curve isoterme corrispondenti a valori di sovrizzo termico, rispetto alla temperatura ambiente di ciascuno strato, intervallati regolarmente di  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Per ottenere la rappresentazione grafica delle isoterme di cui sopra è stato necessario effettuare la correzione delle temperature restituite dal codice TRIMDI, di cui si è già accennato nel par. 3.2, per tener conto del fatto che le temperature ambiente nei 3 strati superficiali sono diverse dall'unica temperatura ambiente ( $11.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) assegnata al TRIMDI.

Questa correzione di temperature è stata ottenuta operando solo al livello di rappresentazione grafica così come dettagliatamente descritto in Appendice.

Nelle Figg. 14, 15, 16 sono anche rappresentate mediante cerchietti anneriti le posizioni delle stazioni di misura termometriche, vicino a ciascuna delle quali è riportato il valore medio del sovrizzo termico ottenuto dalla elaborazione dei valori di temperatura registrati nell'arco di tempo di 5 ore scelto per la simulazione numerica [1].

Nella Fig. 21 è infine riportato il confronto tra i sovrizzi termici calcolati e misurati, ottenuti attraverso un'operazione di media pesata, su uno spessore di 2 m a partire dalla superficie del mare, delle temperature corrispondenti ai 3 strati superficiali (per i valori numerici) e alle 3 quote  $-0.25 \text{ m}$ ,  $-1.00 \text{ m}$ ,  $-2.00 \text{ m}$  (per i valori misurati). I pesi assunti sono rispettivamente (dall'alto verso il basso)  $0.50 \text{ m}$ ,  $1.00 \text{ m}$ ,

0.50 m e sono intesi come spessori di influenza dei valori che si mediano. La stessa media è stata effettuata sulle temperature ambientali dei 3 strati più superficiali 12.7 °C, 12.3 °C, 12.2 °C, ottenendo una temperatura ambiente media di 12.4 °C. Rispetto a quest'ultima sono state corrette le temperature fornite dal TRIMDI e mediate sullo spessore di 2 m, per poi ottenere la rappresentazione grafica di Fig. 21.

Tale processo di media è stato eseguito ai fini di un controllo del rispetto, da parte dello scarico caldo della Centrale di Torvaldaliga Nord, della Legge N. 319/76 (G.U. N. 141 del 29.5.76) che regola gli scarichi nelle acque, interpretata secondo la Circolare del Ministero della Sanità N. 105 del 2.7.73.

Dalla Fig. 21, oltre ad un migliore riscontro tra risultati numerici e dati sperimentali, risulta anche un rispetto con ampi margini delle legge citata, in quanto la massima distanza dallo scarico dell'isoterma  $\Delta T = 3 \text{ °C}$  risulta inferiore a 550 m.

## 5. Osservazioni conclusive

Dal confronto tra risultati numerici e dati sperimentali nei 3 strati superficiali risulta un buon comportamento generale del modello matematico, con qualche scostamento locale imputabile a diverse cause di cui si enumerano le principali:

- Errore di discretizzazione legato sia alle dimensioni delle celle nel piano orizzontale sia agli spessori degli strati. Ovviamente tale errore si può teoricamente ridurre aumentando i gradi di libertà del sistema; ma ciò si scontra oltre che con la necessità di contenere il costo del calcolo entro limiti accettabili, anche con i limiti di potenzialità dei mezzi di calcolo a disposizione.
- Il confronto viene fatto tra temperature misurate puntualmente con temperature calcolate che hanno il significato di valori locali mediati nello spessore degli strati.
- Non è stato inserito nel calcolo l'azione del vento che, per quanto di debole intensità nel periodo di tempo simulato, avrebbe potuto produrre qualche effetto nei risultati numerici, specie nello strato superficiale. Nell'attuale versione del codice TRIMDI non è stata ancora verificata la corretta riproduzione degli sforzi tangenziali superficiali dovuti al vento e perciò, sebbene questi ultimi siano già previsti nei dati del codice, si preferisce non utilizzarli.

L'accordo tra calcolo e realtà migliora ulteriormente nel confronto dei valori di temperatura mediati sullo spessore di 2 m in quando interviene una certa compensazione degli errori nei singoli strati.

Si può pertanto concludere che, tenuto conto della complessità dei fenomeni che regolano la diffusione in mare, i risultati del presente studio confermano la validità del codice TRIMDI che, allorchè utilizzato con criteri corretti, è in grado di fornire previsioni ingegneristicamente accettabili.

## 6. Appendice

### Correzione delle temperature nel caso di alterazione della temperatura ambiente

Il procedimento di correzione delle temperature si basa sulla seguente simbologia:

$T_a$  = temperatura ambiente non alterata

$T_a^*$  = temperatura ambiente alterata

$\Delta T_a = T_a^* - T_a$  = alterazione della temperatura ambiente

$T$  = temperatura in un punto generico del getto caldo per temperatura ambiente  $T_a$

$T^*$  = temperatura in un punto generico del getto caldo per temperatura ambiente  $T_a^*$

$\Delta T = T - T_a$  = sovranzo termico corrispondente a  $T$

$\Delta T^* = T^* - T_a^*$  = sovranzo termico corrispondente a  $T^*$

$T_s$  = temperatura allo scarico

$\Delta T_s = T_s - T_a$  = sovranzo termico allo scarico rispetto a  $T_a$

$\Delta T_s^* = T_s - T_a^*$  = sovranzo termico allo scarico rispetto a  $T_a^*$

Un volume d'acqua unitario, in un generico punto all'interno del getto caldo, a temperatura  $T$ , deriva dal miscelamento di una frazione di volume  $v$  a temperatura  $T_s$  con una frazione di volume  $(1 - v)$  a temperatura ambiente  $T_a$

$$1 \cdot T = v T_s + (1 - v) T_a \quad (\text{A.1})$$

cioè

$$\Delta T = T - T_a = v (T_s - T_a) = v \Delta T_s \quad (\text{A.2})$$

La frazione di volume  $v$  può essere interpretata come un coefficiente di diluizione e si può ammettere che essa rimanga costante nell'ambito di variazioni  $\Delta T_a$  della  $T_a$  piccole rispetto a  $\Delta T_s$  (non si modifica in maniera apprezzabile la spinta al galleggiamento).

Se la temperatura ambiente si modifica a  $T_a^* = T_a + \Delta T_a$

la (A.1) si modifica in

$$1 \cdot T^* = v T_s + (1 - v) T_a^* \quad (A.3)$$

cioè

$$\Delta T^* = T^* - T_a^* = v (T_s - T_a^*) \quad (A.4)$$

Rapportando (A.4) e (A.2) si ottiene

$$\frac{\Delta T^*}{\Delta T} = \frac{T^* - T_a^*}{T - T_a} = \frac{T_s - T_a^*}{T_s - T_a} = \frac{\Delta T_s^*}{\Delta T_s} = \frac{\Delta T_s - \Delta T_a}{\Delta T_s} \quad (A.5)$$

Da cui le seguenti formule:

$$\Delta T^* = \frac{\Delta T_s - \Delta T_a}{\Delta T_s} \cdot \Delta T \quad (A.6)$$

che fornisce il sovrizzo termico corretto per una variazione  $\Delta T_a$  della temperatura ambiente;

$$\Delta T = \frac{\Delta T_s}{\Delta T_s - \Delta T_a} \cdot \Delta T^* \quad (A.7)$$

che riporta al valore  $\Delta T$ , corrispondente alla temperatura ambiente non alterata  $T_a$ , un sovrizzo termico misurato (o calcolato)  $\Delta T^*$  in corrispondenza di una temperatura ambiente alterata di  $\Delta T_a$ .

Le precedenti formule possono essere semplicemente utilizzate in fase di plottaggio dei risultati numerici del TRIMDI.

Infatti, con riferimento ad un dato strato del reticolo tridimensionale, per il quale la temperatura ambiente si modifica da  $T_a$  a  $T_a^*$ , all'isoterma di valore  $T = T_a + \Delta T$ , relativo a  $T_a$ , corrisponderà il nuovo valore  $T^* = T_a^* + \Delta T^*$  relativo a  $T_a^*$ , dove  $\Delta T^*$  è ricavato dalla (A.6).

Viceversa, volendo disegnare l'isoterma corrispondente al valore di temperatura corretto  $T^* = T_a^* + \Delta T^*$  sarà sufficiente disegnare l'isoterma di valore non corretto  $T = T_a + \Delta T$ , dove  $\Delta T$  si deduce da  $\Delta T^*$  per mezzo della (A.7).

## 7. Riferimenti

- [1] Centrale di Alto Lazio - Studi ed indagini per il soddisfacimento delle richieste delle Autorità in merito alla previsione e verifica della perturbazione termica in mare - Parte I: Campagna di misure della perturbazione termica in mare indotta dalla Centrale di Torvaldaliga Nord, Marzo 1987  
Relazione ENEL-DCO/ULC n. aAcT/12/87
- [2] Centrale dell'Alto Lazio - Simulazioni con modello matematico 3D della diffusione in mare dell'acqua di raffreddamento  
Relazione ENEL/DSR/CRIS, n. 3127, Giugno 1983
- [3] C.N.R. - Istituto di Ricerca sulle Acque (I.R.S.A.)  
"Indagine sull'immissione del fiume Tevere nel Mar Tirreno"  
Quaderno n. 62, 1983
- [4] A. DI MONACO, A. LEONCINI  
"Applicazioni di un modello matematico tridimensionale di diffusione in ambiente idrico"  
Atti del XIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Pavia, Settembre 1984
- [5] G. DINELLI, V. BOGANI, A. COLOMBO, A. TOZZI  
"Application of three-dimensional modeling to intakes and outlets design studies"  
Proceeding of the 18th International Congress of the IAHR, Cagliari, 1979
- [6] V. BOGANI, A. DI MONACO, G. DINELLI, A. LEONCINI  
"Analisi termo-idraulica della dispersione di inquinanti in corpi idrici complessi: applicazione alla foce del Tevere"  
ENEL, Rassegna Tecnica, n. 3, 1983
- [7] S.V. PATANKAR  
"Numerical heat transfer and fluid flow"  
Mc Graw Hill, London, 1980

- [8] 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, B.L., TN/A/45,  
June 1981
- [9] B.E. LAUNDER, D.B. SPALDING  
"Mathematical models of turbulence"  
Academic Press, 1972
- [10] J.W. DEARDOFF  
"On the magnitude of the subgrid scale eddy coefficient"  
Journal of Computational Physics, Vol. 7, 1971
- [11] W.H. MUNK, E.R. ANDERSON  
"Notes on the theory of the thermocline"  
Journal of Marine Research, Vol. 1, 1948
- [12] H.E. JOBSON  
"The dissipation of excess heat from water systems"  
A.C.S.E. Journal of Power Div., Vol. 99, No P01, May 1973

FIGURE

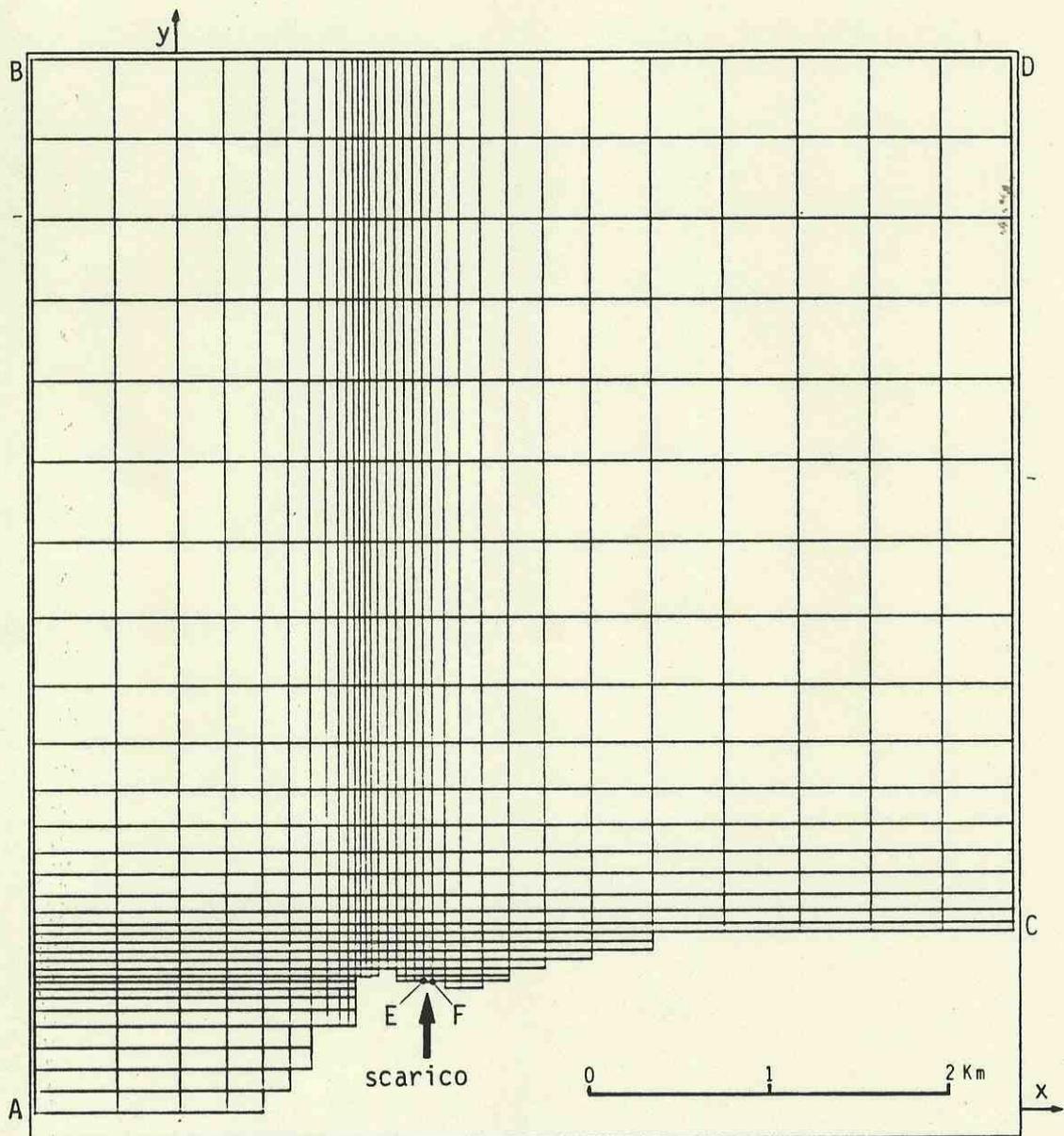


Fig. 1 - Strati orizzontali  $k = 7, 6$  del reticolo tridimensionale.

