

e.on



Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
e del Mare - Direzione Valutazioni Ambientali

E.prot DVA - 2010 - 0001024 del 21/01/2010

Spett.le

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
e del Mare

Direzione Salvaguardia Ambientale Divisione VI

Via Cristoforo Colombo, 44

00147 Roma

RACCOMANDATA A.R.



e.p.c.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
e del Mare

Commissione Istruttoria AIA -/PPC

Via Curtatone n.3

00185 - Roma

I.S.P.R.A.

via Vitaliano Brancati, 48

00144 - Roma

c.a. Ing. Alfredo Pini

E.ON Produzione S.p.A.

A socio unico

Centrale di Ostiglia

S.S. 12 - Abetone Brennero

Km 239

46035 OSTIGLIA (MN)

30 Dicembre, 2009

prot. 983/09

Autorizzazione Ambientale Integrata Centrale termoelettrica di Ostiglia - Richiesta di modifica prescrizioni

Premesso che:

- Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha rilasciato il Decreto di Autorizzazione Integrata Ambientale in relazione alla Centrale E.ON Produzione di Ostiglia in data 03/08/2009, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il giorno 31.08.09;
 - con comunicazione Prot PART. 419 del 10.09.09, E.ON ha comunicato di aver rilevato nel decreto DSA-DEC-2009-0000976 del 03.08.2009, alcune inesattezze, per le quali riteneva fosse opportuna una modifica;
 - in data 14 dicembre si è svolto un incontro presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, a cui hanno preso parte il gestore e alcuni rappresentanti di ISPRA, per chiarire in modo definitivo alcuni aspetti relativi all'applicazione del PMC per i quali non era stato possibile stabilire un'intesa nel corso dei precedenti incontri e le modalità con le quali avanzare richieste di modifica per eventuali prescrizioni inserite nel P.I.C. o nel P.M.C;
- la E.ON Produzione S.p.A. - Centrale di Ostiglia che di modificare le seguenti prescrizioni come segue:
- Obbligo di comunicazione qualora i tempi di avviamento superino quelli stabiliti in AIA. Nella prescrizione, a pag. 32 del Parere Istruttorio, si fa riferimento ad un

Sede legale
Località Fiume Santo
Cabu Aspru
07100 Sassari (SS)

C.F. Reg. Imprese
e P.I. 03251970962
R.E.A. SS - 148192
Capitale Sociale
€ 560.648.000,00 i.v.
Soggetta a direzione
e coordinamento di
E.ON Italia S.p.A.

minimo tecnico definito come> del 80% della potenza elettrica di pieno carico: questa definizione non è corretta. E' corretta invece quella riportata nella parte descrittiva, a pag. 15 del Parere Istruttorio, e cioè che i minimi tecnici sono di 100 Mwe per i TG e 50 Mwe per l'unità 4: vanno riportati ovunque questi valori di minimo tecnico, altrimenti i tempi previsti per raggiungere il minimo tecnico risultano insufficienti,

- Mancato inserimento di tre rifiuti nella tabella di pag. 36 del Parere Istruttorio, nella quale sono elencati i rifiuti per i quali si autorizza il deposito preliminare/messa in riserva. I CER mancanti sono: 140603, 160210 e 130307. In tal modo i depositi preliminari relativi a tali rifiuti, esistenti in centrale, risultano ad oggi non autorizzati. I rifiuti erano stati indicati da E.ON nella documentazione AIA iniziale nonché nella documentazione integrativa di giugno 2008 (sezioni B.11, B.12 e Allegato B.22 "planimetria delle aree di stoccaggio dei rifiuti"). Questi rifiuti erano già menzionati nell'autorizzazione provinciale precedente all'AIA, che è stata sostituita dall'AIA stessa (pag. 40 del Parere Istruttorio). Si richiede l'inserimento dei codici CER citati.
- Per quanto riguarda il 150202, sempre nella tabella di pag. 36 del Parere Istruttorio, è sbagliata la descrizione: è riportato "Altri rifiuti oleosi non specificati altrimenti", mentre quella corretta è "Assorbenti, materiali filtranti (inclusi i filtri dell'olio ...).
- Per il rifiuto 060503, sempre nella medesima tabella, non è stata identificata l'area per l'operazione R13, che nella tabella B.12 redatta da E.ON e nella planimetria era indicata con il n° 43, ma solo l'area identificata per l'operazione D15. Si richiede di riportare in tabella anche l'operazione R13 con riferimento area di stoccaggio n° 43.
- In merito al rifiuto 200203, è stata richiesta e ci è stata accordata la sostituzione con il CER 190901. Nella tabella di pag. 36 è riportato "200203 che va sostituito con 190901".
- Per quanto riguarda la prescrizione inserita a pag. 40 del P.M.C. relativa all'accuratezza della strumentazione per la misura delle emissioni in continuo, si fa presente che il costruttore del sistema di monitoraggio emissioni (ditta ABB) non è in grado di fornire analizzatori certificati QAL1 secondo la norma EN 14181:2005 con campi minimi di scala per CO e NOX inferiori rispettivamente a 75 mg/Nmc e 52 mg/Nmc. Si richiede pertanto di modificare la prescrizione "150% dell'limite in condizioni di funzionamento normale" con "250% del limite previsto per il parametro CO in condizioni di funzionamento normale e 175 % del limite previsto per il parametro NOX in condizioni di funzionamento normale".
- Per quanto riguarda la richiesta formalizzata da I.S.P.R.A. con lettera del 17.12.2009 "... Il gestore dovrà effettuare la misura a monte e a valle del punto di immissione finale, secondo le condizioni previsti in tab. 3 all. 5 D.Lgs 152/06, su base semestrale e nelle condizioni maggiormente rappresentative dell'effetto termico sul corpo recettore" si fa presente che: in ottemperanza a quanto prescritto

dall'autorizzazione provinciale 1259/01 per lo scarico in corpo idrico superficiale delle acque di condensazione, la Centrale ha trasmesso ad ARPA Mantova e all'Amministrazione Provinciale, un modello matematico per la valutazione dell'impatto termico sul fiume Po generato dagli scarichi delle proprie acque di condensazione. In occasione del rinnovo dell'autorizzazione stessa, la Centrale ha trasmesso una relazione tecnica di convalida del modello matematico basata su una campagna di rilievi in campo che consente di valutare positivamente l'affidabilità complessiva del modello in uso presso la Centrale di Ostiglia. Il modello matematico, in particolare, permette di escludere il superamento dei limiti previsti in tab. 3 all. 5 D.Lgs 152/06 anche nelle condizioni peggiori di esercizio (4 unità in servizio a massimo carico con fiume Po in regime di magra). *Si richiede pertanto* l'eliminazione della prescrizione, anche in considerazione del fatto che la Centrale dispone di un sistema di monitoraggio in continuo delle temperature dell'acqua ai punti di presa e di scarico. (Allegato 1- rapporto tecnico di verifica del rispetto dei limiti di legge validante l'attuale modello di bilancio termico utilizzato dalla Centrale)

Disponibili per eventuali chiarimenti, distinti saluti.

Antonio Doda

Capo Centrale

E. en PRODUZIONE S.P.A.

Direttore di Centrale

(Antonio Doda)

Allegati:

- rapporto tecnico di verifica del rispetto dei limiti di legge validante l'attuale modello di bilancio termico utilizzato dalla Centrale;
- estremi del versamento della tariffa relativa all'aggiornamento dell'autorizzazione già rilasciata in caso di modifica non sostanziale, dovuta ai sensi dell'art. 2 comma 5 del decreto interministeriale 24 aprile 2008 - Allegato III, in relazione alla autorizzazione integrata ambientale per la Centrale termoelettrica di Ostiglia (MN).



Allegato 1- rapporto tecnico di verifica del rispetto dei limiti di legge validante
l'attuale modello di bilancio termico utilizzato dalla Centrale

Si trasmette la comunicazione inviata ad ARPA Mantova e all'Amministrazione
Provinciale di Mantova relativa alla validazione del modello matematico di bilan-
cio termico utilizzato dalla centrale di Ostiglia.

E.ON Produzione S.p.A.
A socio unico
Centrale di Ostiglia
S.S. 12 - Abetone Brennero
Km 239
46035 OSTIGLIA (MN)

Sede legale
Località Fiume Santo
Cabu Aspru
07100 Sassari (SS)

C.F. Reg. Imprese
e P.I. 03251970962
R.E.A. SS - 148192
Capitale Sociale
€ 560.648.000,00 i.v.
Soggetta a direzione
e coordinamento di
E.ON Italia S.p.A.



RACCOMANDATA A.R.

Centrale di Ostiglia									
CAPO CENTRALE		22	03	10					
PS	SIL	TS							
MANAGER AMBIENTALE									
SEZIONE ESERCIZIO									
OMI	CEE	SOT							
SEZIONE MANUTENZIONE									
PRO	MA	BI/RE							
AA	AMC	SG	ASA						
									STAFF
PS	SIL	PRO	GEN	ESE	TEC				

Ostiglia, 24/12/07

CENTRALE TERMOELETTRICA PROVINCIA DI MANTOVA			
ACC	SS	S.F	
COM	VOL	SS	NUM

Att.ne Spett.le **PROVINCIA DI MANTOVA**
 Area Ambientale
 Servizio Acque e Suolo – Protezione Civile
 Via Don Maraglio n° 4
 46100 MANTOVA

p.c. Spett.le **A.R.P.A.** – Dipartimento di MANTOVA
 U.O. Territorio e Attività Integrate
 Viale Risorgimento n° 43
 46100 MANTOVA

Prot. n.: 912/07

Oggetto: *Determinazione della Provincia di Mantova n° 3.058 del 22/12/06 - "Autorizzazione allo scarico in corso d'acqua superficiale delle acque reflue industriali (raffreddamento) provenienti dalla centrale termoelettrica Endesa Italia di Ostiglia".*

Con riferimento all'autorizzazione in oggetto ed in risposta alla prescrizione (n) della stessa, alleghiamo la relazione dalla società CESI redatta allo scopo di validare il modello di bilancio termico elaborato dalla Centrale di Ostiglia, modello a Voi trasmesso con nota prot. 530/04.

In particolare i risultati delle misure in campo, consentono di valutare positivamente l'affidabilità complessiva dello stesso.

Distinti saluti,

Andrea Bellocchio

Capo Centrale

Allegato: Rapporto tecnico di verifica del rispetto dei limiti di legge validante l'attuale modello di bilancio termico utilizzato dalla Centrale. (VEDI PROT 79360)



Cliente ENDESA ITALIA SPA

CENTRALE DI OSTIGLIA	
Prot. N.	79871
Class. N.	
Data	28 NOV. 2007

Oggetto Centrale di Ostiglia.
Studio mediante modellistica numerica della dispersione delle acque di raffreddamento della centrale nell'assetto attuale (sezioni 1, 2 e 3: cicli combinati; sezione 4: tradizionale)

Ordine Ordine Cliente: Contratto servizi N. 6000002089 del 13.04.2007 (L54626C)

Note Rev. 0

PUBBLICATO A7029834 (PAD - 983312)

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

N. pagine 88 **N. pagine fuori testo** 0

Data 14/11/2007

Elaborato Colombo Daniela (CESI SID)
A70298343821 AUT

Verificato Granata Tommaso (CESI SID)
A70298343741 VER

Approvato Fiore Antonio (CESI AMB)
A70298343741 APP

Mod. RISM v. 01

Indice

SOMMARIO	3
1 INTRODUZIONE	4
1.1 Scopo dello studio	4
1.2 Articolazione delle attività	4
1.3 Documenti di riferimento	5
2 CARATTERISTICHE DEL MODELLO NUMERICO UTILIZZATO	8
2.1 Caratteristiche del codice SWEET-OMP 4.5.....	8
2.1.1 Caratteristiche generali.....	8
2.1.2 Considerazioni sul modello matematico idrodinamico	8
3 ANALISI DELLE CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA	11
3.1 Considerazioni generali.....	11
3.2 Caratteristiche dell'impianto	11
3.2.1 Localizzazione dell'impianto	11
3.2.2 Caratteristiche dell'opera di presa.....	19
3.2.3 Caratteristiche delle opere di scarico.....	22
3.2.4 Condizioni di esercizio dell'impianto	25
3.3 Caratteristiche ambientali e del territorio.....	25
3.3.1 Dati relativi alla morfologia dell'alveo	25
3.3.2 Dati relativi al deflusso idrico	40
3.3.3 Dati relativi alle caratteristiche del fondale.....	42
3.3.4 Dati relativi alla temperatura dell'acqua	43
3.3.5 Dati relativi alle condizioni meteorologiche	46
4 DEFINIZIONE DELLA SCHEMATIZZAZIONE NUMERICA	49
4.1 Considerazioni generali.....	49
4.2 Definizione degli scenari di analisi	49
4.3 Definizione del reticolo di calcolo	50
4.4 Condizioni iniziali ed al contorno	56
5 ANALISI DEI RISULTATI	57
5.1 Premessa.....	57
5.2 Metodologia di verifica del rispetto dei limiti di legge	57
5.3 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra ordinaria.....	62
5.3.1 SCENARIO 1_magra ordinaria_assetto "as is"	62
5.4 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra estrema	67
5.4.1 SCENARIO 2_magra estrema_assetto "as is"	67
5.5 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di morbida.....	72
5.5.1 SCENARIO 3_morbida_assetto "as is"	72
5.6 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di piena.....	77
5.6.1 SCENARIO 4_piena_assetto "as is"	77
5.7 Incrementi termici risultanti per i diversi scenari di calcolo	82
6 CONFRONTO TRA I RISULTATI DELLA MODELLAZIONE ED I RILIEVI DI CAMPO	83
6.1 Premessa.....	83
6.2 Campagna dell'aprile 2007	83
6.2.1 Misure sperimentali.....	83
6.2.2 Confronto tra le misure sperimentali ed i risultati della simulazione numerica	85
7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	88

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	14/11/2007	A7029834	Prima emissione

SOMMARIO

A valle della messa a punto e dell'utilizzo di opportuna modellistica numerica per lo studio della dispersione delle acque di raffreddamento della centrale in diversi futuri assetti di funzionamento [Rif. 1 e Rif. 33], ENDESA Italia ha incaricato CESI di applicare la suddetta modellistica anche all'assetto attuale della centrale (assetto "as is") caratterizzato da tre gruppi a ciclo combinato e da un gruppo tradizionale.

La verifica ha riguardato l'analisi della perturbazione termica conseguente allo scarico delle acque di raffreddamento dell'impianto nel fiume Po. L'analisi di dispersione del pennacchio caldo è stata condotta nelle condizioni ambientali conservative tipiche del sito e, come detto, nell'assetto attuale di funzionamento dell'impianto. In particolare, sono state valutate quelle situazioni che riproducono le condizioni prevalenti e critiche di portata del corpo idrico interessato, in modo da ottenere risultati conservativi riguardo agli obiettivi di verifica del rispetto dei limiti di legge e di caratterizzazione e localizzazione della perturbazione termica.

I risultati dello studio portano a concludere che l'incremento termico nelle sezioni significative a valle dello scarico, valutato secondo i criteri stabiliti dalla legislazione vigente, si mantiene sempre nei limiti previsti dalla legge.

1 INTRODUZIONE

1.1 Scopo dello studio

L'obiettivo dello studio è quello di valutare, mediante simulazione numerica, la dispersione termica del pennacchio caldo costituito dalle acque di raffreddamento provenienti dai condensatori e rilasciate all'opera di scarico della centrale termoelettrica di Ostiglia nell'assetto attuale di funzionamento.

La centrale termoelettrica di Ostiglia (Mantova), di proprietà di ENDESA Italia, è attualmente costituita da tre gruppi a ciclo combinato (gruppi 1, 2 e 3) da 380 MW e da un gruppo di tipo tradizionale (gruppo 4) da 330 MW per una potenza totale installata di 1470 MW. Per il ciclo di raffreddamento, l'impianto utilizza acqua prelevata dal fiume Po nella misura massima di 40 m³/s.

Alla luce delle più critiche condizioni idrologiche del corpo idrico ricettore si è reso necessario valutare il rispetto del limite di legge relativamente allo scarico termico delle acque di raffreddamento nel segmento di fiume Po compreso tra l'opera di presa della centrale ed un tratto, a valle dell'opera di scarico, sufficiente a determinare la diluizione del pennacchio termico conseguente allo scarico.

A tale proposito, si fa riferimento al D.Lgs n° 152/06 che, nell'allegato 5 alla Parte Terza (*Limiti di emissione degli scarichi idrici*), punto 1 (*Scarichi in corpi d'acqua superficiali*), tabella 3 (*Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura*), parametro 2 (*temperatura*), nota 1, recita tra l'altro:

"Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1 °C. omissis Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura dell'acqua di qualsiasi sezione non deve superare i 35 °C, la condizione suddetta è subordinata all'assenso del soggetto che gestisce il canale".

L'obiettivo dello studio è dunque quello di valutare, mediante simulazione numerica, la dispersione termica nel fiume Po tenendo conto dell'attuale assetto di funzionamento dell'impianto e delle modificate condizioni del corpo idrico ricettore, assunte particolarmente critiche, e, perciò, difficilmente ripetibili e verificabili.

Quest'ultimo è stato inoltre oggetto di una recente campagna di misure, eseguita da CESI per conto di ENDESA nell'ambito di un recente studio [Rif. 33], per il rilievo della morfologia dell'alveo nel segmento compreso tra l'opera di presa e l'area a valle dell'isola Boschina. Le nuove batimetrie, unitamente alla considerazione delle nuove pile in corso di realizzazione in alveo al fiume Po per il costruendo ponte stradale a valle dell'esistente, sono state utilizzate per la realizzazione del reticolo di calcolo adottato nel corso della presente simulazione numerica.

Lo studio in oggetto, che analizza, alle condizioni di esercizio ipotizzate, la dispersione termica della centrale nelle condizioni ambientali caratteristiche del sito e ritenute più a rischio (condizioni di portata e livello del tratto del fiume interessato), è stato condotto, data la tipologia dello scarico e la natura del problema, con il codice bidimensionale idrostatico SWEETOMP, usualmente impiegato per analisi di questo tipo.

1.2 Articolazione delle attività

La presente valutazione ipotizza che si esegua l'analisi del pennacchio termico dovuto allo scarico delle acque di raffreddamento della centrale nelle condizioni di scarico fornite dalla centrale e nelle condizioni ambientali tipiche del sito. In particolare, si valuteranno quelle situazioni che riproducono le condizioni di piena, morbida e magra del fiume Po, in modo da ottenere risultati conservativi riguardo agli obiettivi (rispetto dei limiti di legge, caratteristiche e localizzazione del pennacchio, eventuale presenza di ricircolo termico).

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

1. *Raccolta di informazioni, rilievo dei dati e valutazione dei parametri significativi per la caratterizzazione dello scarico e del territorio*, che sostanzialmente si è incentrata nei punti:
 - a) raccolta ed analisi dei dati relativi alle opere di scarico e presa della centrale;
 - b) definizione dei dati di esercizio della centrale in assetto attuale;
 - c) raccolta ed analisi dei dati caratterizzanti il fiume Po, in termini di valori di portata, livello e sezioni batimetriche, per le aree di interesse;
 - d) raccolta ed analisi delle condizioni meteorologiche tipiche della zona.
2. *Definizione del modello di calcolo numerico*, con particolare riferimento ai seguenti punti:
 - a) definizione della batimetria del tratto di fiume Po interessato dallo studio a partire dai rilievi sperimentali delle sezioni e dai dati topografici;
 - b) definizione del dominio di calcolo. In particolare, la tipologia dello scarico e della presa, la conformazione dell'alveo del fiume Po, la presenza di secche e di ponti, sono stati considerati con un dettaglio sufficiente agli scopi dello studio, in funzione degli scenari di volta in volta simulati;
 - c) realizzazione del reticolo di calcolo per la simulazione numerica. Il modello bidimensionale utilizzato dal codice SWEETOMP è stato generato a partire dal dominio di calcolo, e prevede la suddivisione del dominio stesso in elementi finiti parabolici triangolari, le cui dimensioni sono ottimizzate per poter analizzare con accuratezza le aree interessate dalla diffusione termica e le zone caratterizzate da bruschi cambiamenti di batimetria.
3. *Esecuzione delle simulazioni numeriche, condotte nelle condizioni ambientali ritenute più critiche e nell'assetto attuale di funzionamento dell'impianto.*
4. *Analisi dei risultati*, con particolare riferimento alla definizione del campo dinamico e di temperatura per la verifica del rispetto dei limiti di legge.
5. *Confronto* tra i valori previsti dalle simulazioni numeriche e quelli ricavati dalle misure di campo eseguite da CESI nel corso dell'anno 2007.

Il contenuto operativo di ciascuna delle fasi sopra citate è ampiamente descritto nei successivi capitoli.

Si fa osservare che le fasi 1 e 2 del presente studio riprendono interamente quelle corrispondenti del recente studio eseguito da CESI per conto di ENDESA con riferimento a due diversi assetti di funzionamento della centrale, rispettivamente a quattro e a tre gruppi a ciclo combinato [Rif. 33].

1.3 Documenti di riferimento

- [1] S. Alessandrini, M. Riva, A. Toppetti, G. Agate, R. Guandalini (2004), "Centrale termoelettrica di Ostiglia-SIA per la realizzazione del modulo 4 a ciclo combinato single shaft. Contributi per le componenti ambientali acque superficiali e atmosfera." - CESI n° A4009571 (marzo 2004)
- [2] R. Guandalini (2005), "SweetOmp: 2D Environment Fluid Dynamics. Installation and User's Manual" - WorkNote 031/7 (November 2005)
- [3] R. Guandalini, F. Sala, G. Stigliano, E. Colombo et al (2002), "Etude de faisabilité d'une liaison électrique directe Algérie - Espagne. 2nde phase: avant projet" - CESI A2/039618 (novembre 2002).
- [4] S. Corti (1999), "Studio idrodinamico del Naviglio Brenta in diverse ipotesi di scarico della centrale Enel di Fusina (Ve): analisi transitoria" - ENEL-SRI/PIS 5844 (settembre 1999).

- [5] AA.VV. (2003), "Centrale di Tavazzano e Montanaso. SIA per il Mantenimento in Esercizio della Sezione Termoelettrica 7. Contributi per le Componenti Ambientali Acque Superficiali ed Atmosfera" - CESI A3/016289 (febbraio 2003).
- [6] AA.VV. (2003), "Centrale di Tavazzano e Montanaso. SIA per la Realizzazione del Moduli 9 e 10 a Ciclo Combinato Single Shaft. Contributi per le Componenti Ambientali Acque Superficiali ed Atmosfera" - CESI A3/031035 (agosto 2003).
- [7] R. Guandalini, D. Colombo (2006), "Centrale Termoelettrica di Porto Tolle. Studio della dispersione termica delle acque di raffreddamento in assetto a carbone ed in presenza del progetto di vivificazione della Sacca del Canarin." - CESI n° A6009845 (giugno 2006)
- [8] D. Colombo (2006), "Progetto idraulico del Parco Marecchia e sistemazione del Porto Canale di Rimini. Studio mediante modello numerico del Porto Canale di Rimini per la individuazione di possibili soluzioni atte a smaltire la frazione di portata di massima piena proveniente dal Deviatore Marecchia e per la individuazione di azioni per il miglioramento della qualità delle acque." - CESI n° A6024760 (settembre 2006).
- [9] UGS Corp. - "Femap: a Windows-based engineering simulation tool for finite element analysis (FEA)" - www.ugs.com
- [10] Autodesk Inc. "Autocad: a CAD tool for design" - www.autodesk.com
- [11] Google Earth: A 3D interface to the planet - <http://earth.google.com>
- [12] ENDESA Italia - Centrale di Ostiglia. Planivolumetria Generale - Disegno n. STO-882 Rev. 7 Scala 1:2000 (Febbraio 1997)
- [13] http://www.endesaitalia.it/gallery/centrali_ostiglia.htm
- [14] ITALFERR Gruppo FS, "Ponte sul fiume Po da progr. 67+021,85 a progr. 67-957,25. Planimetria di progetto. IBIA 45 E 09 P7 VI0100 001A."
- [15] ENEL Compartimento di Venezia - Centrale di Ostiglia. Opera di Presa. Sezione Longitudinale H-H. Disegno n. Os-A1-S-203 rev. G Scala 1:50 (Ottobre 1967)
- [16] ENEL Compartimento di Venezia - Centrale di Ostiglia. Opera di Presa. Pianta B-B. Disegno n. Os-A1-S-197 rev. G Scala 1:50 (Novembre 1967)
- [17] RIVA HYDROART Impianto Ostiglia - Installazione e fondazione. Disegno n. 6P 153719. Scala 1:100, 1:25. (Gennaio 1990)
- [18] CTR della Lombardia. Scala 1:10000. Quadri F8A1, F8A2, F8A3, F8B1, F8B2, F8B3, F8C1, F8C2, F8C3.
- [19] CESI Area Tecnica Ambiente - Unità Spec. Sistemi Idrici. "Rilievi batimetrici fiume Po nel tratto antistante la centrale termoelettrica di Ostiglia. Campagna batimetrica laboratorio di Piacenza. Aprile 2007." File Tavola: Ostiglia - Mappa Batimetrica 1m - Aprile 2007.dwg. Scala 1:2000. Maggio 2007.
- [20] M. Pozzoni, A. Bozzani (1994), "DATAPO. "Sistema Informativo per l'Archiviazione dei Dati Ambientali sul Fiume Po." Rapporto CISE-SAQ-94-37 (settembre 1994)
- [21] R. Guandalini (2003), "Conversione ed Aggiornamento della Banca Dati DATAPO in Ambiente Windows 2000 - Personal WorkNote 060/0" (ottobre 2003)
- [22] G.P. Stigliano (1998), "Elaborazioni Idrologiche in Alcune Stazioni di Preminente Interesse Enel nell'Ambito della Commessa MISPO." Rapporto CISE-SQS-97-29 (aprile 1998)
- [23] G.P. Stigliano (1993), "Fiume Po ed Affluenti. Sezioni di Misura." Rapporto CISE 7406
- [24] G.P. Stigliano, E. Storni (1997), "Elaborazioni Idrologiche in Alcune Stazioni di Preminente Interesse Enel nell'Ambito della Commessa SIMCA." Rapporto CISE-SQS-96-46 (marzo 1997)
- [25] G. Della Dora, V. Tarzia (1997), "Misurazioni delle Portate sui Corsi d'Acqua del bacino del Po." Rapporto CISE-SQS-97-1 (giugno 1997)
- [26] V. Tarzia (1998), "Misurazioni delle Portate sui Corsi d'Acqua del bacino del Po." Rapporto CISE-SQS-97-21 (gennaio 1998).

- [27] G.P. Stigliano (1997), "*Attività Sperimentale di Indagini Idrometriche sul Fiume Po ed Affluenti Svolta nel 1997 nell'Ambito della Commessa MISPO.*" Rapporto CISE-SQS-97-24 (dicembre 1997)
- [28] Ministero dei Lavori Pubblici. Magistrato per il Po, "*Studio e Progettazione di Massima delle Sistemazioni Idrauliche dell'Asta Principale del Po, dalle Sorgenti alla Foce, Finalizzate alla Difesa ed alla Conservazione del Suolo ed alla Utilizzazione delle Risorse Idriche.*"(1980-1983)
- [29] ARPA Emilia Romagna. Condizione dei deflussi del Po. Bacino del Po a Borgoforte
- [30] AA.VV. - "*Caratteristiche Diffusive dell'Atmosfera. Criteri Generali del lavoro e Guida alla sua Utilizzazione.*" Servizio Meteorologico Aeronautica Militare. ENEL (1991)
- [31] DLgs 152/06, "Norme in materia ambientale", 3 aprile 2006 n.152 (Suppl. ordinario gazz. Uff. n. 88 del 14/04/2006)
- [32] Notiziario IRSA. "*Metodi analitici per le acque: Metodologie per la determinazione dell'incremento di temperatura nelle acque marine a seguito di sversamenti di scarichi termici.*" n. 4, Ottobre - Dicembre 1993
- [33] D. Colombo (2007), "*Centrale di Ostiglia. Studio mediante modellistica numerica della dispersione delle acque di raffreddamento.*" - CESI n° A7017843 (luglio 2007)
- [34] Provincia di Mantova. Determinazione n. 3058 - 2006 Oggetto: "*Autorizzazione allo scarico in corso d'acqua superficiale delle acque reflue industriali (raffreddamento) provenienti dalla centrale termoelettrica della Endesa Spa sita in via Abetone Brennero km 239, Ostiglia.*"
- [35] Misure di centrale (assetto di funzionamento e livello Po) eseguite durante la campagna di misura dell'aprile 2007 (file: Dati fiume 05-04-07.xls; Rilievi del 05-04-07.xls; Rilievi del 06-04-07.XLS)

2 CARATTERISTICHE DEL MODELLO NUMERICO UTILIZZATO

2.1 Caratteristiche del codice SWEET-OMP 4.5

2.1.1 Caratteristiche generali

Il codice di calcolo SWEET-OMP [Rif. 2] è un simulatore 2D agli elementi finiti in grado di calcolare il campo idrodinamico e termico a partire dalle condizioni iniziali ed al contorno, tenendo conto degli eventuali effetti del vento. SWEET-OMP è stato sviluppato negli anni 90 presso l'ENEL dal Polo Idraulico e Strutturale, confluito poi in CESI, ed è stato usato per una serie di analisi idrodinamiche [da Rif. 3 a Rif. 8] anche nell'ambito di progetti europei. La versione 4.0.1 con cui sono state eseguite le simulazioni è la penultima versione di produzione, ed è disponibile per sistemi Unix, Linux e Windows 2K/XP.

Nel corso degli ultimi due anni si è proceduto ad uno sviluppo del codice (versione 4.6.1) volto principalmente a dotarlo di un più esteso modulo di interfaccia utente, di una serie di algoritmi di gestione topologica del reticolo di calcolo, oltre che del calcolo automatico dei limiti termici secondo la normativa vigente sia in campo fluviale che marittimo. Peraltro, per quanto riguarda gli algoritmi di calcolo di base, la versione 4.6.1 recentemente messa a punto è identica alla versione 4.0.1; quest'ultima, inoltre, garantisce la validazione nel campo fluviale necessaria per la presente verifica oltre a consentire un confronto diretto con i precedenti studi [Rif. 1 e Rif. 33].

Per tali ragioni e poiché della più recente versione 4.6.1 non è stata ancora ufficialmente completata la fase di validazione, i calcoli sono stati eseguiti con la versione 4.0.1, mentre l'analisi dei risultati e la gestione delle *mesh* ai diversi livelli è stata condotta sfruttando le migliorie della versione 4.6.1.

Per quanto riguarda la preparazione del reticolo di calcolo, la versione corrente si avvale del generatore commerciale FEMAP 9.0 [Rif. 9], a partire dai dati topologici e relativi alle sezioni rilevati con AUTOCAD 2005 [Rif. 10]. La gestione dei dati e la visualizzazione dei risultati è effettuata mediante un apposito interfaccia utente.

2.1.2 Considerazioni sul modello matematico idrodinamico

Le equazioni del modello su cui si basa il codice SWEET-OMP sono tipicamente le equazioni "shallow water" derivate dalle equazioni di Navier - Stokes con ipotesi idrostatica mediante l'integrazione delle stesse lungo la verticale. In questo caso le equazioni del momento, della continuità e della superficie libera assumono la forma:

$$\frac{\partial q_1}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{1}{h} q_1 q_1 \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{1}{h} q_2 q_1 \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(v_k \frac{\partial q_1}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(v_k \frac{\partial q_1}{\partial x_2} \right) - gh \frac{\partial z_f}{\partial x_1} + \frac{f q_2}{h} - F_{1, \text{fond}} + F_{1, \text{vent}}$$

$$\frac{\partial q_2}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{1}{h} q_1 q_2 \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{1}{h} q_2 q_2 \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(v_k \frac{\partial q_2}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(v_k \frac{\partial q_2}{\partial x_2} \right) - gh \frac{\partial z_f}{\partial x_2} - \frac{f q_1}{h} - F_{2, \text{fond}} + F_{2, \text{vent}}$$

$$\frac{\partial z_f}{\partial t} = -\frac{\partial q_1}{\partial x_1} - \frac{\partial q_2}{\partial x_2}$$

dove:

$$q_i = h\bar{u}_i \text{ per } i = 1,$$

$$F_{i, fmd} = g \frac{\sqrt{q_1^2 + q_2^2}}{K_s h^2 h^{1/3}} q_i \quad \text{per } i = 1, 2$$

$$F_{i, vent} = \frac{\rho_{aria}}{\rho_0} C_w \sqrt{W_1^2 + W_2^2} W_i \quad \text{per } i = 1, 2$$

Il vettore $\bar{q} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix}$ rappresenta la portata specifica per unità di larghezza (m^2/s), solitamente utilizzata nelle valutazioni ingegneristiche.

Analogamente alle equazioni "shallow water" per il campo di velocità, si possono estendere le ipotesi semplificative alla De Saint - Venant anche al campo termico ed a quello derivante dalla diffusione di un inquinante passivo per cui, integrando lungo la verticale le equazioni tridimensionali per la temperatura e la concentrazione dell'inquinante passivo, si ottengono le seguenti equazioni:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = -\bar{u}_1 \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_1} - \bar{u}_2 \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_2} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x_1} \left[v_r \frac{\partial (h\bar{T})}{\partial x_1} \right] + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x_2} \left[v_r \frac{\partial (h\bar{T})}{\partial x_2} \right] - \frac{H_{sc}}{h\rho_0 c_p} (\bar{T} - T_{nat})$$

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = -\bar{u}_1 \frac{\partial \bar{S}}{\partial x_1} - \bar{u}_2 \frac{\partial \bar{S}}{\partial x_2} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x_1} \left[v_s \frac{\partial (h\bar{S})}{\partial x_1} \right] + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x_2} \left[v_s \frac{\partial (h\bar{S})}{\partial x_2} \right]$$

in cui è compreso il calcolo dell'effetto dello scambio termico con l'atmosfera.

Le equazioni sopra descritte sono risolte nel codice SWEET-OMP utilizzando una serie di algoritmi numerici atti a fornire i risultati in modo rapido ed accurato, garantendo la massima possibilità di convergenza. In effetti il codice si presenta abbastanza robusto da questo punto di vista, ed eventuali problemi di convergenza della soluzione sono in generale imputabili ad una errata o non fisicamente plausibile assegnazione delle condizioni al contorno.

Per quanto riguarda la discretizzazione temporale delle equazioni della portata specifica e dell'elevazione della superficie libera, si fa uso del metodo dei passi frazionari a tre passi: il primo isola il termine convettivo, che viene risolto mediante il metodo delle caratteristiche, il secondo fa uso di un metodo ad un passo implicito in cui le forze di attrito del fondo sono trattate in modo parzialmente implicito, valutando la portata specifica e l'elevazione della superficie libera al passo precedente, ed infine il terzo nel quale si applica un metodo implicito in cui i coefficienti delle derivate spaziali e temporali sono valutati con le grandezze note al passo precedente.

La discretizzazione temporale delle equazioni di turbolenza e del campo termico è condotta con una tecnica simile a due soli passi, in cui il primo isola il termine convettivo risolvendolo col metodo delle caratteristiche, mentre il secondo considera il termine diffusivo ed i termini di sorgente.

Il codice è stato recentemente affinato nell'algoritmo convettivo per consentire l'analisi di aree caratterizzate dalla concomitante presenza di zone a bassa profondità e soprattutto a bassa velocità di scambio (aree lagunari) ed aree viceversa caratterizzate da alte velocità (canali di scarico e presa) o da profondità elevate (zona di mare aperto), tutte contemporaneamente presenti nel medesimo reticolo di calcolo. L'affinamento dell'algoritmo convettivo tiene conto della differente tipologia di discretizzazione e della diversa idrodinamica nelle varie regioni del reticolo consentendo di raggiungere soddisfacenti livelli di affidabilità dei risultati nelle condizioni peculiari sopra descritte.

Tutte le equazioni sono discretizzate col metodo degli elementi finiti utilizzando elementi triangolari P1, definiti da tre nodi e con funzioni di forma lineari, ed elementi di tipo P2, definiti da sei nodi e con funzioni di forma paraboliche. La griglia di base è costituita da triangoli di tipo P1, in quanto i triangoli di tipo P2 sono automaticamente creati dagli elementi P1, aggiungendo un nodo a metà di ciascun lato. Tali elementi hanno perciò funzioni di forma paraboliche ma lati rettilinei. Tale discretizzazione, di cui in fig. 2.1 è riportato un esempio, è effettuata direttamente in fase di creazione del reticolo di calcolo.

Gli elementi di tipo P2 sono utilizzati per approssimare la portata specifica, mentre l'elevazione della superficie libera, le grandezze k , ε , e lo scalare sono approssimati con elementi di tipo P1.

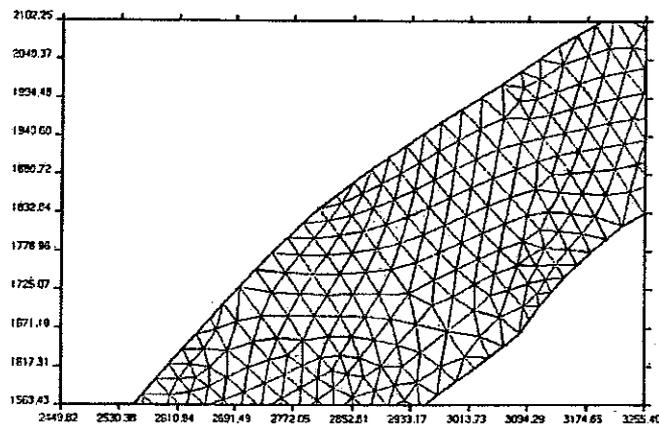


fig. 2.1 - Esempio di reticolo per il modello di simulazione numerica di SWEETOMP

3 ANALISI DELLE CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA

3.1 Considerazioni generali

Lo scarico dell'acqua calda proveniente dai circuiti di raffreddamento delle centrali termoelettriche è tipicamente condizionato dalla conformazione delle opere di restituzione e dalle condizioni idrauliche del sito oltre che da quelle di esercizio degli impianti. Pertanto, attraverso la raccolta e l'analisi dei dati caratteristici del sito e degli impianti, è necessario individuare le condizioni di simulazione più adatte allo scopo dello studio.

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

- dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico e di presa;
- dati relativi alla configurazione dei corpi idrici, alla relativa batimetria ed alle opere presenti lungo il corpo idrico (tipicamente pile di ponti, ecc.);
- dati relativi ai valori di temperatura, portata e livello dei corpi idrici;
- dati relativi ai parametri meteorologici;
- dati di esercizio della centrale, quali potenza, modalità di esercizio e portata di scarico dei circuiti di raffreddamento.

Nel presente capitolo verranno analizzate in dettaglio le diverse tipologie di dati allo scopo di definire correttamente gli scenari di analisi.

3.2 Caratteristiche dell'impianto

3.2.1 Localizzazione dell'impianto

La centrale di Ostiglia è collocata nelle immediate adiacenze dell'abitato di Ostiglia, in provincia di Mantova, sulla sponda sinistra del fiume Po, al chilometro 239 della SS 12 Abetone - Brennero, come illustrato in fig. 3.1. La corografia generale dell'impianto è mostrata in fig. 3.2.

L'impianto preleva l'acqua di raffreddamento direttamente dal fiume Po mediante un'opera di presa (fig. 3.3) collocata sull'argine sinistro a circa 1000 m a monte dell'esistente ponte ferroviario e stradale che collega gli abitati di Revere e Ostiglia (fig. 3.4) e la restituisce a circa 100 m a monte del medesimo ponte mediante un'opera di scarico a pelo libero (fig. 3.5) che scavalca l'argine sinistro stesso.

