

**RELAZIONE
SULL'AMBIENTE IDRICO**

INDICE

1. AMBIENTE IDRICO.....	3
1.1. DESCRIZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE.....	3
1.2. ANALISI DEL REGIME IDROLOGICO DEL RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE	3
1.3. QUALITÀ DELLE ACQUE	5
2. STUDIO DI DISPERSIONE TERMICA	9
2.1. ARTICOLAZIONE DELLE ATTIVITÀ	11
2.2. ANALISI DELLE CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA	12
2.2.1. Localizzazione dell'impianto	12
2.2.2. Condizioni di esercizio	13
2.2.3. Condizioni relative al prelievo delle acque di raffreddamento	16
2.2.4. Condizioni relative allo scarico delle acque di raffreddamento	17
2.2.5. Caratteristiche dell'opera di presa.....	19
2.2.6. Caratteristiche dell'opera di scarico	23
2.3. - CARATTERISTICHE AMBIENTALI E DEL TERRITORIO	26
2.3.1. Dati relativi alla morfologia dell'alveo.....	27
2.3.2. Dati relativi al flusso idrico	46
2.3.3. Dati relativi alle caratteristiche del fondale.....	47
2.3.4. Dati relativi alle condizioni di temperatura.....	47
2.3.5. Dati relativi alle condizioni meteorologiche	47
2.3.6. Definizione della schematizzazione numerica.....	47
2.4. DEFINIZIONE DEL RETICOLO DI CALCOLO.....	47
Caso 1 – situazione attuale in condizioni di magra.....	47
Caso 2 – situazione attuale in condizioni di livello medio	47
Caso 3 – situazione attuale in condizioni di piena	47
2.5. CONSIDERAZIONI FINALI	47
3. BIBLIOGRAFIA	47

1. AMBIENTE IDRICO

1.1. Descrizione del reticolo idrografico locale

Il Comune di Ostiglia, dove è sita la Centrale termoelettrica oggetto dello studio, si trova in sponda destra del Fiume Po, poco a valle della confluenza del Fiume Mincio, e l'area in esame interessa le province di Mantova e Verona nelle quali, oltre ai fiumi già citati, Po e Mincio, si sviluppano, in parte, i corsi dei Fiumi Tione, Tartaro e Secchia, nonché una consistente rete di canali artificiali realizzati soprattutto per regolamentare le acque fluviali e irrigare le coltivazioni.

1.2. Analisi del regime idrologico del reticolo idrografico locale

Il Fiume Po

Il bacino del Po ha una superficie complessiva pari a circa 740.000 km², di cui circa 700.000 in territorio italiano. L'asta fluviale principale, alimentata da 141 affluenti, è lunga 652 km, di cui 510 con argini continui.

Il reticolo principale, costituito dai corsi d'acqua di lunghezza superiore a 20 km, ha un'estensione circa nove volte inferiore a quello secondario; consistente è anche la dimensione del reticolo artificiale, strettamente integrato e interagente con quello naturale.

Il Fiume Po nasce dal Monviso (a quota 2100 m s.l.m.m.). Fino alla confluenza del Ticino presenta un regime di tipo sostanzialmente torrentizio, con una pendenza dell'ordine di 0,35‰. La confluenza comporta una trasformazione del regime del corso d'acqua, in ragione dell'apporto idrico regolato, con un notevole contributo glaciale e assenza di trasporto solido. La pendenza media si riduce allo 0,18‰ per poi decrescere regolarmente e gradualmente verso valle fino a circa lo 0,14 ‰ all'altezza di Revere-Ostiglia. Da questo punto all'incile del Delta l'alveo è canalizzato tra arginature.

La portata di massima piena, registrata alla stazione di Pontelagoscuro nel 1951, è stata di 10.300 m³/s.

Il Fiume Mincio

Il Fiume Mincio (194 km compreso il Sarca a monte del Lago di Garda), esce a Peschiera dal Lago di Garda, forma i laghi di Mantova e sbocca nel Po poco a monte di Ostiglia. Presenta un assetto fortemente artificializzato, essendo influenzato dalla regolazione del Lago di Garda e in corrispondenza dei laghi di Mantova da una regolazione idraulica molto complessa; a valle è arginato in modo continuo fino alla confluenza.

La sua portata media annua è intorno ai 57 m³/s, mentre la portata di magra, identificata dalla Q355 della curva di durata delle portate, pari a circa 27 m³/s e una portata storica di piena, alla stazione di Monzambano, misurata nel 1961 in 129 m³/s.

Dal Mincio si dipartono tre canali principali: Canale Virgilio, Fossa di Bozzolo e Naviglio di Goito, per una portata complessiva di circa 52 m³/s.

Il Mincio, che per alcuni anni non è stato monitorato, presenta una buona qualità delle sue acque (livello 2).

I Fiumi Tartaro e Tione

Partendo tra Povegliano e Villafranca, il corso del Fiume Tartaro, dalla media pianura veronese, volge verso Sud e in comune di Gazzo Veronese congiunge le proprie acque a quelle del Fiume Tione.