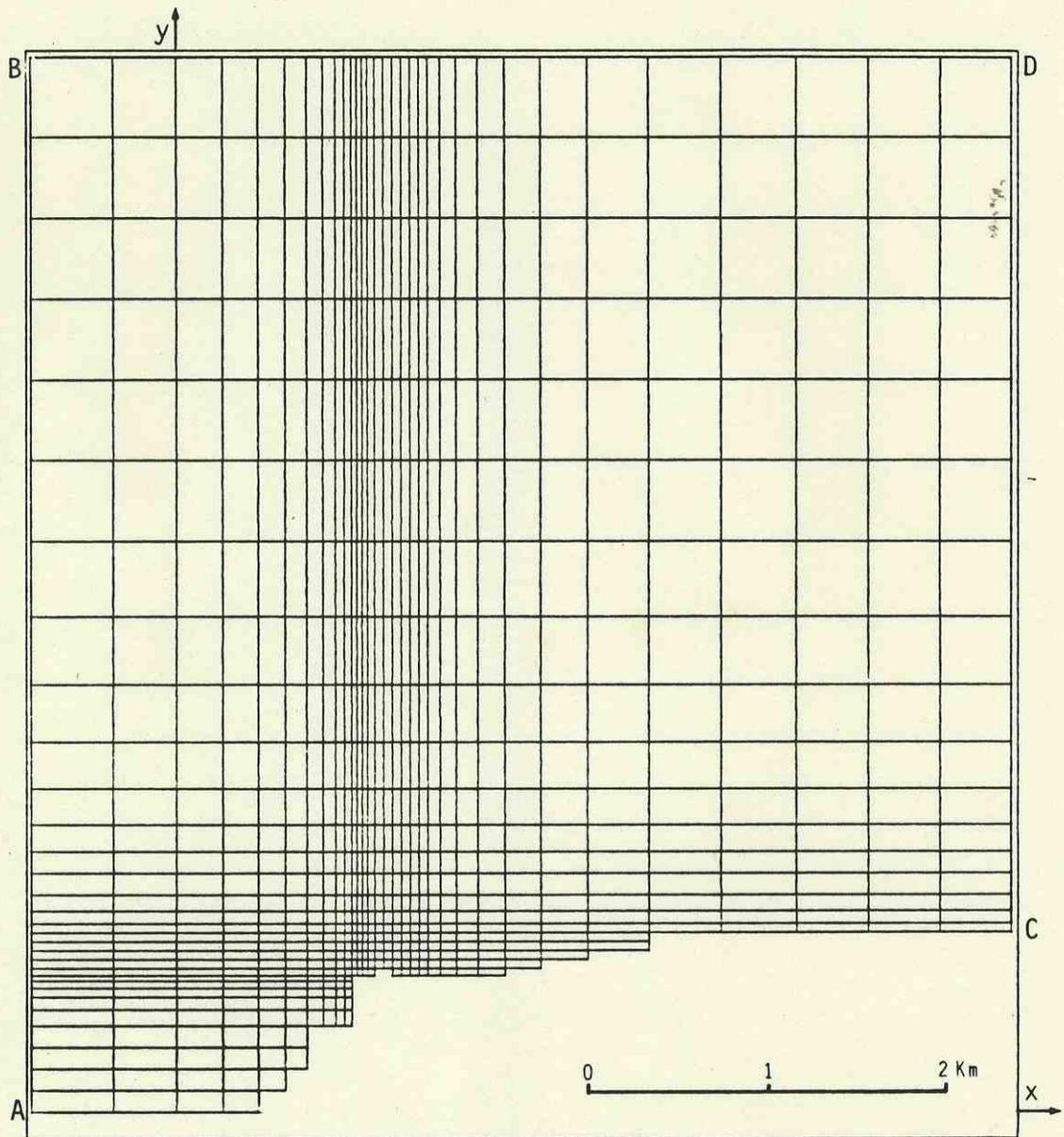


Fig. 2 - Strato orizzontale  $k = 5$  del reticolo tridimensionale.

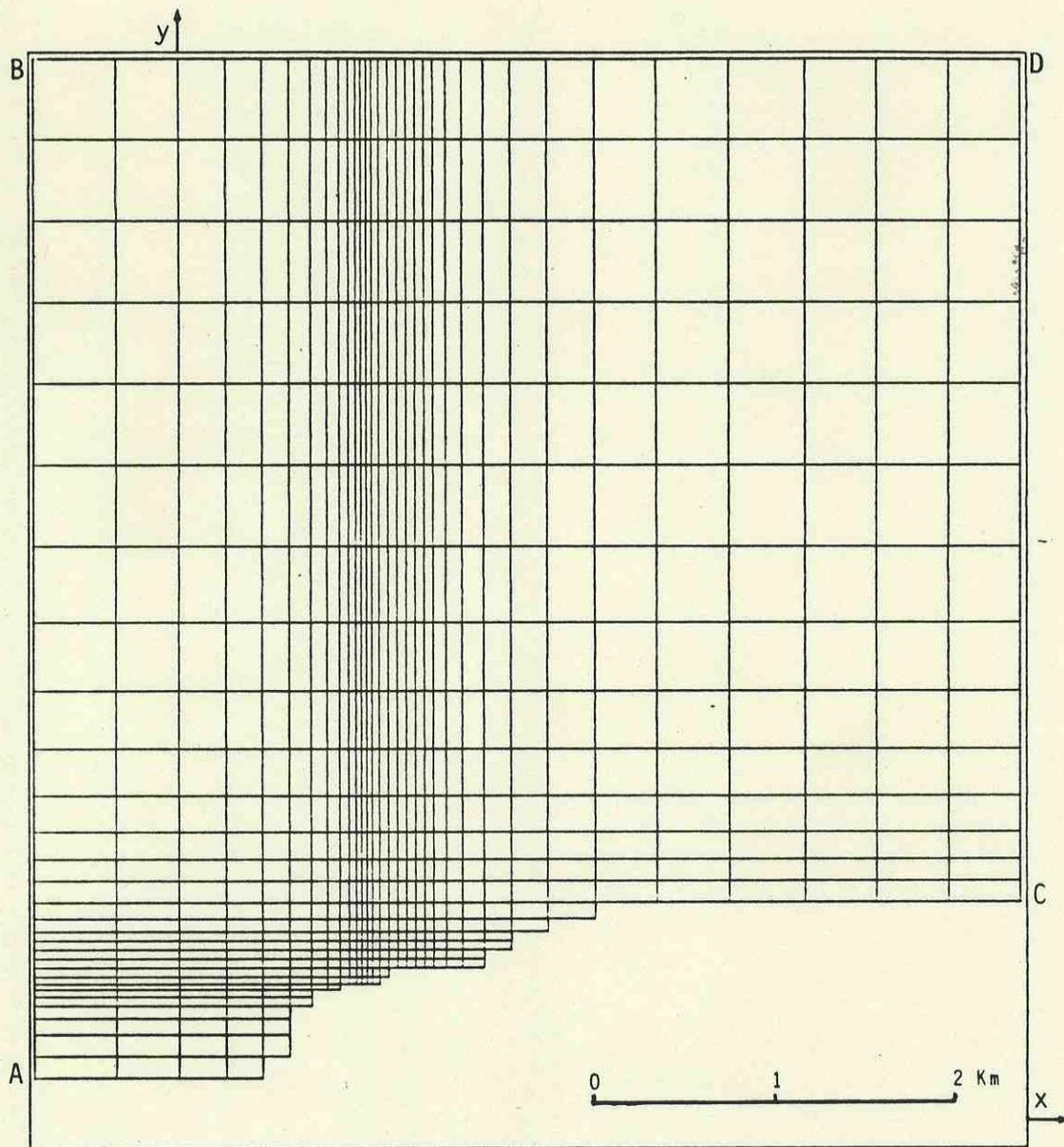


Fig. 3 - Strato orizzontale  $k = 4$  del reticolo tridimensionale.

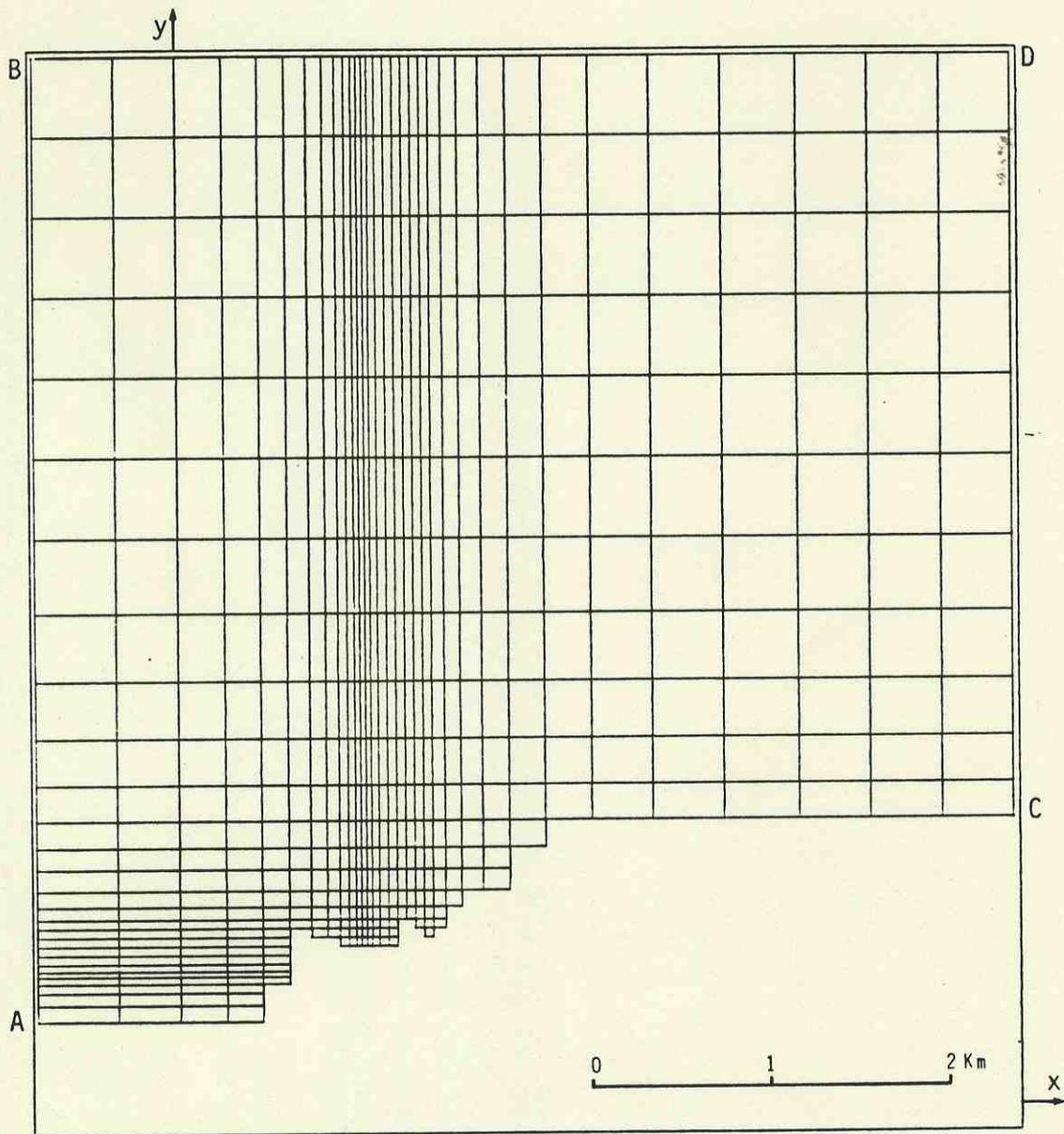


Fig. 4 - Strato orizzontale  $k = 3$  del reticolo tridimensionale.