Per quanto riguarda il tratto di fiume direttamente interessato, dalla presa fino ad almeno 1000 m a valle dello scarico, esso è principalmente caratterizzato dall'emergenza costituita dall'Isola Boschina, scollegata dalla sponda sinistra del Po solo in condizioni di piena. Accanto alla singolarità naturale dell'isola, immediatamente a valle dell'opera di scarico sono inoltre presenti le singolarità artificiali costituite dal sopra citato ponte Revere - Ostiglia a cui si sono recentemente aggiunte quelle del nuovo ponte ferroviario, in corso di realizzazione per il raddoppio della linea tra Bologna e Verona lungo la direttrice Bologna Brennero (fig. 3.6).

Le singolarità naturali e quelle costituite dalle pile in alveo di entrambe le opere (fig. 3.7) sono state debitamente considerate nella definizione della morfologia dell'alveo utilizzata dal modello numerico.

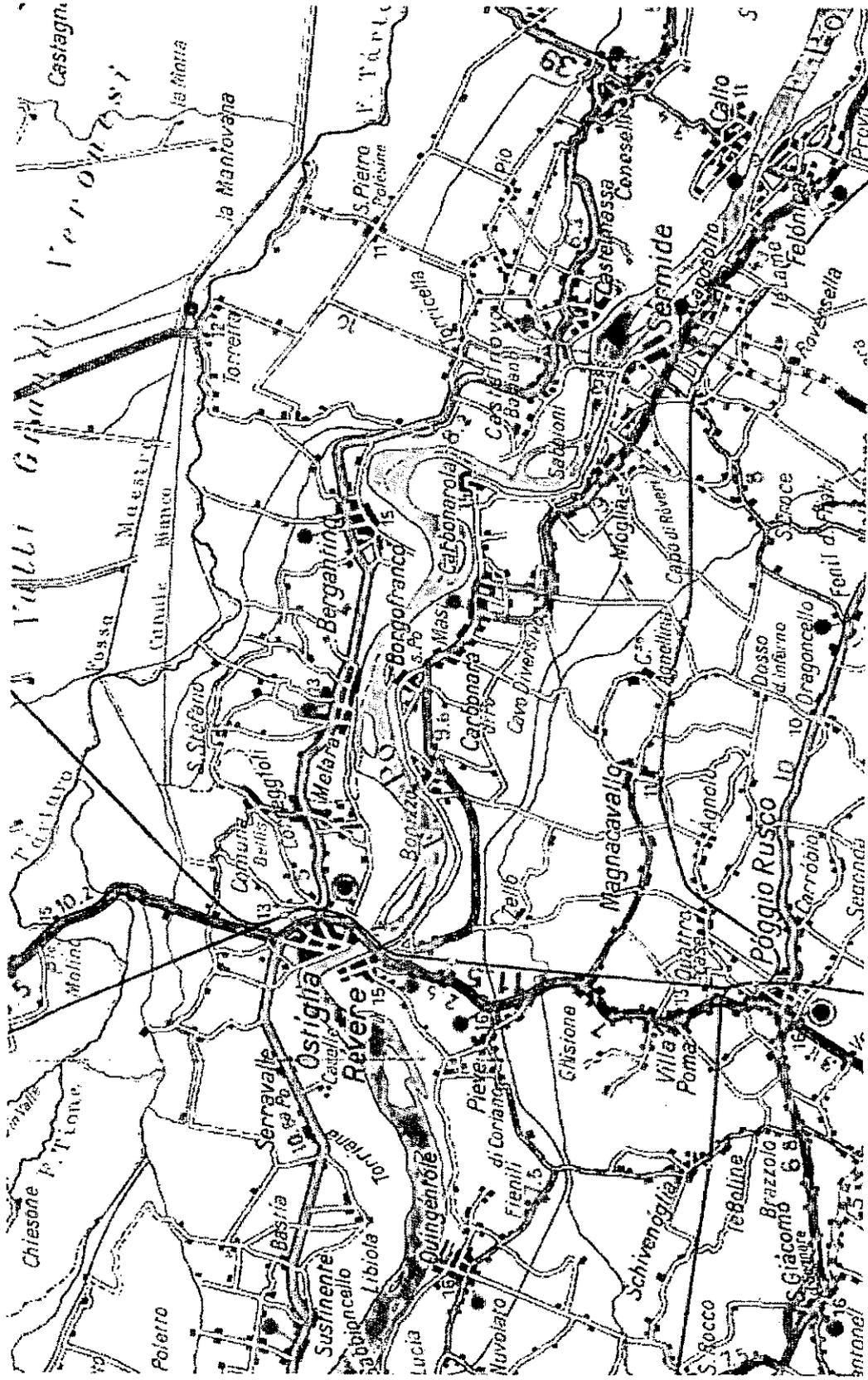


fig. 3.1 - Carta stradale della zona comprendente il tratto di fiume tra Quingentole e Sermide

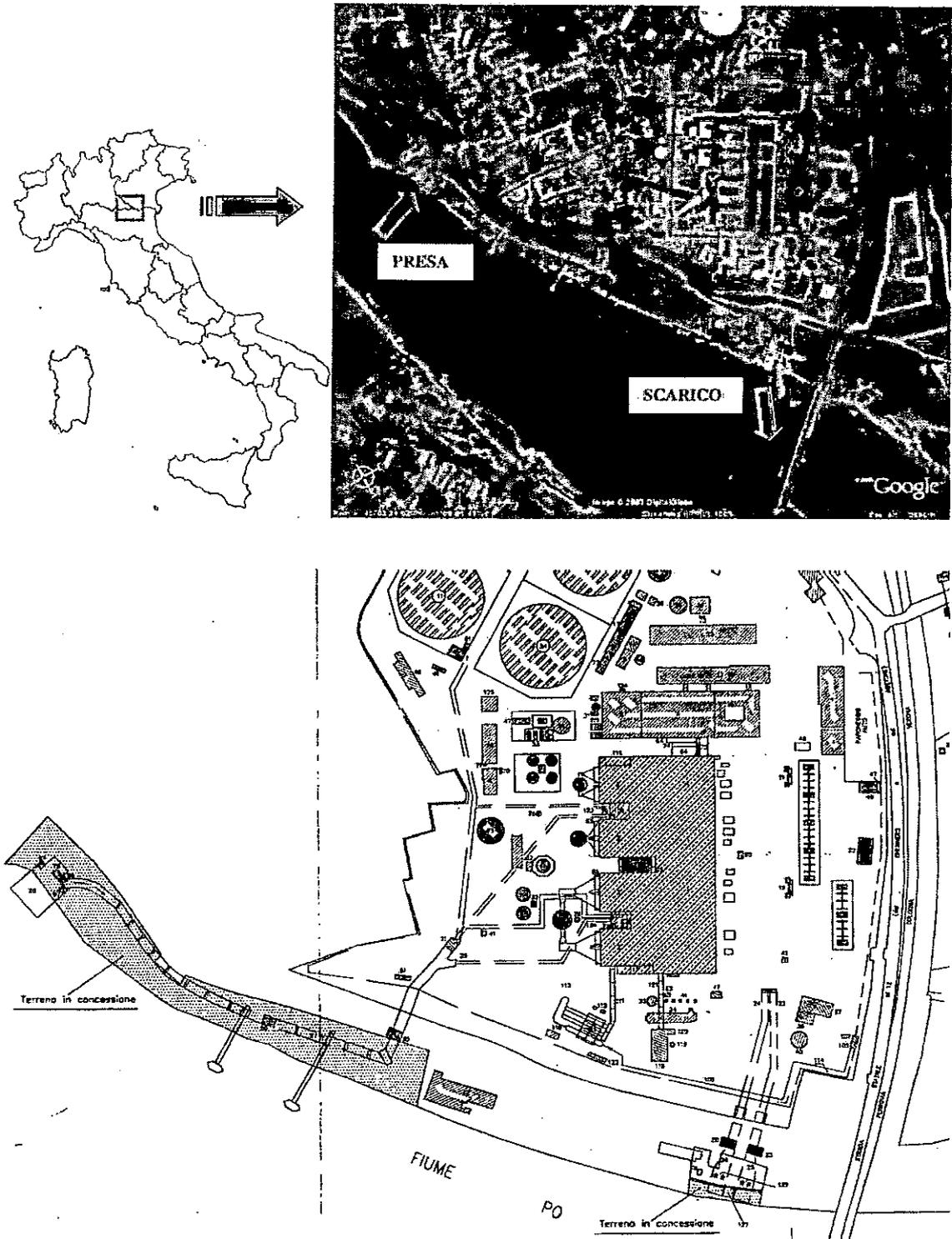
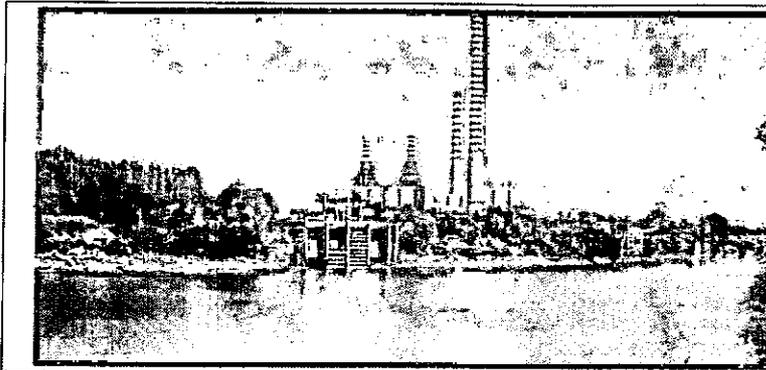


fig. 3.2 – Corografia generale dell'impianto con ubicazione delle opere di presa e di scarico (da Rif. 11, in alto; a Rif. 12, in basso)



Vista dalla sponda destra del Po verso valle

[Rif. 13]



Vista dalla sponda destra del Po da valle verso monte

(sopralluogo CESI, aprile 2007)



Dettaglio

(sopralluogo CESI, luglio 2003)

fig. 3.3 – Opera di presa

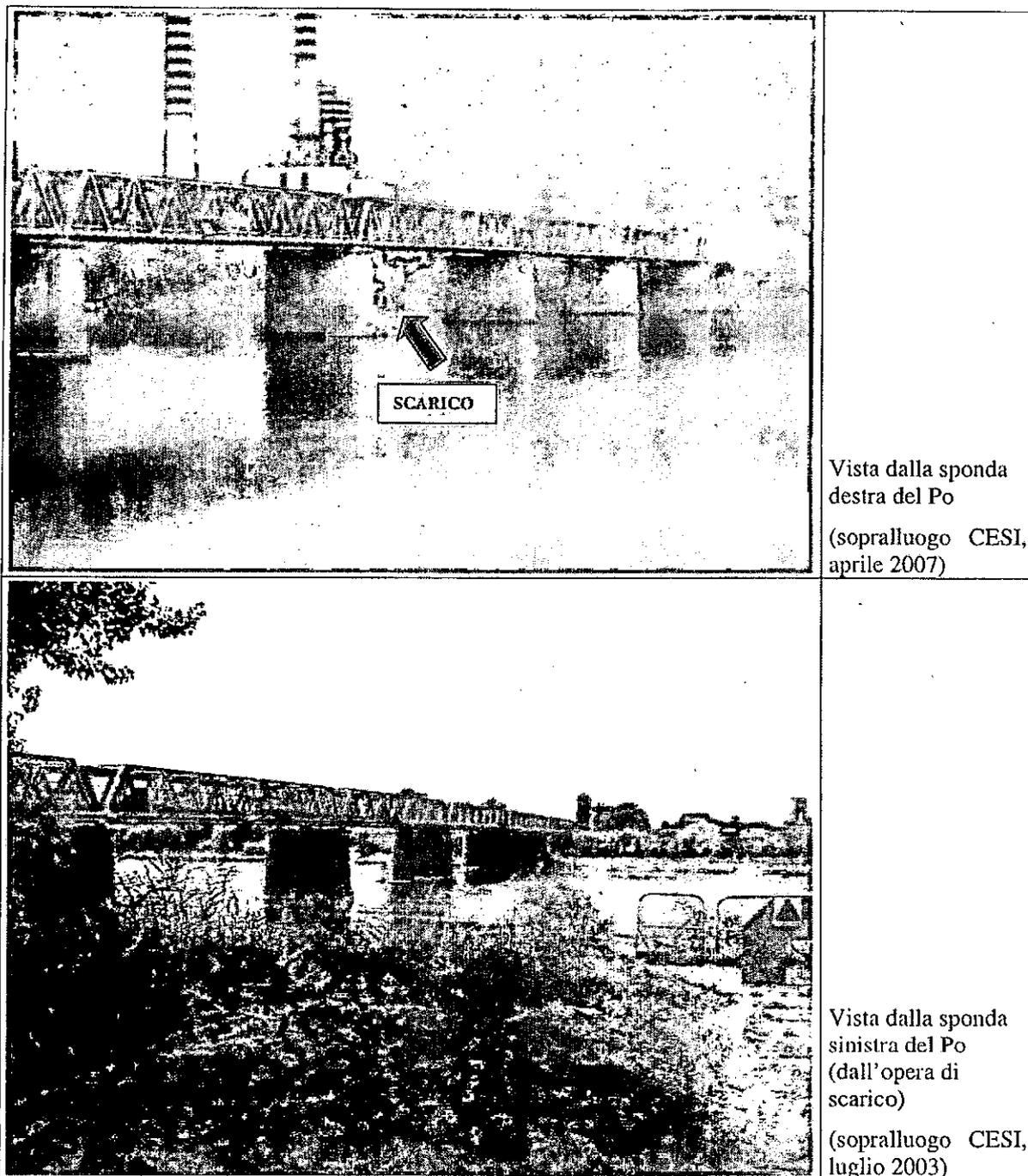
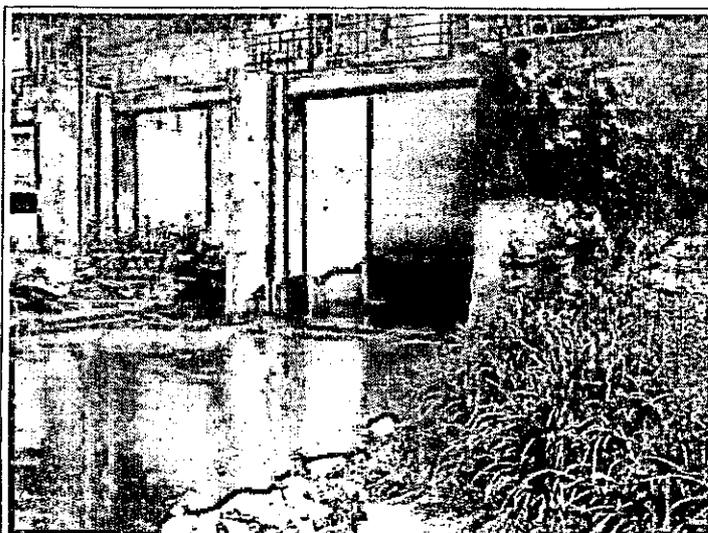
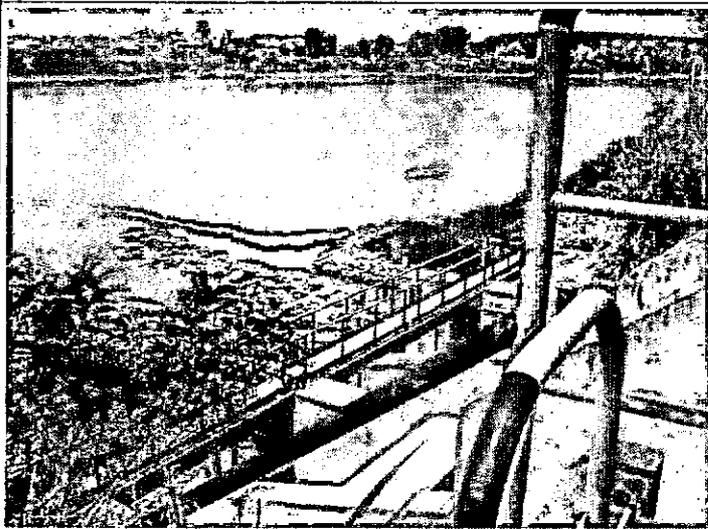


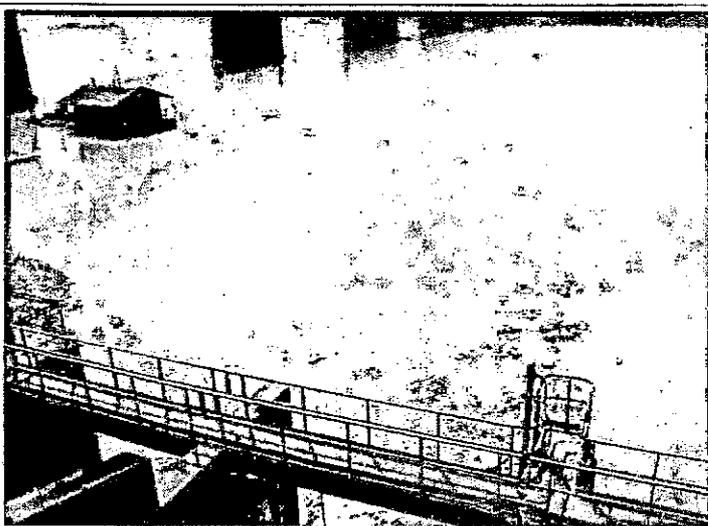
fig. 3.4 – Ponte stradale (SS 12) e ferroviario (Bologna – Verona) tra Revere ed Ostiglia



Vista frontale
(sopralluogo CESI, luglio 2003)

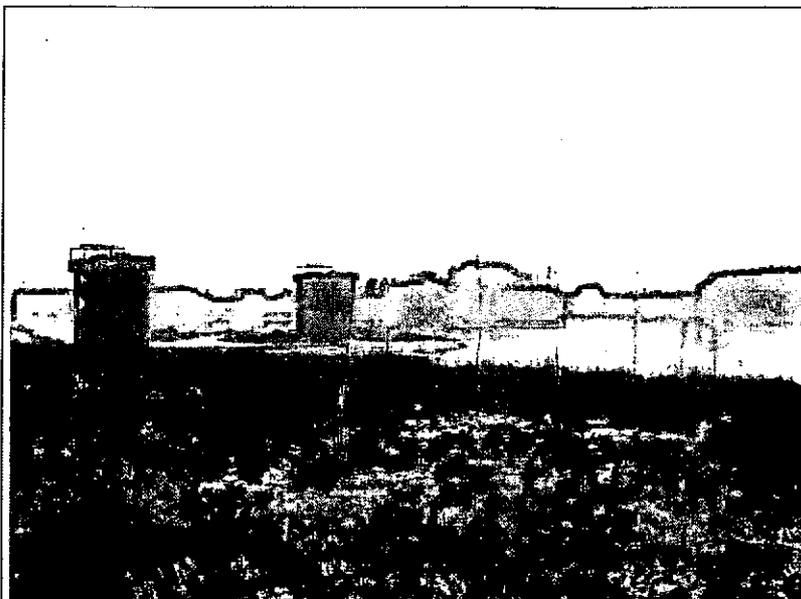


Vista dall'alto dell'opera verso monte
(sopralluogo CESI, luglio 2003)

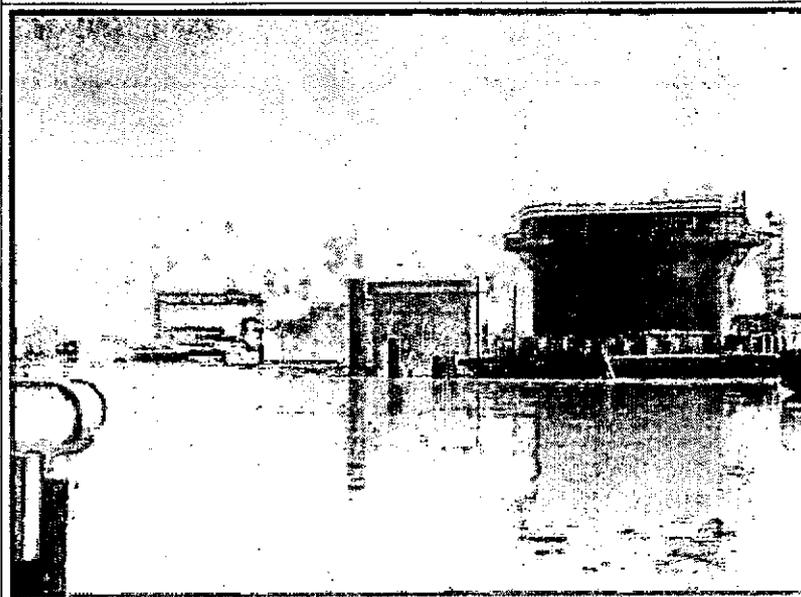


Vista dall'alto dell'opera verso le pile
del ponte stradale e ferroviario
(sopralluogo CESI, luglio 2003)

fig. 3.5 – Opera di scarico



Vista dalla sponda sinistra del Fiume Po
(sopralluogo CESI, aprile 2007)



Vista in navigazione da valle verso monte
(sopralluogo CESI, aprile 2007)

fig. 3.6 – Nuovo ponte ferroviario per il raddoppio della linea Bologna - Verona

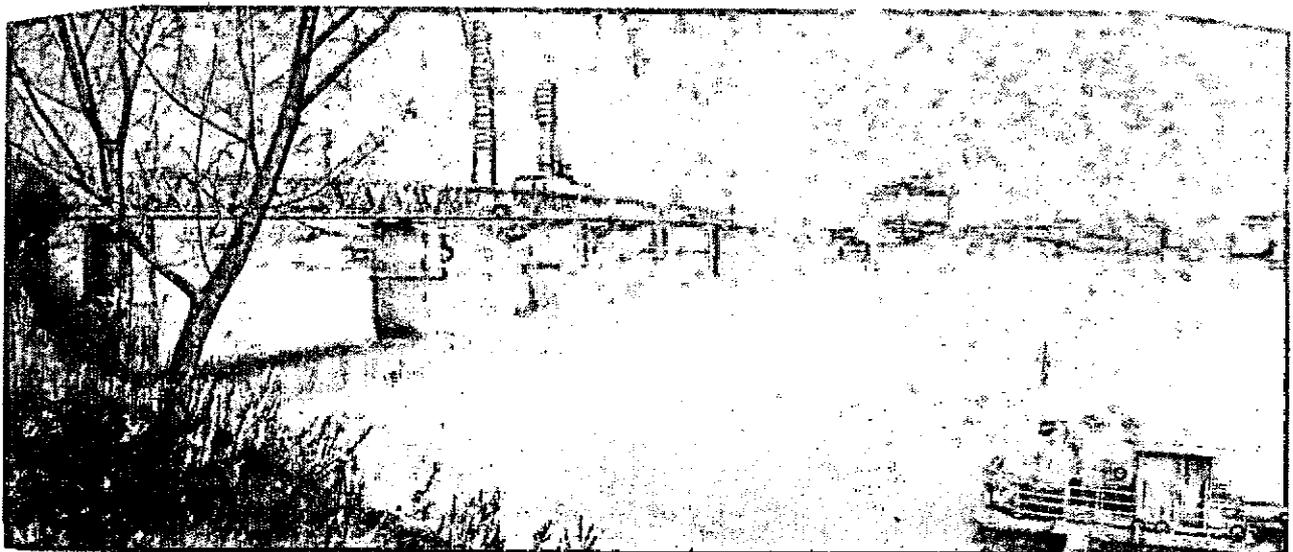
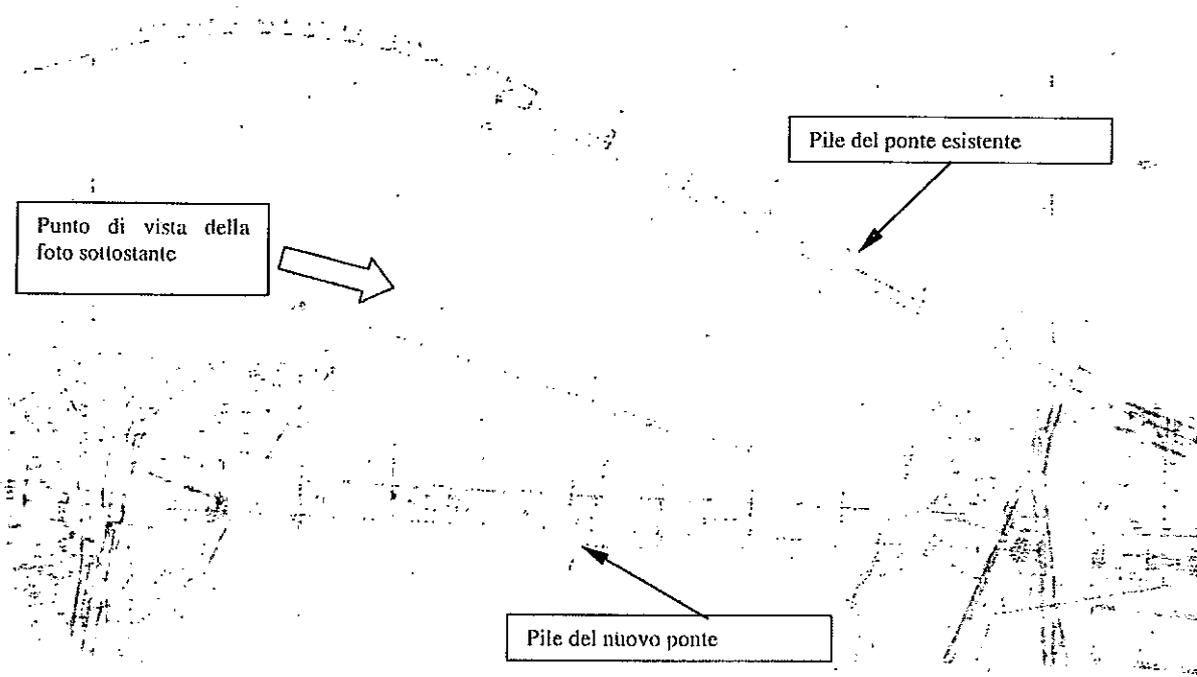


fig. 3.7 – Vista d’insieme delle pile dei due ponti a valle dello scarico (in alto: pianta estratta da Rif. 14; in basso: sopralluogo CESI, aprile 2007)

3.2.2 Caratteristiche dell'opera di presa

L'opera di presa (fig. 3.2 e fig. 3.3) si colloca in sponda sinistra sul fiume Po ad una distanza di circa 1000 m a monte del ponte stradale e ferroviario tra Revere e Ostiglia. Essa presenta quattro sezioni di aspirazione identiche, di forma rettangolare, aventi una luce di 6.80 m ciascuna ed una altezza compresa tra i 5.50 m s.l.m. del basamento ed i 22 m s.l.m. del piano di calpestio; è inoltre presente un tramezzo di convogliamento di spessore pari ad 1 m per regolare l'afflusso delle acque tra le sezioni afferenti ai diversi gruppi.

Nelle fig. 3.8 e fig. 3.9 sono riportati i particolari della sezione longitudinale e della pianta all'imbocco dell'opera di presa, tratte dai disegni di progetto [Rif. 15 e 16].

Si deve tuttavia considerare che le condizioni di scarico termico, e quindi le condizioni di aspirazione, sono legate anche al livello del fiume, che varia in un ampio intervallo di valori, come sarà meglio descritto nel seguito; ciò determina una diversa altezza di aspirazione e quindi diversi valori di velocità all'imbocco della sezione di presa. L'analisi condotta nel presente studio fa riferimento a tre livelli caratteristici del fiume, corrispondenti rispettivamente al livello di magra, al livello medio (definito d'ora in avanti livello di morbida) ed al livello di piena normale, trascurando le situazioni di piena eccezionale durante le quali le condizioni di scarico e presa sono da considerarsi del tutto anomale e comunque tali da non destare preoccupazioni in merito alla verifica oggetto del presente studio.

Diversamente da quanto assunto nel precedente studio [Rif. 1] e raccogliendo le indicazioni formulate in merito dagli organi competenti, i valori adottati per i suddetti livelli del fiume Po si discostano da quelli di progetto (riportati nella sezione longitudinale di fig. 3.8 e pari a 17.2 m, 11.2 m e 8.3 m s.l.m.m. rispettivamente per piena, morbida e magra), con la sola eccezione di quello relativo alle condizioni di piena normale che è stato mantenuto pari a +17.2 m s.l.m.m.. In considerazioni delle mutate condizioni idrologiche della locale rete idrografica e del fiume Po in particolare, i livelli di morbida e di magra sono stati invece diminuiti a +9.00 m e +6.80 m s.l.m.m..

In definitiva, l'area efficace di aspirazione della bocca, che è quella che interessa ai fini dello studio, è di 35.36 m² in condizioni di magra, di 95.20 m² in condizioni di morbida e di 318.24 m² in condizioni di piena. La Tabella 1 che segue riassume le caratteristiche dell'aspirazione in funzione delle condizioni assunte per il fiume Po.

Tabella 1 Parametri caratteristici dell'opera di presa in relazione ai livelli del fiume Po

	Livello fiume Po		
	MAGRA	MORBIDA	PIENA
Quota sup. battente idrico [m slm]	6.8	9.0	17.2
Sezioni di presa [n°]	4	4	4
Larghezza singola sezione [m]	6.8	6.8	6.8
Quota inf. bocca di presa [m slm]	5.5	5.5	5.5
Altezza battente idrico [m]	1.3	3.5	11.7
Area efficace di aspirazione [mq]	35.36	95.2	318.24
Portata totale SCENARIO 1 [mc/s]	29.14	29.14	29.14
Portata totale SCENARIO 2 [mc/s]	20.54	20.54	20.54
Velocità di aspirazione SCENARIO 1 [m/s]	0.824	0.306	0.092
Velocità di aspirazione SCENARIO 2 [m/s]	0.581	0.216	0.065

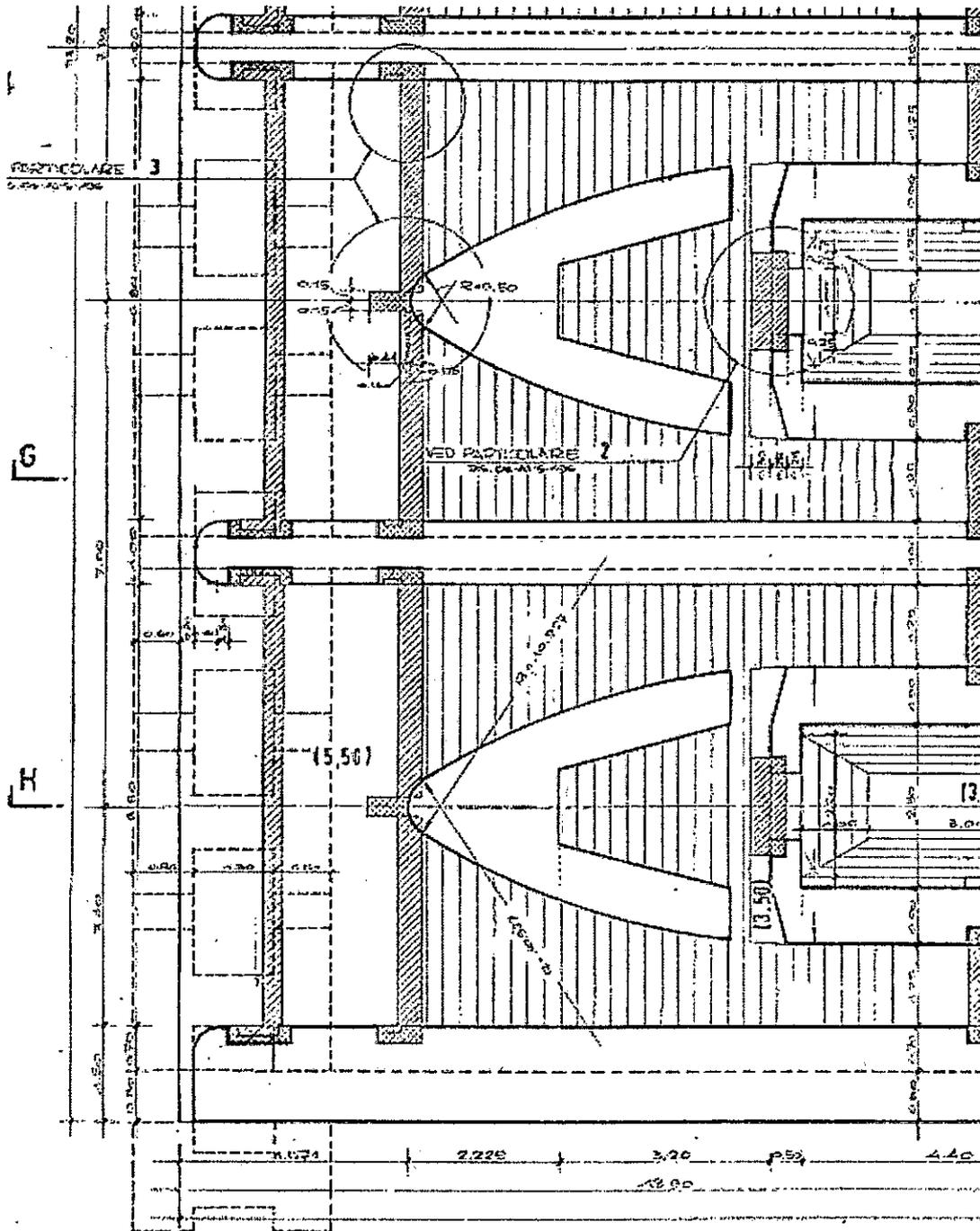


fig. 3.9 – Pianta dell'opera di presa; particolare della zona di aspirazione (da Rif. 16)

3.2.3 Caratteristiche delle opere di scarico

L'opera di scarico (fig. 3.2, fig. 3.5) restituisce le acque di raffreddamento al fiume Po circa 100 m a monte del ponte ferroviario e stradale esistente tra Revere ed Ostiglia. In particolare, allo scopo di evitare l'indebolimento dell'argine stesso, i condotti di mandata non attraversano l'argine (posto a quota +22 m s.l.m.) ma lo scavalcano (quota estradosso tubi a +24.90 m s.l.m.) convogliando poi le acque in due turbine idrauliche per un parziale recupero dell'energia di caduta. Le acque arrivano infine nel diffusore superficiale che le restituisce direttamente al fiume. Il diffusore è costituito da quattro sezioni di scarico identiche (una per ogni gruppo) raggruppate a due a due, per i gruppi 1-2 e per i gruppi 3-4 rispettivamente. La larghezza di ciascuna camera di scarico è pari a 5 m, mentre l'altezza è compresa tra i 7.50 m s.l.m. del basamento a riva e i 19 m s.l.m. del piano di calpestio. Ciascuna sezione di scarico è dotata di una turbina idraulica per il recupero dell'energia spesa dall'acqua nello scavalco dell'argine stesso, e di un bypass centrale per consentire lo scarico diretto dell'acqua di quelle sezioni le cui turbine sono eventualmente sottoposte a manutenzione e quindi escluse. Poiché tali situazioni sono da considerarsi saltuarie, e comunque non alterano le caratteristiche di portata e sovrizzo termico alla sezione finale, si suppone che lo scarico avvenga sempre attraverso le due sezioni di scarico (gruppo 1+2 e gruppo 3+4) tutte contemporaneamente operative.

Nelle fig. 3.10 e fig. 3.11 sono riportati i particolari della sezione longitudinale e della pianta allo sbocco dell'opera di scarico, tratte da Rif. 17.

Come per l'opera di presa si deve tuttavia considerare che le condizioni di scarico termico, in particolare per quanto concerne la velocità di scarico, sono dipendenti anche dal livello del fiume, che varia in un ampio intervallo di valori, come sarà meglio descritto nel seguito. L'analisi condotta nel presente studio fa riferimento a tre livelli caratteristici del fiume, corrispondenti rispettivamente al livello di magra, di morbida e di piena normale, trascurando le situazioni di piena eccezionale durante le quali le condizioni di scarico e presa sono da considerarsi del tutto anomale e comunque tali da non destare preoccupazioni in merito alla verifica oggetto del presente studio.

Diversamente da quanto assunto nel precedente studio [Rif. 1] e raccogliendo le indicazioni formulate in merito dagli organi competenti, i valori adottati per i suddetti livelli del fiume Po si discostano da quelli di progetto (e pari a 17.2 m, 11.2 m e 8.3 m s.l.m. rispettivamente per piena, morbida e magra), con la sola eccezione di quello relativo alle condizioni di piena normale che è stato mantenuto a +17.2 m s.l.m.. In considerazione delle mutate condizioni idrologiche della locale rete idrografica e del fiume Po in particolare, i livelli di morbida e di magra sono stati invece diminuiti a +9.00 m e +6.80 m s.l.m..

In definitiva, l'area efficace di scarico, che è quella utile ai fini dello studio, è di 30 m² in condizioni di morbida e di 194 m² in condizioni di piena; in condizioni di magra lo scarico avviene invece per sfioro della soglia alla base della bocca di scarico posta a quota +7.50 m s.l.m. e, dunque, ad una quota superiore a quella del pelo libero del fiume. La Tabella 2 che segue riassume le caratteristiche dell'aspirazione in funzione delle condizioni assunte per il fiume Po.