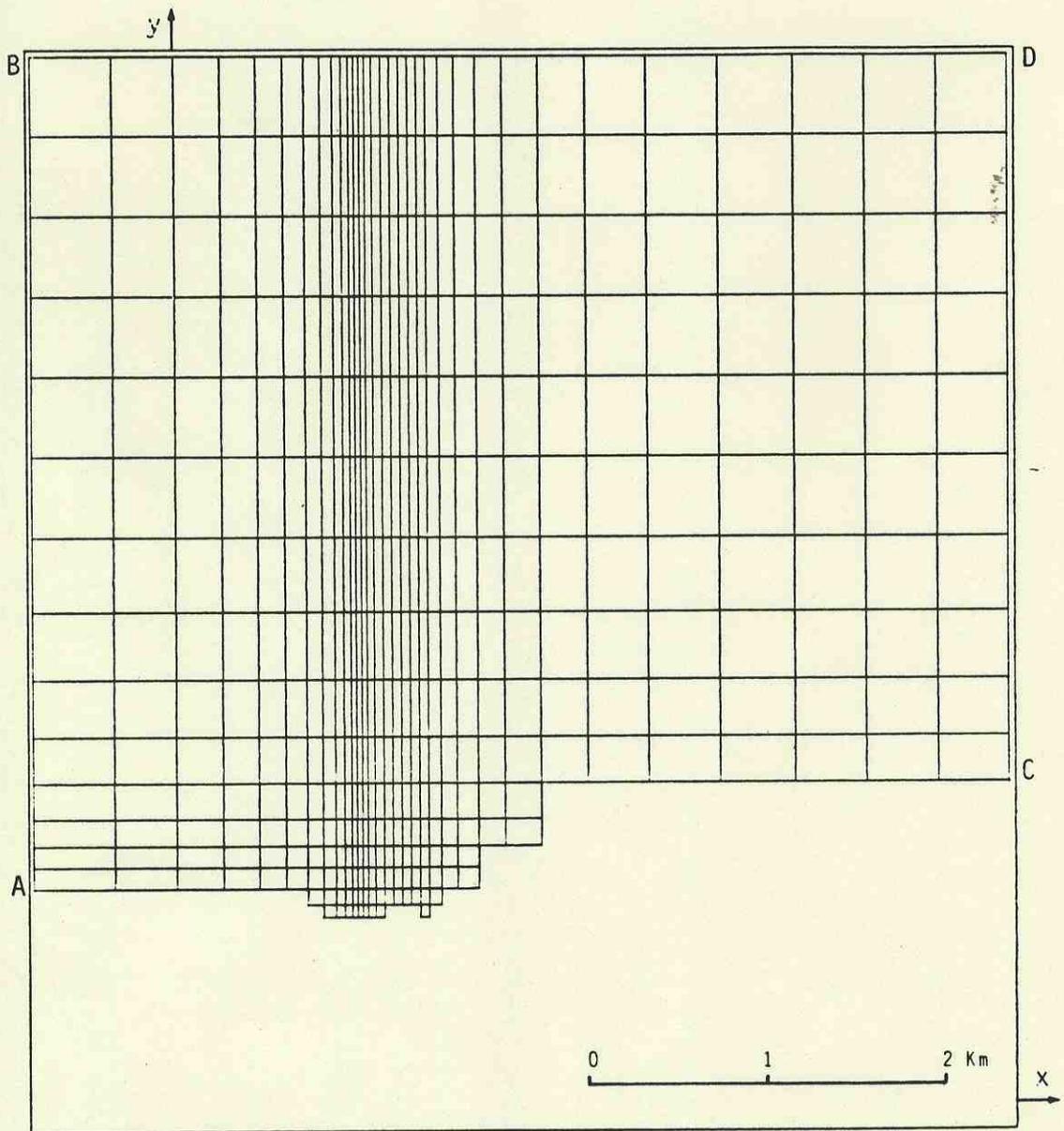


Fig. 5 - Strato orizzontale  $k = 2$  del reticolo tridimensionale.

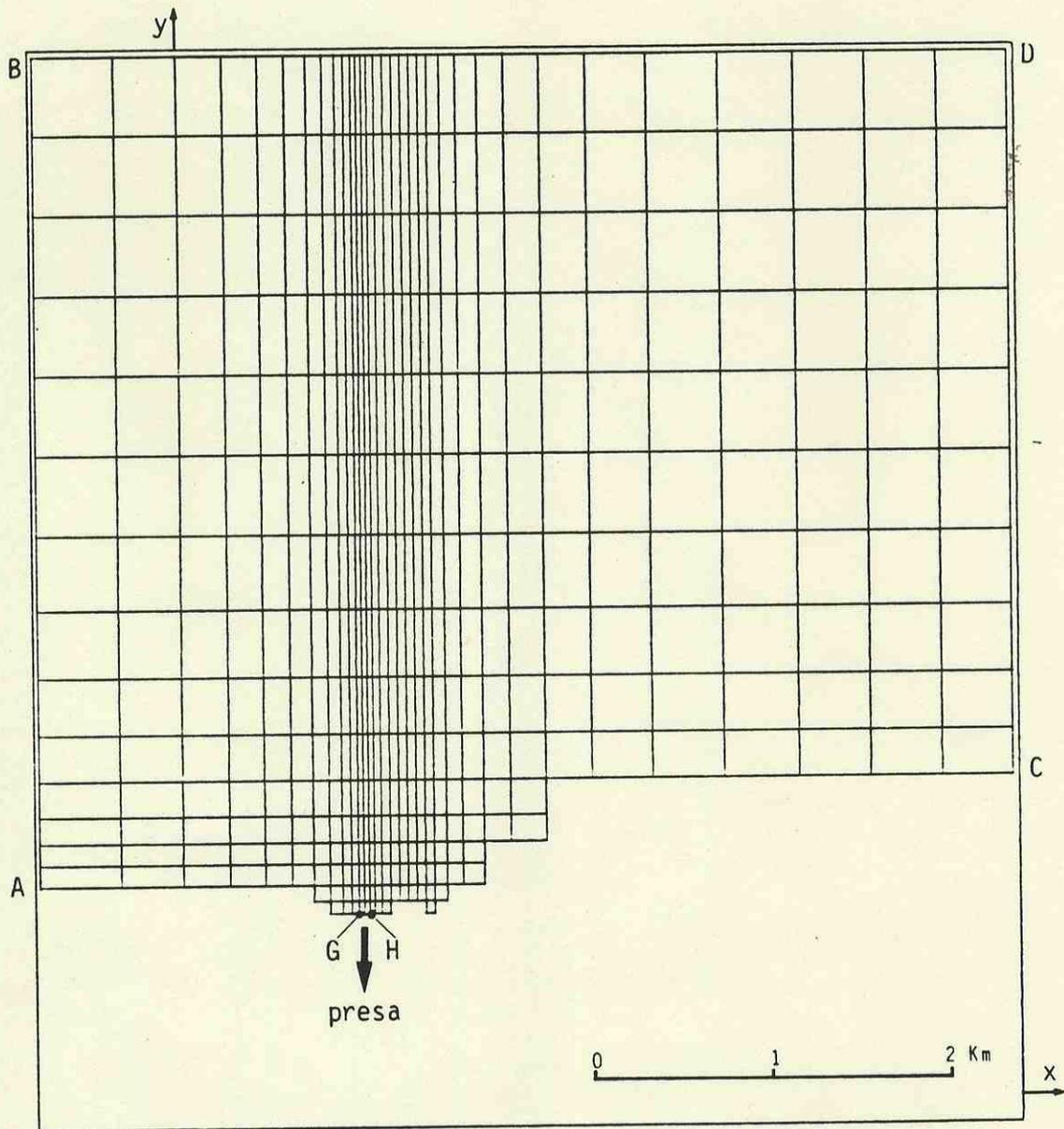


Fig. 6 - Strato orizzontale  $k = 1$  del reticolo tridimensionale.

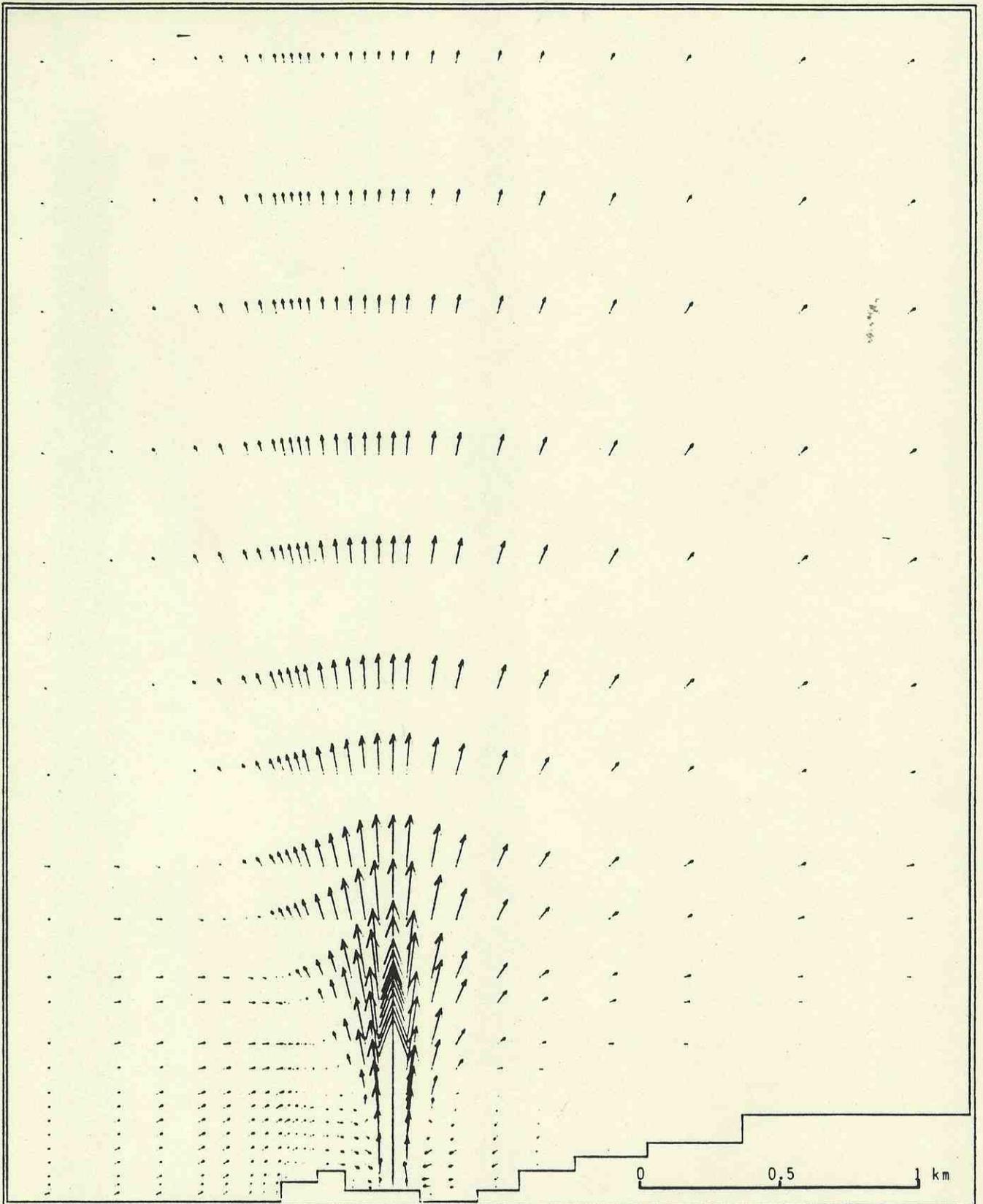


Fig. 7 - Campo di velocità nello strato  $k = 7$   
(scala vettori 1 cm = 0.5 m/s).

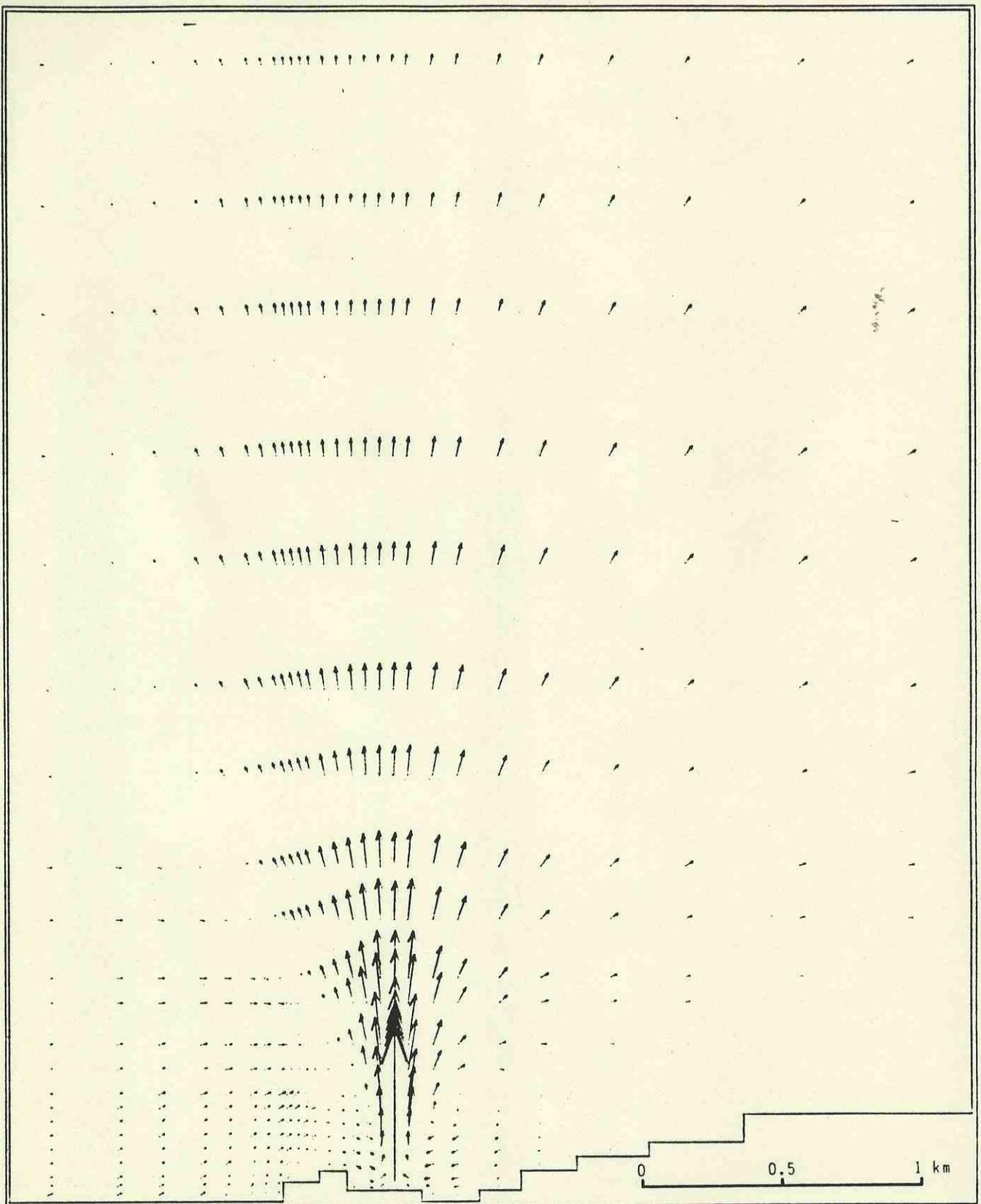


Fig. 8 - Campo di velocità nello strato  $k = 6$   
(scala vettori 1 cm = 0.5 m/s).

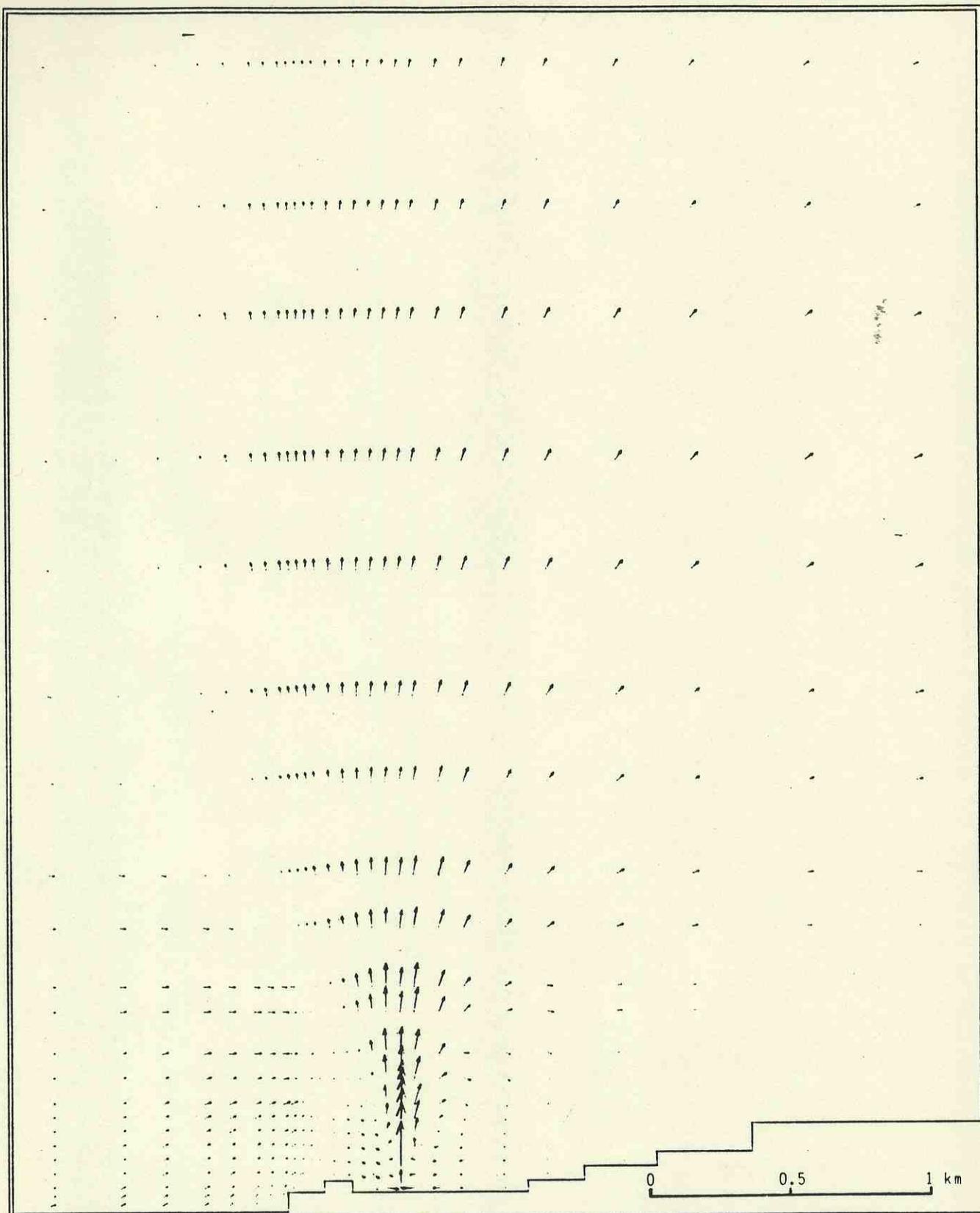


Fig. 9 - Campo di velocità nello strato  $k = 5$   
 (scala vettori 1 cm = 0.5 m/s).

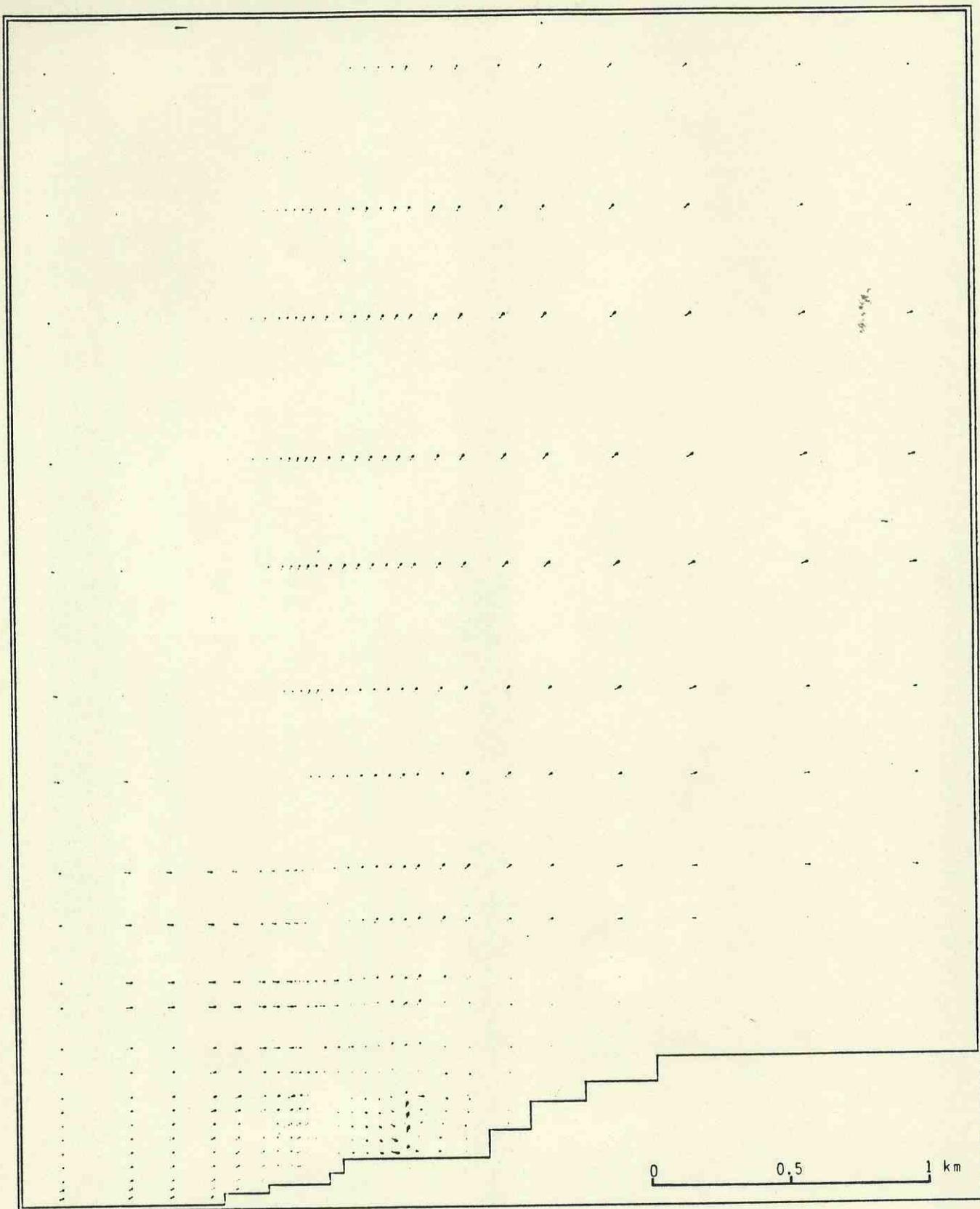


Fig. 10 - Campo di velocità nello strato  $k = 4$   
(scala vettori 1 cm = 0.5 m/s).

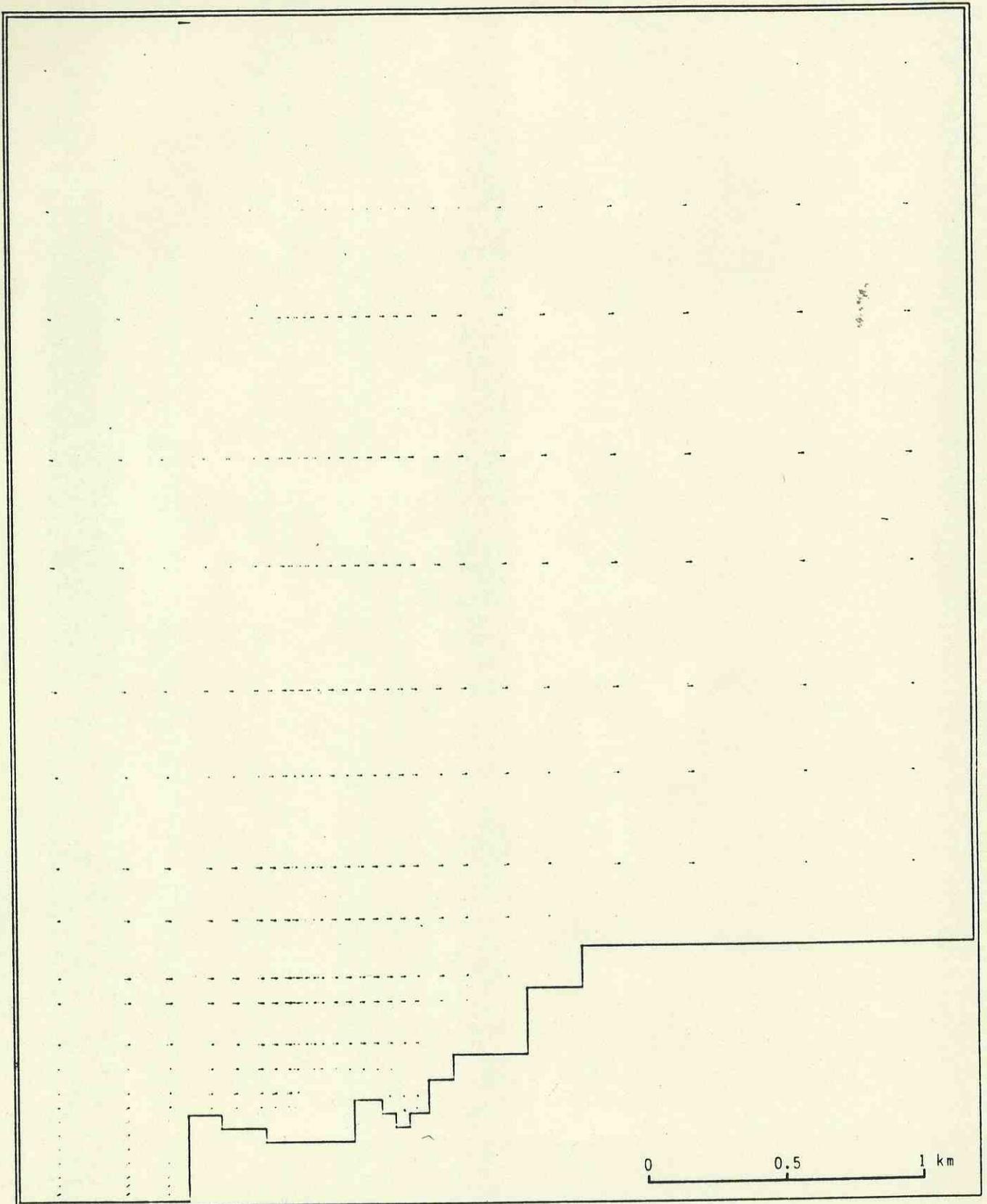


Fig. 11 - Campo di velocità nello strato  $k = 3$   
(scala vettori 1 cm = 0.5 m/s).