Tabella 2 Parametri caratteristici dell'opera di scarico in relazione ai livelli del fiume Po

	Livello fiume Po		
	MAGRA	MORBIDA	PIENA
Quota sup. battente idrico [m slm]	6.8	9.0	17.2
Sezioni di scarico [n°]	4	4	4
Larghezza singola sezione [m]	5	5	5
Quota inf. bocca di scarico [m slm]	7.5	7.5	7.5
Altezza battente idrico [m]	Scarico per ruscellamento	1.5	9.7
Area efficace di scarico [mq] (*)	-	30	194
Portata totale SCENARIO 1 [mc/s]	29.14	29.14	29.14
Portata totale SCENARIO 2 [mc/s]	20.54	20.54	20.54
Velocità di scarico SCENARIO 1 [m/s]	-	0.971	0.150
Velocità di scarico SCENARIO 2 [m/s]	-	0.685	0.106
Sovralzo termico medio SCENARIO 1 [°C]	8.91	8.91	8.91
Sovralzo termico medio SCENARIO 2 [°C]	10.27	10.27	10.27

(*) l'area effettiva di scarico è stata opportunamente definita nella mesh di calcolo in funzione degli andamenti batimetrici locali

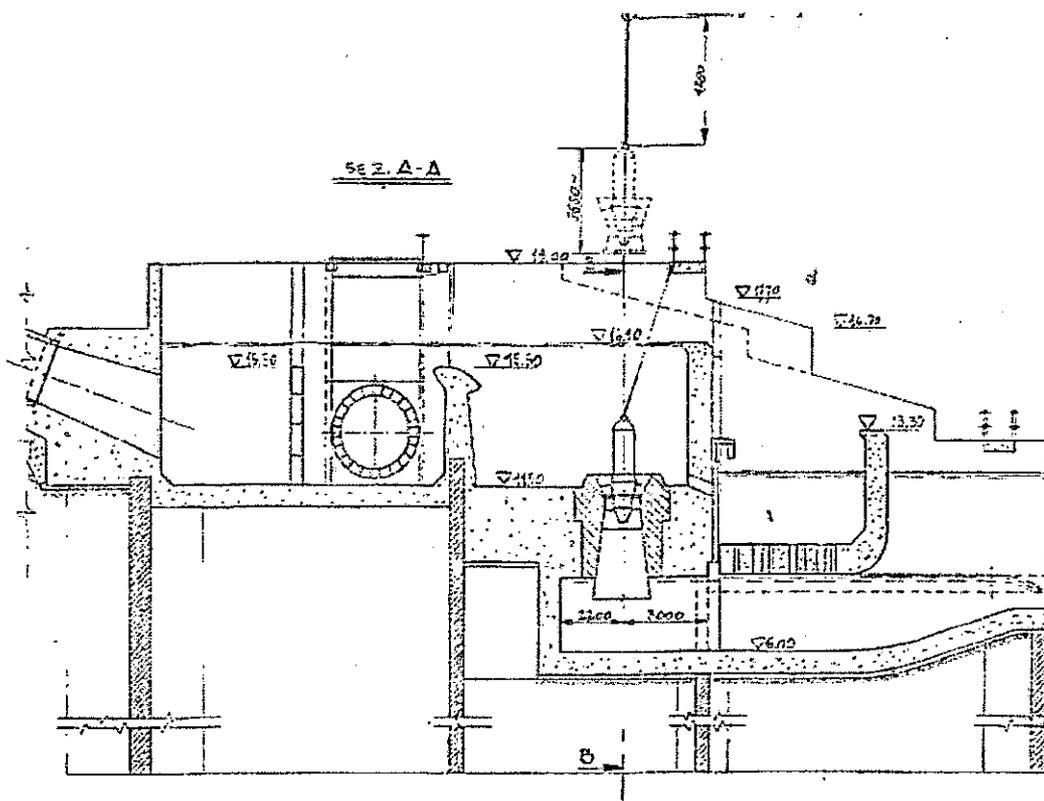


fig. 3.10 – Sezione longitudinale dell'opera di scarico (da Rif. 17)

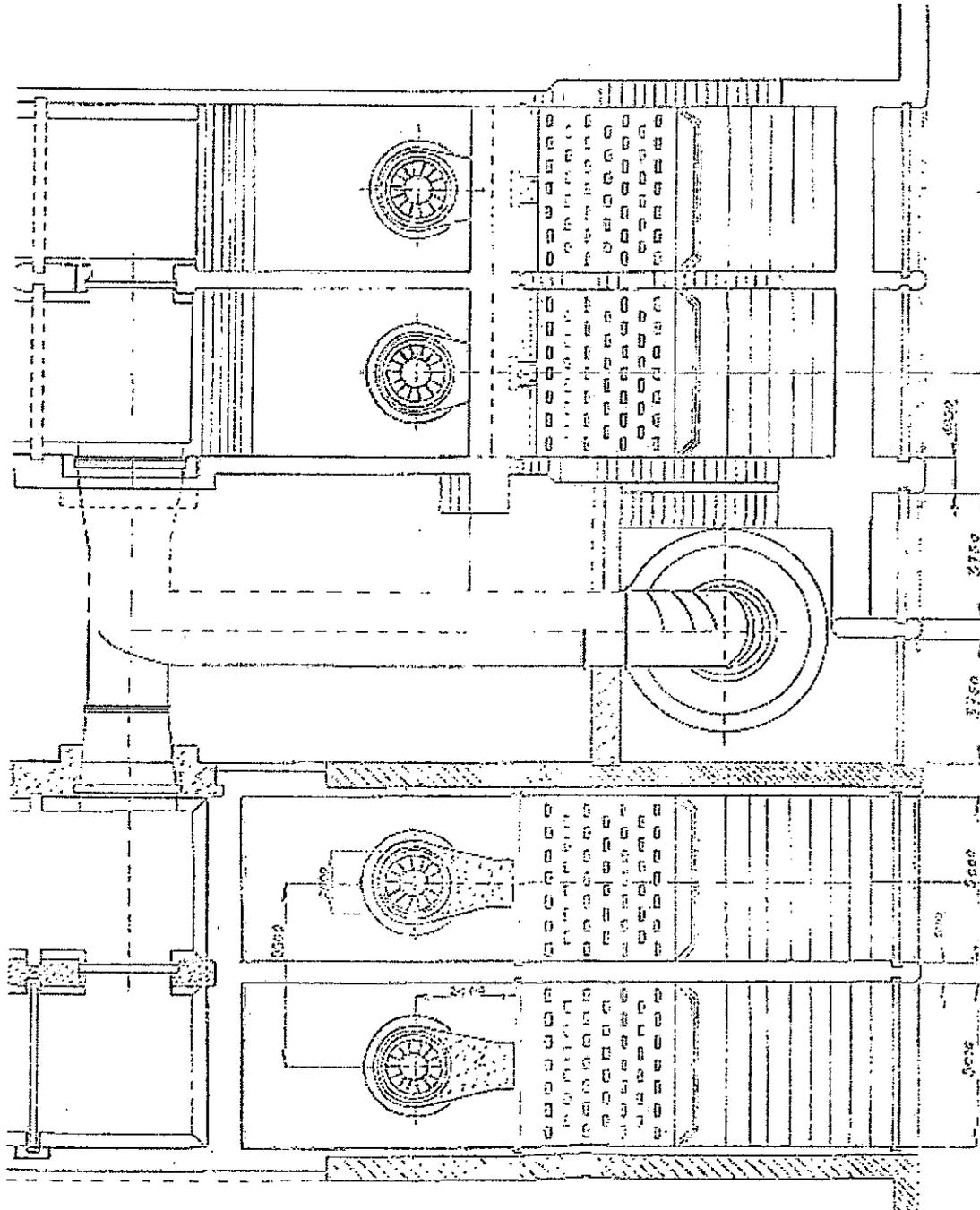


fig. 3.11 – Pianta dell'opera di scarico (da Rif. 17)

3.2.4 Condizioni di esercizio dell'impianto

Le simulazioni sono state condotte con riferimento all'attuale assetto di funzionamento dell'impianto (assetto "as is"), a 3 gruppi a ciclo combinato e ad 1 gruppo tradizionale, le cui caratteristiche sono riassunte nella Tabella 3 che segue. Entrambi si riferiscono alle condizioni nominali di massimo esercizio. Sono stati considerati trascurabili i contributi derivanti dallo scarico di altre acque di circolazione (dell'ordine di $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tabella 3 Condizioni di esercizio dell'impianto simulate nello studio

	GRUPPO 1	GRUPPO 2	GRUPPO 3	GRUPPO 4	TOTALE
ASSETTO "AS IS"					
Potenza installata [MW elettrici]	132	132	132	330	726
Portata aspirata [mc/s]	5.97	5.97	8.6	8.6	29.14
Portata scaricata [mc/s]	5.97	5.97	8.6	8.6	29.14
Incremento termico [°C]	9.5	9.5	8.5	14.5	10.68 (*)

(*) media pesata

3.3 Caratteristiche ambientali e del territorio

Dal punto di vista della valutazione dei parametri ambientali e territoriali che interessano lo studio in oggetto, sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti:

1. morfologia e condizioni del tratto di fiume Po interessato dallo scarico
2. caratteristiche del flusso idrico
3. caratteristiche del fondale
4. dati relativi alla temperatura del corpo idrico
5. dati relativi alle condizioni meteorologiche

Tenendo presente che il modello di simulazione numerica impiegato richiede la conoscenza della planimetria e del profilo idraulico del fiume lungo tutto il tratto considerato, nonché la conoscenza dei valori di portata e livello corrispondenti alle condizioni di valutazione dello scarico termico, sono stati analizzati per ciascuno dei parametri necessari tutti i dati disponibili ricavati anche da recenti campagne di misura.

3.3.1 Dati relativi alla morfologia dell'alveo

La raccolta dei dati morfologici dell'alveo fluviale riveste un'importanza fondamentale, in quanto da questi si ricavano le informazioni atte a costruire la discretizzazione spaziale per le simulazioni numeriche e l'esatta localizzazione dell'impianto nel dominio di calcolo.

Il dominio di calcolo adottato nel presente studio è stato leggermente ridotto rispetto a quello utilizzato nella precedente analogia verifica (Rif. 1). Il tratto di fiume interessato dalle simulazioni numeriche (fig. 3.12) è ora compreso tra la sezione iniziale, posta a circa 400 m a monte della presa in direzione Quingentole, e la sezione finale, mantenuta coincidente con il ponte di Sermide, per una lunghezza totale di circa 20 km^1 . Le sezioni di monte e di valle del dominio unitamente a quelle di aspirazione e di scarico costituiscono le cosiddette *sezioni aperte* del dominio, quelle cioè attraversate dal fluido in ingresso (sezione di monte e sezione di scarico) od in uscita (sezione di valle e sezione di presa) al dominio di calcolo.

¹ Lunghezza misurata lungo la linea mediana del flusso idrico principale del tratto fluviale individuato.

La riduzione del dominio ha consentito di mantenere entro limiti accettabili i tempi di calcolo, comunque aumentati rispetto al precedente studio a seguito dell'infittimento della *mesh* di calcolo derivato dalla necessità di definire con maggiore dettaglio la zona della presa, dello scarico e dell'area di diffusione del pennacchio termico a valle dello scarico. Quest'ultima, in particolare, è ora caratterizzata dalle singolarità idrauliche costituite dalle pile del nuovo ponte ferroviario per il raddoppio della linea Bologna-Verona. La diminuzione del tratto fluviale a monte della presa e, dunque, del tratto di regimazione del campo di moto corrispondente, è peraltro compensata dalla possibilità di descrivere con maggiore dettaglio (grazie ai recenti rilievi batimetrici che lo hanno interessato) l'andamento batimetrico del tratto sopra indicato consentendo, conseguentemente, una più veritiera ricostruzione del campo di moto. La conoscenza della batimetria in ogni punto del reticolo di calcolo permette infatti di effettuare le integrazioni sulla verticale che consentono di tenere conto degli effetti del battente idrostatico e del fondo sull'andamento del campo idrodinamico.

I dati di morfologia, da cui si è dedotta la topologia del dominio di calcolo, sono stati identicamente ripresi dal precedente studio (Rif. 1) per la parte comune del dominio di calcolo. Si è quindi provveduto ad integrare ed aggiornare tali dati, ricavati a partire dalla cartografia tecnica regionale (Rif. 18), con le informazioni derivate dalle recenti misure batimetriche condotte nell'aprile del 2007 (Rif. 19). L'andamento della batimetria risultante dal recente rilievo è mostrato in fig. 3.13.

I dati batimetrici esaminati in Rif. 1 provengono principalmente dalla banca dati DATAPO (Rif. 20), mantenuta continuamente aggiornata per quello che riguarda le informazioni provenienti da misure riferite alle stazioni in essa contenute (Rif. 21); per quanto riguarda la natura delle informazioni, ed i valori delle misure riferite alle sezioni di interesse per il presente studio si rimanda alla documentazione di riferimento [Rif. 22, 23, 24, 25, 26, 27].

La fig. 3.14 mostra la localizzazione delle sezioni batimetriche derivate dal precedente studio, mentre la Tabella 4 ne riassume le caratteristiche identificative. Il particolare le sezioni di Revere, Ostiglia B e Ostiglia D sono state aggiornate dalle misure recentemente condotte nelle sezioni corrispondenti (n° 3, 12 e 14 in fig. 3.13).

Tabella 4 Sezioni di misura in DATAPO afferenti il tratto Revere - Sermide

Codice stazione	Località	Distanza dalla sorgente (km)	Zero idrometrico (m s.l.m.)
	REVERE (*)	529.0	
92	OSTIGLIA B (*)	532.0	9.43
92	OSTIGLIA C	532.0	9.43
92	OSTIGLIA D (*)	533.0	9.43
93	CARBONAROLA	544.5	7.76
94	SERMIDE A	547.9	5.44
	SERMIDE IDROMETRO	548.0	5.44
95	SERMIDE PONTE	548.2	5.44

(*) sostituite con i rilievi batimetrici 2007



fig. 3.12 - Estensione del dominio di calcolo

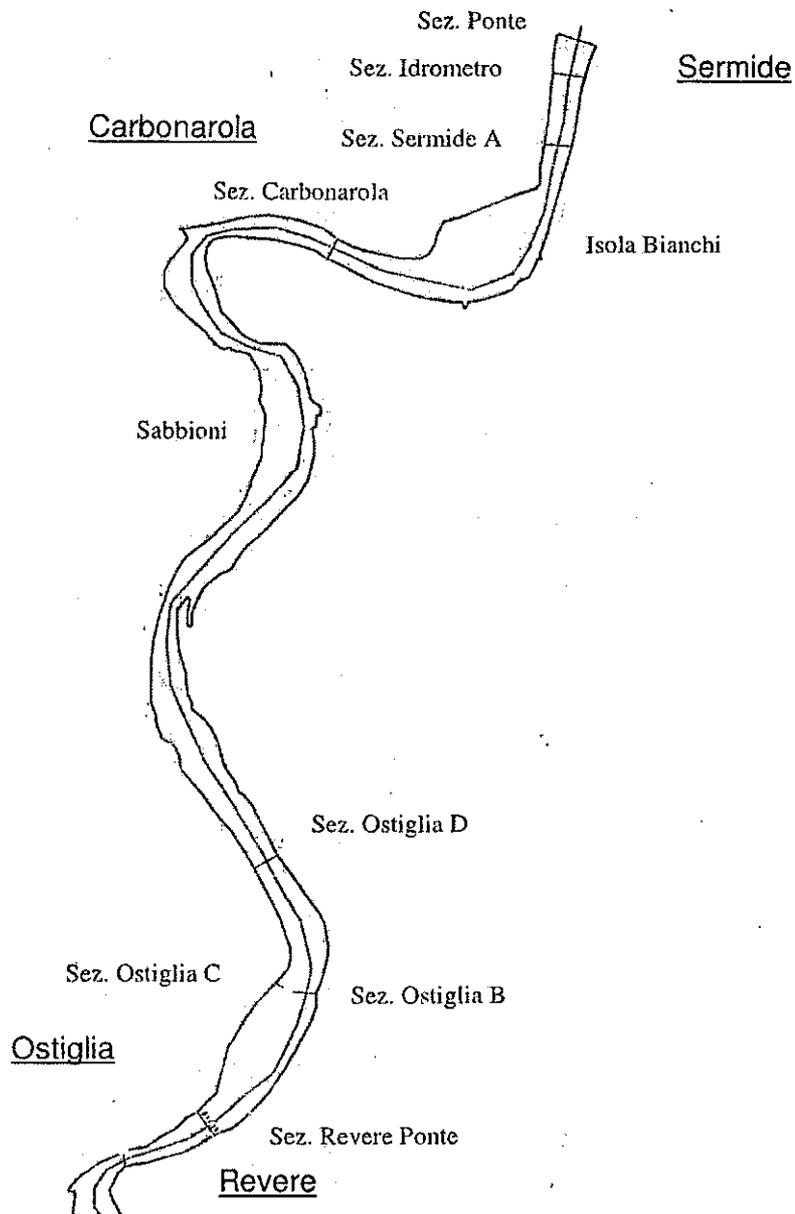


fig. 3.14 – Tratto fluviale esaminato estratto dalla cartografia tecnica regionale con il posizionamento delle sezioni batimetriche derivate dal precedente studio (Rif. 1)

Le caratteristiche delle diverse sezioni adottate come base per la definizione morfologica del tratto fluviale esaminato sono di seguito illustrate. Si analizzano, in particolare, le sezioni relative al tratto iniziale del dominio di calcolo in cui si sviluppa il pennacchio caldo, rappresentando perciò il segmento più significativo per le tematiche oggetto della verifica. Per quanto riguarda le rimanenti sezioni a valle di tale segmento, esse, come detto, sono state mantenute eguali a quelle adottate nel precedente studio (Rif. 1) cui si rimanda per completezza.

Si precisa inoltre che, evidentemente, le aree bagnate di ciascuna delle sezioni descritte nel seguito variano al variare del livello del fiume Po adottato nella singola simulazione.

Le prime tre sezioni esaminate sono quelle comuni ai due studi ove compaiono con i nomi di *Revere*, *Ostiglia D*, *Ostiglia B* e *S3*, *S14* e *S12*, rispettivamente per lo studio 2003 (Rif. 1) e per quello in oggetto.

1. La posizione della sezione "Revere" è illustrata in fig. 3.13 e fig. 3.14 rispettivamente per quanto riguarda il precedente studio ed i rilievi batimetrici recenti (2007); essa è posta a circa 529 km dalla sorgente del Po, immediatamente a monte del ponte che collega Revere ad Ostiglia ed a valle dello scarico della centrale. Il fondale è sabbioso a grana grossa o con piccoli ciottoli. Il confronto tra gli andamenti dei profili batimetrici derivati per questa sezione dallo studio 2003 e dal rilievo 2007 è riportato in fig. 3.15; appare evidente l'approfondimento dell'alveo in sponda sx e in sponda dx e l'accumulo di materiale nella zona centrale;

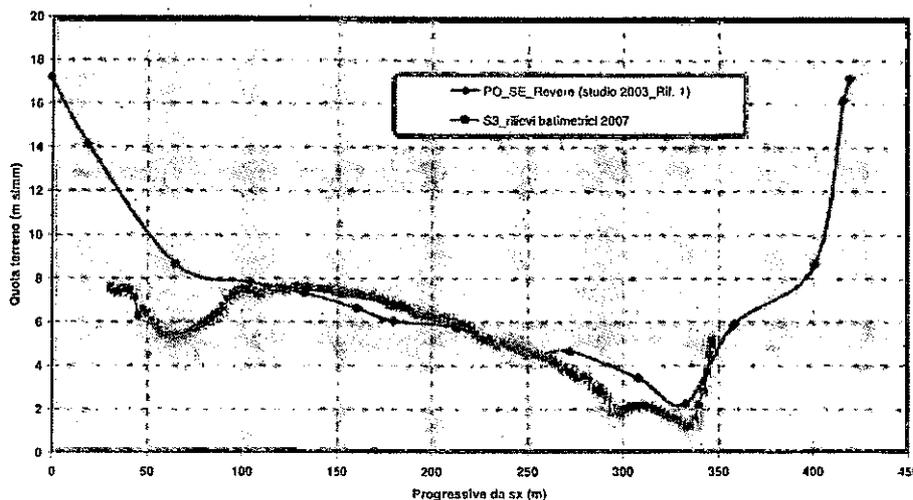


fig. 3.15 – Profilo batimetrico per la sezione "Revere"; confronto tra il rilievo DATAPO, utilizzato nel precedente studio, e quello recentemente condotto (2007)

2. la posizione della sezione "Ostiglia D" è illustrata in fig. 3.13 e fig. 3.14 rispettivamente per quanto riguarda il precedente studio ed i rilievi batimetrici recenti (2007); essa è posta a valle dell'isola Boschina ad una distanza di circa 533 km dalla sorgente del Po; il confronto tra gli andamenti dei profili batimetrici derivati per questa sezione dallo studio 2003 e dal rilievo 2007 è riportato in fig. 3.16; appare evidente l'approfondimento dell'alveo in sponda dx e sx e la migrazione del suo asse verso la sponda sx;

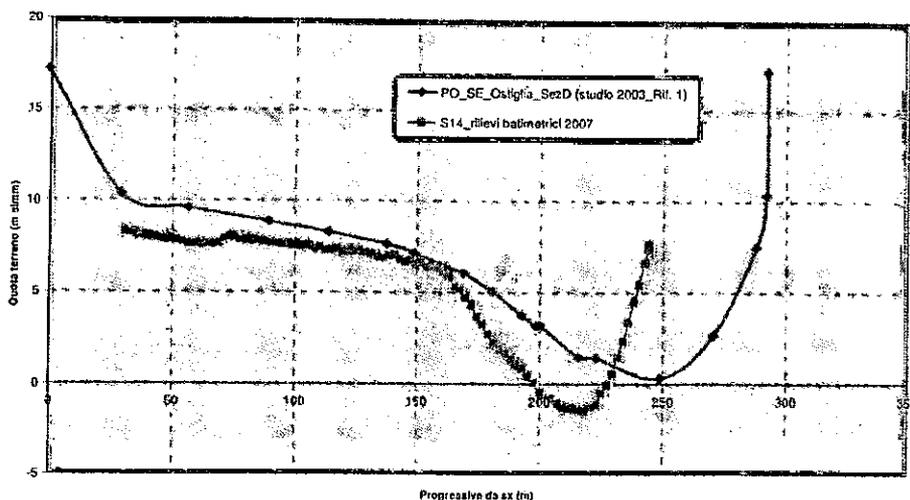


fig. 3.16 – Profilo batimetrico per la sezione "Ostiglia D"; confronto tra il rilievo DATAPO, utilizzato nel precedente studio, e quello recentemente condotto (2007)

3. la posizione della sezione denominata "Ostiglia B" è illustrata in fig. 3.13 e fig. 3.14 rispettivamente per quanto riguarda il precedente studio ed i rilievi batimetrici recenti (2007); essa si colloca in corrispondenza della punta meridionale dell'isola Boschina; il confronto tra gli andamenti dei profili batimetrici derivati per questa sezione dallo studio 2003 e dal rilievo 2007, riportato in fig. 3.17, mostra il generale approfondimento della sezione che presenta il suo massimo in corrispondenza della sponda sx;

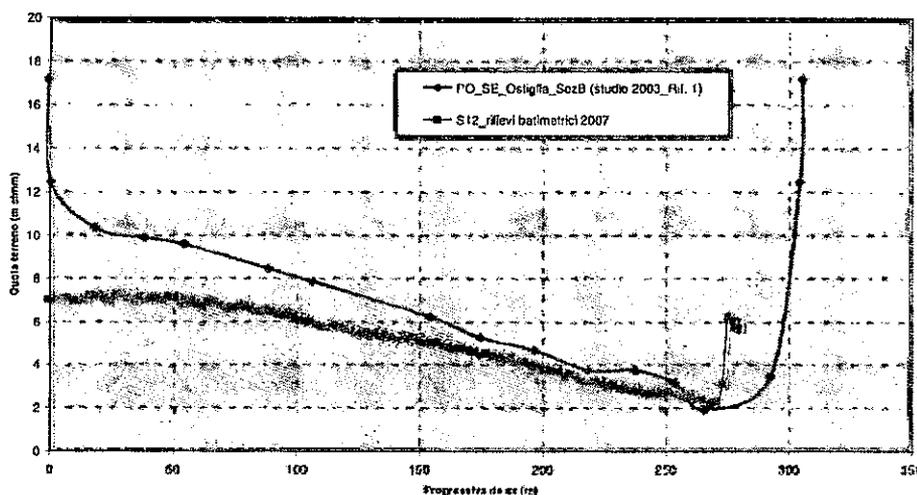


fig. 3.17 – Profilo batimetrico per la sezione "Ostiglia B"; confronto tra il rilievo DATAPO, utilizzato nel precedente studio, e quello recentemente condotto (2007)

Le figure che seguono (da fig. 3.18 a fig. 3.23) riassumono l'andamento batimetrico ricavato dalla recente campagna di misura con specifico riferimento alle aree di maggiore interesse, vale a dire quelle di immissione, sviluppo e diffusione del pennacchio termico. L'analisi delle figure consente di seguire l'evoluzione del profilo fluviale a partire dall'area a monte della presa (sezione n. 6) fino a quella posta a valle dell'Isola Boschina (sezione n. 14). In particolare, progredendo dalle sezioni in prossimità della presa verso quelle poste allo scarico ed a valle dello stesso, si osserva il progressivo spostamento dell'asse dell'alveo principale dalla sponda sinistra a quella destra, coerentemente, peraltro, con la conformazione del tracciato fluviale nell'area (a partire dalla curva a 180° posta a monte della prima sezione per continuare con la curvatura ed il restringimento della sezione fluviale in prossimità dell'Isola Boschina) e con il tipo di deflusso della corrente che ne consegue.

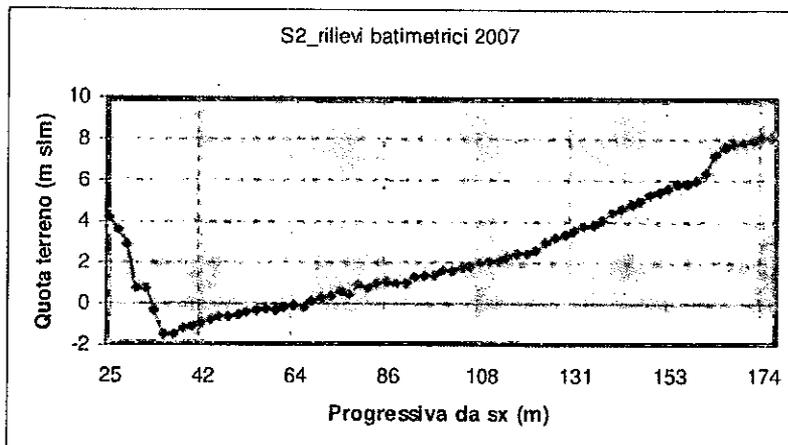
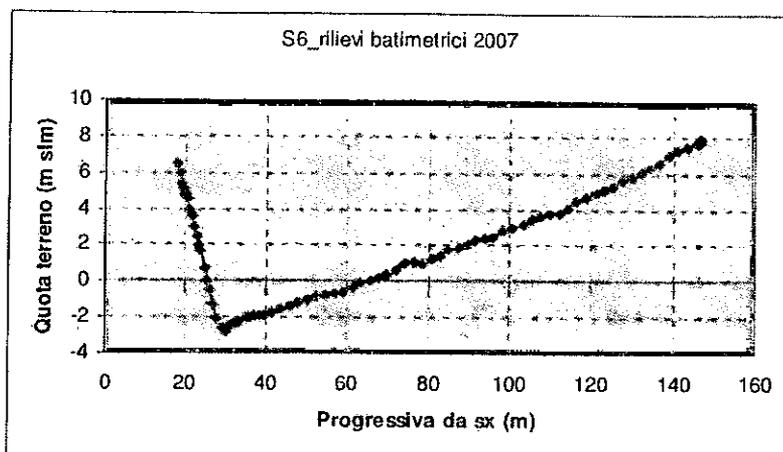


fig. 3.18 – Profili batimetrici delle sezioni n. 6 e n. 2 (rilievo 2007)

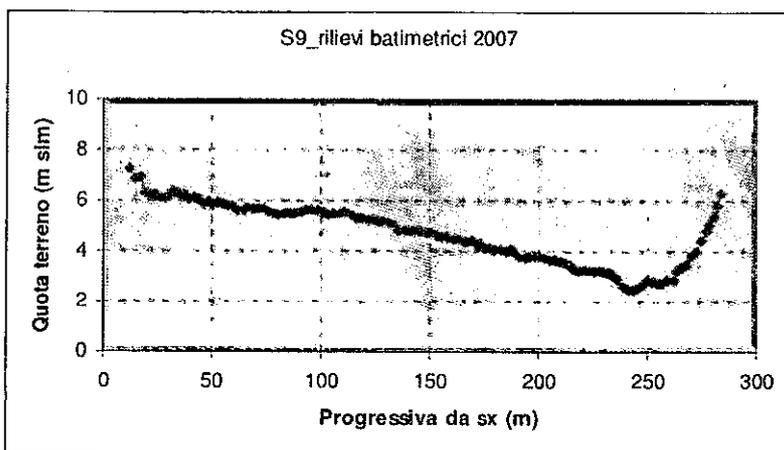
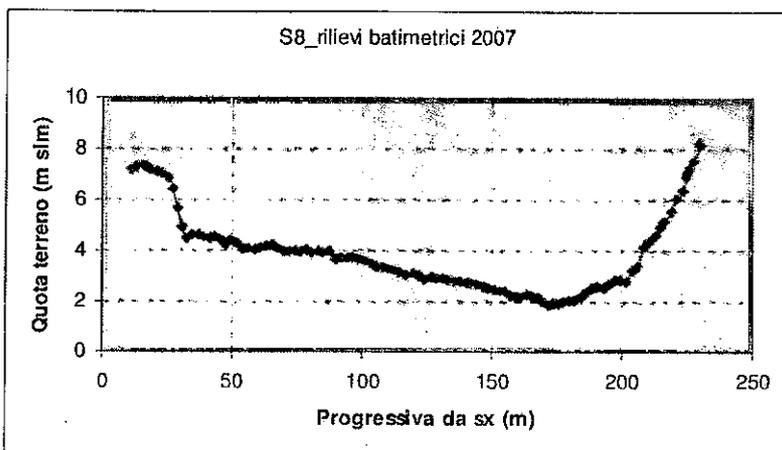
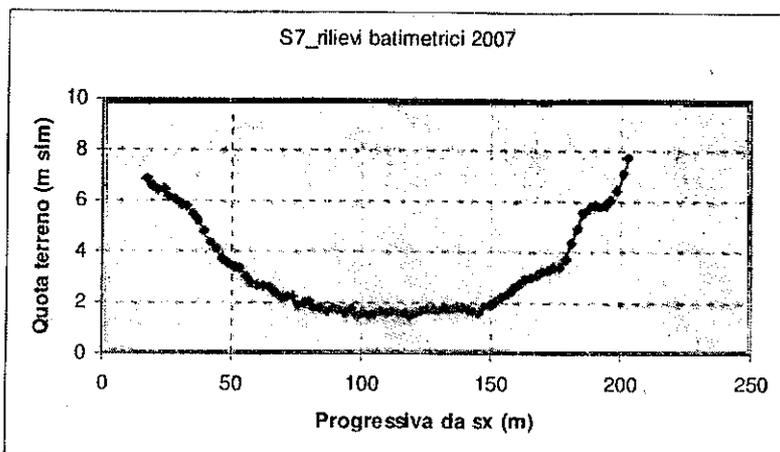


fig. 3.19 – Profili batimetrici delle sezioni n. 7, n. 8 e n. 9 (rilievo 2007)

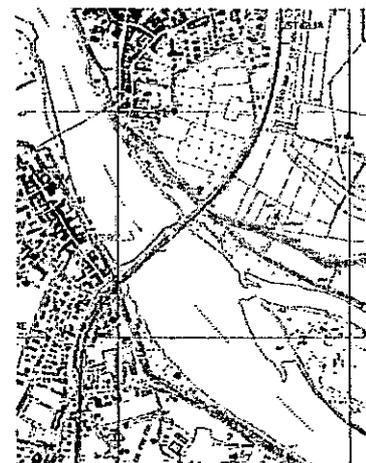
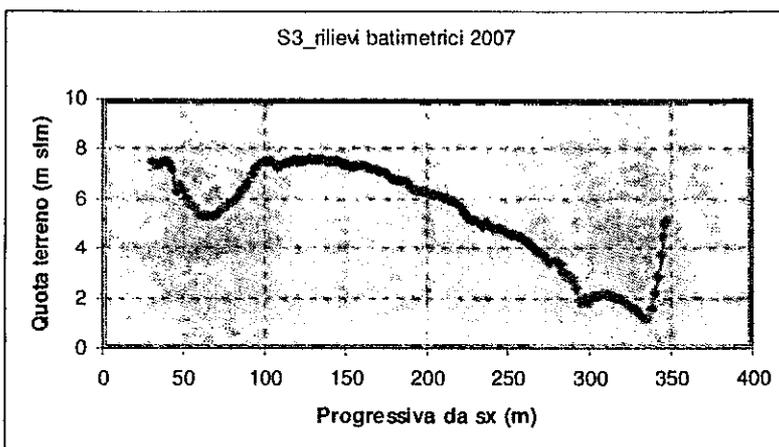
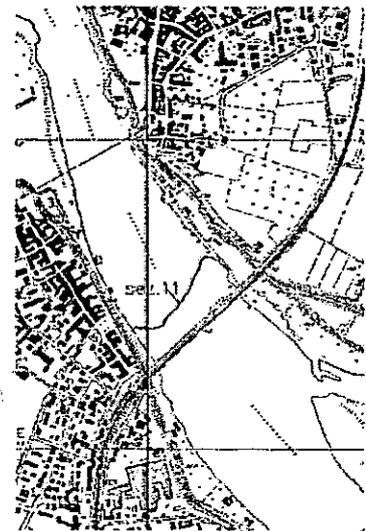
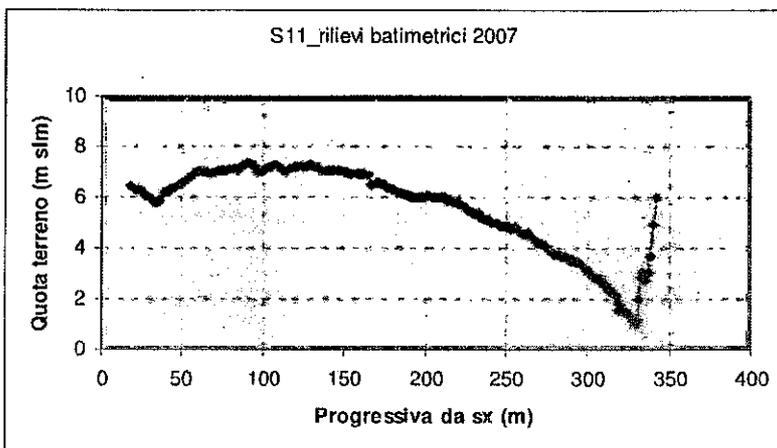
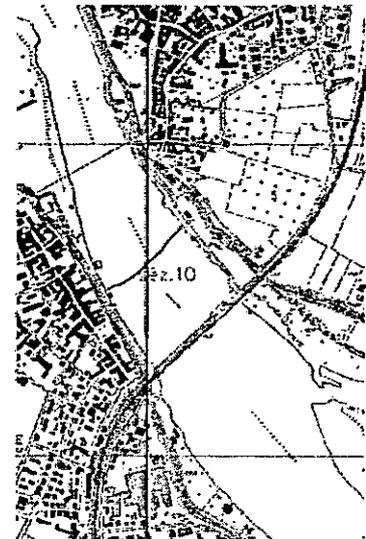
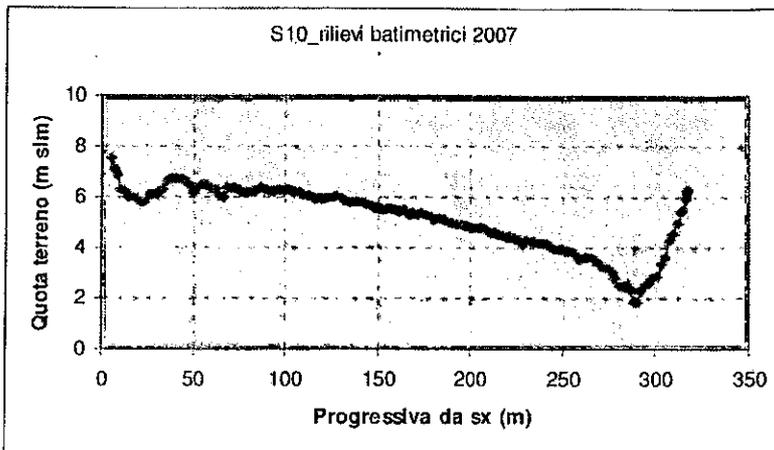


fig. 3.20 – Profili batimetrici delle sezioni n. 10, n. 11 e n. 3 (rilievo 2007)

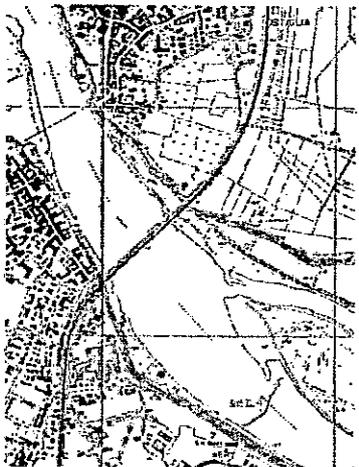
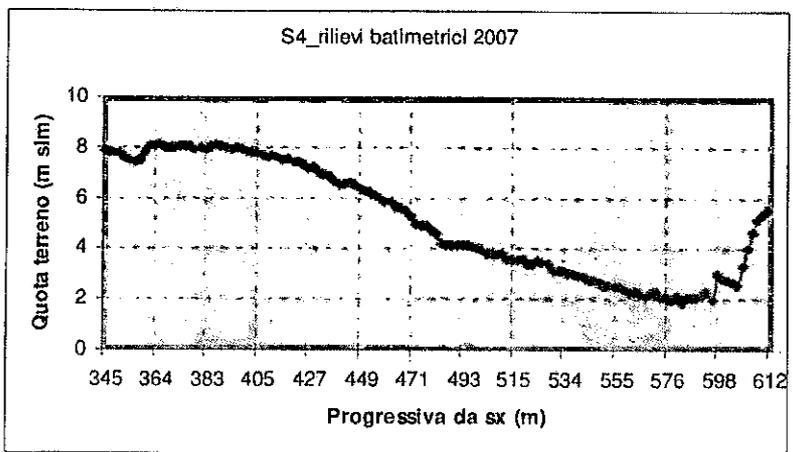
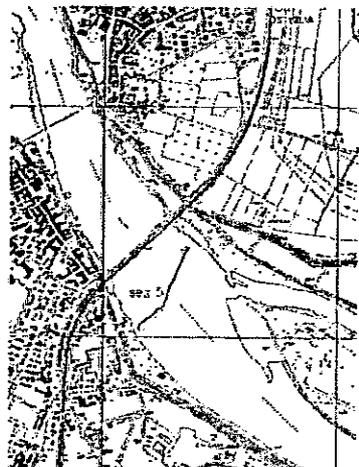
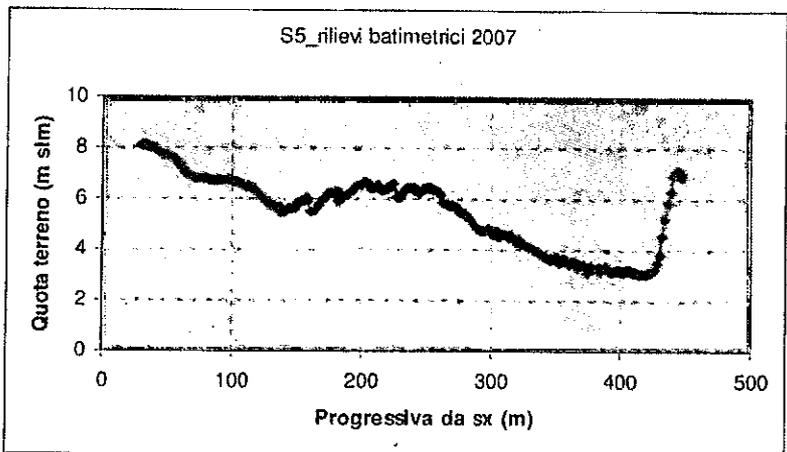


fig. 3.21 – Profili batimetrici delle sezioni n. 5 e n. 4 (rilievo 2007)

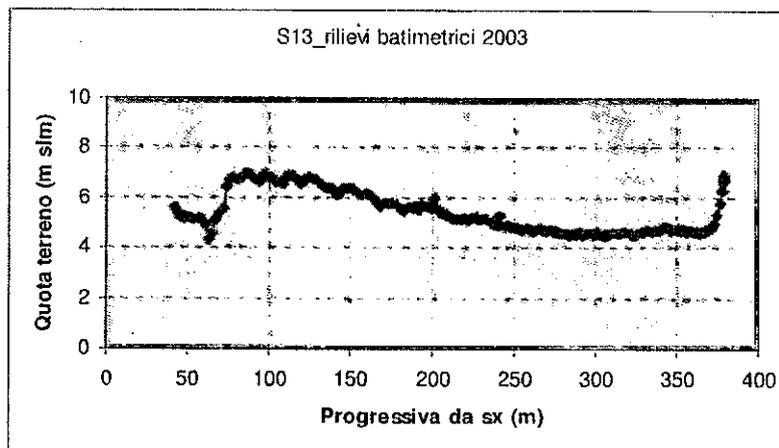
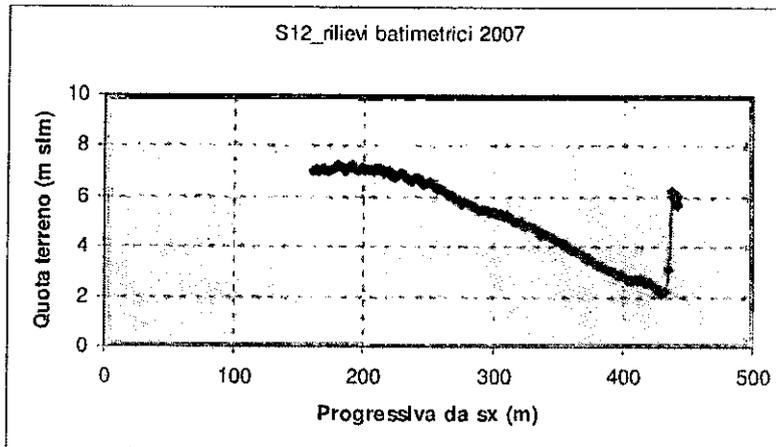
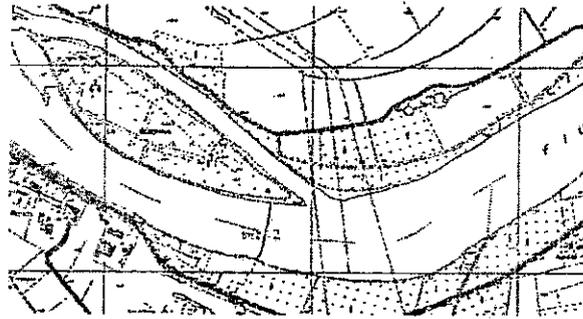


fig. 3.22 – Profili batimetrici delle sezioni n. 12 e n. 13 (rilievo 2007)

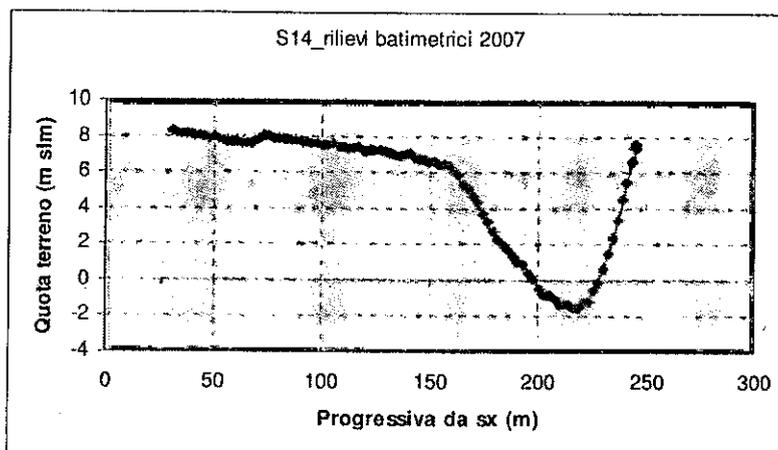


fig. 3.23 – Profili batimetrici della sezione n. 14 (rilievo 2007)

A partire dai profili batimetrici normalizzati rispetto al livello dello zero idrometrico della sezione di Sermide (di chiusura del dominio di calcolo) posto a quota +5.44 m s.l.m., il codice di calcolo provvede a costruire la batimetria completa dell'alveo del fiume, per ciascun livello di riferimento, tenendo altresì conto della presenza di secche (i cosiddetti "sabbioni"), e della sommersione o meno delle isole poste in alveo.