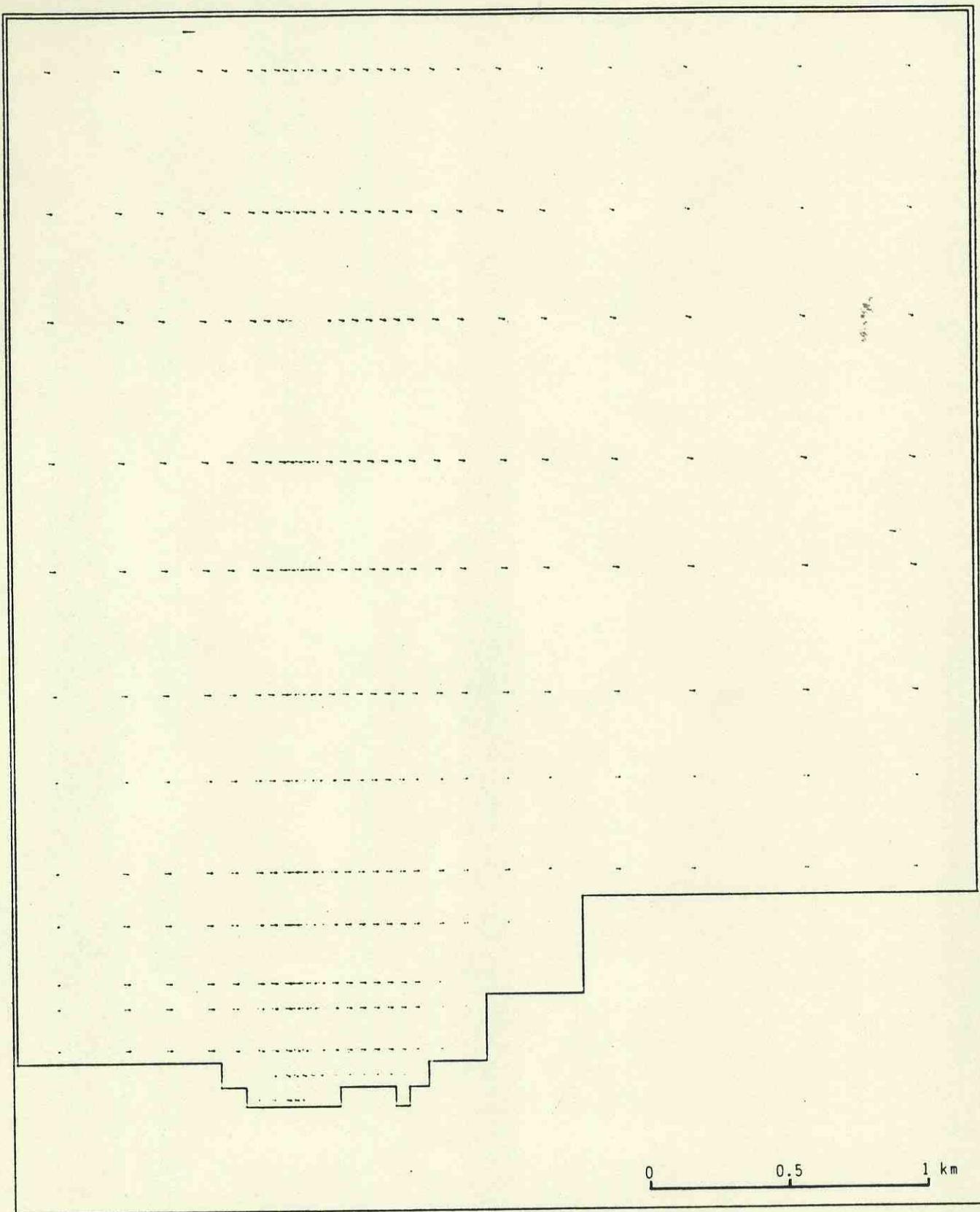


Fig. 12 - Campo di velocità nello strato  $k = 2$   
(scala vettori 1 cm = 0.5 m/s).

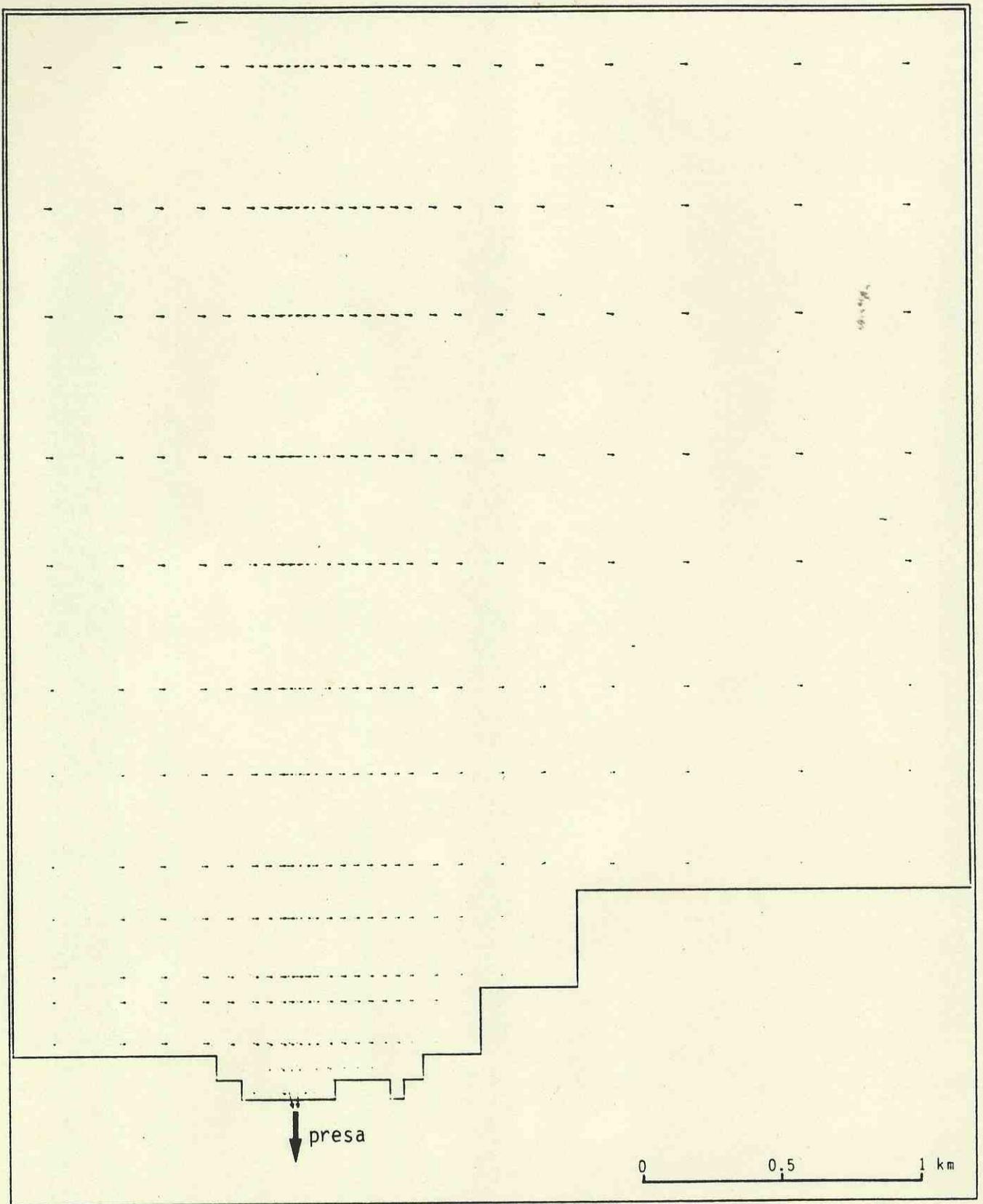


Fig. 13 - Campo di velocità nello strato  $k = 1$   
(scala vettori 1 cm = 0.5 m/s).

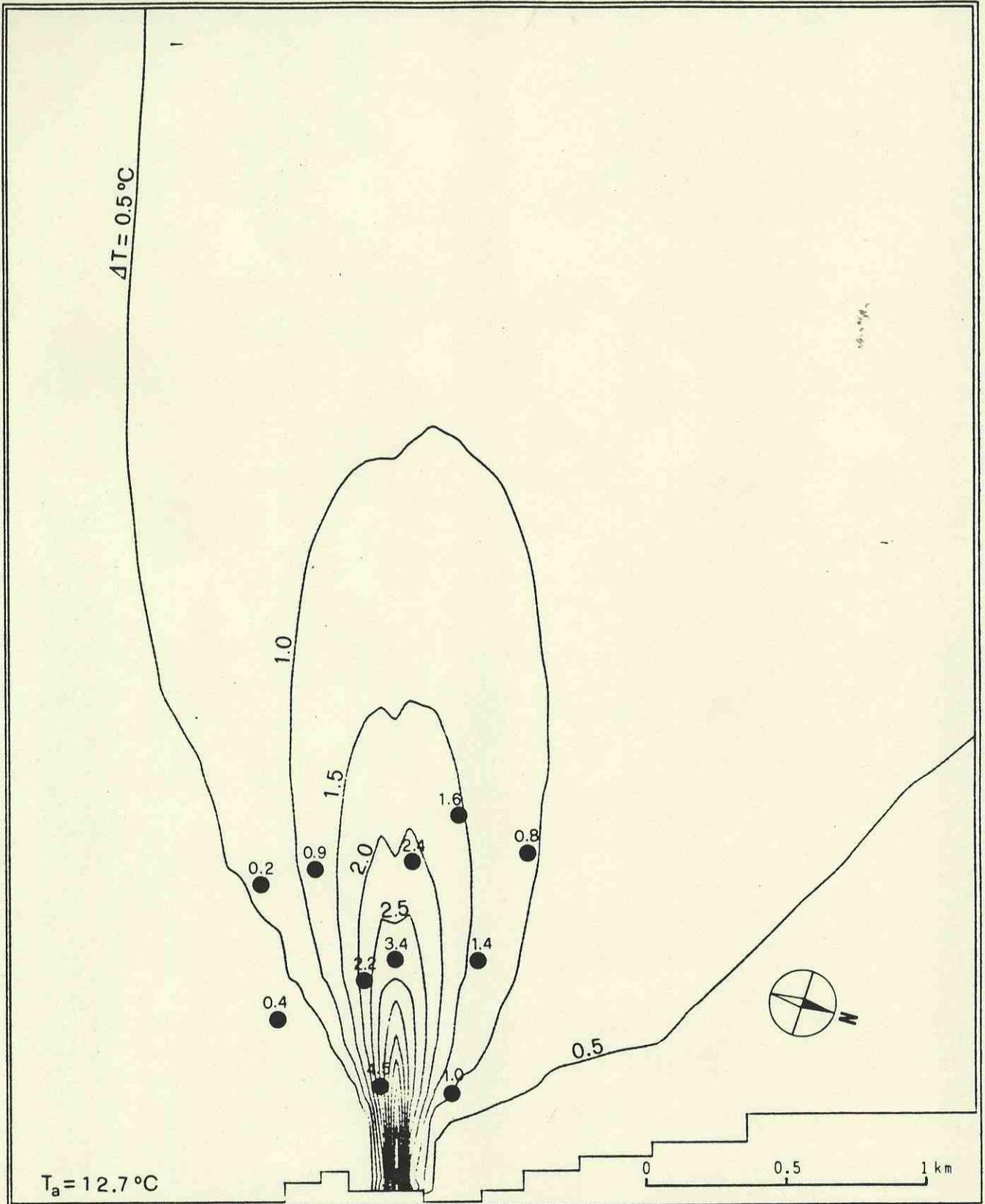


Fig. 14 - Isotherme nello strato  $k = 7$  ad intervalli di  $0.5\text{ °C}$ .

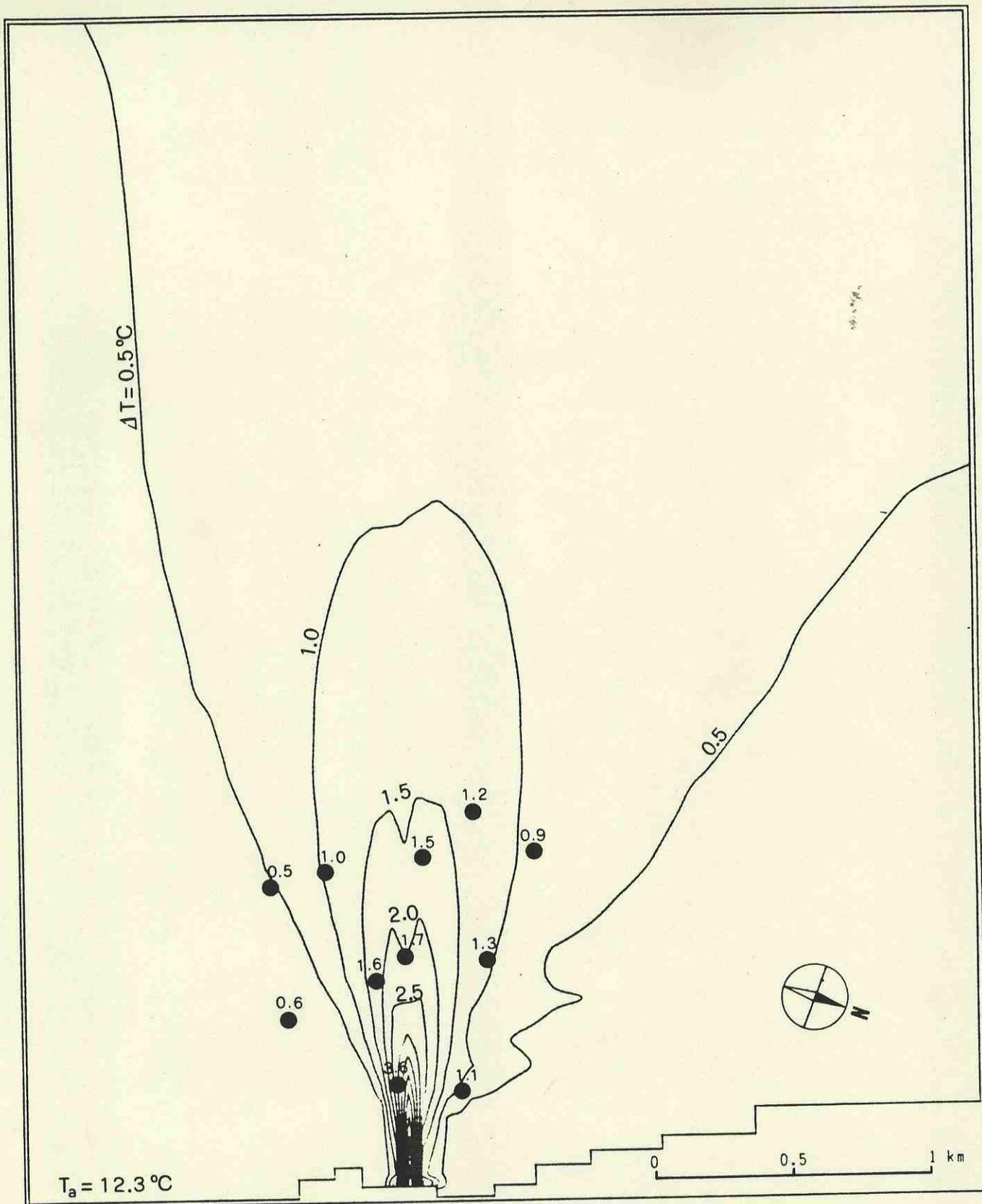


Fig. 15 - Isotherme nello strato  $k = 6$  ad intervalli di  $0.5\text{ }^\circ\text{C}$ .

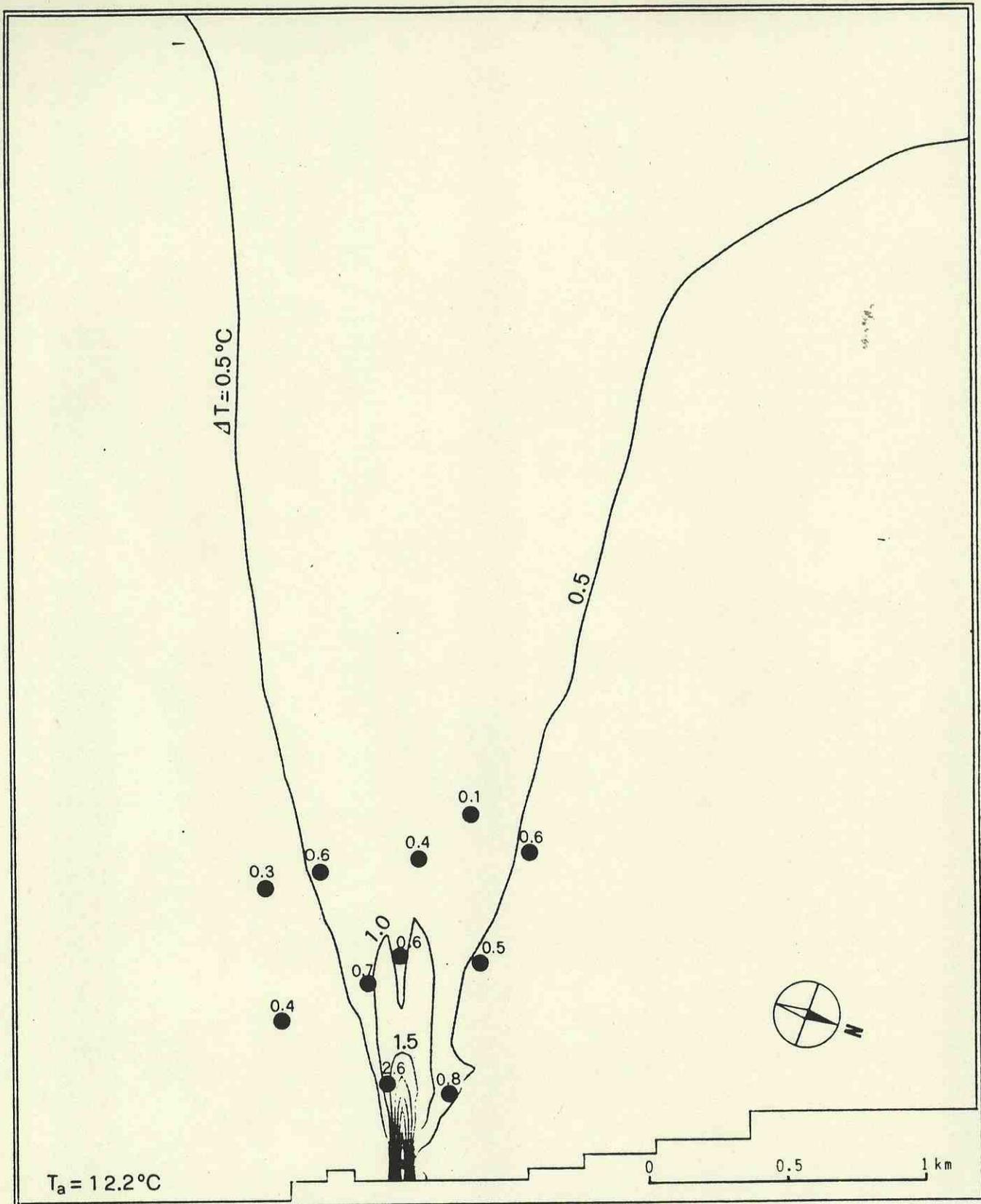


Fig. 16 - Isotherme nello strato  $k = 5$  ad intervalli di  $0.5^\circ\text{C}$ .

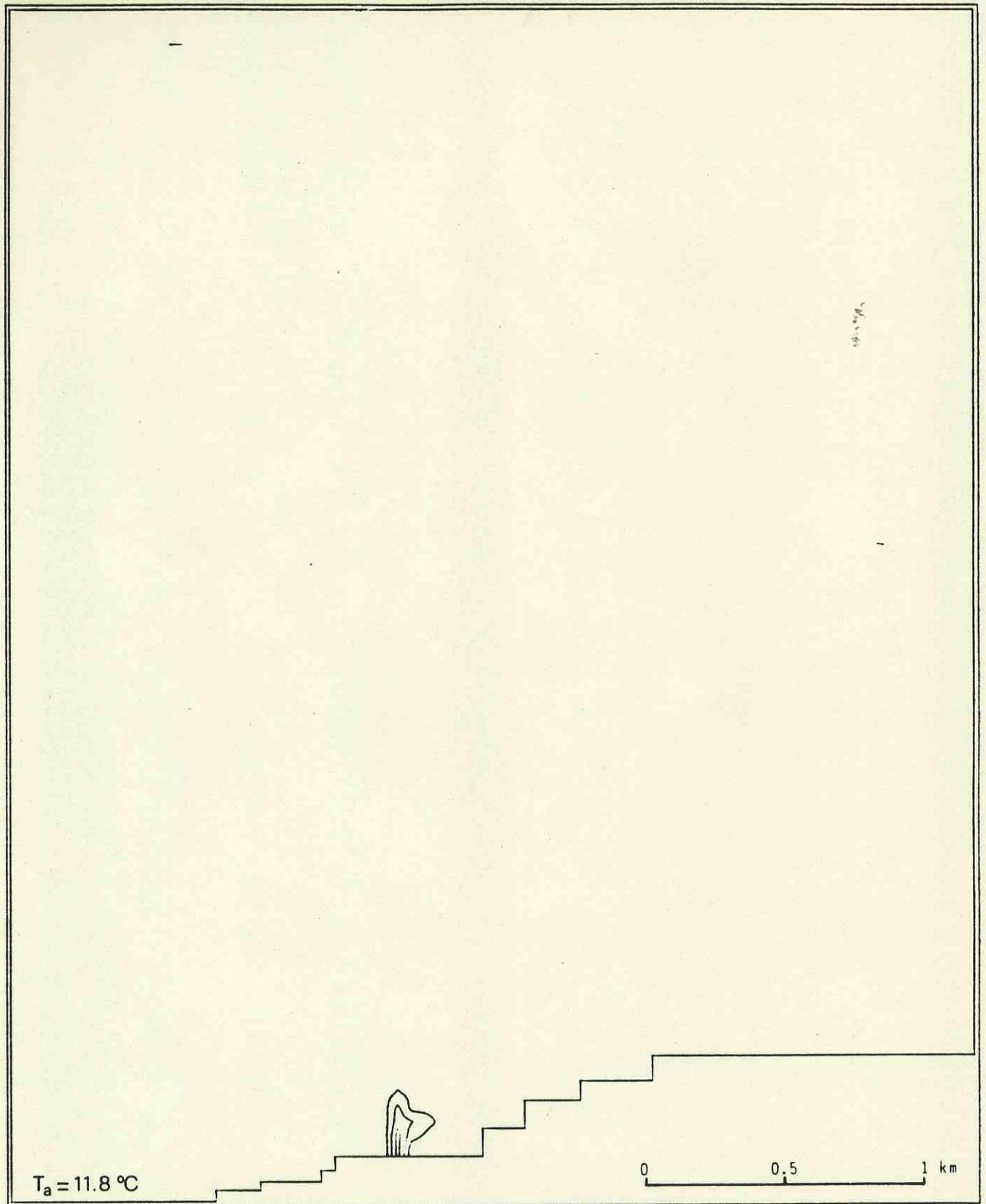


Fig. 17 - Isotherme nello strato  $k = 4$  ad intervalli di  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