A tale proposito si fa osservare la peculiarità del collegamento tra la sponda sinistra del fiume Po e l'estremità settentrionale dell'isola Boschina. Nelle condizioni di morbida e di magra simulate nel presente studio, le due sponde sono infatti collegate da una emergenza in materiale sciolto, ben visibile in fig. 3.24 che diventa, di fatto, uno sbarramento al deflusso della corrente. Tale emergenza risulta invece completamente sommersa dalla corrente negli scenari di piena.

Per quanto riguarda il tratto di fiume oggetto del presente studio, l'andamento batimetrico generato a partire dalle sezioni sopra descritte è riportato dalla fig. 3.25 alla fig. 3.27 per i tre livelli di magra, morbida e piena rispettivamente.



fig. 3.24 – Collegamento tra la sponda sinistra del Po e l'estremità di monte dell'Isola Boschina (immagine da [Rif. 11])

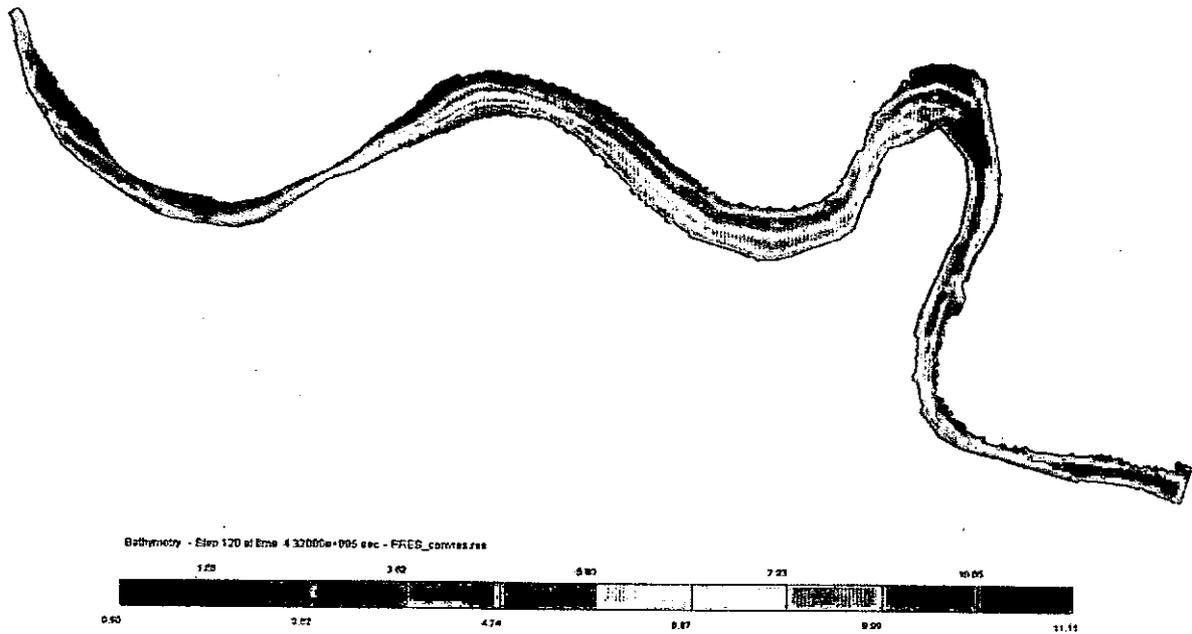


fig. 3.25 – Andamento della batimetria generato per il livello di magra del fiume

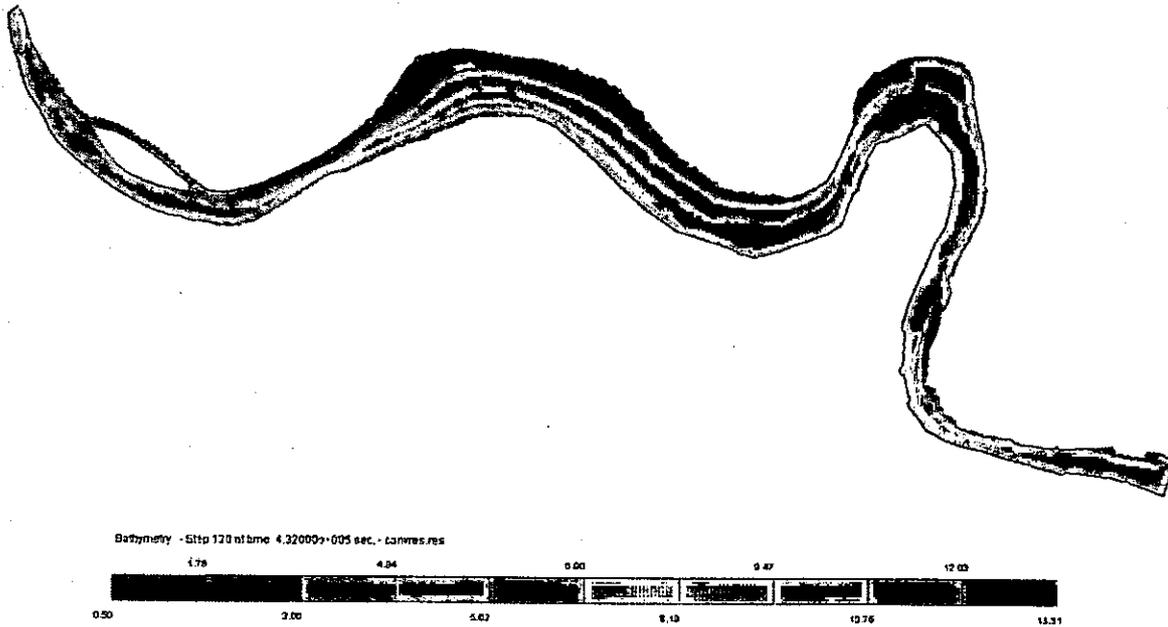


fig. 3.26 – Andamento della batimetria generato per il livello di morbida del fiume



fig. 3.27 – Andamento della batimetria generato per il livello di piena del fiume

3.3.2 Dati relativi al deflusso idrico

I dati relativi al flusso idrico hanno lo scopo di fornire tutte le informazioni atte a definire il comportamento nel tempo del corpo idrico nel tratto fluviale di competenza dell'impianto; da questi saranno ricavate principalmente le informazioni relative all'andamento del livello medio del fiume per i diversi periodi dell'anno in relazione alla sua portata e la temperatura del corpo idrico imperturbato, sempre nelle diverse condizioni climatiche.

Partendo dal presupposto di considerare tre livelli caratteristici del fiume quali il livello di magra, il livello di morbida ed il livello di piena normale, trascurando le condizioni di piena eccezionale, si è ipotizzato di prendere in considerazione i livelli definiti in corrispondenza all'opera di scarico della centrale, pari rispettivamente a 6.80 m, 9.00 m e 17.2 m s.l.m.. Il modello numerico di simulazione, però, richiede l'imposizione di condizioni al contorno, per quanto riguarda la portata ed il livello del fiume, alle due sezioni poste all'estremità del dominio considerato (vedi fig. 3.12), nella fattispecie le sezioni "S6" in fig. 3.13 e "Sermide Ponte" in fig. 3.14. In particolare, risulta conveniente fissare il valore del livello del fiume a Sermide ed imporre la portata del fiume alla sezione di ingresso; in questo modo, non essendovi affluenti naturali nel tratto considerato, il moto dell'acqua può svilupparsi liberamente lungo il corso del fiume, con un livello a monte della sezione finale che viene calcolato dal codice stesso con una pendenza tale da consentire il passaggio della portata imposta attraverso la sezione a livello costante di Sermide. In altre parole, così facendo le condizioni idrodinamiche simulate dal codice si assestano naturalmente, consentendo anche una verifica a posteriori dell'andamento dei livelli ottenuti dal calcolo con la pendenza misurata.

Per poter imporre tali condizioni, è pertanto necessario:

1. stimare la pendenza del fiume per valutare i valori di livello alla sezione di Sermide tali da fornire i valori desiderati in corrispondenza dell'opera di scarico;
2. dedurre il valore di portata del fiume corrispondente ai valori di livello assunti;
3. valutare la frequenza di accadimento delle condizioni relative al flusso idrico scelte per il calcolo.

Per quanto concerne il primo punto, una stima della pendenza del fiume nel tratto considerato è stata ricavata a partire da due quote di campagna prese dalle carte tecniche regionali [Rif. 18] in prossimità degli abitati di Quingentole e Sermide, distanti tra loro circa 20 km; tali quote differiscono mediamente di 2.6 m, per cui, avendo il fiume una lunghezza nel tratto corrispondente di circa 26.2 km, si può ritenere valida una pendenza dell'ordine dello 0.1 per mille. La correttezza di tale valore è poi confermata dalle misure dell'alveo del fiume riportate nel documento [Rif. 28] edito dal Magistrato del Po di Parma. Assumendo quindi tale pendenza, ed essendo la distanza tra l'opera di scarico della centrale e la sezione di Sermide, presa come riferimento, pari a 19 km, i valori di livello a Sermide risulteranno inferiori di 1.9 m rispetto a quelli stimati allo scarico.

Stabiliti i valori di livello alla sezione di Sermide, è necessario stimare i relativi valori di portata del fiume. A tale scopo, si sono usati ancora una volta i valori delle grandezze presenti in DATAPO, elaborati dal 1983 al 2001, ricavando la scala di deflusso (curva livello - portata) a Sermide, rappresentata in fig. 3.28. In tale figura sono riportati alcuni dei valori misurati a partire dal 1996 e l'andamento della funzione approssimante, che assume la forma:

$$Q=a(h-b)^n$$

essendo i livelli riportati in figura riferiti allo zero dell'idrometro di Sermide, posto a 5.44 m s.l.m. Va tuttavia osservato a questo punto che il valore di piena definito in progetto è stato raggiunto, in condizioni normali, solo una volta, mentre dalla curva portata - livello si ottiene per il livello di piena a Sermide un valore mediamente atteso di 13.3 m.

Di conseguenza, assumendo per il livello di morbida a Sermide il valore allo scarico di Ostiglia ridotto di 1.9 m ed ipotizzando un livello di piena di 13.3 m, le rispettive portate Q assumono i valori:

- condizioni di morbida, con livello (a Sermide) pari a 7.1 m: $Q = 930 \text{ m}^3/\text{s}$
- condizioni di piena normale, con livello (a Sermide) pari a 13.3 m: $Q = 6500 \text{ m}^3/\text{s}$

**Stazione di Sermide - Curva livello-portata
(zero idrometrico = 5.44 m s.l.m.)**

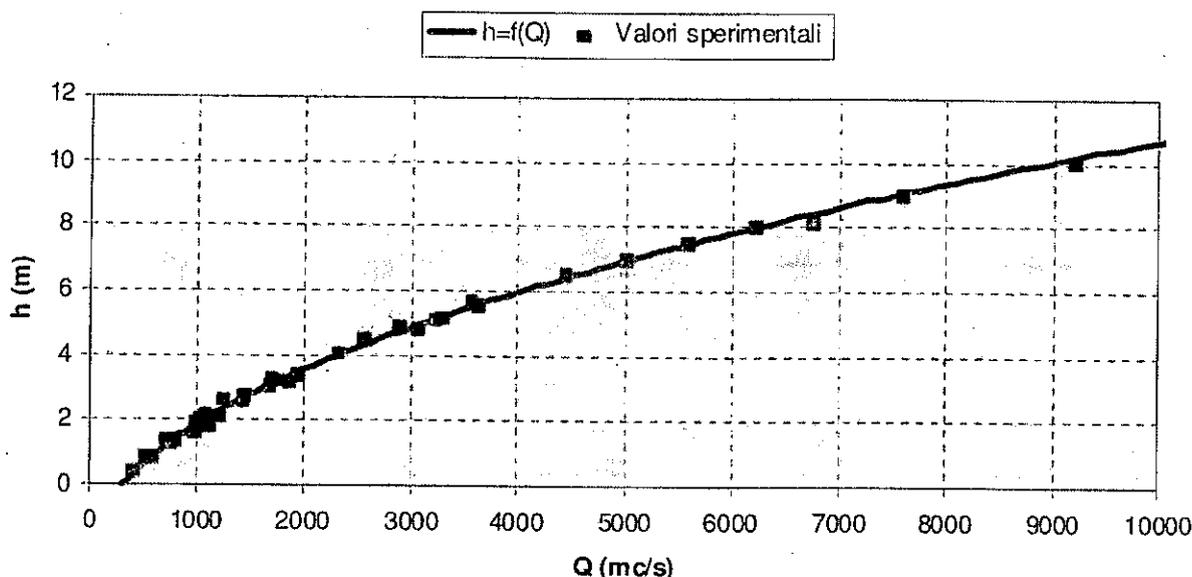


fig. 3.28 – Scala di deflusso del Po a Sermide

Per quanto riguarda lo scenario di magra, le mutate condizioni idrologiche del fiume Po hanno imposto di assumere come livello di riferimento il valore di 6.80 m s.l.m. allo scarico della centrale. Tale valore si collocherebbe nell'area più prossima all'origine della scala di deflusso sopra riportata e, dunque, lontano dai valori validati dalle misure di campo disponibili. In mancanza, all'epoca di elaborazione del presente studio, di specifiche misure capaci di raffinare la curva di deflusso anche nel campo delle basse portate, si è perciò proceduto associando al livello di magra sopra riportato il valore di portata minima ricavabile in corrispondenza del punto iniziale della curva di deflusso disponibile, vale a dire $320 \text{ m}^3/\text{s}$ ("magra ordinaria").

In considerazione delle portate di magra recentemente rilevate nel mese di luglio 2006 alla stazione di Borgoforte (stimabili in $250 \text{ m}^3/\text{s}$ nel grafico di fig. 3.29) e tenendo presente l'apporto del fiume Mincio, la cui foce si colloca tra la suddetta stazione e la sezione iniziale del tratto fluviale riprodotto nel presente studio, si è inoltre deciso di simulare anche uno scenario di magra "estrema" con portata in ingresso al dominio di calcolo pari a $270 \text{ m}^3/\text{s}$ ("magra estrema") associandola al medesimo livello di magra di 6.80 m s.l.m. dello scenario a $320 \text{ m}^3/\text{s}$. Quest'ultima assunzione è da considerare come conservativa poiché, a fronte di una diminuzione della portata in ingresso sarebbe ragionevole assumere un livello di riferimento inferiore. Il mantenimento del medesimo livello minimo di riferimento comporta, dunque, che nello scenario di magra estrema si generino delle velocità medie nelle sezioni inferiori a quelle reali e ciò significa, in presenza di bassi battenti, una minore turbolenza nell'area di mescolamento in prossimità dello scarico, vale a dire un minore raffreddamento per il corrispondente ridotto apporto di acqua fredda, ed una maggiore diffusione del pennacchio all'esterno dell'area di mescolamento.

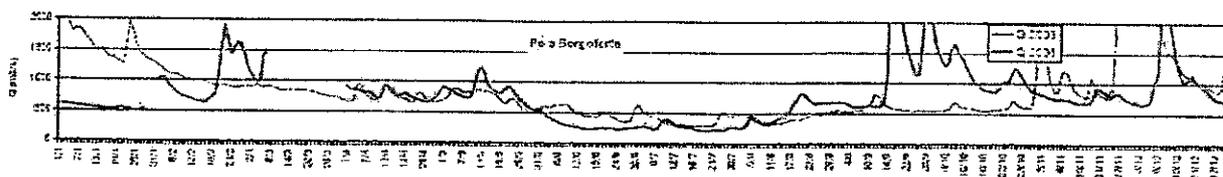


fig. 3.29 – Portate del fiume Po a Borgoforte [Rif. 29]

I valori di portata così calcolati sono stati imposti alla sezione di ingresso del dominio di calcolo ("S0" in fig. 3.13).

3.3.3 Dati relativi alle caratteristiche del fondale

Per caratterizzare poi il modello numerico dal punto di vista dell'effetto della natura del fondale, occorre qualificare l'alveo in riferimento alla tipologia di fondo in quanto influente sul campo di moto che si instaura nel corpo idrico. Dal documento [Rif. 23] si deduce che il fondale nel tratto di fiume considerato nel presente studio è prevalentemente sabbioso, con sabbia spesso a grana grossa e con presenza di ciottoli, mentre non si hanno indicazioni sull'entità dell'eventuale crescita algale e di altra vegetazione, che può alterare la scabrezza del fondo e quindi il moto. Data tuttavia la notevole velocità dell'acqua del fiume, soprattutto nella zona antistante le opere di presa e scarico e nel tratto immediatamente a valle, caratterizzato da sponde abbastanza alte, la presenza di vegetazione sul fondale è da ritenersi comunque scarsa.

Il coefficiente di Gauckler-Strickler, che indica il grado di scabrezza dell'alveo, può essere assunto pari a $42 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ secondo quanto riconosciuto (ed indicato in Tabella 5) dal modello per tale coefficiente ai diversi tipi di fondali per un fiume od un canale a pelo libero.

Tabella 5 Coefficienti di Gauckler – Strickler per i diversi tipi di fondale

Tipo di fondale	Coefficiente di Gauckler-Strickler
Cemento perfettamente liscio, canale dritto	100÷90
Cemento perfettamente liscio, canale con curve	90÷85
Cemento non perfettamente liscio o in mattoni regolari	85÷75
Cemento in non perfette condizioni, muratura non regolare	70÷65
Cemento con depositi sul fondo, pietre cementate, terra senza vegetazione	60
Terra abbastanza regolare, muratura in non buone condizioni con depositi di limo sul fondo	50
Terra con erba sul fondo, corsi d'acqua naturali regolari	40
Terra in cattive condizioni, corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia	35
Canali in abbandono con grande vegetazione, corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimenti naturali di materiali sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze	30

3.3.4 Dati relativi alla temperatura dell'acqua

Le condizioni del fluido sono inoltre caratterizzate dal valore di temperatura; per quanto riguarda il fiume Po, tale valore presenta una forte caratterizzazione stagionale. Per stimare la temperatura più opportuna da utilizzare nello studio sono state analizzate serie di misure della temperatura provenienti da due distinte fonti:

1. le misure di temperatura fornite dalla centrale all'ingresso dei condensatori per gli anni dal 1998 al 2002, per i gruppi 2 e 4, e per gli anni 2006 e 2007 (fino al 17 aprile) per tutti i 4 gruppi;
2. i valori estratti ancora una volta dalla banca dati DATAPO.

I valori misurati all'ingresso dei condensatori, relativi agli anni dal 1998 al 2002, sono stati riportati nel grafico di fig. 3.30, mentre in fig. 3.31 è riportato l'andamento medio che se ne deduce. La successiva fig. 3.32 contiene i valori misurati all'ingresso dei condensatori rilevati dalla centrale nell'anno 2006 per tutti i gruppi.

Le statistiche sulle temperature medie (utili al presente studio) eseguite con riferimento al periodo più recente di dati misurati (2001 - 2007) mostrano, rispetto ai valori ricavati per il periodo 1998 - 2002, un aumento di circa 1°C della temperatura per i mesi invernali (da dicembre a marzo) ed una diminuzione di quasi 2°C per i mesi estivi (da giugno a settembre). In sostanza, si passa dai 7.3 °C agli 8.3 °C, per quanto riguarda i valori medi invernali, e dai 24.8 °C ai 23.1 °C, per quanto concerne il periodo estivo.

Tali statistiche sono state inoltre confrontate con i valori di temperatura dell'acqua rilevati contestualmente alle misure chimiche inserite in DATAPO; in particolare, sono stati estratti gli andamenti rilevati alle sezioni di Ostiglia nel periodo 1992-1996 e alla sezione di Sermide nel periodo 1992-2002, riportati in fig. 3.33 ed in fig. 3.34 rispettivamente. E' immediato osservare come anche in questo caso si abbiano andamenti ciclici stagionali, con un minimo invernale ancora nell'intorno di 7.5 °C ed un massimo estivo mediamente intorno ai 25 - 26 °C.

Va tuttavia considerato, ai fini dello studio in oggetto, che nei fiumi ed in generale in acque basse con moto prevalentemente unidirezionale l'immissione di uno scarico termico, dopo la zona iniziale caratterizzata da forte turbolenza (*mixing zone*) è governata essenzialmente dal trasporto e dalla diffusione del pennacchio caldo, che risulta essere più critico in condizioni invernali a causa del maggior gradiente di densità tra l'acqua calda immessa e l'acqua fredda del fiume, con conseguente aumento della spinta al galleggiamento del pennacchio stesso. Di conseguenza, si è stabilito di effettuare le simulazioni numeriche in condizioni invernali ad una temperatura pari al valore medio di 7.3 °C preferendo, comunque, i valori medi che si riscontrano nei periodi dell'anno in cui si collocano gli eventi più estremi (di magra e di piena).

Si ricorda, infatti, che il regime delle acque del Po è considerato composito, con due massimi, primaverile ed autunnale, e due minimi, invernale ed estivo, tra loro pressoché uguali. Appare dunque ragionevole l'adozione, anche per gli scenari di magra, della medesima temperatura invernale assunta per gli scenari di morbida e di piena.

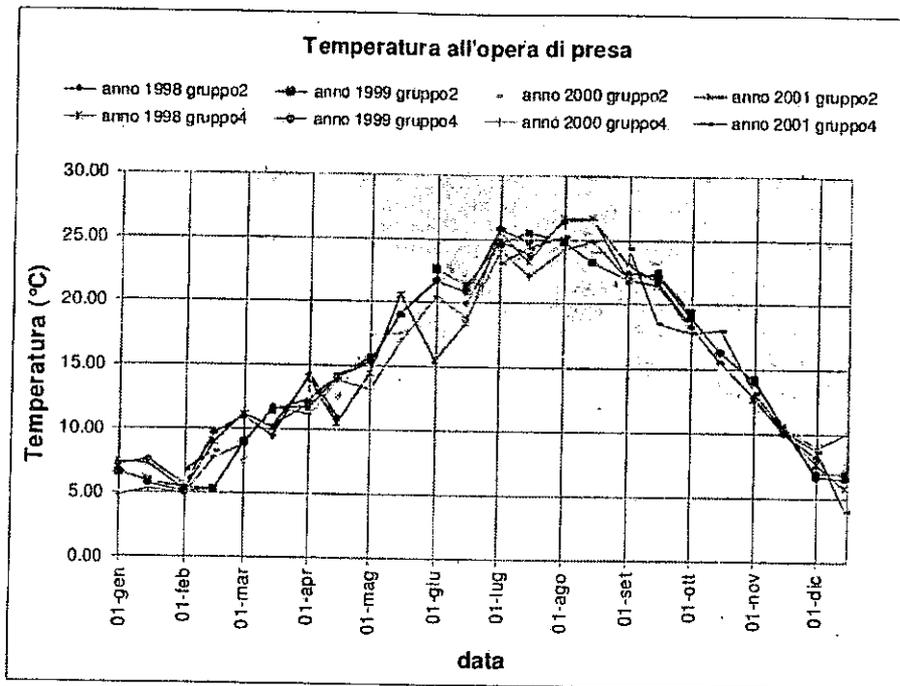


fig. 3.30 – Valori di temperatura rilevati all'ingresso condensatori (per gli anni dal 1998 al 2002)

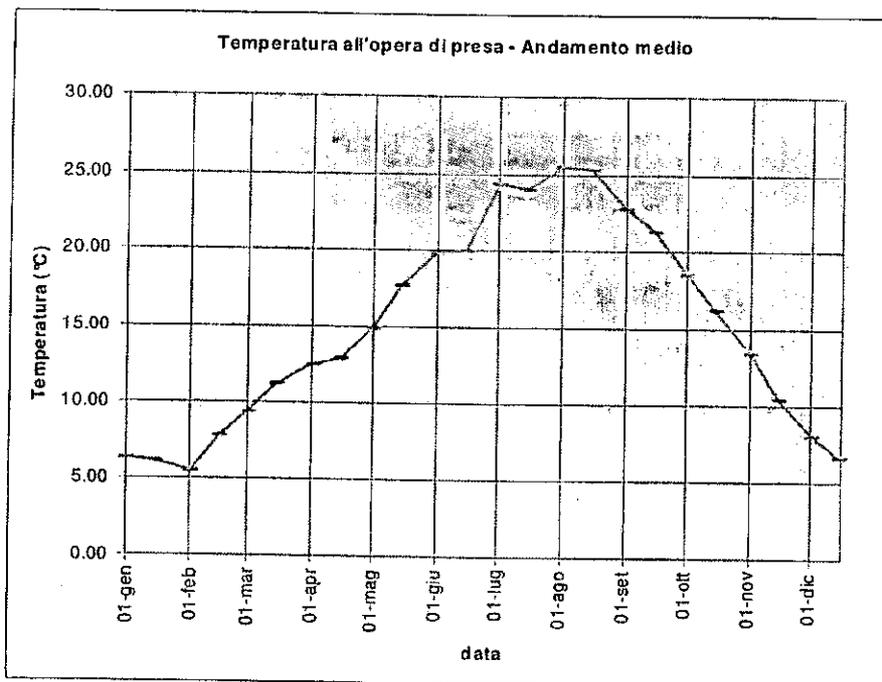


fig. 3.31 – Andamento medio della temperatura all'ingresso condensatori (per gli anni dal 1998 al 2002)

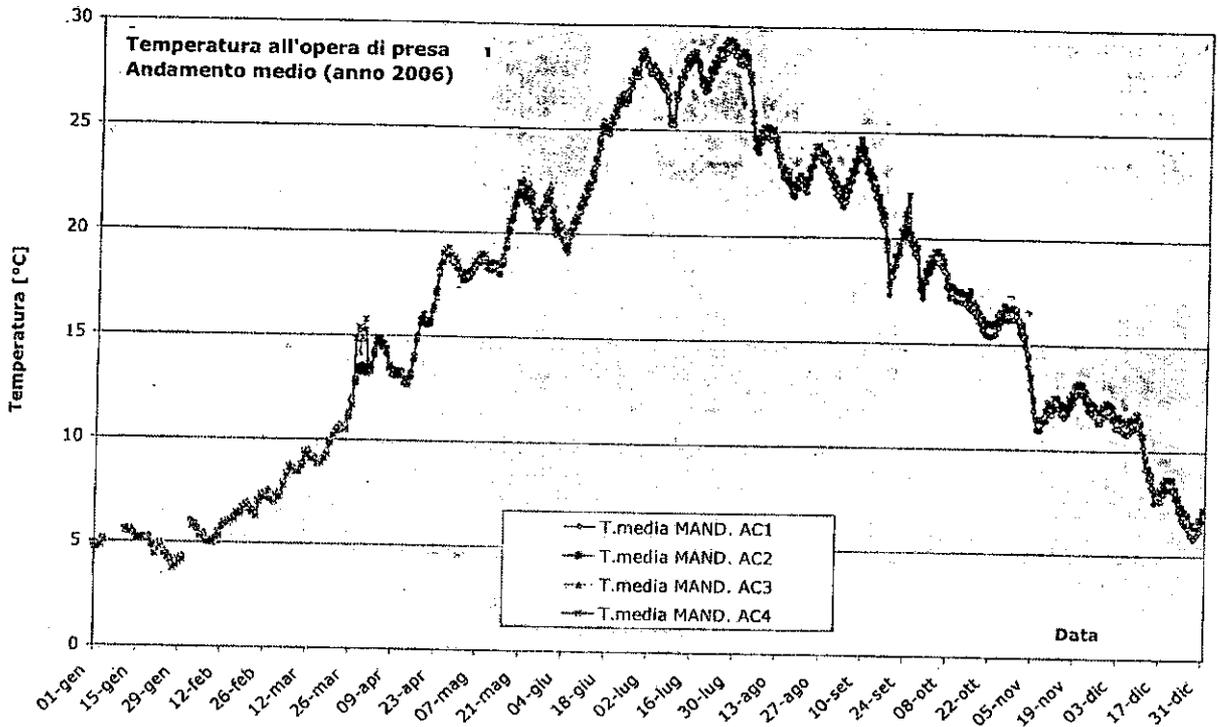


fig. 3.32 – Valori di temperatura rilevati all'ingresso condensatori (per l'anno 2006)

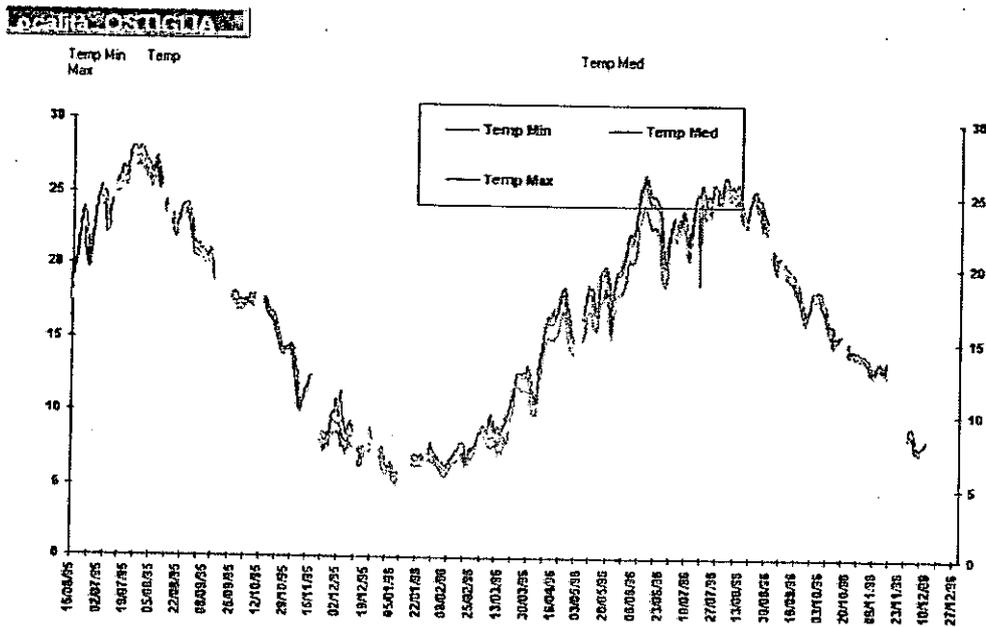


fig. 3.33 – Andamento della temperatura del Po rilevato alla sezione di Ostiglia

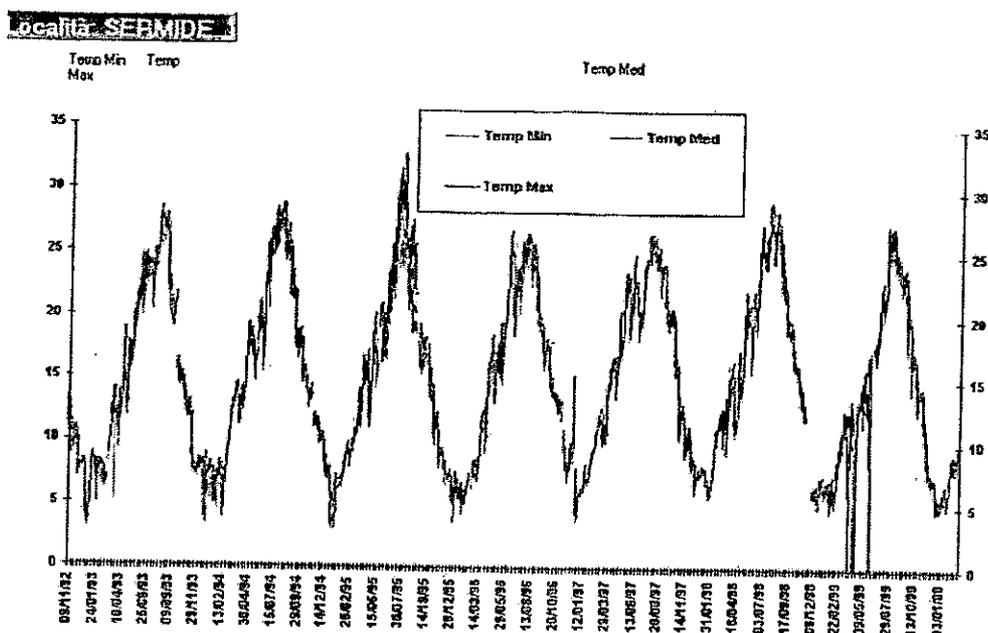


fig. 3.34 – Andamento della temperatura del Po rilevato alla sezione di Sermide

3.3.5 Dati relativi alle condizioni meteorologiche

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

Tali dati sono stati ricavati dalla banca dati "Caratteristiche diffusive dei bassi strati dell'atmosfera" realizzata congiuntamente da Enel e dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM) [Rif. 30]; in essa sono raccolti i dati di 185 stazioni meteorologiche dell'Aeronautica e di alcune stazioni poste presso alcune centrali Enel. Tale banca dati è organizzata secondo tabelle in grado di fornire opportune medie sulle grandezze di maggior interesse meteorologico, per ciascuna delle stazioni contenute.

Valutando la dislocazione delle varie stazioni di misura tra la regione Lombardia ed Emilia-Romagna, si ritiene che quella in grado di riprodurre condizioni meteorologiche più vicine a quelle del sito di Ostiglia sia la stazione meteorologica di Ferrara (Lat. 44°49', Long. 11°37', Alt. 9 m s.l.m.), in quanto situata a poche decine di chilometri da Ostiglia e caratterizzata da un territorio ed un ambiente pressoché identico a quello circostante il tratto di fiume Po oggetto dello studio.

Per tale stazione, quindi, si sono prese in considerazione le seguenti distribuzioni di direzione e velocità del vento:

- frequenze annuali;
- frequenze stagionali (primaverili, estive, autunnali e invernali).

Nella Tabella 6 sono riportate le frequenze del vento al suolo valutate per Ferrara su base annuale; riprodotte poi in formato grafico in fig. 3.35 (1 nodo corrisponde a 0.5144 m/s). L'esame dei dati ivi riprodotti porta a concludere che le condizioni di calma di vento, che per quanto riguarda il fenomeno dello scambio termico riguardano velocità inferiori o pari a 2 m/s (circa 4 nodi), sono assolutamente prevalenti, corrispondendo ad una frequenza annuale del 57.4 %. Se poi si tiene conto che velocità inferiori a 3.5 m/s si verificano l'82.3 % del totale, si vede bene come non siano presenti effetti di vento particolarmente spinti.

Pertanto, l'unico effetto determinato dal vento è legato allo scambio termico con l'atmosfera, che a sua volta dipende anche dalla temperatura sia dell'aria che dell'acqua in superficie. A questo proposito,

però, va ricordato che il modello numerico valuta non tanto lo scambio termico in assoluto, quanto il "raffreddamento" differenziale subito dal pennacchio caldo rispetto al corpo idrico imperturbato, che quindi dipende dalla differenza di temperatura tra pennacchio e fiume imperturbato. Considerando i valori di tale differenza nel caso della centrale di Ostiglia (si veda la Tabella 3), e poiché il vento prevalente non supera i 3.5 m/s, si può assumere per il coefficiente di scambio termico con l'atmosfera il valore di $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Tabella 6 Direzione e velocità del vento (nodi) su base annuale a Ferrara

SETTORE	GRADI	0-1	2-4	5-7	8-12	13 - 23	>= 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5	13.5825	16.39	12.24	6.78	0.74	0.01	36.16
2	22.5 - 45.0	13.5825	29.77	25.63	20.32	4.01	0.01	79.74
3	45.0 - 67.5	13.5825	26.8	24.43	21.99	6.56	0.2	79.98
4	67.5 - 90.0	13.5825	23.76	17.91	14.37	3.03	0.03	59.1
5	90.0 - 112.5	13.5825	23.78	17.72	14.08	2.15	0.03	57.76
6	112.5 - 135.0	13.5825	18.61	17.38	12.18	1.26	0.06	49.49
7	135.0 - 157.5	13.5825	14.83	11.57	6.51	0.64	0	33.54
8	157.5 - 180.0	13.5825	14.42	7.89	4.43	0.36	0	27.1
9	180.0 - 202.5	13.5825	10.1	4.62	3.69	0.56	0	18.98
10	202.5 - 225.0	13.5825	12.18	7.15	5.52	0.95	0.03	25.83
11	225.0 - 247.5	13.5825	17.47	10.91	6.17	0.77	0.03	35.35
12	247.5 - 270.0	13.5825	32.47	21.55	10.18	0.83	0.02	65.06
13	270.0 - 292.5	13.5825	40.78	29.63	12.04	0.89	0.01	83.35
14	292.5 - 315.0	13.5825	34.77	21.75	7.85	0.46	0	64.83
15	315.0 - 337.5	13.5825	28.26	13.27	4.4	0.23	0.01	46.17
16	337.5 - 360.0	13.5825	10.99	5.26	2.31	0.29	0	18.86
	variabile	0	1.02	0.23	0.09	0.01	0	1.35
	calma	217.32						217.32
TOTALE		217.32	356.4	249.14	152.93	23.76	0.45	1000

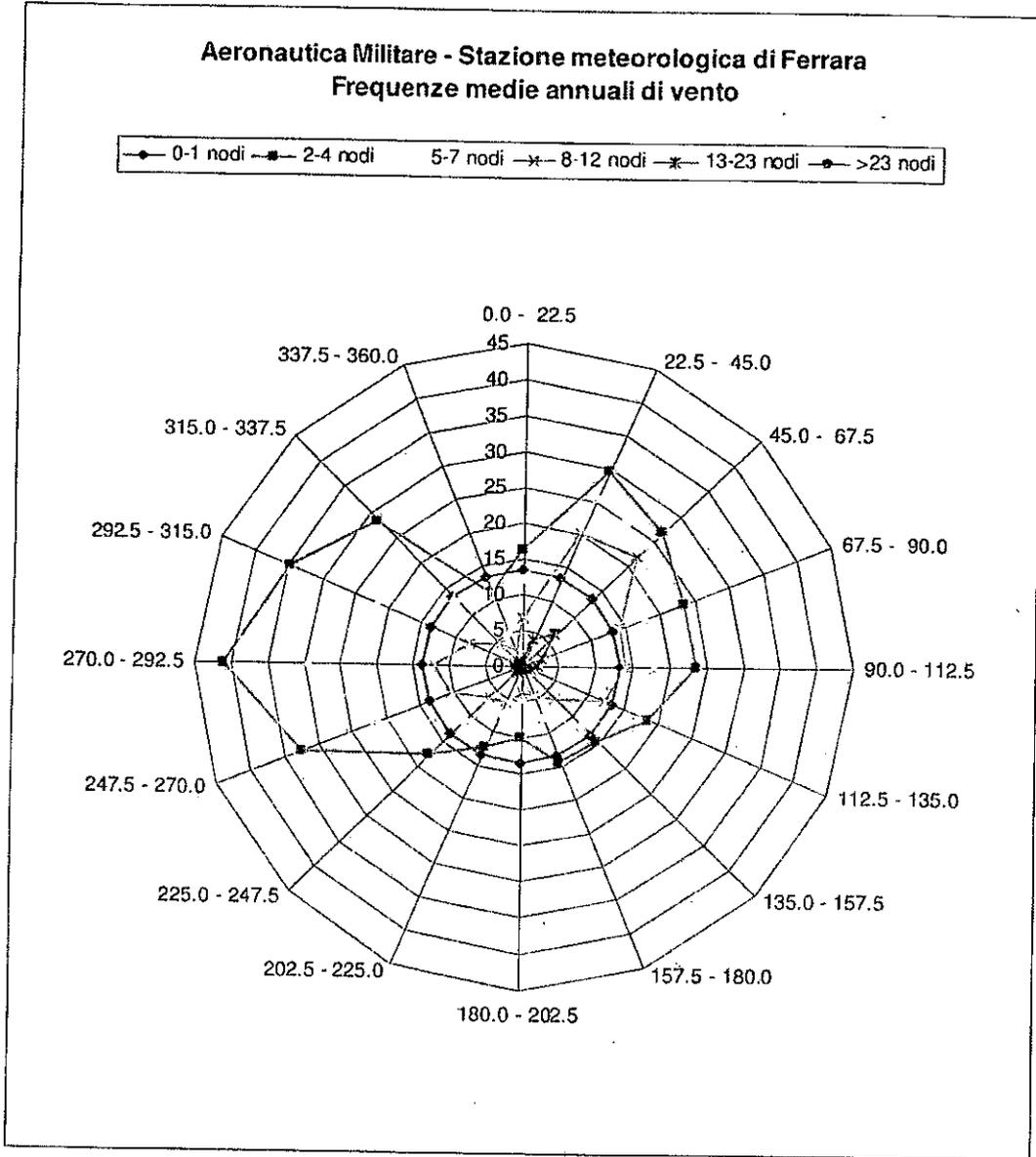


fig. 3.35 – Rosa dei venti a Ferrara

4 DEFINIZIONE DELLA SCHEMATIZZAZIONE NUMERICA

4.1 Considerazioni generali

Per la simulazione numerica è stato utilizzato un modello matematico bidimensionale del tipo *shallow water* implementato con l'ausilio del codice SWEET. Tale codice nella versione 4.01:

- utilizza un reticolo di calcolo ad elementi finiti triangolari del secondo ordine per la generazione del quale occorre assegnare i profili planimetrici dei corpi idrici interessati;
- utilizza per la considerazione della dimensione verticale i valori di profondità (batimetria) valutati in ciascun punto del reticolo a partire dai profili delle sezioni assegnate
- simula la dispersione termica in base a condizioni iniziali assegnate e a condizioni al contorno assegnate spazialmente e temporalmente, le quali definiscono lo scenario di analisi.

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

Scopo principale della simulazione è la verifica del rispetto dei limiti di legge nelle condizioni supposte più critiche in relazione all'assetto della centrale. In particolare, il modello di simulazione numerica adottato si basa sulla previsione dell'insieme dei fenomeni che influiscono sullo scarico termico, e consente, a differenza di un semplice modello di bilancio, di poter quantificare con buona approssimazione anche i limiti imposti sulla sezione semifredda, in cui il valore di incremento termico è strettamente legato ai complessi meccanismi di diffusione dipendenti dalla direzione ed intensità locali della corrente, dalla densità dell'acqua, e dalla geometria dello scarico, oltre che dai parametri di carico e di rapporto di portata da cui principalmente dipende l'incremento sull'intera sezione. Per quanto riguarda la geometria dello scarico, essa influenza fortemente il comportamento del pennacchio a brevi distanze (e quindi nelle sezioni più critiche), mentre più a valle sono le condizioni idrodinamiche del fiume determinate dalla sua morfologia e dalle condizioni di flusso idrico quelle che governano il fenomeno della diffusione termica.

Nei paragrafi seguenti si illustrano i passaggi che hanno condotto alla definizione del modello di simulazione numerica e degli scenari di analisi.

4.2 Definizione degli scenari di analisi

Come già anticipato nel precedente capitolo, l'analisi dell'impatto che il sistema di prelievo e di restituzione delle acque di raffreddamento della centrale di Ostiglia ha sul tratto di fiume Po a cui è connesso è caratterizzato dai seguenti parametri:

1. condizioni di esercizio che influenzano l'incremento termico in Po, che si traducono nella definizione delle condizioni di scarico e di presa in termini di portata e sovrizzo termico;
2. condizioni imperturbate dei corpi idrici, in termini di portate, livelli e valori di temperatura dell'acqua del fiume.

Per quanto riguarda il primo punto, le condizioni di esercizio ipotizzate sono riportate in Tabella 3 che riproduce l'attuale assetto di funzionamento dell'impianto con riferimento alle condizioni nominali di massimo esercizio.

Per quanto concerne il secondo punto sono state individuate tre distinte condizioni, corrispondenti ai livelli di magra e magra estrema, di morbida e di piena del fiume precedentemente discussi, mentre sono

state mantenute invariate le condizioni ambientali di vento e temperatura naturale imperturbata, scelte conservativamente tra le più critiche.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte ha portato a definire un totale di otto distinte situazioni:

A_ CONDIZIONI DI MAGRA:

1. **SCENARIO 1_magra ordinaria_assetto as is** caratterizzato dal livello di *magra* con la centrale in assetto di funzionamento a *tre gruppi* a ciclo combinato + *un gruppo* a funzionamento tradizionale;

B_ CONDIZIONI DI MAGRA ESTREMA:

2. **SCENARIO 2_magra estrema_assetto as is** caratterizzato dal livello di *magra estrema* con la centrale in assetto di funzionamento a *tre gruppi* a ciclo combinato + *un gruppo* a funzionamento tradizionale;

C_ CONDIZIONI DI MORBIDA:

3. **SCENARIO 3_morbida_assetto as is** caratterizzato dal livello di *morbida* con la centrale in assetto di funzionamento a *tre gruppi* a ciclo combinato + *un gruppo* a funzionamento tradizionale;

D_ CONDIZIONI DI MORBIDA:

4. **SCENARIO 4_piena_assetto as is** caratterizzato dal livello di *piena* con la centrale in assetto di funzionamento a *tre gruppi* a ciclo combinato + *un gruppo* a funzionamento tradizionale.

4.3 Definizione del reticolo di calcolo

In primo luogo si è operata la sovrapposizione delle planimetrie delle opere di scarico della centrale sulla carta topografica regionale allo scopo di individuare un unico sistema di riferimento per l'intero dominio di calcolo. Definita la corrispondenza dei diversi riferimenti rispetto al sistema di riferimento adottato per il calcolo, è stato determinato il tratto di fiume da considerare nel dominio di calcolo, sulla base delle valutazioni condotte al precedente capitolo. Più precisamente, il fiume Po è stato considerato per un tratto di circa 20 km, dei quali circa 1 km a monte dell'opera di scarico, allo scopo di consentire lo sviluppo del campo di moto.

Il dominio così individuato è stato poi campionato mediante AutoCAD allo scopo di definirne i contorni (sponda destra e sinistra, sezioni di ingresso e di uscita) e la localizzazione delle opere di scarico e di presa da considerare; queste informazioni sono poi state importate in FEMAP, con il quale è stato generato il reticolo di calcolo ad elementi finiti triangolari necessario per il modello numerico. Allo scopo di garantire l'accuratezza dei risultati del calcolo, questa operazione è stata condotta con i seguenti criteri:

- garantire il massimo dettaglio, generando elementi di piccole dimensioni, nelle zone maggiormente interessate dai fenomeni di diffusione termica o più critiche dal punto di vista idrodinamico, quali il bacino delle opere di presa, le zone antistanti lo scarico, il fiume Po nelle zone in cui sono presenti isole o secche ed infine le pile dei ponti esistenti tra Revere ed Ostiglia collocate a valle dello scarico stesso;
- operare con elementi il più possibile regolari, allo scopo di incrementare la stabilità del calcolo;
- definire le sezioni di presa e scarico con un dettaglio sufficiente a garantire la corretta assegnazione delle condizioni di portata ed incremento termico.

La considerazione di tre livelli idrici per le simulazioni numeriche porta a dover definire tre diversi reticoli di calcolo per tenere conto della differente configurazione dell'alveo bagnato nelle tre situazioni di flusso. In particolare:

- il reticolo di calcolo relativo alle condizioni di magra ordinaria e di magra estrema, generato con il generatore FEMAP, è illustrato in fig. 4.1, e comprende 39502 elementi, formati da 81041 nodi. La fig. 4.4 presenta il dettaglio del reticolo di calcolo in corrispondenza dell'opera di scarico, in cui sono evidenziate anche le pile dei ponti tra Revere ed Ostiglia;
- il reticolo di calcolo relativo alle condizioni di morbida, generato con il generatore FEMAP, è illustrato in fig. 4.2, e comprende 52015 elementi, formati da 106394 nodi. La fig. 4.5 presenta il dettaglio del reticolo di calcolo in corrispondenza dell'opera di scarico, in cui sono evidenziate anche le pile dei ponti tra Revere ed Ostiglia;
- il reticolo di calcolo relativo alle condizioni piena, generato con il generatore FEMAP, è illustrato in fig. 4.3, e comprende 64032 elementi, formati da 130310 nodi. La fig. 4.6 presenta il dettaglio del reticolo di calcolo in corrispondenza dell'opera di scarico, in cui sono evidenziate anche le pile dei ponti tra Revere ed Ostiglia.

Dall'esame delle figure sopra citate si rileva chiaramente la variazione subita dall'alveo bagnato al variare del livello e la conseguente diversa collocazione relativa della sezione efficace di scarico; più precisamente, in condizioni di magra l'opera di scarico è pressoché interamente scoperta e la sezione efficace di scarico è lievemente arretrata rispetto alla linea bagnata in riva sinistra, in condizioni di morbida essa si trova a filo del ramo principale della corrente, ma già all'interno dell'alveo fluviale, mentre in condizioni di piena l'opera di scarico è parzialmente sommersa e la sezione efficace di scarico è anch'essa ben entro l'alveo.

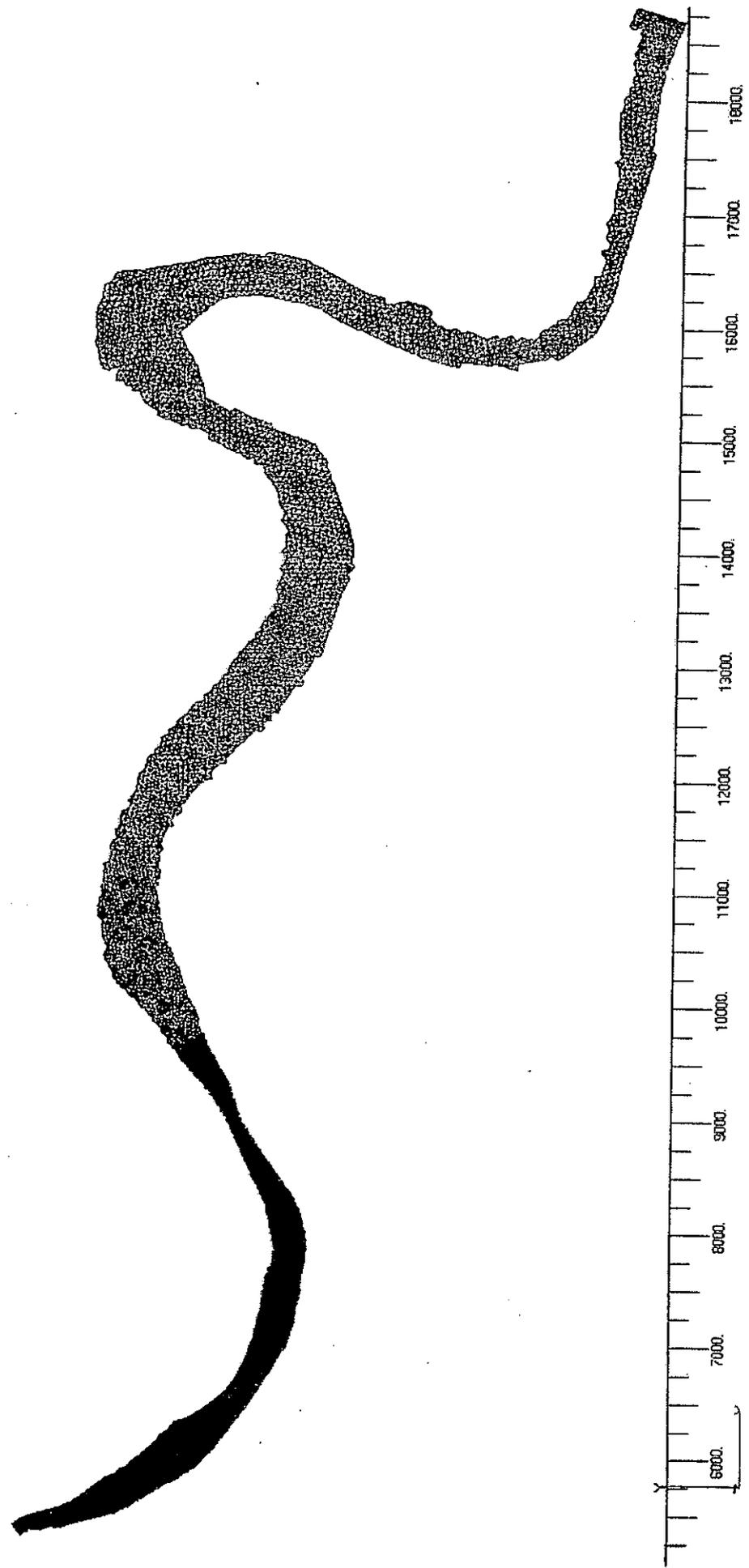


fig. 4.1 – Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di magra (ordinaria ed estrema)

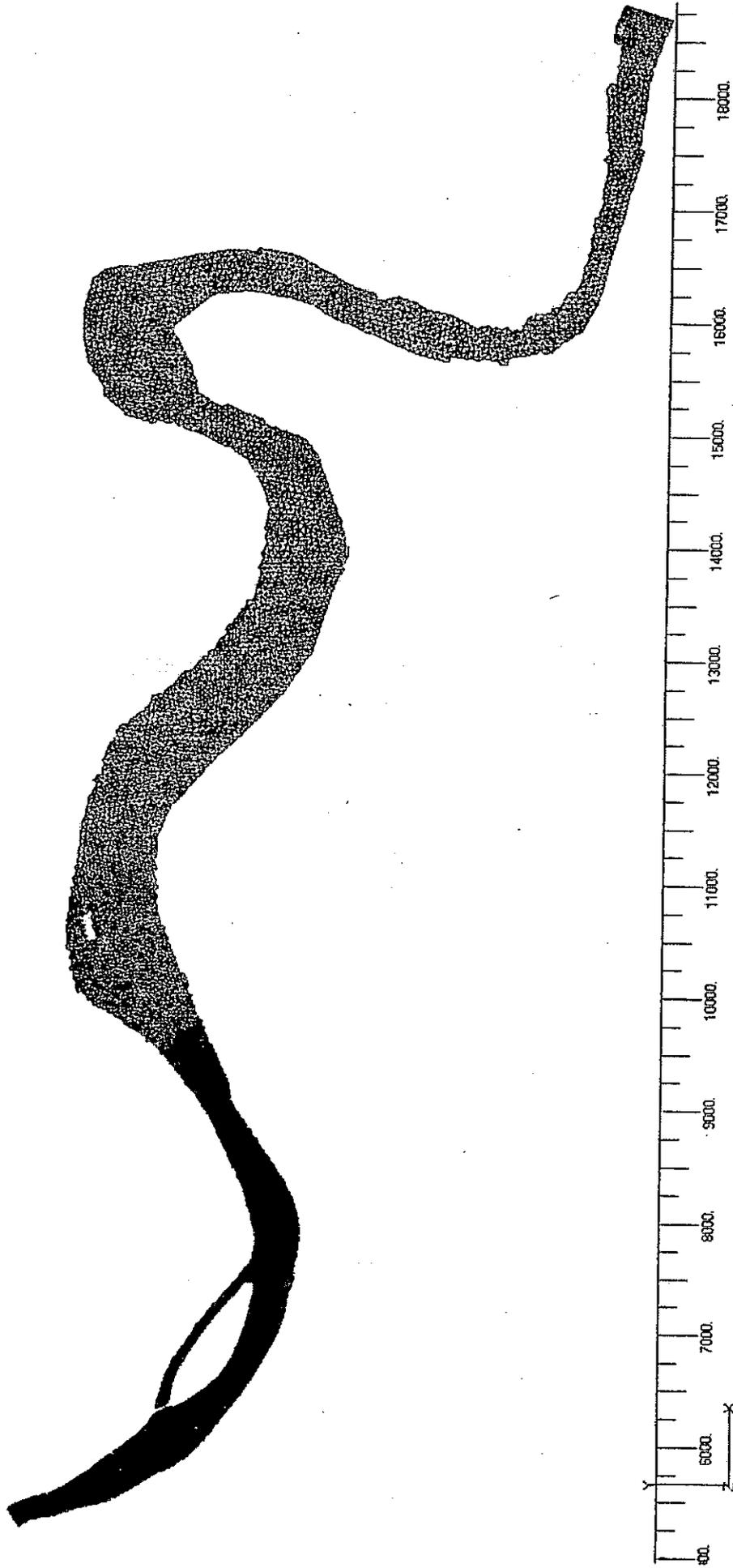


fig. 4.2 - Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di morbida

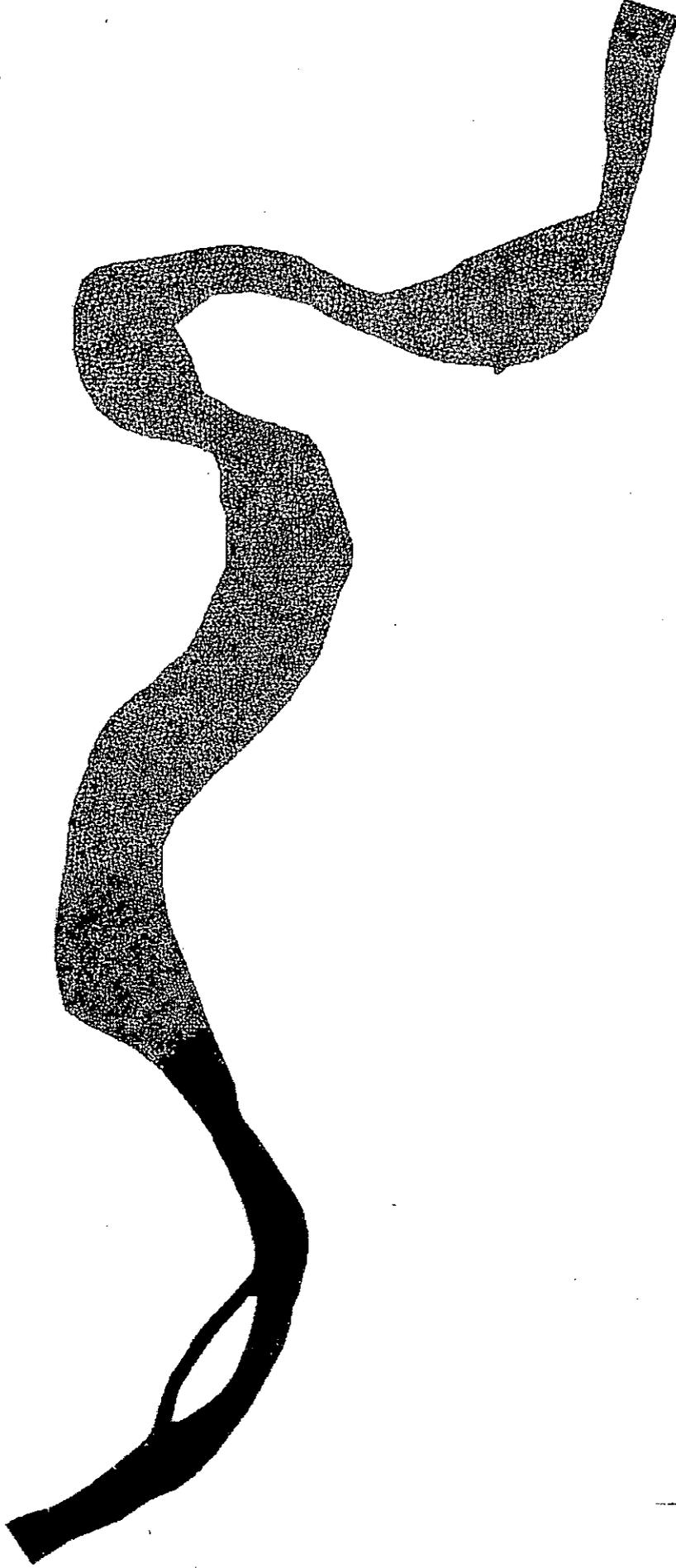


fig. 4.3 – Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di piena

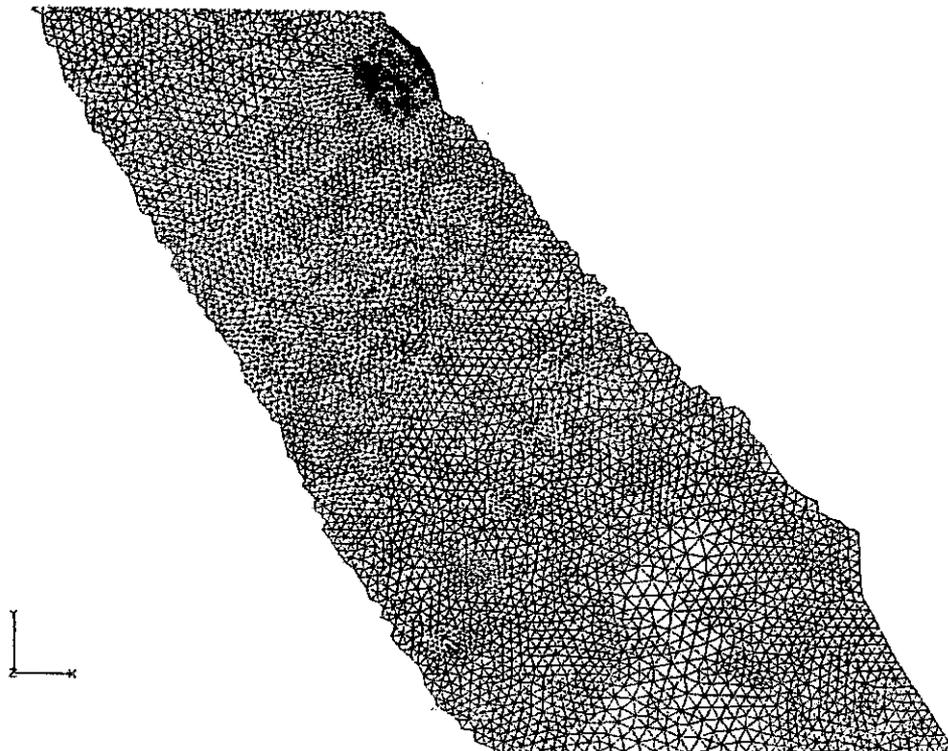


fig. 4.4 – Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di magra (ordinaria ed estrema); particolare nella zona di scarico

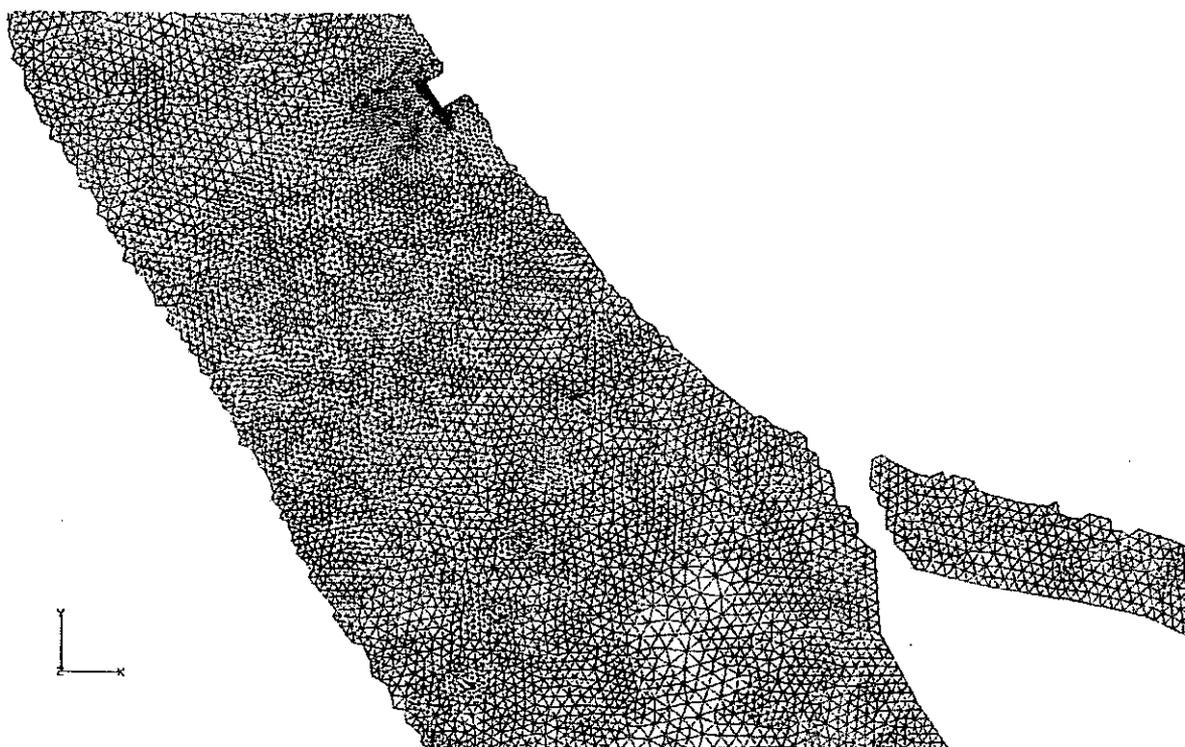


fig. 4.5 – Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di morbida; particolare nella zona di scarico.

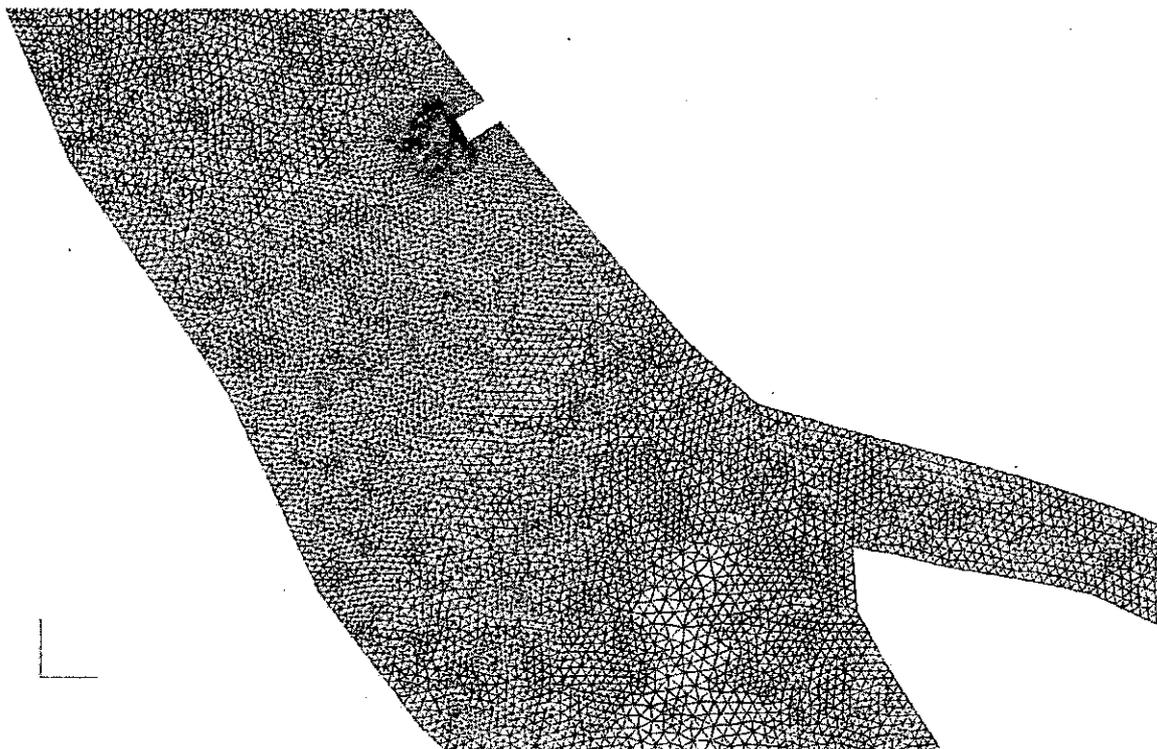


fig. 4.6 – Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di piena; particolare nella zona di scarico.

4.4 Condizioni iniziali ed al contorno

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

- velocità della corrente in tutto il dominio posta inizialmente uguale a 0.0 m/s. Ciò in pratica significa che si suppone inizialmente il corpo idrico fermo, e la sua distribuzione di velocità viene calcolata come stato stazionario raggiunto al termine del transitorio causato dalla imposizione delle condizioni di portata e livello al contorno (sezioni di ingresso, a monte della presa, e di uscita a Sermide, rispettivamente);
- temperatura dell'acqua in tutto il dominio pari al valore medio imperturbato in condizioni invernali. Anche in questo caso, il campo di temperatura sarà determinato dal calcolo della situazione di equilibrio dovuta alle condizioni al contorno.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, esse sono imposte in modo da garantire la convergenza numerica del calcolo ed il rispetto delle condizioni fisiche del problema. In particolare si impongono le seguenti condizioni:

- valore di portata alla sezione di ingresso del fiume Po variabile in funzione dello scenario simulato;
- temperatura dell'acqua all'ingresso del fiume Po a monte dell'opera di presa;
- livello del fiume Po alla sezione di uscita (idrometro di Sermide), variabile in funzione del caso simulato;

- portata di aspirazione alla presa variabile ai 4 gruppi secondo quanto riportato in Tabella 3 per l'assetto di funzionamento *as is* della centrale;
- portata di scarico in corrispondenza alla sezione efficace di scarico, variabile ai 4 gruppi secondo quanto riportato in Tabella 3 per l'assetto di funzionamento *as is* della centrale;
- temperatura di scarico in corrispondenza alla sezione efficace di scarico secondo quanto riportato in Tabella 3 per l'assetto di funzionamento *as is* della centrale.

Ulteriori condizioni valide per l'intero dominio sono:

- considerazione di un coefficiente di scambio termico con l'atmosfera pari a $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$, che corrisponde ad una situazione di temperatura media dell'acqua inferiore ai 15 °C ed una condizione media di calma di vento;
- considerazione di un coefficiente di attrito sul fondo secondo Strickler pari a $42 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, corrispondente al fondo naturale di un fiume o di un canale artificiale non cementato.

5 ANALISI DEI RISULTATI

5.1 Premessa

Nel corso dello studio sono stati successivamente analizzati gli scenari identificati come conservativi ai fini della valutazione delle condizioni di scarico e del loro impatto sul tratto di fiume Po interessato.

I risultati relativi a ciascuno degli scenari considerati sono stati analizzati sia graficamente, sia mediante *post processing* di tipo analitico allo scopo di estrarre l'insieme delle informazioni utili a caratterizzare il campo termico nell'intero dominio ed a valutarne l'impatto.

In particolare, sono state esaminate con particolare attenzione le zone relative allo scarico, ai ponti immediatamente a valle dello stesso ed ai tratti di fiume a valle dello scarico stesso fino alle aree di risentimento, per le implicazioni derivanti dalla applicazione dei limiti di legge.

5.2 Metodologia di verifica del rispetto dei limiti di legge

La metodologia [Rif. 31 e Rif. 32] di verifica del rispetto dei limiti di legge fa riferimento al D.Lgs n° 152/06 che, nell'allegato 5 alla Parte Terza (*Limiti di emissione degli scarichi idrici*), punto 1 (*Scarichi in corpi d'acqua superficiali*), tabella 3 (*Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura*), parametro 2 (*temperatura*), nota 1, recita tra l'altro:

“Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1 °C.omissis.....Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura dell'acqua di qualsiasi sezione non deve superare i 35 °C, la condizione suddetta è subordinata all'assenso del soggetto che gestisce il canale”

Ciò significa che in una qualunque sezione fluviale a valle dello scarico della centrale, nota la distribuzione della temperatura in funzione della profondità h e della distanza x dalla riva, è possibile calcolare la temperatura media T_m secondo l'espressione:

$$T_m = \frac{1}{A} \int T(x, h) dx dh$$

dove A è l'area della sezione e $T(x, h)$ è la funzione distribuzione della temperatura (campo termico). Poiché il modello numerico fornisce i valori di temperatura nei nodi degli elementi costituenti il reticolo di calcolo, si individuano i nodi che caratterizzano una sezione, in numero discreto, e l'espressione precedente viene ad assumere la forma approssimata:

$$T_m = \frac{\sum_i T_i A_i}{\sum_i A_i}$$

essendo T_i i valori di temperatura nei nodi ed A_i le aree della sezione in cui tale valore può essere ritenuto costante. Poiché il modello numerico adottato effettua già una media sulla verticale, di fatto la sezione considerata viene suddivisa in un numero di superfici verticali elementari ciascuna relativa ad uno dei nodi della sezione.

Per calcolare poi il valore di temperatura media sulla semi sezione "più fredda", oltre che il valore sull'intera sezione, si ordinano le temperature T_i in senso crescente, ciascuna con la superficie elementare associata, e si valutano le quantità:

$$T_m(100\%) = \frac{\sum_{i=1}^N T_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

$$T_m(50\%) = \frac{\sum_{i=1}^M T_i A_i}{\sum_{i=1}^M A_i}$$

essendo N il numero totale di nodi della sezione ed M il numero di nodi la cui somma delle superfici elementari è pari alla metà dell'area totale della sezione.

Gli incrementi termici medi sono poi calcolati come differenza tra i valori medi di temperatura nella sezione a valle dello scarico calcolati secondo le formule sopra riportate e la contemporanea temperatura media calcolata in una sezione imperturbata posta a monte dello scarico stesso.

La legislazione vigente, poi, richiede che la verifica dei limiti di legge avvenga misurando l'incremento termico tra una qualsiasi sezione a monte ed a valle del punto di immissione dello scarico. Nella presente verifica, per l'analisi dell'incremento termico di legge si è fatto riferimento alle sezioni:

- *sezione imperturbata a monte* (detta anche "sezione fredda") che, in considerazione della assenza di fenomeni di ricircolo, è stata collocata prima della opera di scarico, per la misura della temperatura media naturale (indisturbata) del corpo idrico ricettore;
- *sezione a 100 m*, scelta ad una distanza di circa 100 m dallo scarico quale sezione calda più prossima, in cui viene valutato l'incremento termico dovuto allo scarico, sia sull'intera sezione che sulla semi sezione fredda;
- *sezioni a 500 m e a 700 m*, scelte ad una distanza di circa 500 m e 700 m dallo scarico quali sezioni calde in cui, nei vari scenari esaminati, il pennacchio termico raggiunge il suo massimo sviluppo in larghezza e nelle quali è ancora valutato l'incremento termico sia sull'intera sezione che sulla semi sezione fredda;
- *sezione a 1000 m*, scelta ad una distanza di circa 1000 m dallo scarico quale sezione calda alla quale il pennacchio termico torna a restringersi; considerata come sezione limite oltre la quale è possibile garantire il mantenimento dei previsti limiti di legge per tutti gli scenari simulati, anche per essa è valutato l'incremento termico sia sull'intera sezione che sulla semi sezione fredda.

Le figure da fig. 5.1 a fig. 5.3 mostrano la posizione delle suddette sezioni di verifica dei limiti di legge rispettivamente per le condizioni di magra (ordinaria ed estrema), morbida e piena.