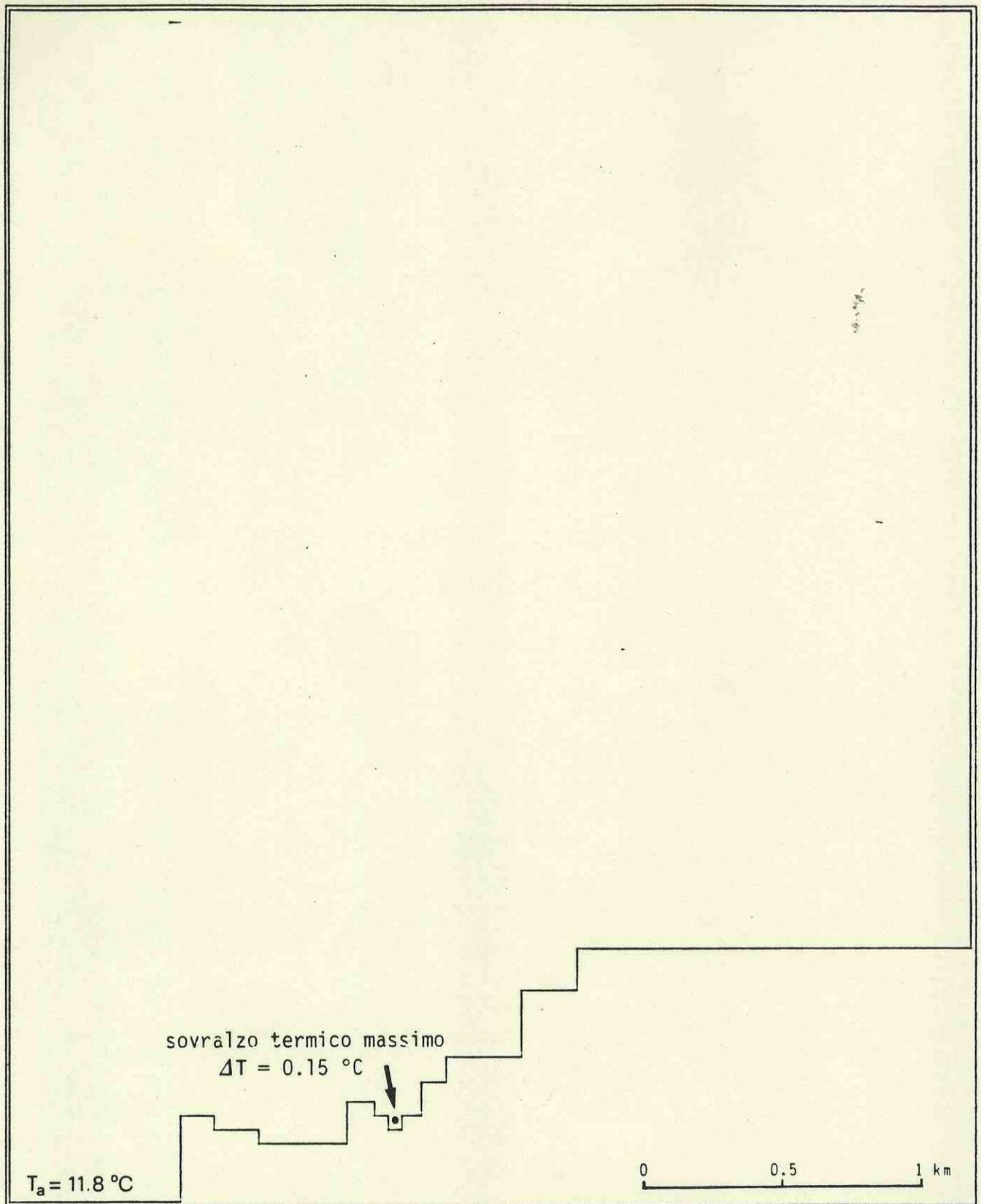


Fig. 18 - Isotherme nello strato  $k = 3$  ad intervalli di  $0.5 \text{ °C}$ .

sovralzo termico non apprezzabile

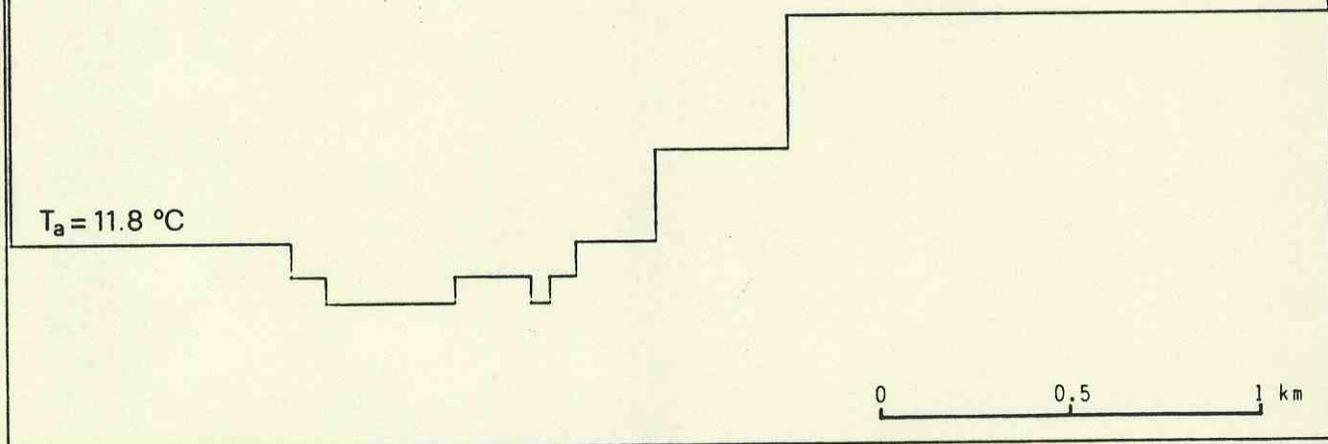


Fig. 19 - Isotherme nello strato  $k = 2$  ad intervalli di  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

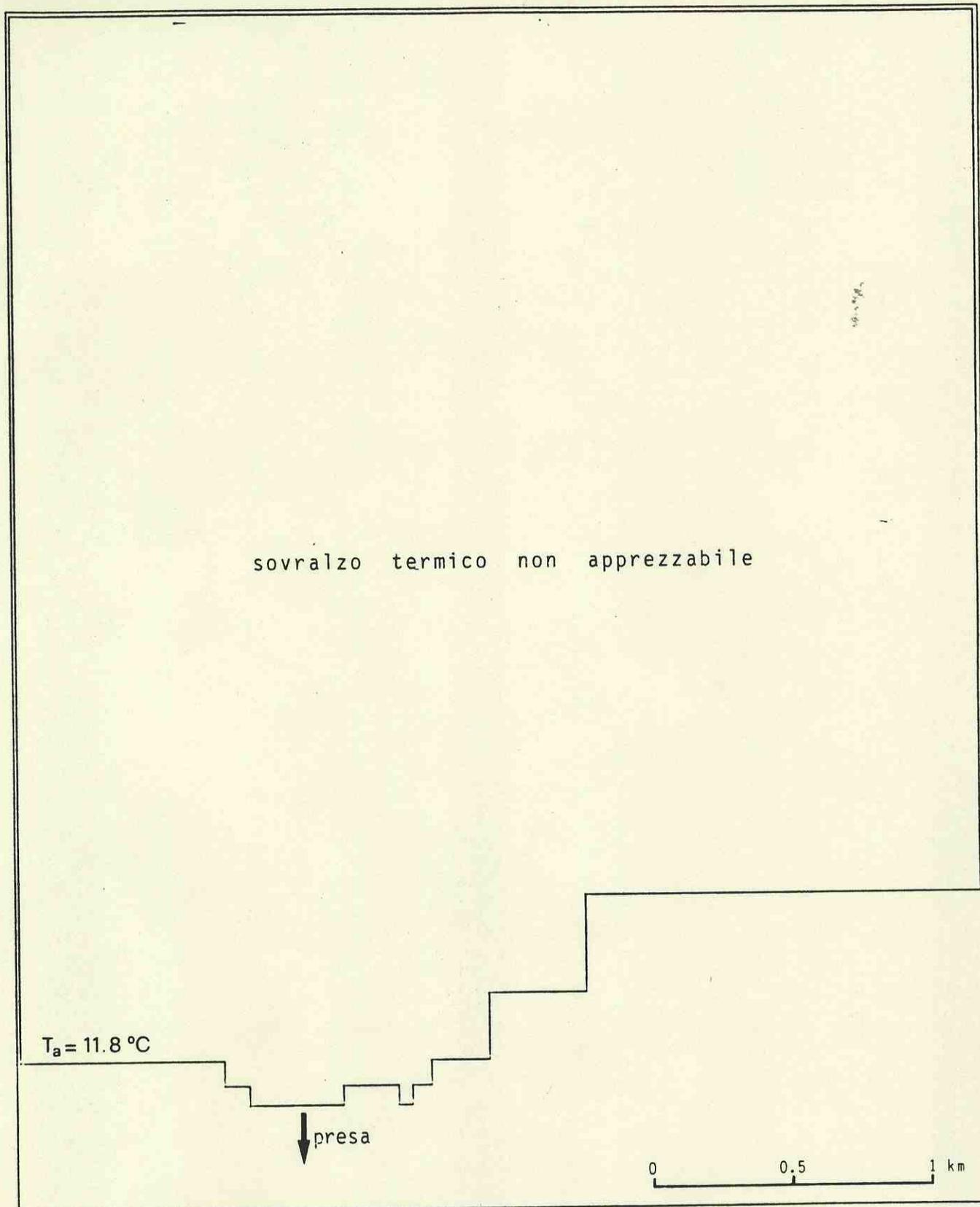


Fig. 20 - Isotherme nello strato  $k = 1$  ad intervalli di  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

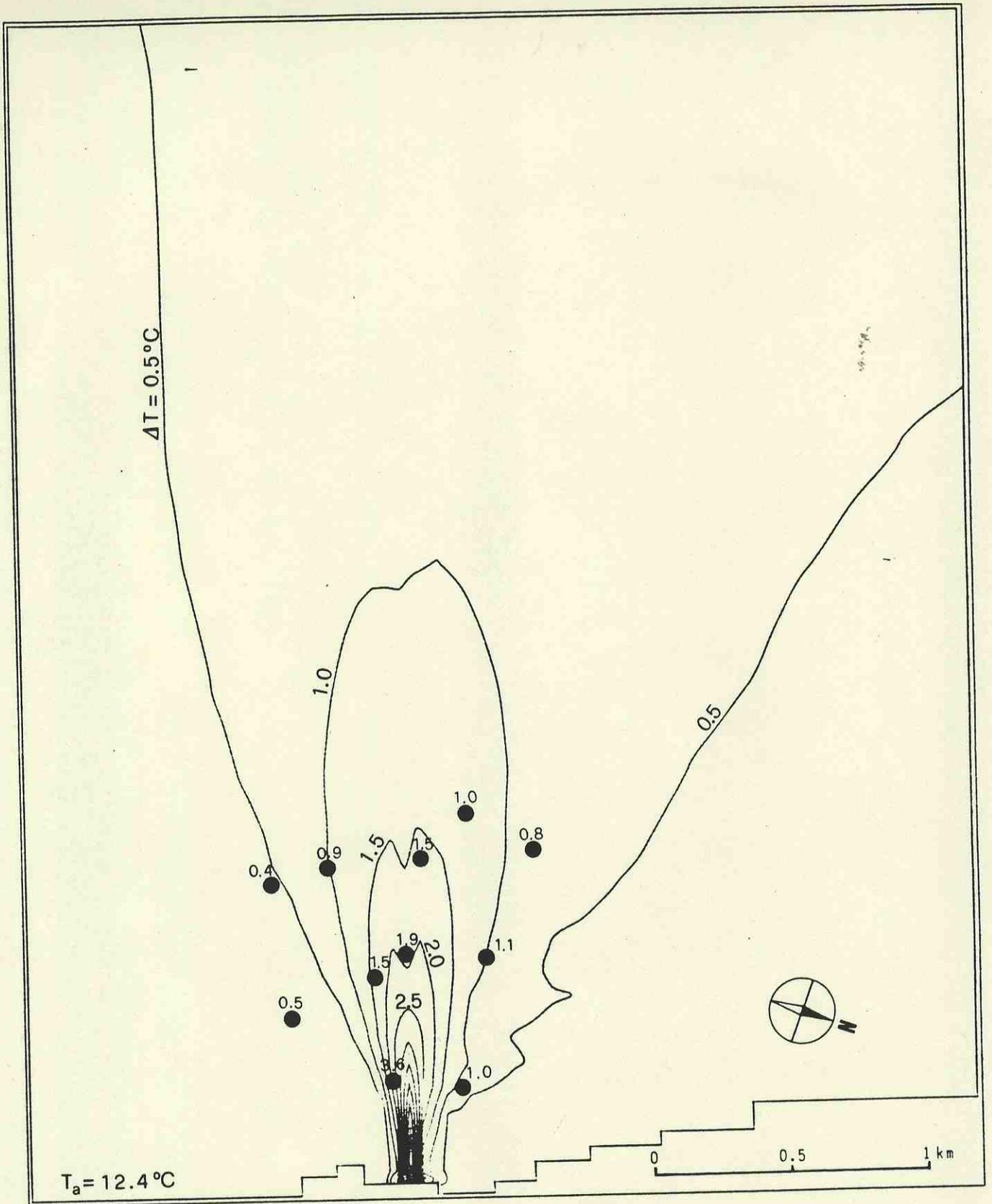


Fig. 21 - Sovralzi termici mediati sulla profondità di 2 m, numerici (curve isoterme ad intervalli di  $0.5^\circ\text{C}$ ) e sperimentali (cerchietti anneriti).

## ALLEGATO n. 3

ATTUAZIONE DELLA PRESCRIZIONE ENEA  
CONTENUTA NEL PUNTO c) DELL'ATTO DI  
APPROVAZIONE DEL PROGETTO PARTICOLA-  
REGGIATO n. 20 (lettera ENEA prot. 31224  
del 22/7/1983 riportata in allegato "A")

" c) CONTROLLO DEI PARAMETRI IDROGRA-  
FICI DELLA ZONA, E DELLA EVOLUZIONE  
STORICA DELLA LINEA DI COSTA "



**ENTE NAZIONALE PER L'ENERGIA ELETTRICA**

CENTRO DI PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE PER GLI IMPIANTI TERMICI E NUCLEARI - ROMA

CENTRALE NUCLEARE ALTO LAZIO

INFORMAZIONE XVI/Z1

**TRASPORTO SOLIDO LITORANEO**

30 MARZO 1983

610.0317.A.CRP.0002/01

ELENCO FIGURE

Fig.1 - Situazione generale

Fig.2 - Protezioni consigliate da DELFT.