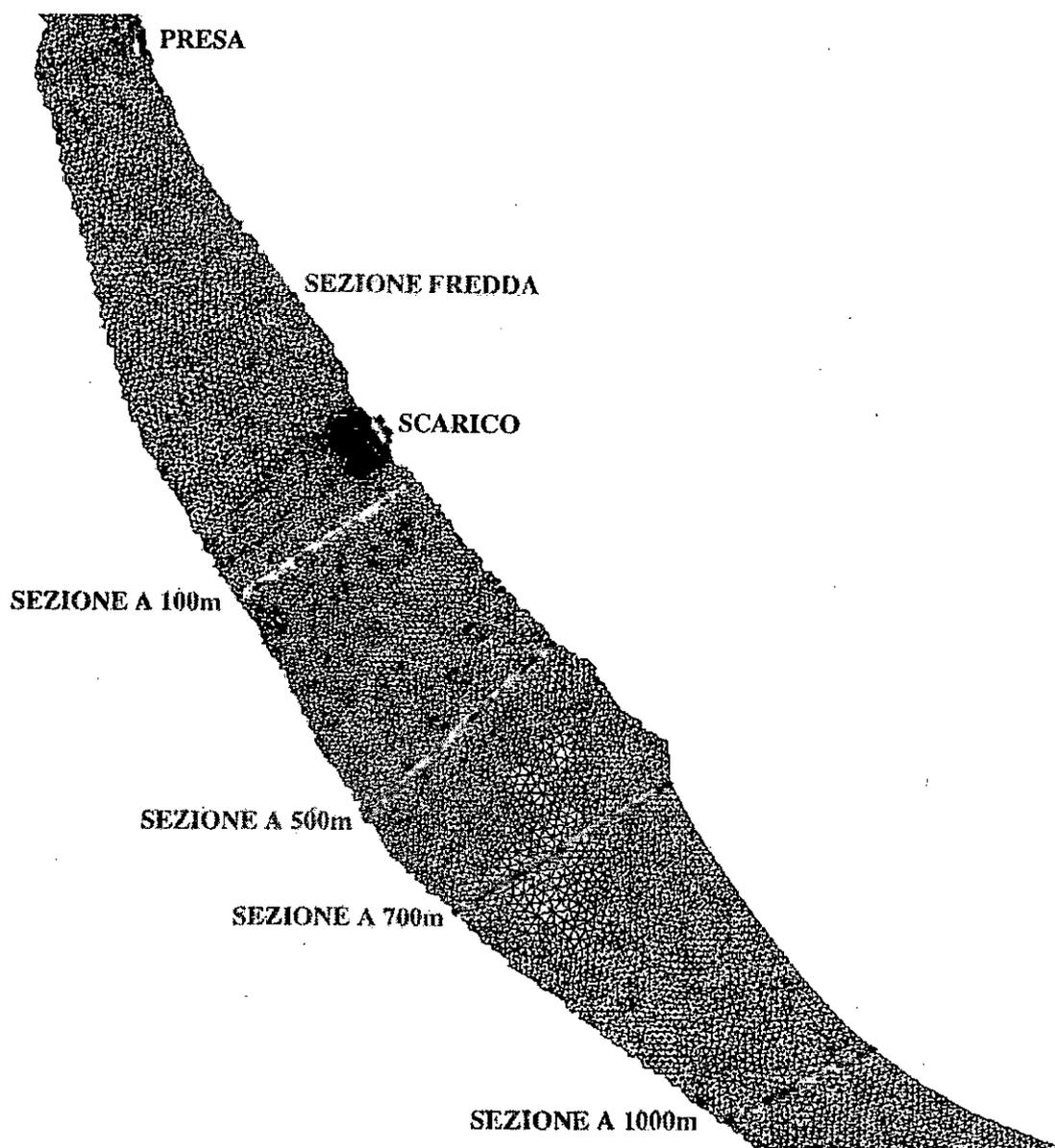


fig. 5.1 – Posizionamento delle sezioni adottate per la verifica dei limiti di legge; condizioni di magra ordinaria ed estrema.

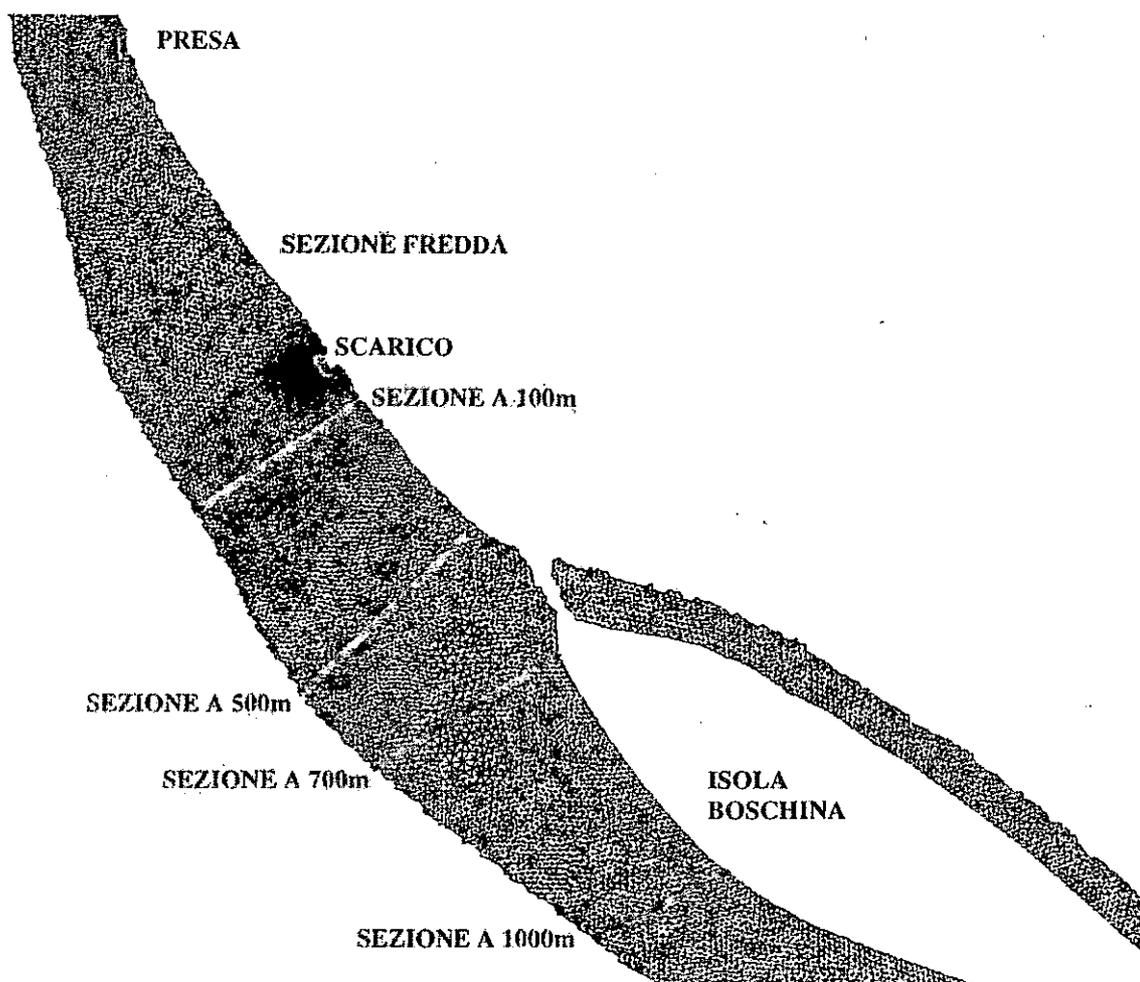


fig. 5.2 – Posizionamento delle sezioni adottate per la verifica dei limiti di legge; condizioni di morbida.

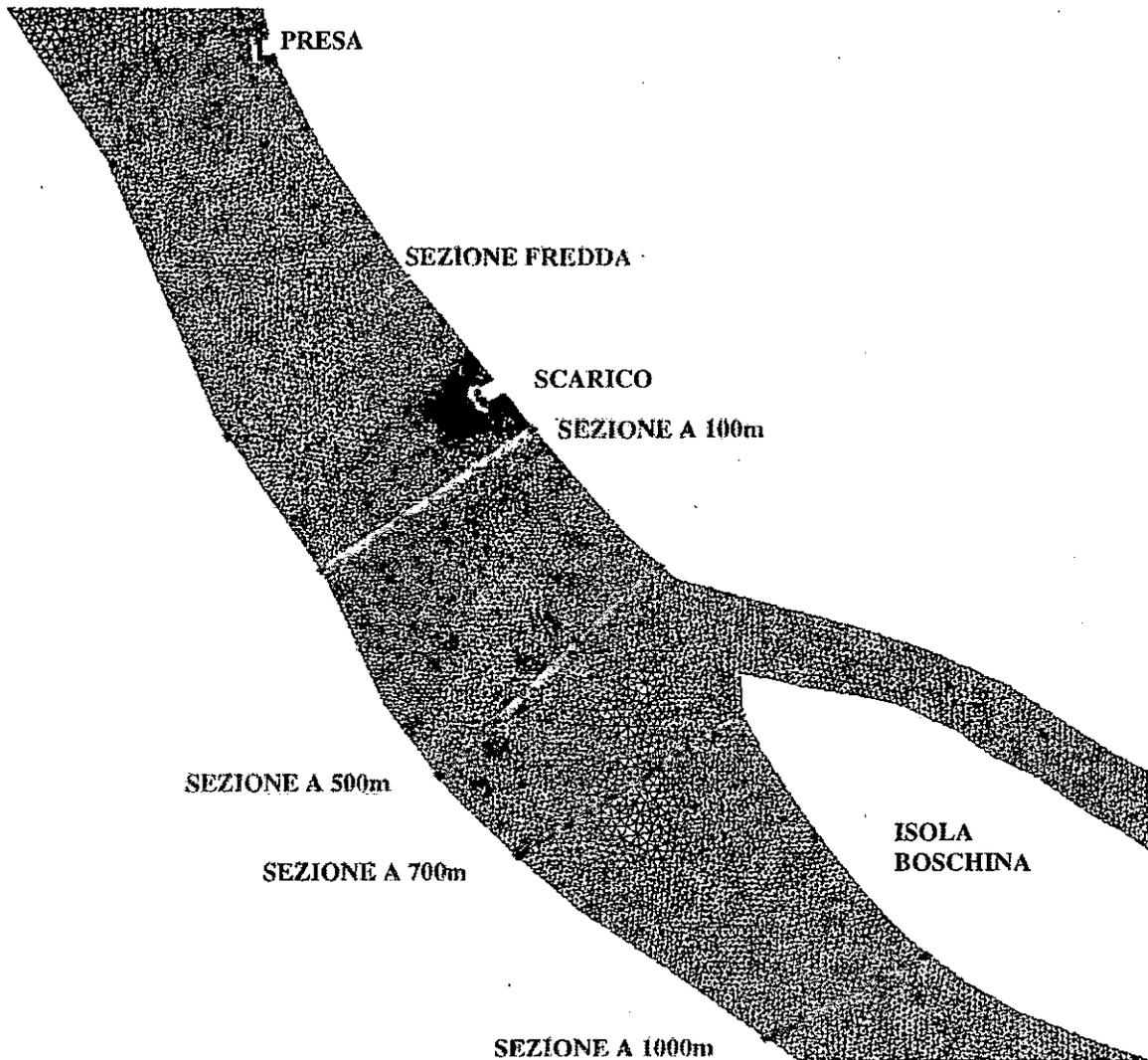


fig. 5.3 – Posizionamento delle sezioni adottate per la verifica dei limiti di legge; condizioni di piena.

5.3 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra ordinaria

La valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra ordinaria del fiume fa riferimento alla situazione in cui il livello allo scarico è pari a 6.8 m s.l.m., con una portata di 320 m³/s. Il calcolo, eseguito in condizioni conservative di temperatura media invernale e calma di vento, fa riferimento al reticolo di fig. 4.1 ed utilizza la batimetria calcolata dal codice in queste condizioni e mostrata in fig. 3.25. La centrale si presenta in assetto di funzionamento con *tre gruppi* a ciclo combinato ed *un gruppo* tradizionale così come riportato in Tabella 3.

5.3.1 SCENARIO 1 *magra ordinaria_assetto "as is"*

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo conduce alle considerazioni di seguito riportate.

- a) L'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando quindi il transitorio conseguente per un periodo di cinque giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie.
- b) L'andamento del livello calcolato lungo il tratto di fiume rispetto al valore di riferimento all'idrometro di Sernide è riportato in fig. 5.4. Si nota l'andamento regolare dell'incremento di livello risalendo il corso del fiume, con una pendenza più accentuata là dove il fiume subisce dei restringimenti con sponde alte e batimetria profonda. Il valore massimo in corrispondenza della sezione di ingresso a monte dell'opera di presa, pari a 0.31 m, è in buon accordo con il valore atteso in base ai rilievi sperimentali a parità di portata.
- c) L'andamento del campo termico ottenuto dalla simulazione numerica è riportato in fig. 5.5 con riferimento all'intero tratto del Po considerato. Appare evidente come il pennacchio caldo pieghi immediatamente verso valle, senza risentire dell'aspirazione della presa, peraltro posta a monte a diverse centinaia di metri di distanza. Per meglio analizzarne il comportamento, il tratto di fiume interessato dal pennacchio stesso è mostrato in fig. 5.6, con le diverse isoterme indicanti un sovrizzo termico di 1 °C ciascuna a partire dalla temperatura di fondo scala di 7 °C a fronte di una temperatura indisturbata pari a 7.3 °C; infine in fig. 5.7 è mostrato il particolare del campo termico in prossimità della zona di scarico con una scala cromatica di maggiore dettaglio. Dall'esame delle figure citate si nota come il risentimento del pennacchio si esaurisce ad una distanza di circa 10 km dal punto di emissione, con una canalizzazione marcata verso la sponda sinistra a partire dal primo ponte tra Revere ed Ostiglia, attraversato dal pennacchio, nella sua componente più calda, in corrispondenza della prima luce, e dal secondo ponte, interessato dal pennacchio, ormai meno turbolento, in corrispondenza delle prime due arcate in sponda sinistra. Si nota altresì che il pennacchio passa tutto a destra dell'isola Boschina a causa dello sbarramento creato, nelle presenti condizioni di magra, dalla emergenza del fondale precedentemente descritta (fig. 3.24) esistente tra la sponda sinistra del Po e l'isola. Dal confronto tra l'andamento del pennacchio e quello della batimetria a valle dello scarico è immediato constatare che, all'esterno dell'area di massima turbolenza che si crea in corrispondenza delle bocche di scarico, le aree maggiormente interessate dal flusso più caldo sono quelle meno profonde collocate proprio a ridosso della sponda sinistra; in tali zone, infatti, il pennacchio caldo va ad interessare l'intero (limitato) battente idrico disponibile.
- d) Il gradiente di velocità del flusso idrico risultante nella zona immediatamente a valle dello scarico è mostrato in fig. 5.8 e, sovrapposto al campo di moto, in fig. 5.9. Esso risulta particolarmente interessante per comprendere lo sviluppo del pennacchio caldo a valle dello scarico. In particolare, si osservano le maggiori velocità associate allo scarico dei gruppi 3 e 4 posti a nord, cui compete (Tabella 3), nell'assetto in esame e a parità di area di scarico, una portata maggiore rispetto a quella dei gruppi 1 e 2, posti

immediatamente a sud. E' inoltre chiaramente visibile la forte turbolenza che caratterizza l'immissione in Po delle acque di raffreddamento con la formazione di vortici immediatamente a monte dello scarico; essa si smorza una volta usciti dalla cosiddetta *mixing zone*, sia per effetto del basso fondale allo scarico sia per l'incontro con la corrente del fiume, con direzione trasversale rispetto allo scarico stesso e con velocità massime dell'ordine di 1 m/s. Nuovamente si osserva che l'espandersi del pennacchio nella zona a ridosso della sponda sinistra, corrisponde alla presenza, in tali aree, di una minore velocità della corrente fluviale che assume invece i suoi valori massimi avvicinandosi alla sponda destra ove sono presenti i maggiori battenti idrici caratterizzati da temperature che si mantengono, di fatto, indisturbate.

- e) L'analisi dell'incremento termico è stata condotta nelle quattro sezioni calde a 100 m, 500 m, 700 m e 1000 m dallo scarico secondo la procedura stabilita dalla legislazione vigente [Rif. 31 e Rif. 32] come descritto al precedente paragrafo 4.4. La Tabella 7 che segue riassume i valori degli incrementi termici calcolati a valle dello scarico evidenziando che la sezione più critica, con riferimento alla verifica in oggetto, è quella posta a circa 700 m dallo scarico. In ogni caso, i valori di incremento rientrano nei requisiti di legge.

Tabella 7 SCENARIO 1_Incrementi termici a valle dello scarico

ASSETTO IMPIANTO	CONDIZIONI IDRAULICHE	INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sull'INTERA SEZIONE (*) distante dallo scarico:				INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sulla SEMISEZIONE FREDDA (**) distante dallo scarico:			
		100m	500m	700m	1000m	100m	500m	700m	1000m
'As is'	MAGRA ordin.	1.22	1.82	1.95	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00

(*) limite di legge: +3 °C

(**) limite di legge: +1 °C

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la situazione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (bassa portata del fiume, condizioni invernali di temperatura, calma di vento) e che fa riferimento alla situazione con assetto 'as is' a 3 cicli combinati + 1 tradizionale della centrale, porta comunque ad una condizione di scarico che rispetta i limiti di legge imposti sul valore di incremento termico medio, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

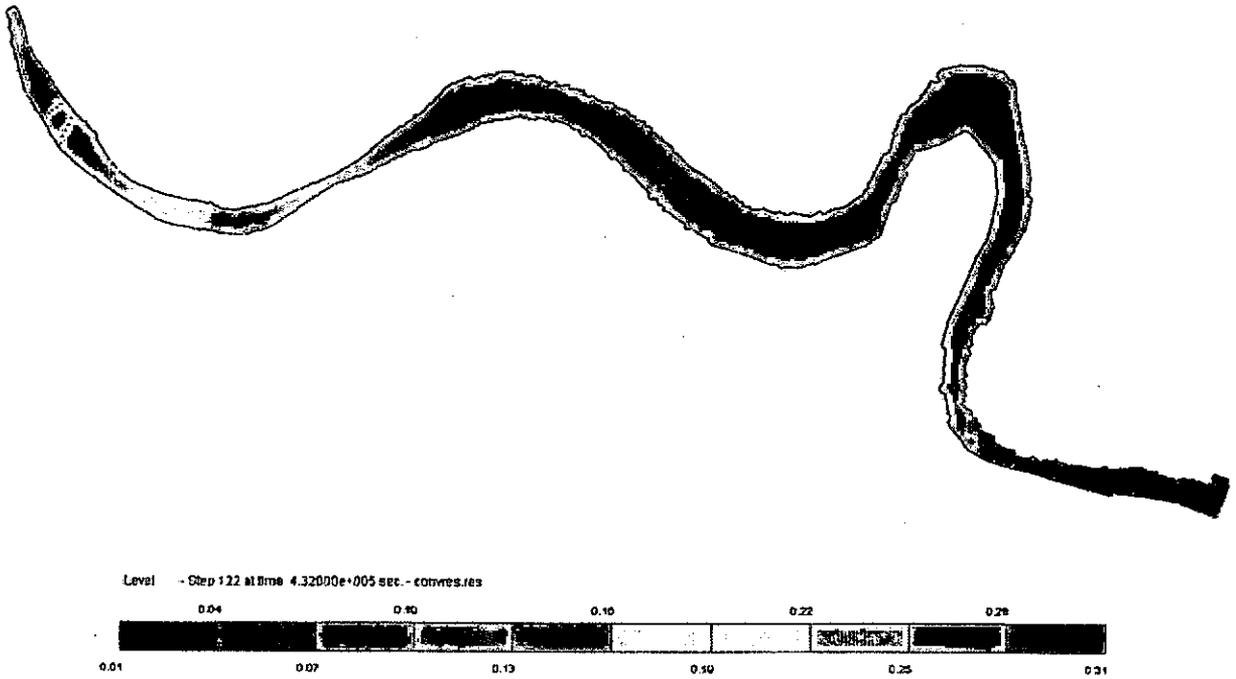


fig. 5.4 – SCENARIO 1_Condizioni di magra ordinaria. Andamento del livello del fiume Po rispetto al livello di riferimento (idrometro di Sermide).

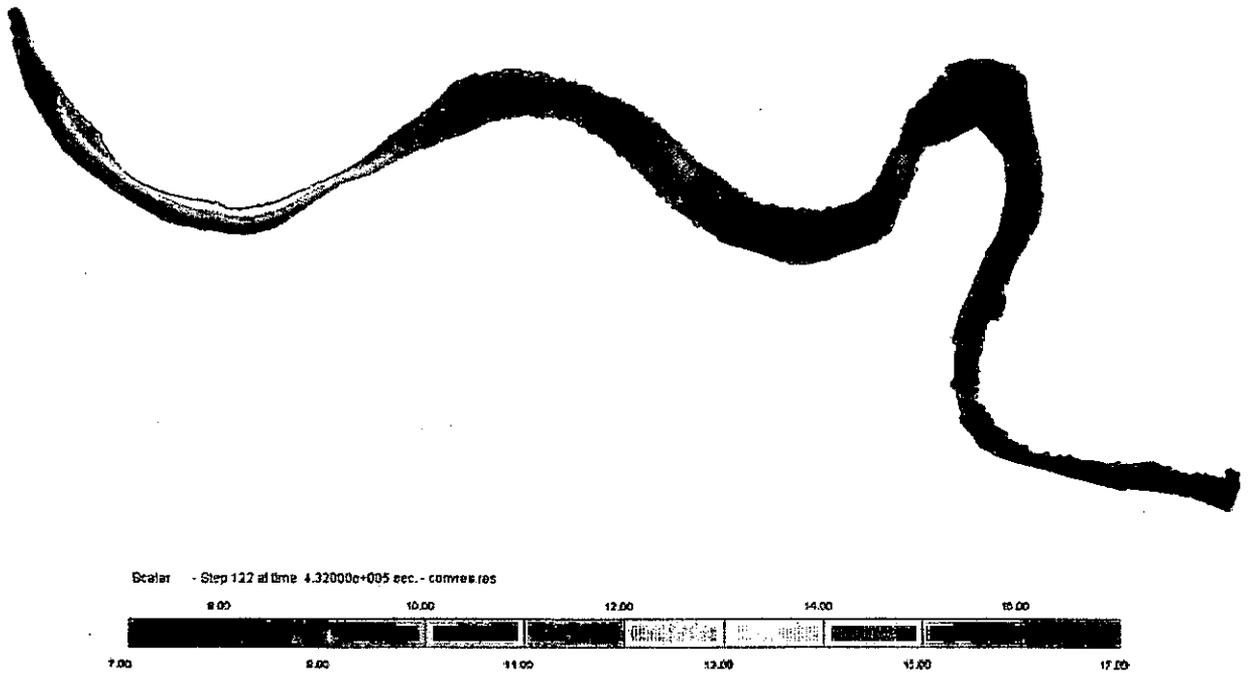


fig. 5.5 – SCENARIO 1_Condizioni di magra ordinaria. Andamento del campo termico nel fiume Po.

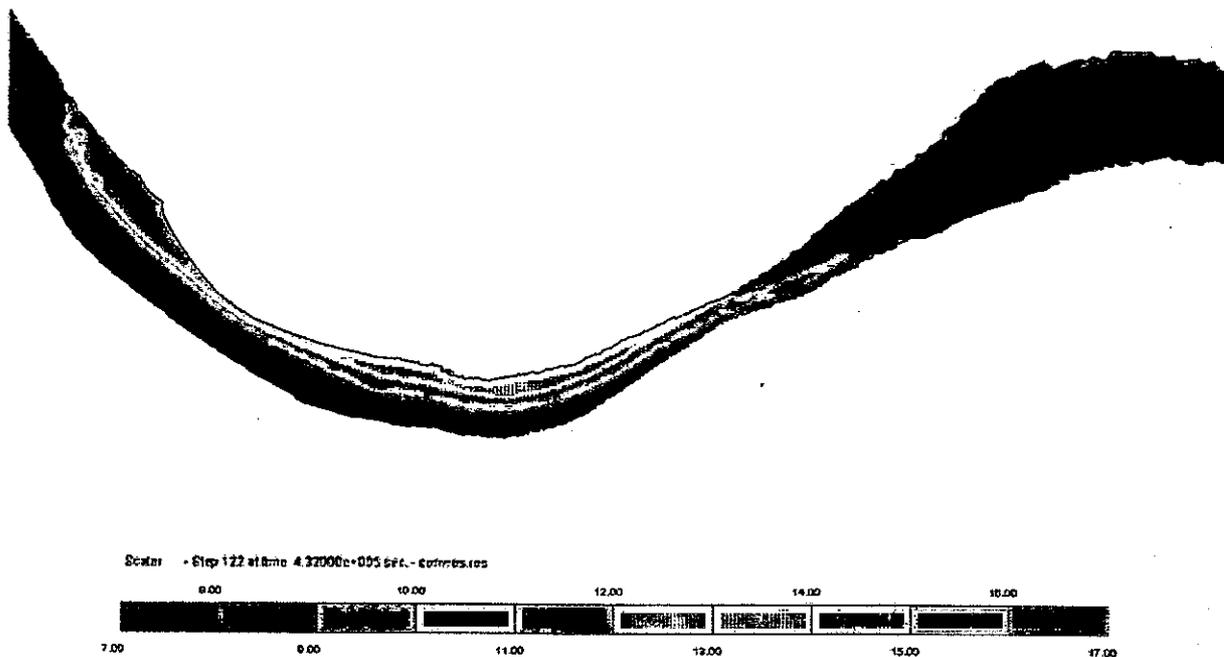


fig. 5.6 – SCENARIO 1_Condizioni di magra ordinaria. Andamento del campo termico nel tratto perturbato dallo scarico.

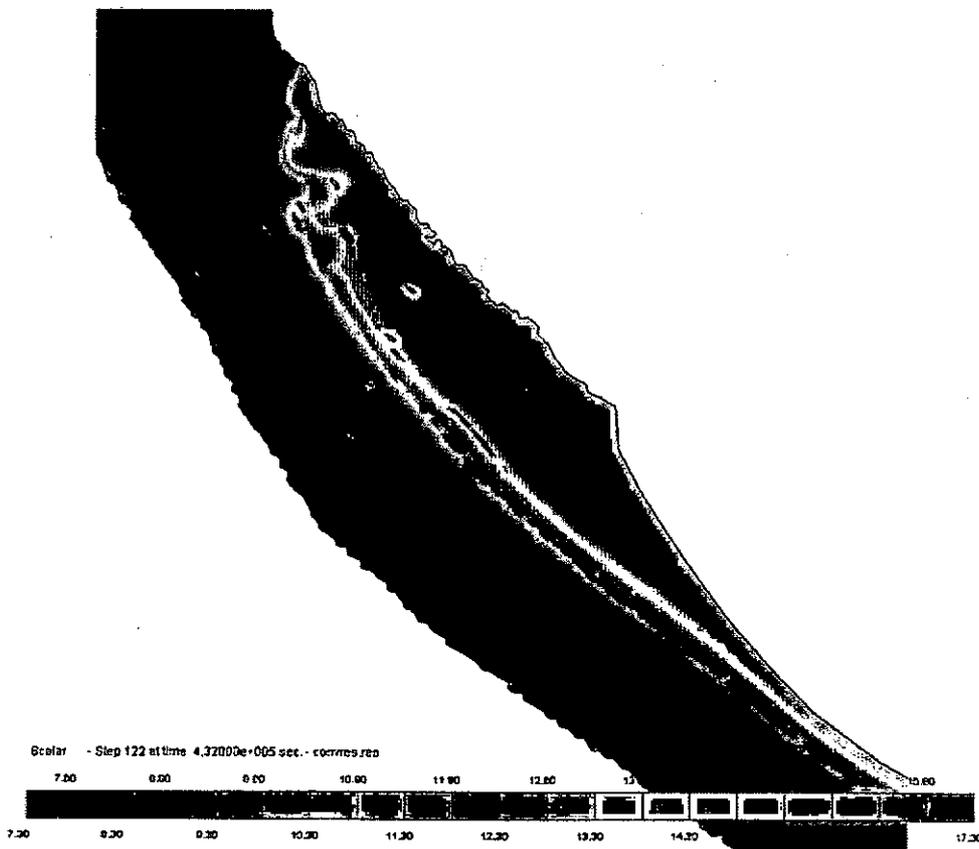


fig. 5.7 – SCENARIO 1_Condizioni di magra ordinaria. Andamento del campo termico in prossimità dello scarico.

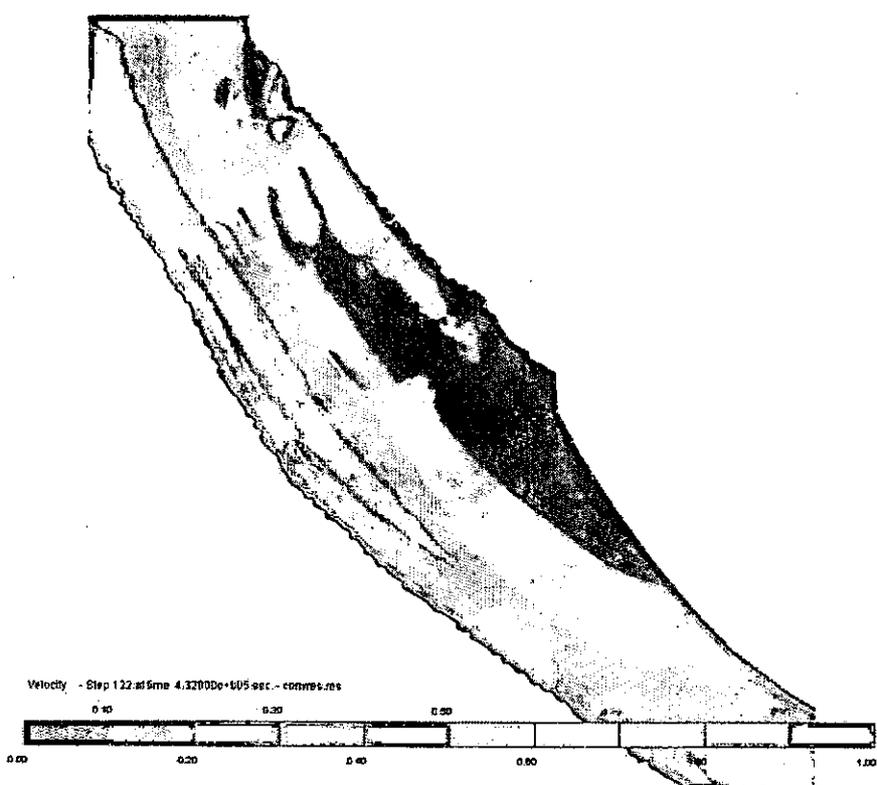


fig. 5.8 – SCENARIO 1_Condizioni di magra ordinaria. Andamento del gradiente di velocità in prossimità dello scarico.

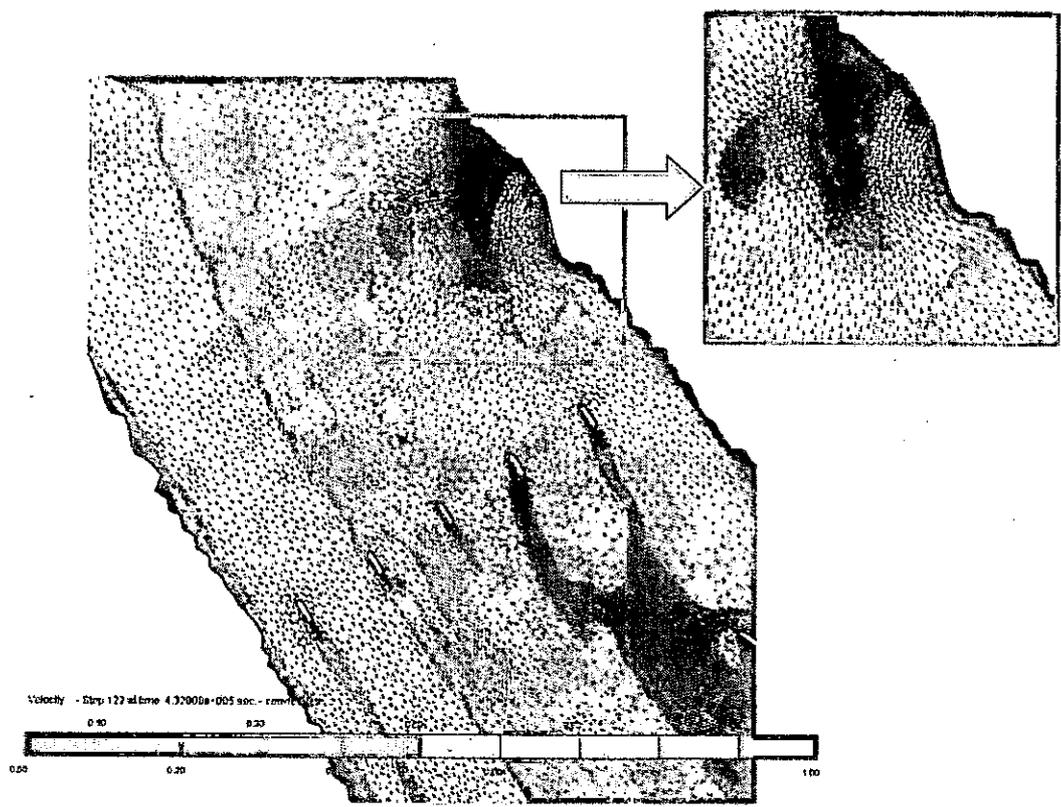


fig. 5.9 – SCENARIO 1_Condizioni di magra ordinaria. Andamento del gradiente di velocità e del campo di moto in prossimità dello scarico.

5.4 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra estrema

La valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra estrema del fiume fa riferimento alla situazione in cui il livello allo scarico è pari a 6.8 m s.l.m., con una portata di 270 m³/s. Il calcolo, eseguito sempre in condizioni conservative di temperatura media invernale, calma di vento e livello allo scarico più alto di quello ipotizzabile per la portata simulata (si veda il paragrafo 3.3.2), fa riferimento al reticolo di fig. 4.1 ed utilizza la batimetria calcolata dal codice in queste condizioni e mostrata in fig. 3.25. La centrale si presenta in assetto di funzionamento con *tre gruppi* a ciclo combinato ed *un gruppo* tradizionale così come riportato in Tabella 3.

5.4.1 SCENARIO 2_magra estrema_assetto "as is"

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo conduce alle considerazioni di seguito riportate.

- a) L'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando quindi il transitorio conseguente per un periodo di cinque giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie.
- b) L'andamento del livello calcolato lungo il tratto di fiume rispetto al valore di riferimento all'idrometro di Sermide è riportato in fig. 5.10. Si nota l'andamento regolare dell'incremento di livello risalendo il corso del fiume, con una pendenza più accentuata là dove il fiume subisce dei restringimenti con sponde alte e batimetria profonda. Il valore massimo in corrispondenza della sezione di ingresso a monte dell'opera di presa è evidentemente diminuito (0.23 m) rispetto a quello ricavato per i precedenti due scenari di magra ordinaria, caratterizzati da una maggiore portata in ingresso alla sezione di monte.
- c) L'andamento del campo termico ottenuto dalla simulazione numerica è riportato in fig. 5.11 con riferimento all'intero tratto del Po considerato. Appare evidente come il pennacchio caldo pieghi immediatamente verso valle, senza risentire dell'aspirazione della presa, peraltro posta a monte a diverse centinaia di metri di distanza. Per meglio analizzarne il comportamento, il tratto di fiume interessato dal pennacchio stesso è mostrato in fig. 5.12, con le diverse isoterme indicanti un sovrizzo termico di 1 °C ciascuna a partire dalla temperatura di fondo scala di 7 °C a fronte di una temperatura indisturbata pari a 7.3 °C; infine in fig. 5.13 è mostrato il particolare del campo termico in prossimità della zona di scarico con una scala cromatica di maggiore dettaglio. Dall'esame delle figure citate si nota come il risentimento del pennacchio si esaurisce ad una distanza di circa 10 km dal punto di emissione, con una canalizzazione marcata verso la sponda sinistra a partire dal primo ponte tra Revere ed Ostiglia, attraversato dal pennacchio in corrispondenza principalmente delle prime due arcate, e dal secondo ponte, interessato dal pennacchio in corrispondenza delle prime tre arcate in sponda sinistra. Si nota altresì che il pennacchio passa tutto a destra dell'isola Boschina a causa dello sbarramento creato, nelle presenti condizioni di magra estrema, dalla emergenza del fondale precedentemente descritta (fig. 3.24) esistente tra la sponda sinistra del Po e l'isola. Dal confronto tra l'andamento del pennacchio e quello della batimetria a valle dello scarico è immediato constatare che, all'esterno dell'area di massima turbolenza che si crea in corrispondenza delle bocche di scarico, le aree maggiormente interessate dal flusso più caldo sono quelle meno profonde collocate proprio a ridosso della sponda sinistra; in tali zone, infatti, il pennacchio caldo va ad interessare l'intero (limitato) battente idrico disponibile.
- d) Il confronto del presente scenario 2 con il precedente scenario 1, corrispondente a quello corrente in termini di assetto della centrale ma caratterizzato da condizioni di magra ordinaria, evidenzia, com'era da attendersi, la maggiore criticità dell'impatto termico indotto dalla centrale in condizioni di magra estrema; l'analisi comparata della fig. 5.7, per lo scenario 1, e della figura fig. 5.13 per lo scenario corrente, mostra chiaramente in

quest'ultimo scenario una maggiore ampiezza ed un maggiore trascinamento verso sud del nucleo più caldo che raggiunge e supera l'estremità nord dell'isola Boschina, che ne devia la traiettoria in direzione parallela alla sua sponda destra. Ciò si traduce in un aumento degli incrementi termici registrati nelle sezioni di controllo prescelte come descritto al seguente punto f).

- e) Il gradiente di velocità del flusso idrico risultante nella zona immediatamente a valle dello scarico è mostrato in fig. 5.14 e, sovrapposto al campo di moto, in fig. 5.15. Esso risulta particolarmente interessante per comprendere lo sviluppo del pennacchio caldo a valle dello scarico. In particolare, si osservano le maggiori velocità associate allo scarico dei gruppi 3 e 4 posti a nord, cui compete (Tabella 3), nell'assetto in esame e a parità di area di scarico, una portata maggiore rispetto a quella dei gruppi 1 e 2, posti immediatamente a sud. E' inoltre chiaramente visibile la forte turbolenza che caratterizza l'immissione in Po delle acque di raffreddamento con la formazione di vortici immediatamente a monte dello scarico; essa si smorza una volta usciti dalla cosiddetta *mixing zone*, sia per effetto del basso fondale allo scarico sia per l'incontro con la corrente del fiume, con direzione trasversale rispetto allo scarico stesso e con velocità massime dell'ordine di 1 m/s. Nuovamente si osserva che l'espandersi del pennacchio nella zona a ridosso della sponda sinistra, corrisponde alla presenza, in tali aree, di una minore velocità della corrente fluviale che assume invece i suoi valori massimi avvicinandosi alla sponda destra ove sono presenti i maggiori battenti idrici caratterizzati da temperature che si mantengono, di fatto, indisturbate.
- f) L'analisi dell'incremento termico è stata condotta nelle quattro sezioni calde a 100 m, 500 m, 700 m e 1000 m dallo scarico secondo la procedura stabilita dalla legislazione vigente [Rif. 31 e Rif. 32] come descritto al precedente paragrafo 4.4. La Tabella 8 che segue riassume i valori degli incrementi termici calcolati a valle dello scarico evidenziando che la sezione più critica, con riferimento alla verifica in oggetto, è quella posta a circa 700 m dallo scarico. Come precedentemente osservato al punto d), rispetto alla corrispondente situazione di magra ordinaria (scenario 1), il presente scenario mostra, superata l'area di forte turbolenza all'immissione in Po (vale a dire oltre la sezione di controllo più vicina posta a 100 m dallo scarico), un aumento medio del 14% degli incrementi termici con riferimento alle sezioni intere di controllo adottate a 500, 700 e 1000 m. In ogni caso, i valori di incremento rientrano nei requisiti di legge anche nel presente caso di magra estrema.

Tabella 8 SCENARIO 2_Incrementi termici a valle dello scarico

ASSETTO IMPIANTO	CONDIZIONI IDRAULICHE	INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sull'INTERA SEZIONE (*) distante dallo scarico:				INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sulla SEMISEZIONE FREDDA (**) distante dallo scarico:			
		100m	500m	700m	1000m	100m	500m	700m	1000m
'As is'	MAGRA estrema	1.14	2.12	2.24	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00

(*) limite di legge: +3 °C

(**) limite di legge: +1 °C

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la situazione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minima portata del fiume, livello allo scarico più alto di quello ipotizzabile per la portata simulata, condizioni invernali di temperatura, calma di vento) e che fa riferimento alla situazione con assetto 'as is' a 3 cicli combinati + 1 tradizionale della centrale, porta comunque ad una condizione di scarico che rispetta i limiti di legge imposti sul valore di incremento termico medio, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

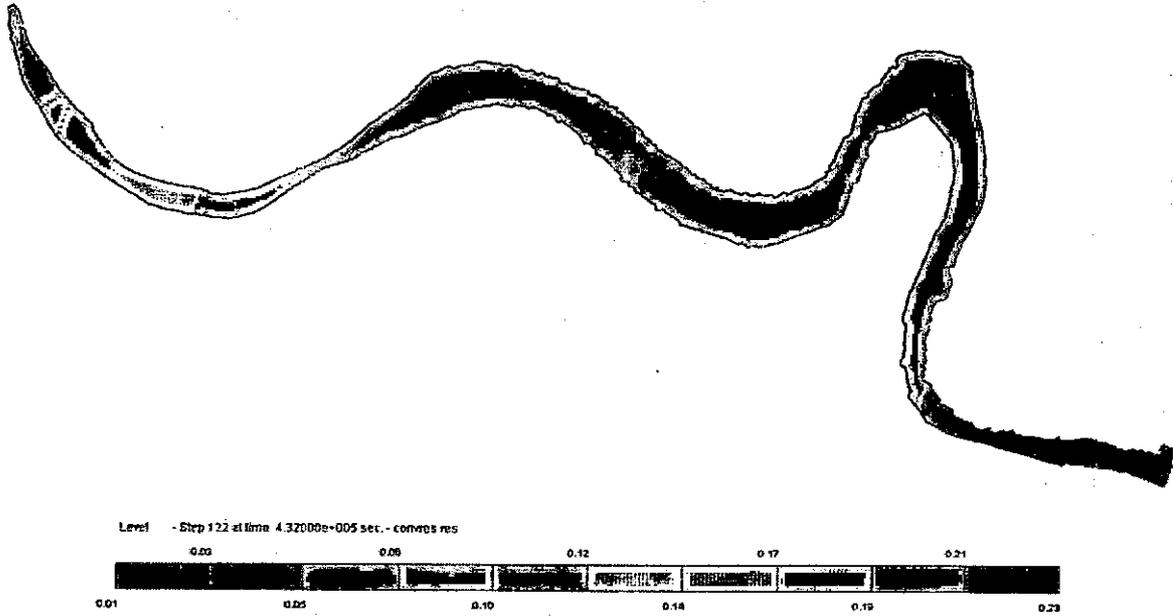


fig. 5.10 – SCENARIO 2_Condizioni di magra estrema. Andamento del livello del fiume Po rispetto al livello di riferimento (idrometro di Sermide).

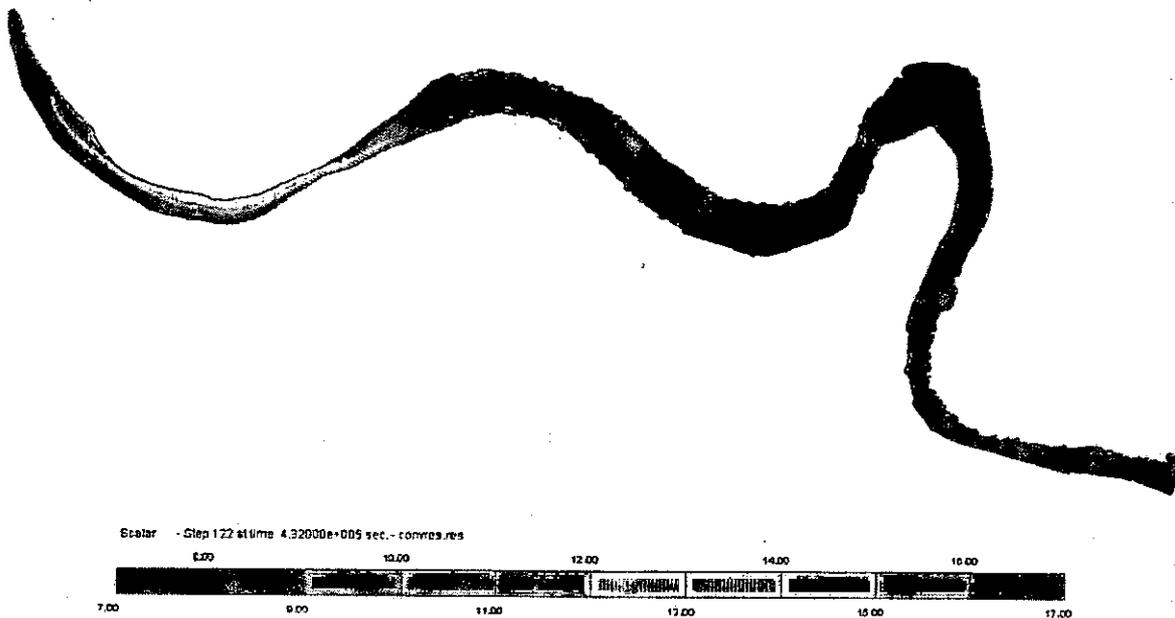


fig. 5.11 – SCENARIO 2_Condizioni di magra estrema. Andamento del campo termico nel fiume Po.

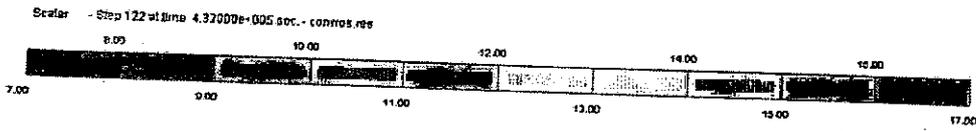
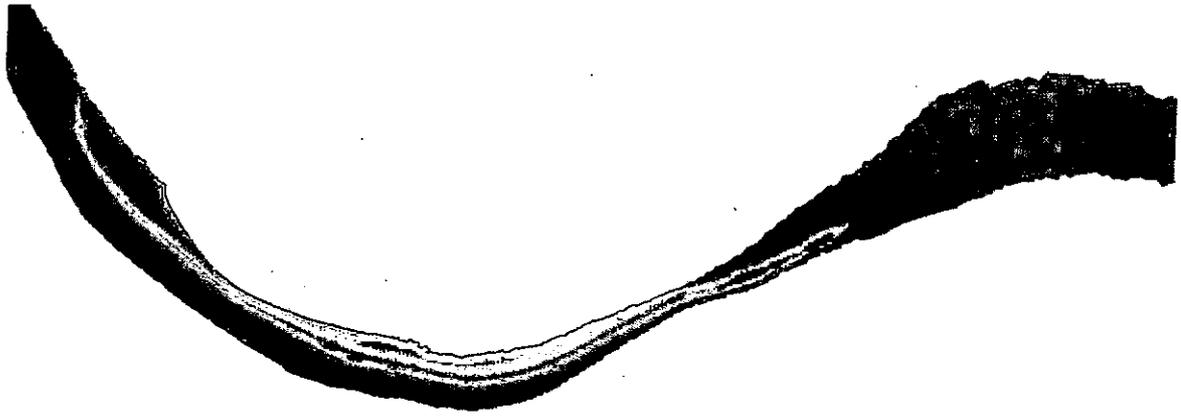


fig. 5.12 – SCENARIO 2_Condizioni di magra estrema. Andamento del campo termico nel tratto perturbato dallo scarico.

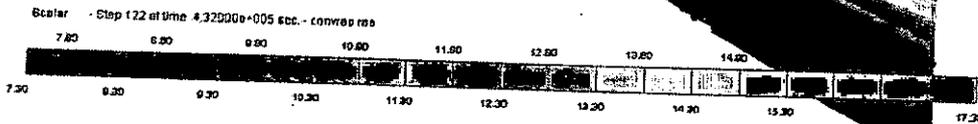
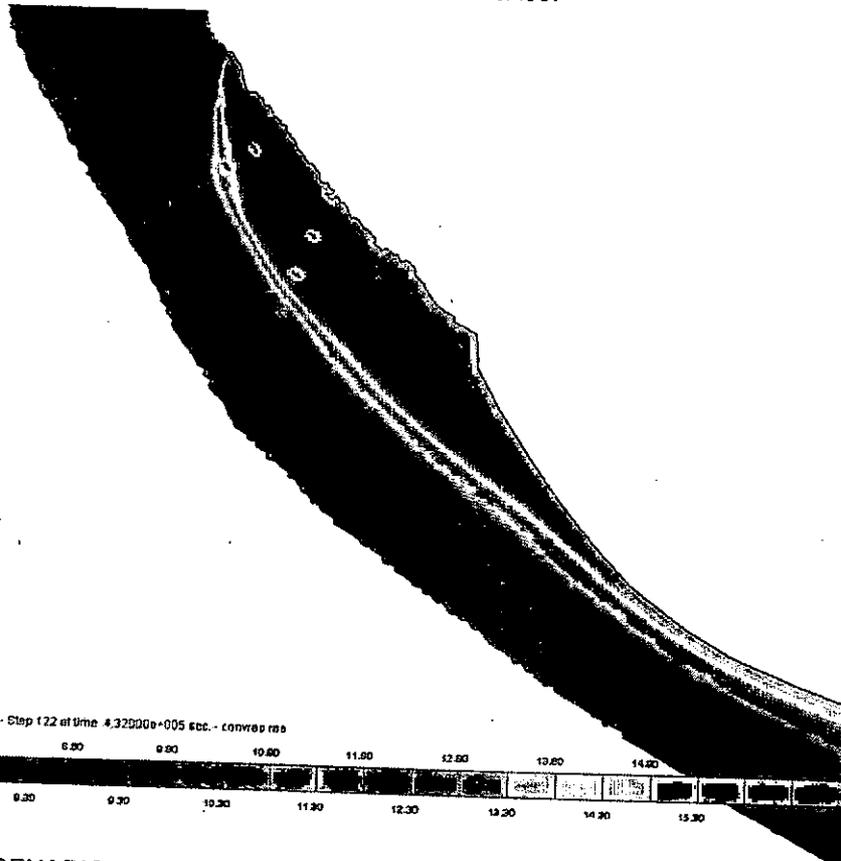


fig. 5.13 – SCENARIO 2_Condizioni di magra estrema. Andamento del campo termico in prossimità dello scarico.

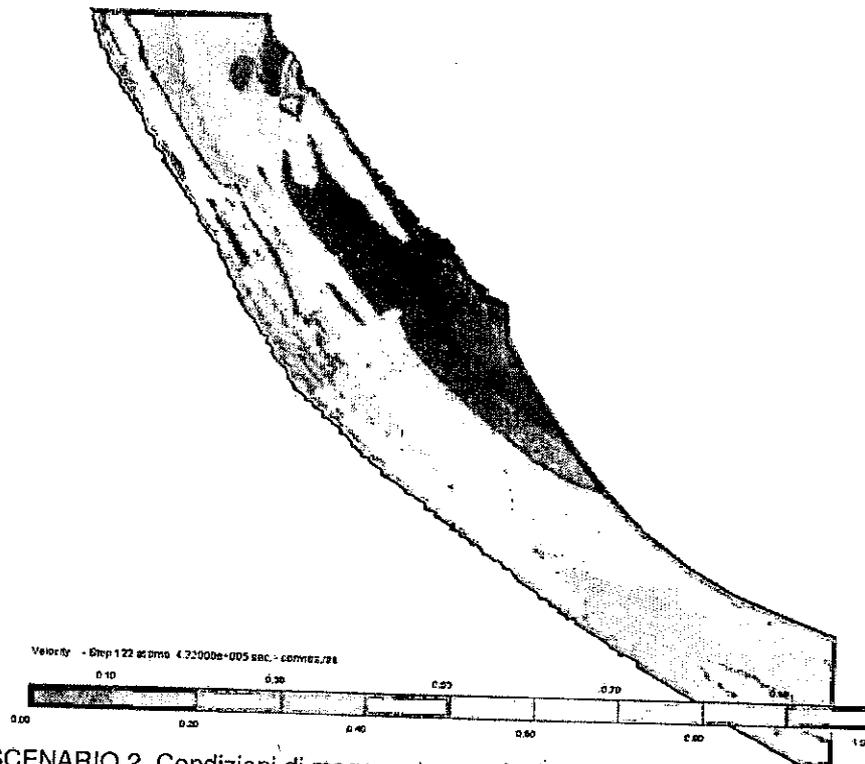


fig. 5.14 – SCENARIO 2_Condizioni di magra estrema. Andamento del gradiente di velocità in prossimità dello scarico.

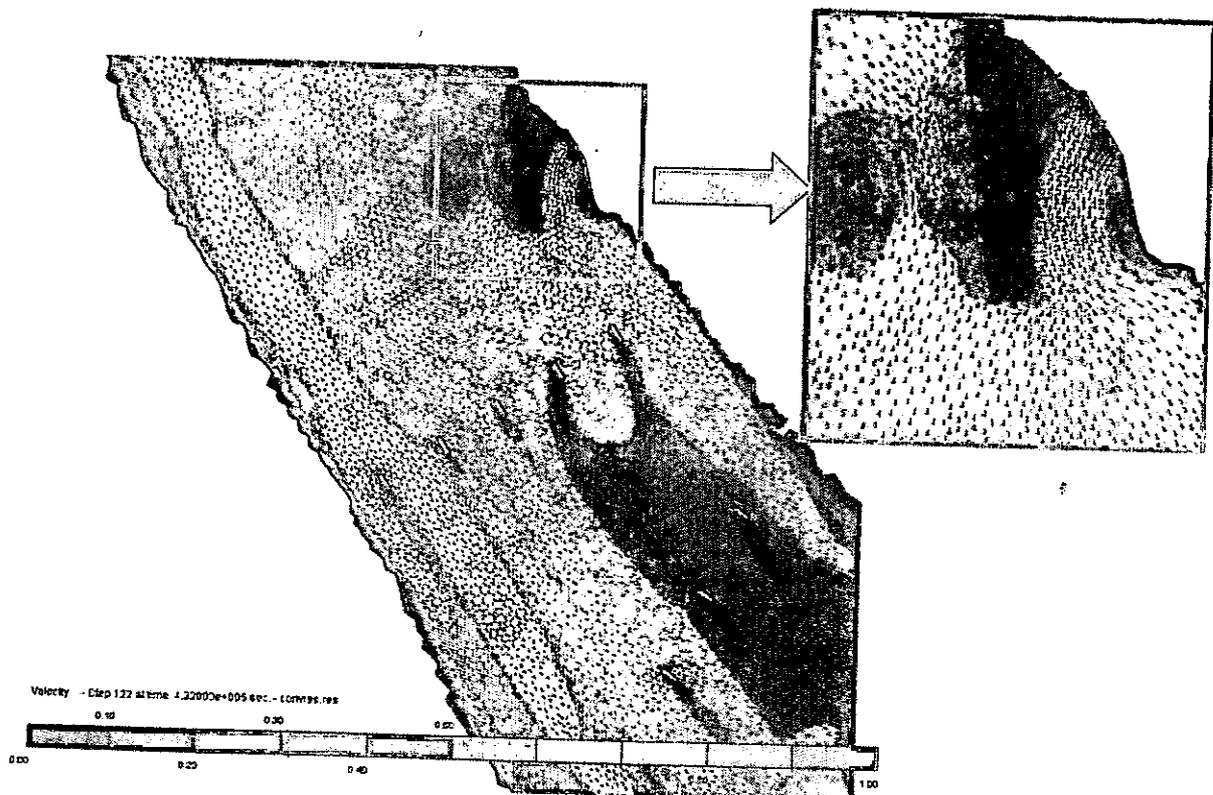


fig. 5.15 – SCENARIO 2_Condizioni di magra estrema. Andamento del gradiente di velocità e del campo di moto in prossimità dello scarico.

5.5 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di morbida

La valutazione dell'incremento termico in condizioni di morbida del fiume fa riferimento alla situazione in cui il livello allo scarico è pari a 9.0 m s.l.m., con una portata di 930 m³/s. Il calcolo, eseguito sempre in condizioni conservative di temperatura media invernale e calma di vento, fa riferimento al reticolo di fig. 4.2 ed utilizza la batimetria calcolata dal codice in queste condizioni e mostrata in fig. 3.26. La centrale si presenta in assetto di funzionamento con *tre gruppi* a ciclo combinato ed *un gruppo* tradizionale così come riportato in Tabella 3.

5.5.1 SCENARIO 3_morbida_assetto "as is"

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo conduce alle considerazioni di seguito riportate.

- a) L'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando quindi il transitorio conseguente per un periodo di cinque giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie.
- b) L'andamento del livello calcolato lungo il tratto di fiume rispetto al valore di riferimento all'idrometro di Sermide è riportato in fig. 5.16. Si nota l'andamento regolare dell'incremento di livello risalendo il corso del fiume, con una pendenza più accentuata là dove il fiume subisce dei restringimenti con sponde alte e batimetria profonda. Il valore massimo in corrispondenza della sezione di ingresso a monte dell'opera di presa, pari a 0.60 m, è evidentemente aumentato rispetto ai precedenti scenari (di magra ordinaria e magra estrema) a seguito dell'aumento della portata in arrivo attraverso tale sezione.
- c) L'andamento del campo termico ottenuto dalla simulazione numerica è riportato in fig. 5.17 con riferimento all'intero tratto del Po considerato. Appare evidente come il pennacchio caldo pieghi immediatamente verso valle, senza risentire dell'aspirazione della presa, peraltro posta a monte a diverse centinaia di metri di distanza. Per meglio analizzarne il comportamento, il tratto di fiume interessato dal pennacchio stesso è mostrato in fig. 5.18, con le diverse isoterme indicanti un sovrizzo termico di 1 °C ciascuna a partire dalla temperatura di fondo scala di 7 °C a fronte di una temperatura indisturbata pari a 7.3 °C; infine in fig. 5.19 è mostrato il dettaglio del campo termico in prossimità della zona di scarico. Dall'esame delle figure citate si nota come il risentimento del pennacchio si esaurisce ad una distanza di circa 10 km dal punto di emissione e, con particolare riferimento alla zona immediatamente a valle dello scarico, esso interessa una larghezza inferiore della sezione fluviale rispetto ai precedenti casi di magra. Si accentua la canalizzazione marcata verso la sponda sinistra a partire dal primo ponte tra Revere ed Ostiglia, attraversato dal pennacchio in corrispondenza della sola prima luce, e dal secondo ponte, interessato dal pennacchio in corrispondenza delle prime due luci in sponda sinistra. Si nota altresì che il pennacchio continua a passare tutto a destra dell'isola Boschina poiché anche in condizioni di morbida si mantiene lo sbarramento creato, all'estremo nord dell'isola, dalla emergenza del fondale precedentemente descritta (fig. 3.24). Si osserva anche una minima risalita del flusso più caldo, peraltro già diluito e raffreddato, dall'estremo sud dell'isola.
- d) Confrontando il pennacchio caldo ottenuto nel presente scenario con quelli già discussi, a parità di condizioni di scarico, per i livelli di magra ordinaria ed estrema, è evidente la minore estensione delle isoterme più calde. Ciò è attribuibile al maggior mescolamento che ora subisce il pennacchio nel tratto iniziale d'immissione nella accresciuta portata del corpo idrico ricettore.
- e) Il gradiente di velocità del flusso idrico risultante nella zona immediatamente a valle dello scarico è mostrato in fig. 5.20 e, sovrapposto al campo di moto, in fig. 5.21. Esso risulta particolarmente interessante per comprendere lo sviluppo del pennacchio caldo a valle dello

scarico. In particolare, si osservano le maggiori velocità associate allo scarico dei gruppi 3 e 4 posti a nord, cui compete (Tabella 3), nell'assetto in esame e a parità di area di scarico, una portata maggiore rispetto a quella dei gruppi 1 e 2, posti immediatamente a sud. E' inoltre chiaramente visibile la forte turbolenza che caratterizza l'immissione in Po delle acque di raffreddamento con la formazione di vortici a valle dello scarico che ora assume una conformazione "aggettante" nell'alveo di morbida del Po; essa si smorza una volta usciti dalla cosiddetta *mixing zone*, principalmente per effetto dell'incontro con la corrente del fiume, con direzione trasversale rispetto allo scarico stesso. Nuovamente si osserva che l'espandersi del pennacchio nella zona a ridosso della sponda sinistra, corrisponde alla presenza, in tali aree, di una minore velocità della corrente fluviale che assume invece i suoi valori massimi avvicinandosi alla sponda destra ove sono presenti i maggiori battenti idrici caratterizzati (oltre che da velocità massime di circa 1.5 m/s) da temperature che si mantengono di fatto indisturbate.

- f) L'analisi dell'incremento termico è stata condotta nelle quattro sezioni calde a 100 m, 500 m, 700 m e 1000 m dallo scarico secondo la procedura stabilita dalla legislazione vigente [Rif. 31 e Rif. 32] come descritto al precedente paragrafo 4.4. La Tabella 9 che segue riassume i valori degli incrementi termici calcolati a valle dello scarico evidenziando che la sezione più critica, con riferimento alla verifica in oggetto, è quella posta a circa 100 m dallo scarico, mentre già a valle del primo ponte tra Revere ed Ostiglia si rileva una consistente diminuzione del risentimento termico (come già osservato qualitativamente ai punti precedenti). In particolare, come precedentemente osservato al punto d), rispetto alla corrispondente situazione di magra ordinaria (scenario 1), il presente scenario mostra, superata l'area di forte turbolenza all'immissione in Po (vale a dire oltre la sezione di controllo più vicina posta a 100 m dallo scarico) una diminuzione media del 66% degli incrementi termici con riferimento alle sezioni intere di controllo adottate a 500, 700 e 1000 m. La diminuzione sale al 69% nel caso di confronto con la situazione corrispondente di magra estrema (scenario 3). I valori di incremento rientrano dunque nei requisiti di legge.

Tabella 9 SCENARIO 3_Incrementi termici a valle dello scarico

ASSETTO IMPIANTO	CONDIZIONI IDRAULICHE	INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sull'INTERA SEZIONE (*) distante dallo scarico:				INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sulla SEMISEZIONE FREDDA (**) distante dallo scarico:			
		100m	500m	700m	1000m	100m	500m	700m	1000m
'As is'	MORBIDA	1.09	0.56	0.42	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00

(*) limite di legge: +3 °C

(**) limite di legge: +1 °C

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la situazione simulata, che presenta alcuni aspetti di tipo conservativo (condizioni invernali di temperatura e calma di vento) e che fa riferimento alla situazione con assetto 'as is' a 3 cicli combinati + 1 tradizionale della centrale, porta comunque ad una condizione di scarico che rispetta i limiti di legge imposti sul valore di incremento termico medio, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

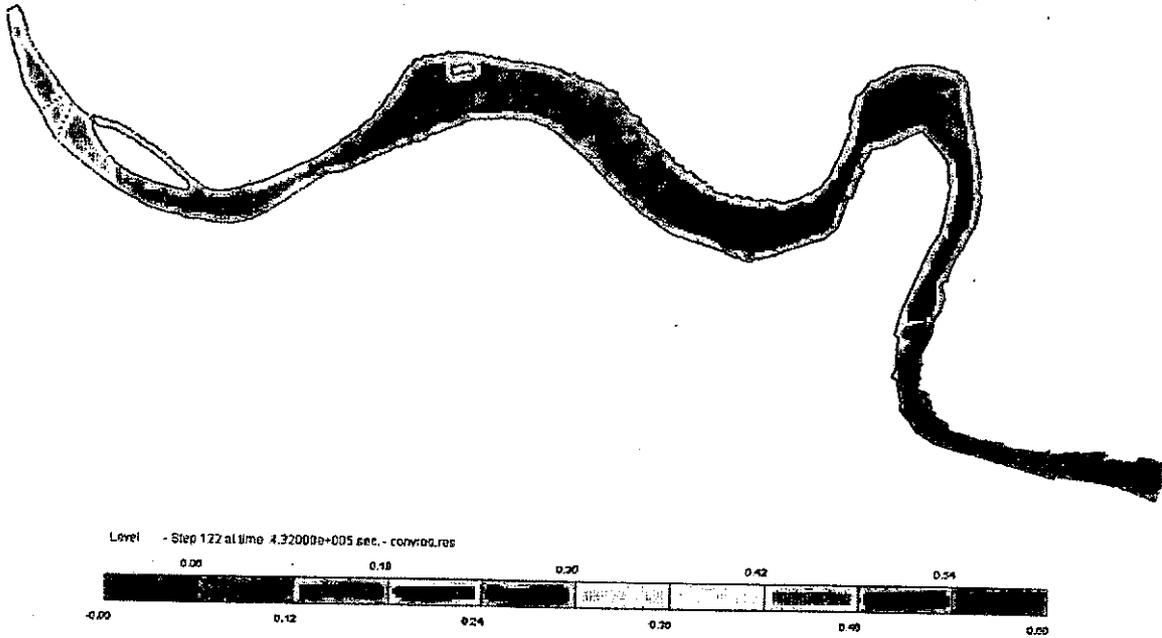


fig. 5.16 – SCENARIO 3_Condizioni di morbida. Andamento del livello del fiume Po rispetto al livello di riferimento (idrometro di Sermide).

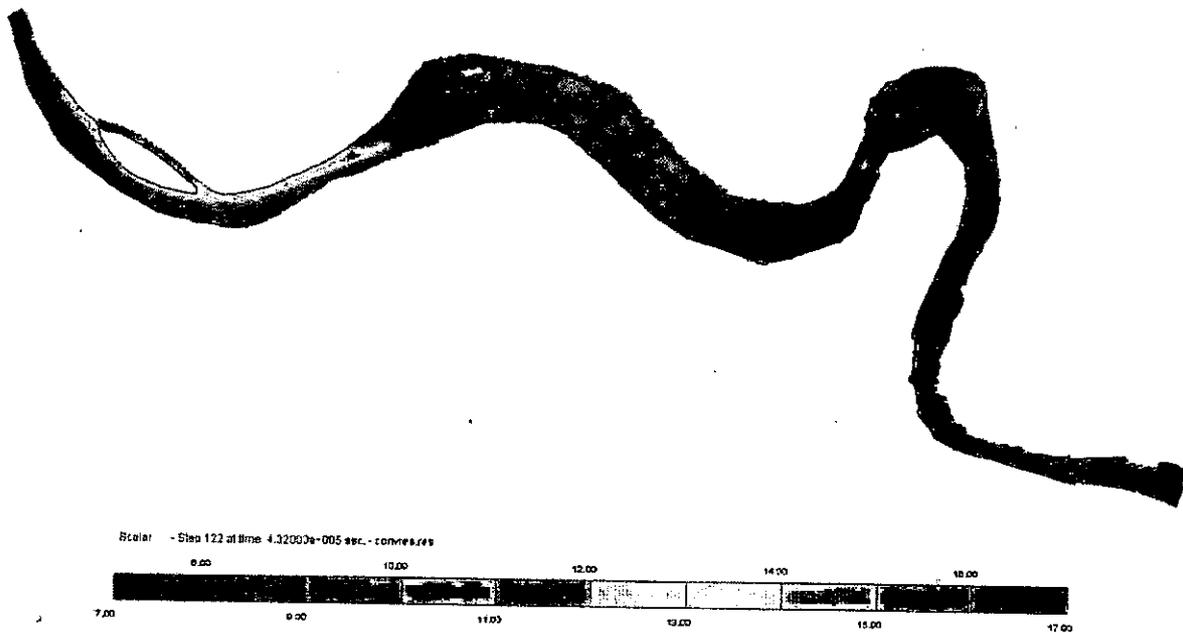


fig. 5.17 – SCENARIO 3_Condizioni di morbida. Andamento del campo termico nel fiume Po.

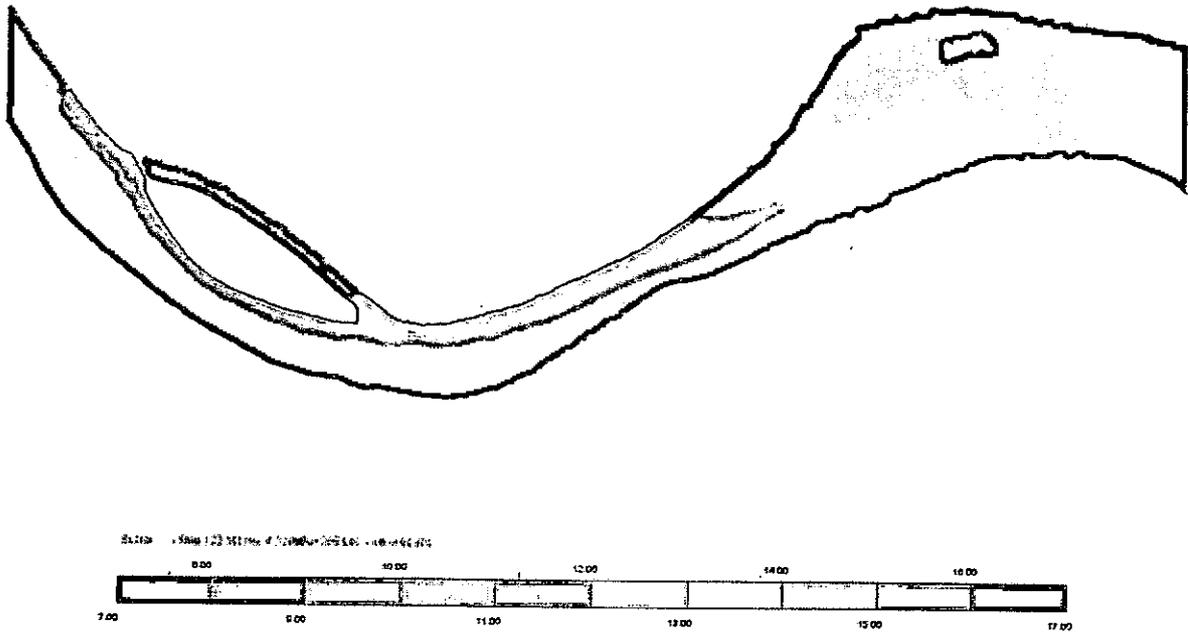


fig. 5.18 – SCENARIO 3_Condizioni di morbida. Andamento del campo termico nel tratto perturbato dallo scarico.

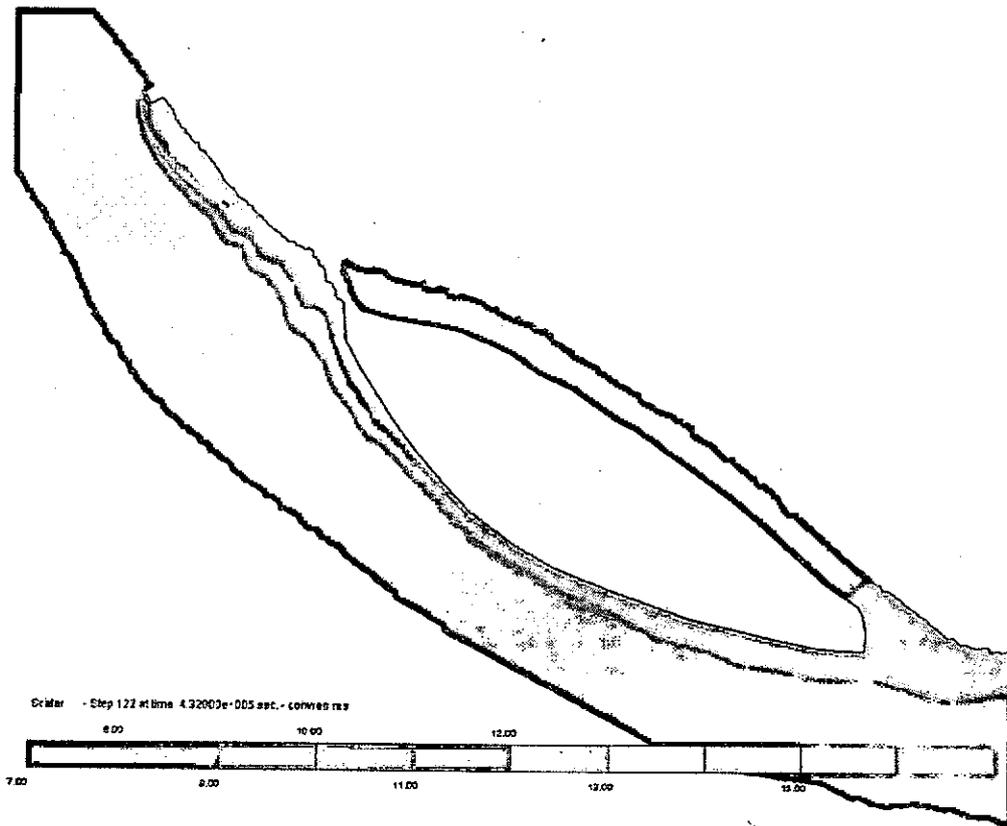


fig. 5.19 – SCENARIO 3_Condizioni di morbida. Andamento del campo termico in prossimità dello scarico.

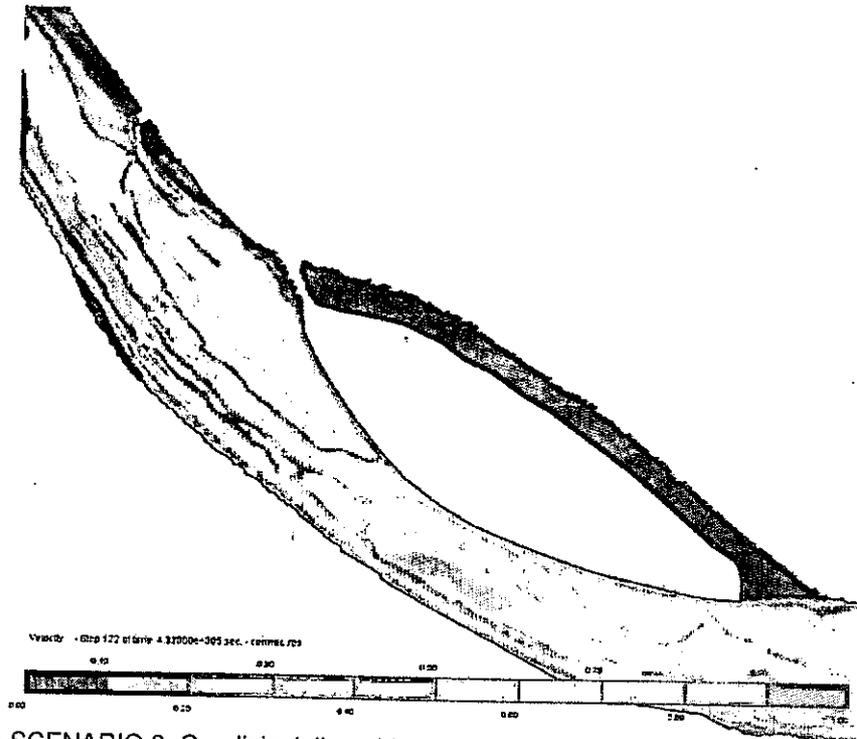


fig. 5.20 – SCENARIO 3_Condizioni di morbida. Andamento del gradiente di velocità in prossimità dello scarico.

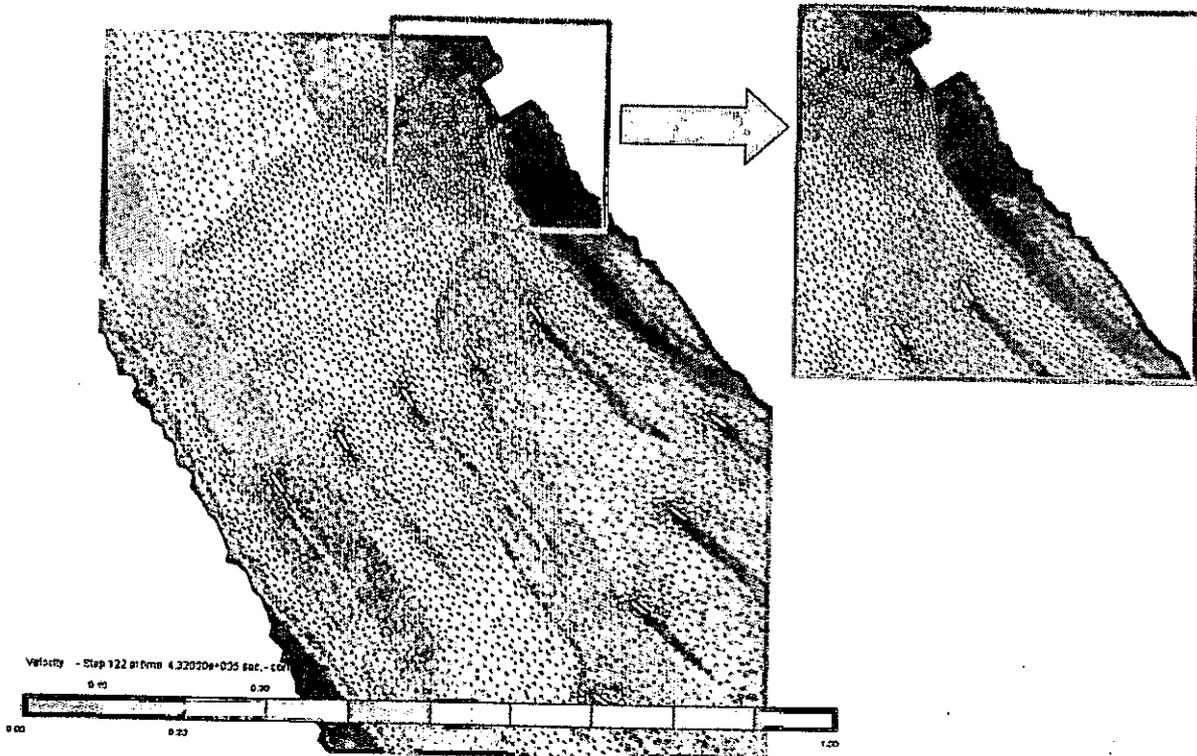


fig. 5.21 – SCENARIO 3_Condizioni di morbida. Andamento del gradiente di velocità e del campo di moto in prossimità dello scarico.

5.6 Valutazione dell'incremento termico in condizioni di piena

La valutazione dell'incremento termico in condizioni di piena del fiume fa riferimento alla situazione in cui il livello allo scarico è pari a 13.3 m s.l.m., con una portata di 6500 m³/s. Il calcolo, eseguito sempre in condizioni conservative di temperatura media invernale e calma di vento, fa riferimento al reticolo di fig. 4.3 ed utilizza la batimetria calcolata dal codice in queste condizioni e mostrata in fig. 3.27. La centrale si presenta in assetto di funzionamento con *tre gruppi* a ciclo combinato ed *un gruppo* tradizionale così come riportato in Tabella 3.

5.6.1 SCENARIO 4 piena assetto "as is"

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo conduce alle considerazioni di seguito riportate.