1.

1. TRASPORTO SOLIDO LITORANEO

Il Laboratorio d'Idraulica di Delft, su incarico dell'ENEL, ha studiato con un metodo analitico le caratteristiche del trasporto solido litoraneo nella zona di Montalto di Castro, onde poter predisporre tutti i provvedimenti necessari sia ad evitare lo scalzamento delle fondazioni delle opere a mare, sia a prevenire eventuali fenomeni connessi con l'evoluzione dei fondali.

Per lo svolgimento di tale studio, il Laboratorio di Delft ha utilizzato i dati sulle caratteristiche delle onde in mare aperto nonché i risultati degli studi sulla rifrazione del moto ondoso, riportati in rif1, che mostrano come il litorale prospiciente la Centrale sia prevalentemente esposto all'azione di onde provenienti da Sud-Sud-Ovest via Sud verso Ovest.

I processi morfologici della costa, infatti, in assenza di forti correnti litoranee naturali, vengono determinati principalmente dalle correnti indotte dalle onde che si accostano obliquamente alla battigia.

L'entità del trasporto solido costiero, valutata in tale maniera, in via logicamente approssimata, viene qui di seguito riportata sinteticamente:

il volume netto del materiale sabbioso trasportato dovrebbe aggirarsi mediamente sui 30.000 mc/anno nella direzione Nord-Ovest,

con differenze sensibili tra tale valore medio annuo e i valori medi stagionali che variano tra 5000 mc/anno in direzione Sud-Est durante l'estate e 65.000 mc/anno in direzione Nord Ovest durante l'inverno. (V.fig.1).

Le opere a mare del circuito di raffreddamento della Centrale Alto Lazio sono state, quindi, progettate in modo da ridurre al minimo possibile eventuali interferenze con l'andamento naturale del fenomeno del trasporto solido litoraneo.

L'opera di presa, a tale fine, è ubicata su alti fondali (-12.50 m) e le condotte di adduzione sono completamente incassate nel fondo marino naturale.

E' stata inoltre effettuata dal Laboratorio di Delft, con un metodo analitico indicato in rif.2, la previsione degli effetti sul trasporto solido naturale provocati dalla presenza sia dell'eventuale bacino di prefabbricazione (300x250m), sia del diffusore di scarico a mare.

Come già detto in precedenza, lo stesso Laboratorio ha qualificato tale previsione come prevalentemente qualitativa, raccomandando di tener sotto controllo periodico i fondali circostanti le opere in oggetto per poter effettuare delle valutazioni maggiormente affidabili e quantizzate.

La previsione teorica comunque effettuata è stata definita da tale Laboratorio come cautelativa, in quanto basata su ipotesi largamente "pessimistiche".

Per quanto riguarda gli effetti provocati dall'eventuale bacino di prefabbricazione è stato stimato che, nell'arco dei 3 anni previsti per l'esercizio di tale opera, potrà verificarsi al massimo un progresso di circa 20 m della linea di costa, in corrispondenza del lato Sud Est ed un analogo arretramento sul lato opposto. Data la modesta estensione dell'area in erosione prevista e data la notevole incertezza dei dati teorici, il Laboratorio di Delft non ha ritenuto di dover consigliare la

adozione di interventi protettivi, limitandosi a ribadire la ne-  
cessità di controllare periodicamente la batimetria della zona.

Per quanto riguarda gli effetti provocati dal diffusore, è stata valutata l'influenza dovuta dal moto del pennello fluido costituito dall'acqua di scarico diretta dalla battigia verso il largo. Il Laboratorio di Delft, pur ribadendo la ne-  
cessità di quantizzare con maggior esattezza il fenomeno a mezzo di periodici controlli batimetrici, ha peraltro asserito che sarà possibile, se necessario, progettare e realizzare opportuni interventi atti a minimizzare l'entità del fenomeno stesso.

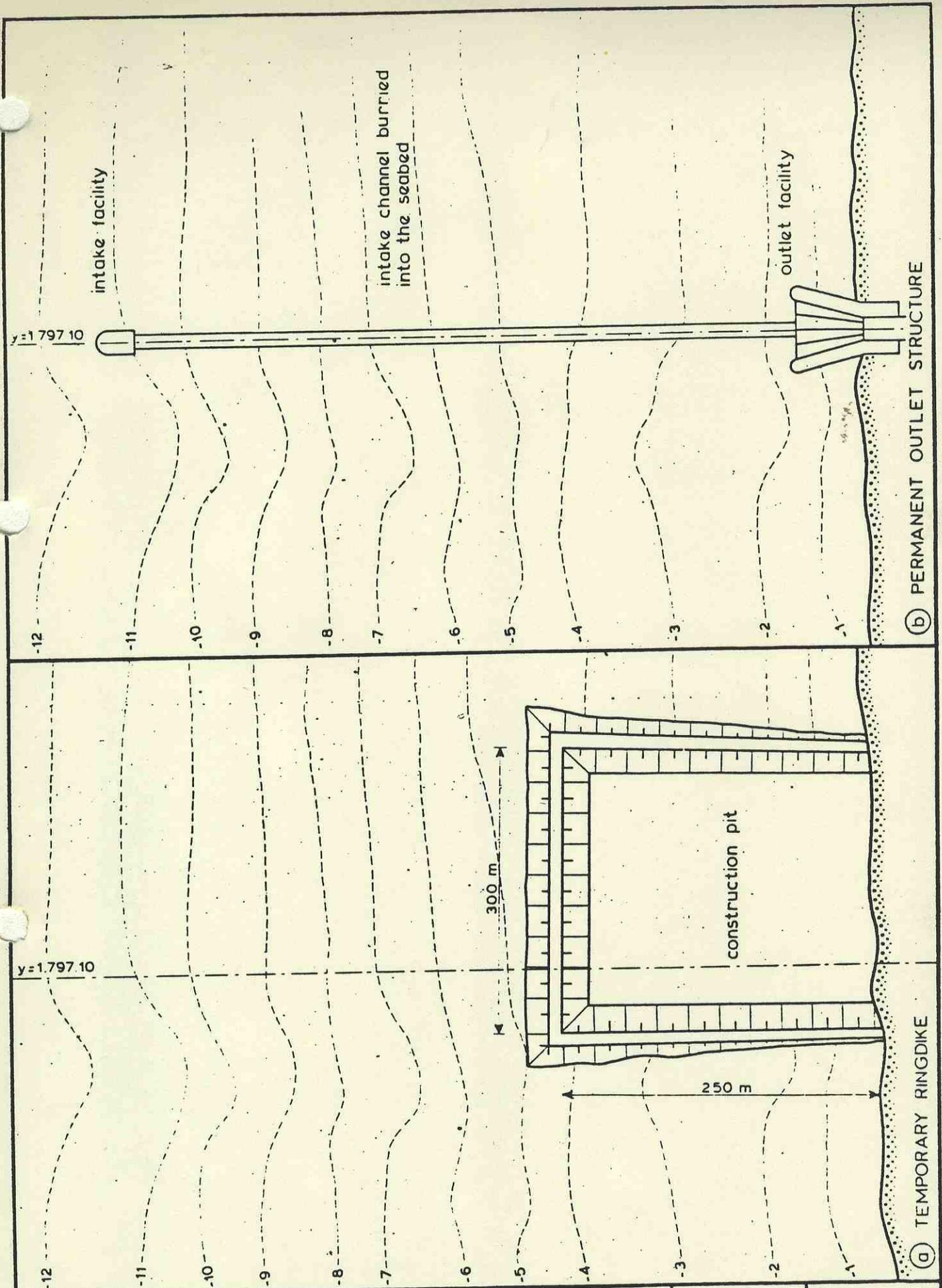
Delft ha inoltre raccomandato di proteggere il fondale prospiciente lo sbocco del diffusore impiegando una mantellata di pie-  
trame, con massi aventi un peso variabile da 300 a 1000 kg, per una lunghezza non inferiore a 45 m ed una larghezza di 100 m, e di estendere tale mantellata anche in corrispondenza delle con-  
dotte di adduzione per una lunghezza non inferiore a 75 m secon-  
do lo schema planimetrico di fig. 2.

Le indicazioni fornite da Delft sono state recepite e trasferite sia nel progetto redatto dall'ENEL sia, sotto forma di prescri-  
zioni, nel Capitolato Tecnico vincolante per l'Impresa cui sarà affi-  
data la realizzazione delle opere.

A maggiore sicurezza, la mantellata di protezione è stata estesa all'intera lunghezza delle condotte di adduzione a mare.

RIFERIMENTI

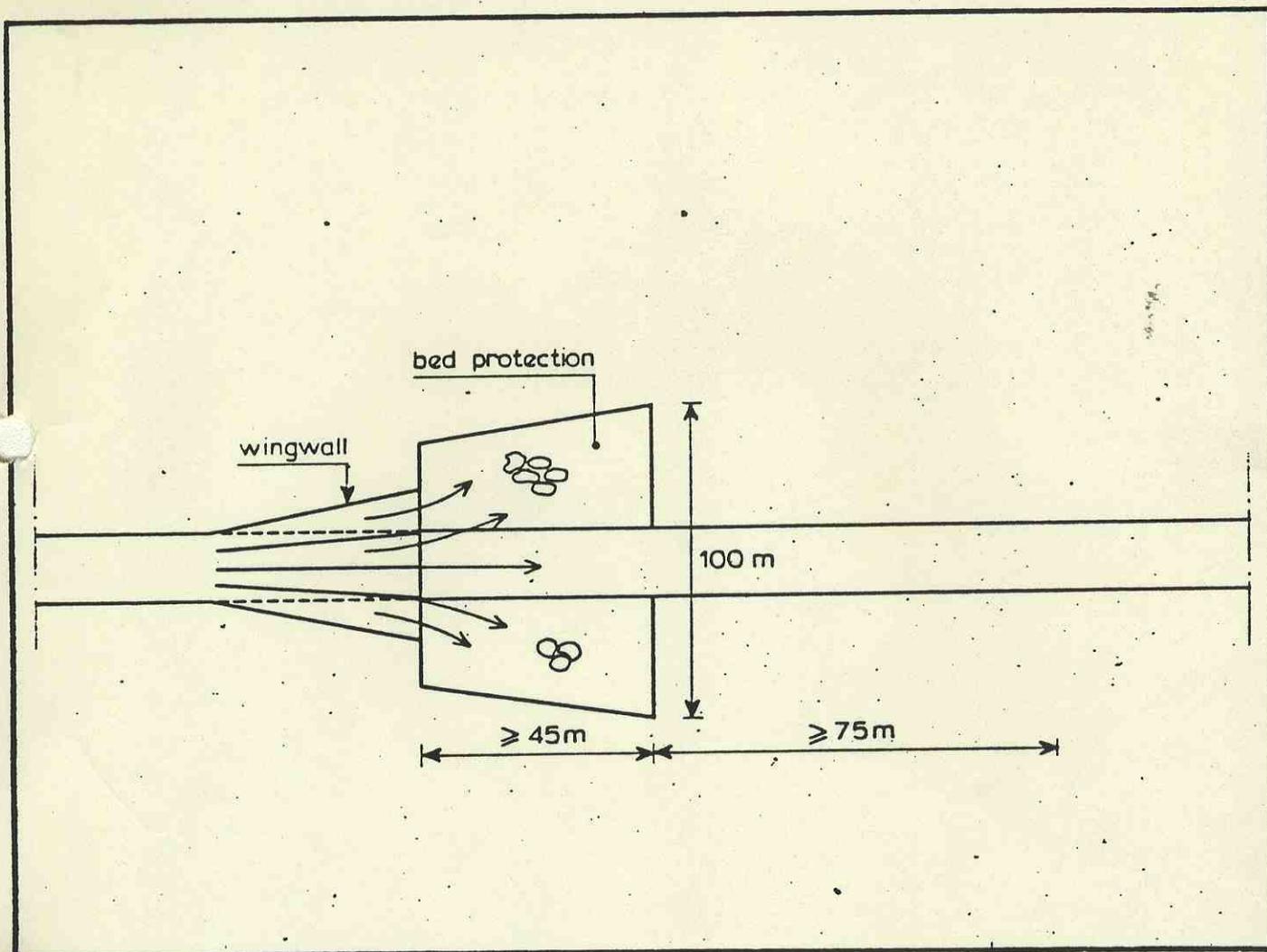
- (1) ENEL: "Centrale nucleare Alto Lazio - Rapporto Preliminare di Sicurezza - parte A - Sito - Nov. 1975"
- (2) Coastel Engineering Research Center (USA): "Shore Protection Manual".



SITUAZIONE GENERALE

fig. 1

SCALE 1:5000



PROTEZIONI CONSIGLIATE DA DELFT

fig. 2