- a) L'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando quindi il transitorio conseguente per un periodo di cinque giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie.
- b) L'andamento del livello calcolato lungo il tratto di fiume rispetto al valore di riferimento all'idrometro di Sermide è riportato in fig. 5.22. Si nota l'andamento regolare dell'incremento di livello risalendo il corso del fiume, con una pendenza più accentuata là dove il fiume subisce dei restringimenti con sponde alte e batimetria profonda. Il valore massimo in corrispondenza della sezione di ingresso a monte dell'opera di presa, pari a 1.94 m, è evidentemente aumentato rispetto ai precedenti scenari (di magra, ordinaria ed estrema, e di morbida) a seguito dell'aumento della portata in arrivo attraverso tale sezione.
- c) L'andamento del campo termico ottenuto dalla simulazione numerica è riportato in fig. 5.23 con riferimento all'intero tratto del Po considerato. Appare evidente come il pennacchio caldo pieghi immediatamente verso valle raffreddandosi ed assottigliandosi molto rapidamente. Per meglio analizzarne il comportamento, il tratto di fiume interessato dal pennacchio stesso è mostrato in fig. 5.24, con le diverse isoterme indicanti un sovrizzo termico di 1 °C ciascuna a partire dalla temperatura di fondo scala di 7 °C a fronte di una temperatura indisturbata pari a 7.3 °C; infine in fig. 5.25 è mostrato il dettaglio del campo termico in prossimità della zona di scarico. Dall'esame delle figure citate si nota come il risentimento del pennacchio si esaurisce completamente ad una distanza di circa 600 m dal punto di immissione (al riguardo si veda anche la Tabella 10 seguente), mantenendosi confinato a ridosso della sponda sinistra come già rilevato per tutti i precedenti scenari. E' presente un trascinarsi, peraltro minimo, nel ramo di Po posto a sinistra dell'isola Boschina, nel quale, con i livelli di piena simulati nel presente scenario, è ora consentito il transito della corrente che sommerge completamente lo sbarramento di fig. 3.24.
- d) Confrontando il pennacchio caldo ottenuto nel presente scenario con tutti quelli precedentemente discussi, a parità di condizioni di scarico, è evidente la minore estensione delle isoterme più calde. Ciò è attribuibile sia al maggior mescolamento che ora subisce il pennacchio nel tratto iniziale d'immissione nella considerevole portata di piena del corpo idrico ricettore, sia al fatto che nel presente scenario l'opera di scarico è sommersa ed il rilascio avviene perciò ad una quota inferiore del pelo libero dell'acqua.
- e) Il gradiente di velocità del flusso idrico risultante nella zona immediatamente a valle dello scarico è mostrato in fig. 5.26 e, sovrapposto al campo di moto, in fig. 5.27. Esso giustifica quanto già descritto al punto precedente, ed in generale mostra una maggior velocità del flusso idrico in ogni sezione dell'alveo (più di 3 m/s in prossimità della sponda destra) con l'unica eccezione delle parti "interferite" dalla struttura aggettante dello scarico. In questo modo, il pennacchio subisce una più marcata azione di mescolamento turbolento ed un maggior incanalamento, che riduce la sezione calda rispetto all'intera sezione del fiume. Si mantengono i vortici nella "zona d'ombra" a valle dello scarico e, nuovamente, si osserva

che l'espandersi del pennacchio nella zona a ridosso della sponda sinistra, corrisponde alla presenza, in tali aree, di una minore velocità della corrente fluviale.

- f) L'analisi dell'incremento termico è stata condotta nelle quattro sezioni calde a 100 m, 500 m, 700 m e 1000 m dallo scarico secondo la procedura stabilita dalla legislazione vigente [Rif. 31 e Rif. 32] come descritto al precedente paragrafo 4.4. La Tabella 10 che segue riassume i valori degli incrementi termici calcolati a valle dello scarico evidenziando che la sezione più critica, con riferimento alla verifica in oggetto, è quella posta a circa 100 m dallo scarico, ove peraltro si rileva un incremento termico irrisorio. I valori di incremento rientrano ampiamente nei requisiti di legge.

Tabella 10 SCENARIO 4_Incrementi termici a valle dello scarico

ASSETTO IMPIANTO	CONDIZIONI IDRAULICHE	INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sull'INTERA SEZIONE (*) distante dallo scarico:				INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sulla SEMISEZIONE FREDDA (**) distante dallo scarico:			
		100m	500m	700m	1000m	100m	500m	700m	1000m
'As is'	PIENA	0.23	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(*) limite di legge: +3 °C

(**) limite di legge: +1 °C

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la situazione simulata, che presenta alcuni aspetti di tipo conservativo (condizioni invernali di temperatura e calma di vento) e che fa riferimento alla situazione con assetto 'as is' a 3 cicli combinati + 1 tradizionale della centrale, porta comunque ad una condizione di scarico che rispetta ampiamente i limiti di legge imposti sul valore di incremento termico medio, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

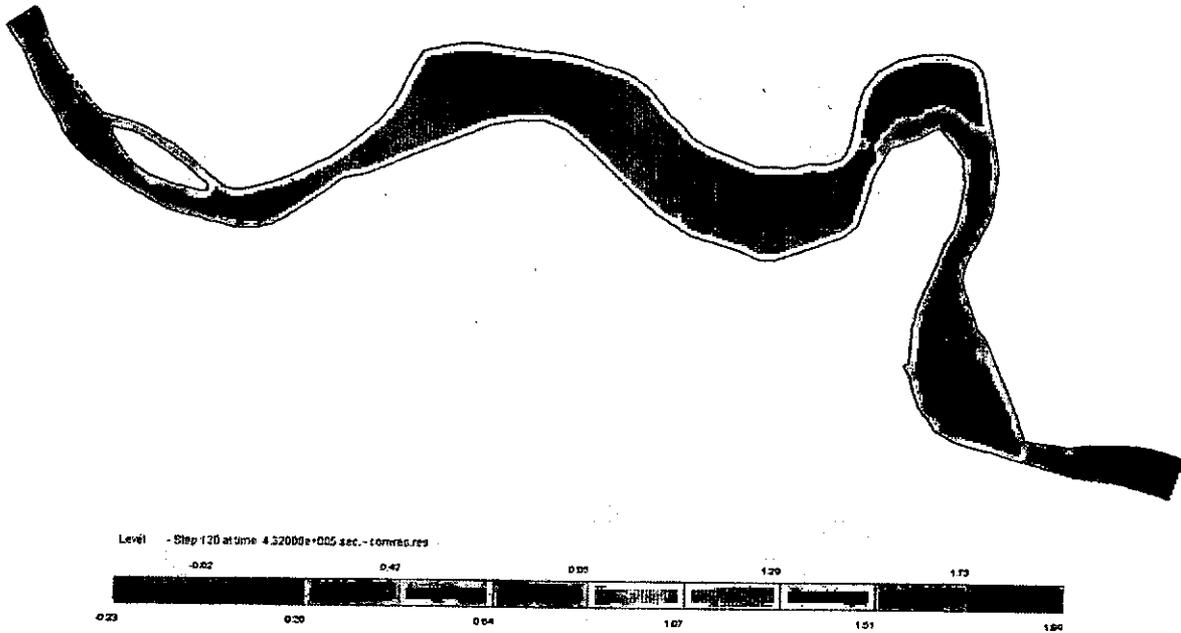


fig. 5.22 – SCENARIO 4_Condizioni di piena. Andamento del livello del fiume Po rispetto al livello di riferimento (idrometro di Sermide).

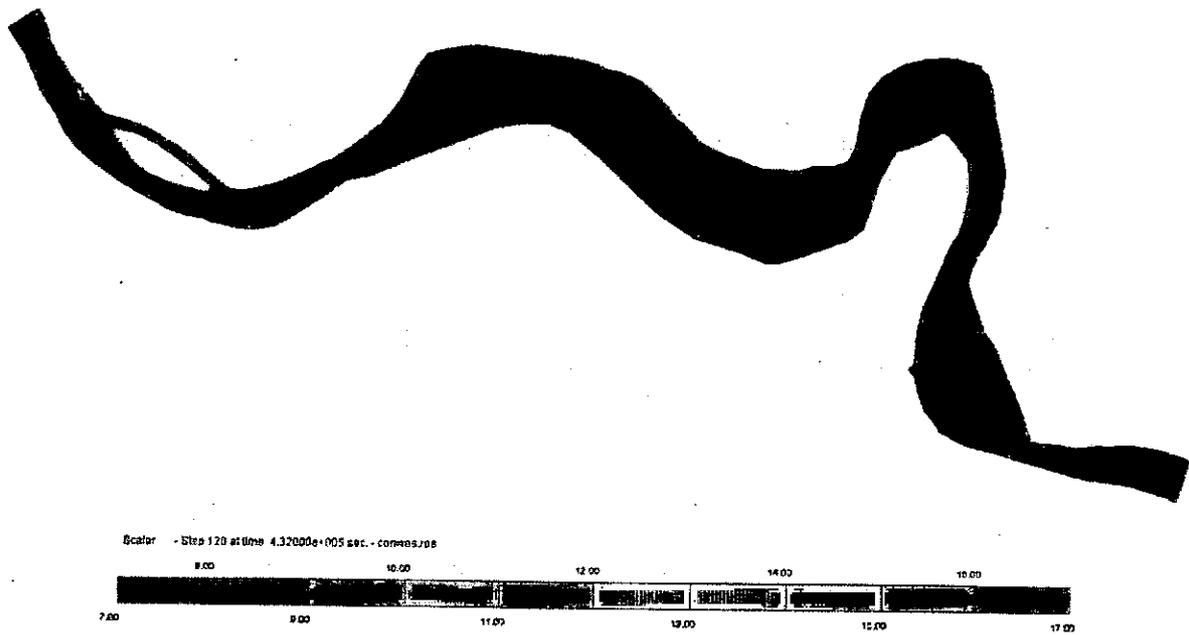


fig. 5.23 – SCENARIO 4_Condizioni di piena. Andamento del campo termico nel fiume Po.

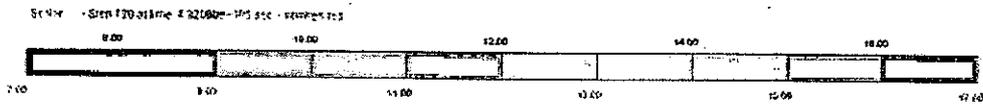
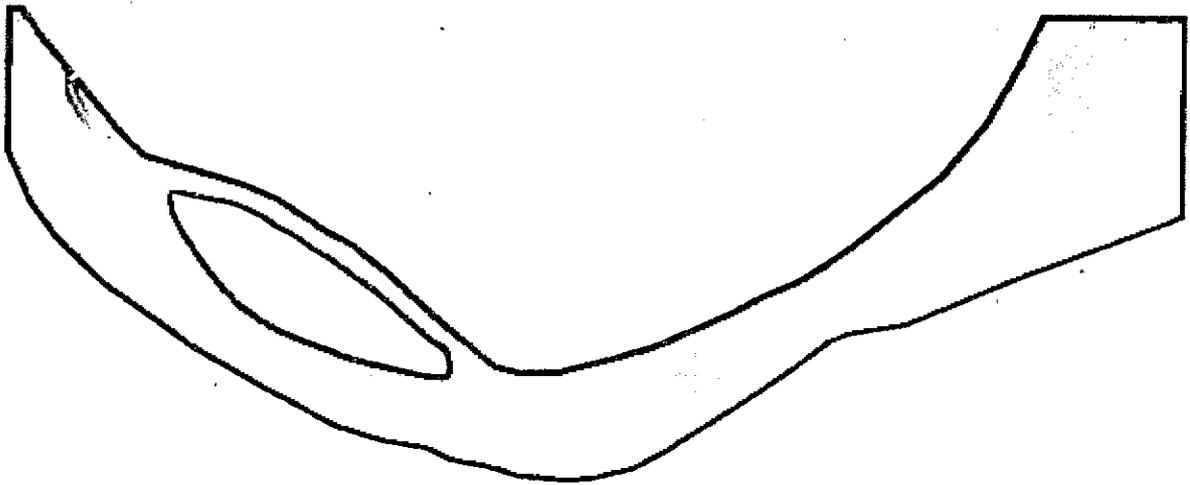


fig. 5.24 – SCENARIO 4_Condizioni di piena. Andamento del campo termico nel tratto perturbato dallo scarico.

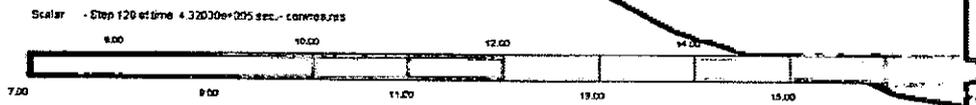
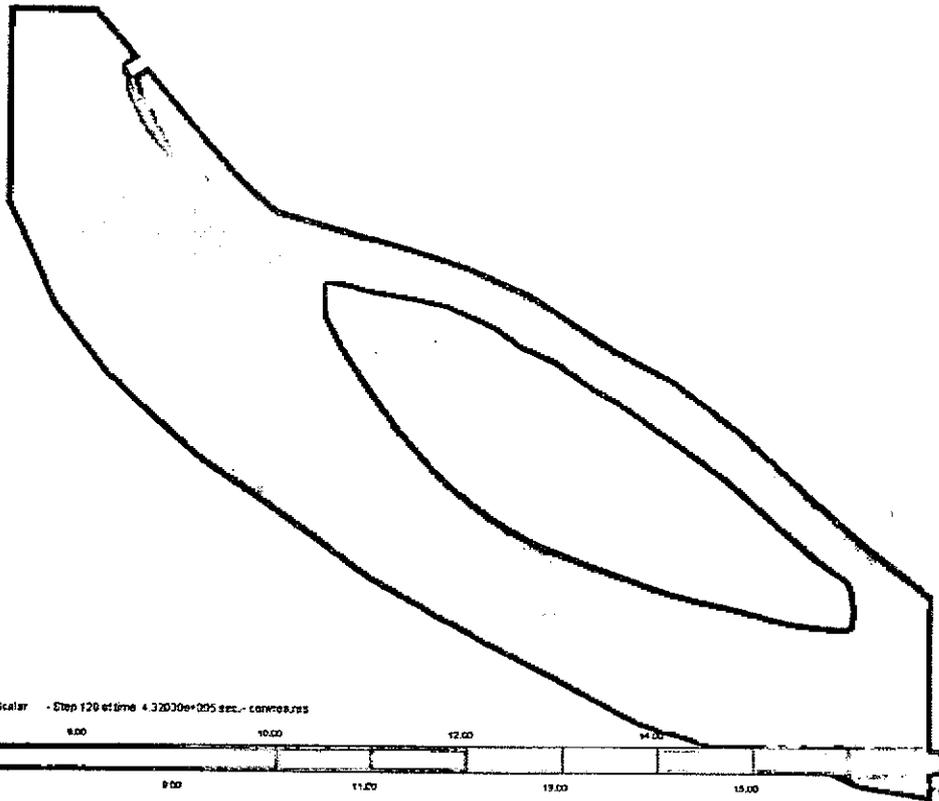


fig. 5.25 – SCENARIO 4_Condizioni di piena. Andamento del campo termico in prossimità dello scarico.

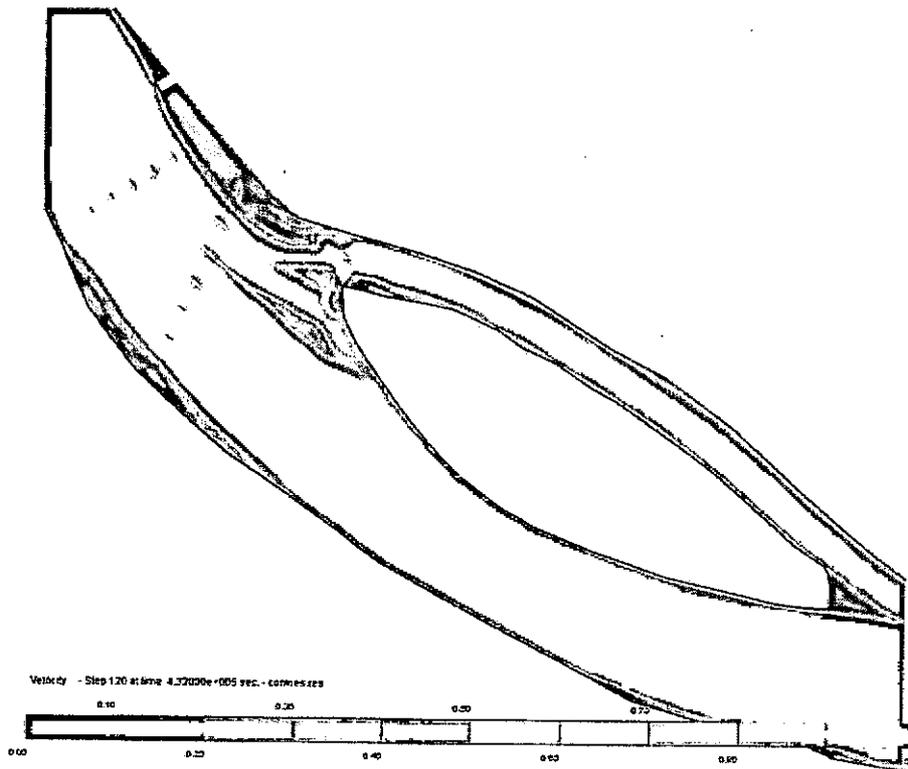


fig. 5.26 – SCENARIO 4_Condizioni di piena. Andamento del gradiente di velocità in prossimità dello scarico.

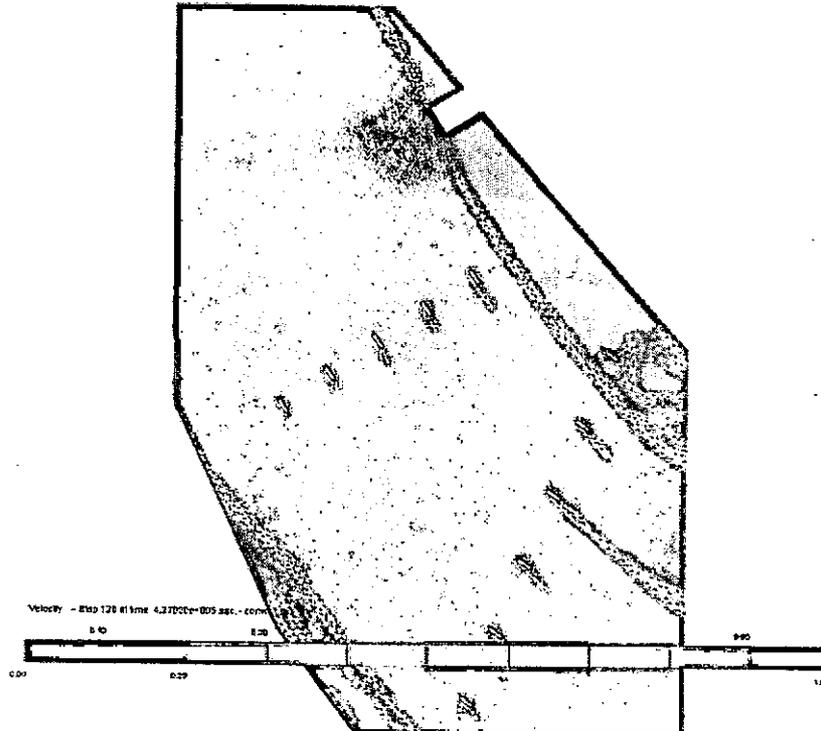


fig. 5.27 – SCENARIO 4_Condizioni di piena. Andamento del gradiente di velocità e del campo di moto in prossimità dello scarico.

5.7 Incrementi termici risultanti per i diversi scenari di calcolo

La Tabella 11 che segue raggruppa i valori degli incrementi termici calcolati per i diversi scenari di calcolo e separatamente illustrati ai precedenti paragrafi.

Tabella 11 Incrementi termici a valle dello scarico per i diversi scenari simulati

SCENARIO	ASSETTO IMPIANTO	CONDIZIONI IDRAULICHE	INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sull'INTERA SEZIONE (*) distante dallo scarico:				INCREMENTO della TEMPERATURA [°C] sulla SEMISEZIONE FREDDA (**) distante dallo scarico:			
			100m	500m	700m	1000m	100m	500m	700m	1000m
1	'As is'	MAGRA (ord.)	1.22	1.82	1.95	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00
2	'As is'	MAGRA (estr.)	1.14	2.12	2.24	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00
3	'As is'	MORBIDA	1.09	0.56	0.42	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
4	'As is'	PIENA	0.23	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(*) limite di legge: +3 °C

(**) limite di legge: +1 °C

Anche nel caso più critico dello scenario 2, evidenziato in tabella, che si riferisce a condizioni ambientali particolarmente sfavorevoli e, dunque, caratterizzate da basse frequenze di accadimento, si rileva il rispetto dei limiti stabiliti dalla legislazione vigente in materia di scarichi termici.

6 CONFRONTO TRA I RISULTATI DELLA MODELLAZIONE ED I RILIEVI DI CAMPO

6.1 Premessa

I risultati ottenuti dalla modellazione numerica sono stati posti a confronto con le misure sperimentali raccolte nella prima campagna di misure condotta presso il sito di Ostiglia nell'ambito delle attività commissionate a CESI da ENDESA.

Si fa osservare che tale confronto costituisce una verifica a posteriori e non una validazione del modello di calcolo; infatti, a fronte di campagne di misura impostate prevalentemente al fine di migliorare il modello di bilancio termico attualmente utilizzato dalla centrale (con particolare riferimento alla validazione della correlazione esistente tra la portata ed il livello del Po nel sito di Ostiglia, secondo le specifiche richieste formulate in merito dagli organi competenti, Rif. 34), le modellazioni numeriche sono invece necessariamente vincolate a condizioni ambientali assunte volutamente conservative in relazione alle tematiche oggetto del presente studio.

Peraltro, una volta individuate le differenze, inevitabili per quanto detto, tra le condizioni simulate e quelle rilevate sperimentalmente, la disponibilità di misure di campo appare estremamente utile per una verifica d'insieme della correttezza e dell'accuratezza del modello di simulazione e, dunque, dell'affidabilità complessiva dei risultati da esso ricavati.

6.2 Campagna dell'aprile 2007

La campagna di misura presa in considerazione per il suddetto confronto è stata effettuata nei giorni 5 e 6 aprile 2007 durante i quali sono stati eseguiti i rilievi della portata del fiume Po e della temperatura dell'acqua in diverse sezioni fluviali a valle dello scarico, per la definizione sperimentale dell'incremento termico secondo quanto prescritto dalla normativa vigente.

Unitamente alle misure eseguite da CESI sono stati resi disponibili da ENDESA i dati (contemporanei alle misure) relativi all'assetto di funzionamento della centrale ed al livello del fiume Po [Rif. 35], rilevati in continuo dai sistemi di misura ubicati presso la centrale.

La combinazione delle due serie di misure ha dunque consentito di accostare al funzionamento effettivo della centrale il conseguente impatto termico generato nelle acque del fiume Po a valle dello scarico.

6.2.1 Misure sperimentali

La Tabella 12 che segue riassume le misure eseguite da CESI il giorno 5 aprile 2007 relative alla temperatura indisturbata a monte dello scarico e agli incrementi di temperatura ricavati in tre diverse sezioni di controllo a valle dello scarico. Le posizioni delle sezioni di misura a valle dello scarico, denominate sezioni calde 1, 2 e 3, e della sezione 'fredda' a monte dello scarico, ove è stata rilevata la temperatura indisturbata del corpo idrico, sono illustrate in fig. 6.1.

Tabella 12 Elaborazione delle misure eseguite da CESI durante la *campagna dell'aprile 2007*

	Incrementi di temperatura su:		giorno e ora del rilievo
	sez. intera [°C]	semisez. fredda [°C]	
sez. calda 1	0.40	0.00	5 apr 2007 ore 13:50
sez. calda 2	0.90	0.06	5 apr 2007 ore 16:05
sez. calda 3	0.55	0.04	5 apr 2007 ore 14:50
Trif. sez. fredda	= 14.04 °C		5 apr 2007 ore 17:15

dove:

sez. calda 1	=	tra scarico e ponte ferroviario
sez. calda 2	=	a monte delle pile del nuovo ponte
sez. calda 3	=	a valle delle pile del nuovo ponte

La misura della portata transitante nel fiume Po, pari a 862.5 m³/s, è stata invece eseguita da CESI il giorno successivo 6 aprile alle ore 9:15 (in condizioni meteorologiche stabili, come quelle presenti al momento del rilievo, la variazione di portata da un giorno al successivo è assolutamente ininfluyente ai fini delle tematiche in oggetto) quando, in centrale, veniva registrato un livello del fiume Po pari a 8.85 m slm [Rif. 35].

La Tabella 13 che segue riassume invece le misure provenienti dal sistema di rilevamento della centrale nel giorno e nelle ore in cui venivano eseguiti i rilievi termici di cui sopra. In particolare, la tabella contiene i valori delle potenze attive relative a ciascuno dei 4 gruppi (gruppi 1, 2 e 3 a ciclo combinato; gruppo 4 tradizionale) e delle temperature dell'acqua aspirata e di quella scaricata per il raffreddamento dei condensatori dei suddetti gruppi. La differenza delle temperature, che fornisce gli incrementi termici dovuti all'attività di ciascun gruppo, è riportata nella parte finale della tabella.

Tabella 13 Rilievi in centrale: dati dell'assetto di funzionamento durante la *campagna dell'aprile 2007*

Potenza attiva [MWe]								giorno e ora del rilievo
TV1	TV2	TV3	TV4					
129.85	130.08	129.02	315					5 apr 2007 ore 13:50
129.78	130.70	129.54	319					5 apr 2007 ore 14:50
129.50	131.09	129.78	318					5 apr 2007 ore 16:05
129.38	130.22	129.83	317					5 apr 2007 ore 17:15
129.63	130.52	129.54	317.25	MEDIE				

temperature mand. AC [°C]				temperature scarico [°C]				giorno e ora del rilievo
AC1	AC2	AC3	AC4	1	2	3	4	
13.3	14.1	14.3	14.1	22.2	21.9	21.4	26.2	5 apr 2007 ore 14:00
13.2	14.0	14.3	13.9	22.4	21.8	21.4	26.0	5 apr 2007 ore 15:00
13.60	14.1	14.2	13.7	22.4	22.0	21.7	26.3	5 apr 2007 ore 16:00
13.5	14.2	14.4	14.0	22.4	21.8	21.4	25.0	5 apr 2007 ore 17:00

incrementi di temperatura allo scarico [°C]				giorno e ora del rilievo
1	2	3	4	
8.9	7.8	7.1	12.1	5 apr 2007 ore 14:00
9.2	7.8	7.1	12.1	5 apr 2007 ore 15:00
8.8	7.9	7.5	12.6	5 apr 2007 ore 16:00
8.9	7.6	7.0	11.0	5 apr 2007 ore 17:00
9.0	7.8	7.2	12.0	MEDIE

6.2.2 Confronto tra le misure sperimentali ed i risultati della simulazione numerica

La Tabella 14 che segue riporta il confronto tra le misure sperimentali e le condizioni nominali simulate nello scenario di morbida n. 3 che più si avvicina, tra quelli che descrivono l'assetto di funzionamento cosiddetto "as is" illustrati al precedente capitolo 5, alle condizioni ambientali e di funzionamento rilevate sperimentalmente ed illustrate al precedente paragrafo. Come già osservato in premessa, la tabella evidenzia come le condizioni nominali di funzionamento simulate siano state scelte volutamente conservative per le tematiche in oggetto. In particolare, le condizioni simulate sono caratterizzate da un incremento (medio sui quattro gruppi) del 2.2% della potenza attiva e da un maggiore impatto termico (+17%, in media per i quattro gruppi, rispetto alle condizioni rilevate durante la prima campagna di misure).

Tabella 14 Condizioni rilevate durante la *campagna dell'aprile 2007* e simulate nello scenario n. 3

	DATI RELATIVI ALL'ESERCIZIO DELLA CENTRALE								DATI AMBIENTALI	
	Potenza attiva [MWe]				Incremento termico [°C]				Portata Po [mc/s]	Livello [m slm]
	GR1	GR2	GR3	GR4	GR1	GR2	GR3	GR4		
DA MISURE SPERIMENTALI Campagna n. 1 (val. medi)	129.6	130.5	129.5	317.3	9.0	7.8	7.2	12.0	862.5	8.85
NOMINALI SIMULATE Scenario n. 3 (morbida)	132.0	132.0	132.0	330.0	9.5	9.5	8.5	14.5	930.0	9.00
VARIAZIONE %	2%	1%	2%	4%	6%	22%	18%	21%	8%	2%

Ulteriori diversità riguardano, inevitabilmente, i dati ambientali che, si ricorda, per la verifica numerica sono stati ricavati sulla base delle considerazioni illustrate nel precedente capitolo 3.3. Con specifico riferimento ai valori di portata e di livello del fiume Po si osservano incrementi rispettivamente dell'8% e del 2% nei valori assunti alla base delle simulazioni numeriche. Ininfluente risulta invece la differenza tra la temperatura indisturbata del corpo idrico ricettore (temperatura 'fredda') assunta nelle simulazioni numeriche (7.3 °C) e quella misurata durante il rilievo sperimentale (14.04 °C)². Le verifiche termiche, infatti, sono condotte sempre con riferimento all'incremento di temperatura fornito dal modello rispetto alla temperatura di riferimento il cui effetto è implicitamente considerato dal modello stesso.

Un'ulteriore differenza che influenza il confronto tra i valori degli incrementi di temperatura misurati e quelli calcolati è inoltre quella relativa alla morfologia fluviale. Infatti, mentre la batimetria delle simulazioni numeriche è il risultato di un'interpolazione dei valori derivati dalla campagna di misura, quella che sta alla base dei rilievi di campo è il risultato di una misura diretta eseguita in corrispondenza delle misure termiche stesse. Si deve inoltre considerare che, mentre durante il rilievo sperimentale vengono eseguite diverse misure lungo il profilo verticale (in numero dipendente dal battente idrico presente al momento del rilievo) ed a ciascun rilievo termico è poi associata la relativa area, il modello numerico adottato effettua una media sulla verticale, suddividendo di fatto la sezione considerata in un numero di superfici verticali elementari ciascuna relativa ad uno dei nodi della sezione (si veda per maggiore dettaglio il paragrafo 5.2).

Si fa infine osservare che le diverse localizzazioni delle sezioni di controllo sono imputabili ai criteri con cui sono state scelte che rispondono, per entrambe le verifiche, a quanto previsto dalla normativa ma che, nel caso della campagna sperimentale, devono necessariamente rispondere anche a inevitabili vincoli 'logistici' legati, per esempio, alla movimentazione in alveo del natante utilizzato per il rilievo (si ricorda in proposito che, all'atto della misura, erano in corso i lavori per la realizzazione del nuovo ponte ferroviario a valle dello scarico).

² In realtà cambia lo scambio termico con l'atmosfera, ma nelle simulazioni non è stato conservativamente considerato l'effetto del vento che regola tale scambio.

Tutto ciò premesso, e considerando che l'accuratezza del modello numerico è dell'ordine del decimo di grado, l'esito del confronto (riassunto nei valori riportati nella fig. 6.1 seguente) appare più che soddisfacente.

Per ciascuna delle sezioni di controllo adottate nella verifica numerica e nei rilievi sperimentali, la fig. 6.1 che segue riassume gli incrementi termici ottenuti al termine delle verifiche numeriche e sperimentali. I valori degli incrementi registrati in corrispondenza delle intere sezioni di controllo e delle semisezioni fredde sono riportati nel riquadro in alto a destra contenente la mappa termica ottenuta dalla simulazione numerica dello scenario di morbida (separatamente descritta al precedente paragrafo 5.5.1 e in fig. 3.19). Gli incrementi termici sono riportati accanto alle singole sezioni, in rosso per quelle adottate nella verifica numerica ed in nero per le sezioni di controllo della campagna di misura.

Si osserva in particolare che:

- i valori degli incrementi termici calcolati dal codice in corrispondenza della sezione a 100 m, più elevati rispetto a quelli misurati alla prima sezione calda, risentono ovviamente sia della maggiore vicinanza allo scarico sia del maggiore delta termico imposto alle acque scaricate (+17% come media dei quattro gruppi, con un massimo di +22% per il gruppo 2); inoltre, entrambe le sezioni si trovano immediatamente a valle dello scarico ove sono possibili rapide variazioni dell'impatto termico a seguito della maggiore turbolenza che caratterizza l'area di efflusso; peraltro, l'evidente anomalia tra le misure eseguite alle sezioni calde 1 e 2 è principalmente da imputare all'impossibilità contingente di eseguire le misure termiche utilizzando un campionamento più fitto di quello standard adottato;
- coerentemente, la situazione si inverte in corrispondenza della seconda sezione calda ove si sono misurati valori di incremento termico superiori a quelli calcolati con il modello numerico nella sezione a 500 m; anche in questo caso ciò è dovuto alla posizione delle due sezioni rispetto allo scarico (più vicina e, dunque, caratterizzata da un maggiore impatto termico, la sezione calda n. 2); si osserva inoltre che lo scarto tra il valore misurato e quello calcolato va diminuendo allontanandosi dallo scarico stesso all'assottigliarsi del nucleo più caldo del pennacchio anche per effetto del progressivo miscelamento con le acque del fiume ricettore;
- quest'ultima tendenza è confermata dal confronto dei valori degli incrementi termici misurati alla sezione calda n. 3 e calcolati alle sezioni a 700 e a 1000 m che appaiono sostanzialmente identici.

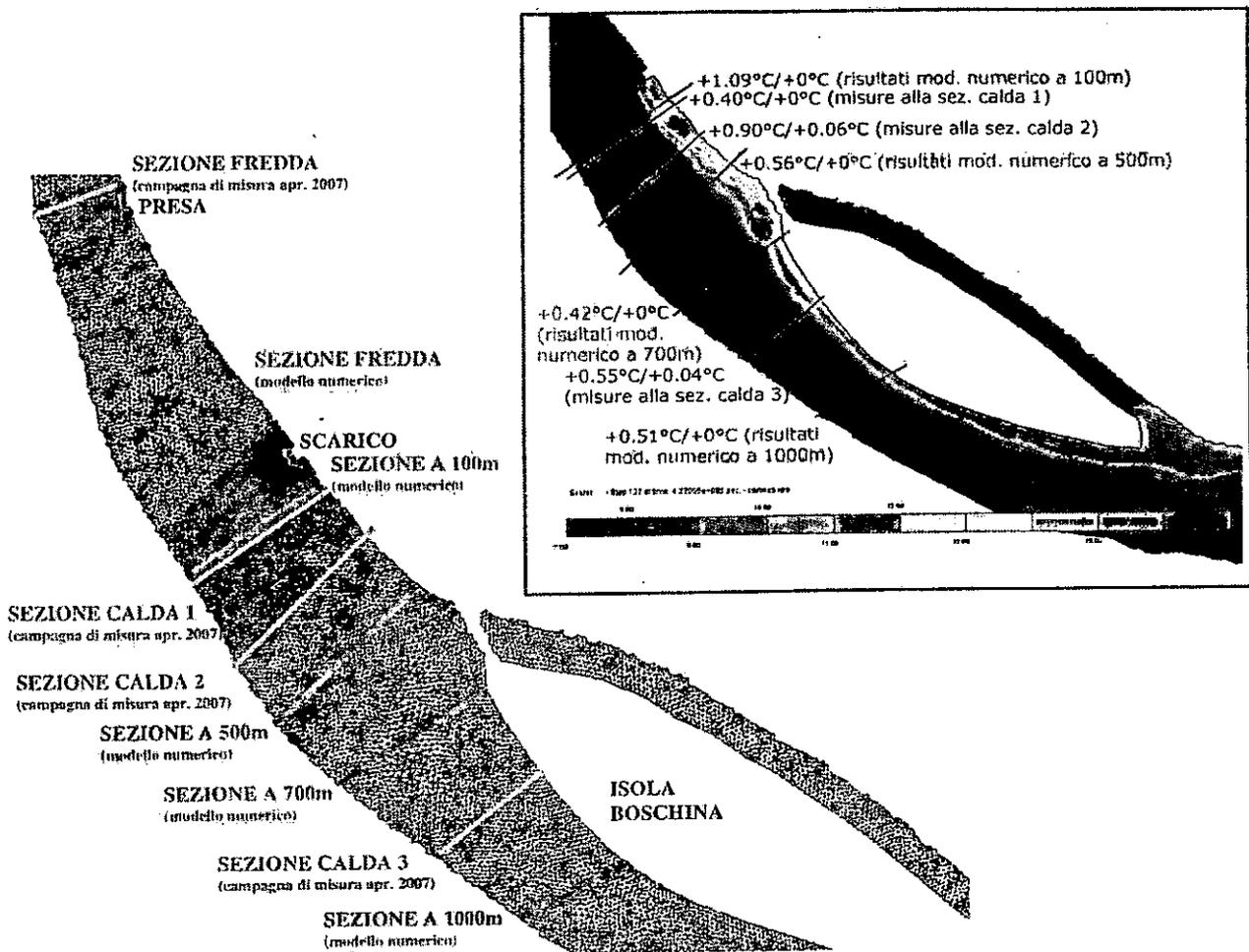


fig. 6.1 – Riquadro in basso a sinistra: localizzazione delle sezioni di controllo degli incrementi termici adottate nella verifica numerica (in rosso) e nella campagna sperimentale (in blu). Riquadro in alto a destra: incrementi termici relativi all'intera sezione e alla semisezione fredda per ciascuna delle suddette sezioni controllo

E' stato inoltre eseguito il calcolo dell'incremento termico risultante in corrispondenza delle sezioni calde n. 2 e n. 3 al termine della simulazione numerica. Fermo restando quanto precedentemente osservato riguardo alle inevitabili diversità alla base dei due approcci numerico e sperimentale, anche in questo caso i valori calcolati, pari a $+0.71$ e a $+0.66$ °C (contro i valori $+0.90$ e $+0.55$ °C misurati) rispettivamente alle sezioni (intere) 2 e 3, confermano la buona rispondenza tra la simulazione numerica ed i rilievi sperimentali condotti. Le differenze, a parità di posizione della sezione di controllo, derivano dalla combinazione degli effetti delle diverse condizioni simulate illustrate in Tabella 14: da un lato la minore portata presente al momento del rilievo produce, rispetto alla simulazione numerica, una minore sezione d'alveo con conseguente maggior peso della sezione occupata dal pennacchio caldo oltre ad una diversa velocità di avanzamento del pennacchio; dall'altro, va considerato l'effetto della minore potenza attiva, e dunque il minore riscaldamento, riscontrato al momento del rilievo.

Si fa infine osservare che, sia i risultati delle simulazioni sia quelli delle misure in campo, confermano che l'impatto termico prodotto dalla centrale nell'assetto attuale rientra ampiamente nei requisiti di legge.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio di simulazione numerica della dispersione termica condotto nell'assetto di funzionamento attuale della centrale (denominato assetto 'as is') assumendo condizioni ambientali di riferimento conservative per quanto riguarda la temperatura imperturbata del fiume Po e le condizioni meteorologiche, consente di trarre le seguenti conclusioni:

- a) la considerazione di quattro diverse condizioni idrauliche del corpo idrico ricettore (inagra ordinaria, magra estrema, morbida e piena normale), porta a concludere che l'incremento termico, valutato secondo i criteri previsti dalla legge nelle sezioni significative a valle dello scarico, è sempre al di sotto dei limiti fissati; non si riscontrano situazioni potenzialmente critiche;
- b) il confronto a posteriori tra l'esito della simulazione dello scenario di morbida e quello scaturito da una campagna di misure termiche condotta da CESI nell'aprile 2007 ha fornito risultati più che soddisfacenti, consentendo una verifica d'insieme della correttezza e dell'accuratezza del modello di simulazione e, dunque, dell'affidabilità complessiva dei risultati da esso ricavati.