Si tratta di una fascia territoriale particolarmente ricca di acque caratterizzata dalla presenza di risorgive e fontanili che sovente originano minuscoli e trasparenti laghetti. La grande abbondanza di acque ha prodotto frequenti fenomeni di impaludamento che sono stati oggetto di numerose opere di bonifica, inizialmente attuate da parte di monasteri benedettini, sia veronesi che esterni alla provincia come quello di Nonantola, poi da parte di nobili veneziani che introdussero su larga scala nella seconda metà del '500 in queste terre la coltivazione del riso.

Non sempre e non dovunque le aree paludose e le acque del Tartaro furono però soggette ad opere di regimentazione e bonifica perché in alcuni casi il loro divagare forniva un utile sistema di difesa contro le invasioni nemiche.

Fra le paludi ancora esistenti si segnala, alla confluenza del Tartaro nel Tione la palude del Busatello, lembo "umido" residuo tra i più significativi della provincia di Verona.

Un tempo la palude era alimentata dal Fiume Tione; dopo la sua rettifica essa riceve l'acqua dalle canalizzazioni dei fondi circostanti attraverso due idrovore.

La regimentazione prevede due periodi, primaverile ed autunnale, con notevole apporto d'acqua e due di secca, estivo ed invernale, corrispondenti questi ultimi ai momenti di taglio dell'erba palustre e della cannuccia.

Il Fiume Secchia

Il Secchia è un fiume a regime torrentizio, affluente di destra del Po; nasce dall'Alpe di Succiso (2017 m), alle pendici settentrionali del Monte la Nuda, presso il passo del Cerreto. La massima elevazione del suo bacino è rappresentata dal Monte Cusna (2120 m). Nel corso superiore ha un letto profondamente incassato, inciso quasi interamente nelle arenarie; presso la località Gibellina scorre incassato nella tipica Forra degli Schiocchi. A Busana riceve il tributo del torrente Ozola e subito dopo attraversa, con alveo molto ampio delimitato da ripide pareti in un paesaggio assai caratteristico, gli affioramenti dei gessi, dove sono ubicate le copiose sorgenti di Poiano. Alla Gatta, dopo la confluenza col torrente Secchiello, il fiume si espande in una piana larga sino a 1 Km; a Ponte Dolo riceve le acque del torrente Dolo con il suo sub-affluente torrente Dragone; presso la Volta di Saltino quelle del torrente Rossenna, che nasce presso Pavullo. Nelle vicinanze di Pescale, l'alveo del Secchia, dopo le ampie "varici" (allargamenti) di Roteglia e Castellarano, improvvisamente si restringe (stretta del Pescale), poichè incide uno sbarramento naturale rappresentato da un pacco di strati di calcareniti.

A Sassuolo il fiume esce dal solco vallivo e sbocca in pianura con un alveo piatto e ampio sino a 600-800 m, inciso in ghiaie tipicamente biancheggianti. E' proprio allo stacco della pianura (125 m di quota) che il fiume ha formato una potente conoide con apice nei pressi di Sassuolo con lunghezza di 20 Km circa e larghezza max 14 Km. A Rubiera, dopo aver ricevuto il torrente Tresinaro, è attraversato mediante un ponte dalla via Emilia e, 1 Km a valle, improvvisamente si restringe; entrando nella bassa pianura le sue acque, più lente, depositano quasi tutti i sedimenti fini trasportati in sospensione, in modo che il suo alveo, nel corso del tempo, si è fatto pensile sulla campagna circostante e le sue acque devono essere contenute da alte arginature, che, nella bassa presso S. Possidonio e Concordia sulla Secchia, raggiungono i 10-12 m di altezza.

Il Secchia sfocia nel Po presso Mirasole, nella provincia di Mantova, dopo 157 Km di percorso e a una quota 13 m s.l.m.m.

1.3. Qualità delle acque

Il territorio si presenta molto antropizzato per l'intensa attività agricola che, soprattutto nel passato, ha visto il diffondersi di insediamenti (cascinali di gruppi famigliari) legati alla piccola proprietà fondiaria trasformati poi in agglomerati urbani.

L'agricoltura si basa principalmente sulla produzione cerealicola e foraggiera con sviluppi importanti per la coltivazione del mais, della soia, del riso, del pioppo, dei frutteti e della vite; importante la presenza, molto diffusa, di allevamenti di suini, avicunicoli e bovini. Si registrano forti carichi di azoto e fosforo sui terreni e ciò, per dilavamento e percolamento, induce un arricchimento eccessivo dei nutrienti nelle acque. L'economia, tuttavia, non si basa solamente sull'agricoltura ma anche su di un sistema molto articolato di industrie di piccole e medie dimensioni. Molto rilevante è anche l'impatto prodotto dal sistema di raccolta e depurazione delle reti fognarie

Un fattore importante, che pesa sulla qualità delle acque, è dato dalla cessione di sostanze in soluzione, provenienti da inquinamenti pregressi, da parte dei sedimenti; ciò è rilevabile soprattutto nel caso dei laghi di Mantova, ma anche in altre situazioni la differenza tra qualità chimica o chimico-fisica (a volte accettabile soffermandosi solo sul dato di analisi) ed osservazione dello stato generale di malessere ambientale fa supporre che altri fattori possano influire in modo negativo sulle comunità vegetali ed animali.

Il bacino del Fiume Po

Il livello di inquinamento relativo ai macrodescrittori degli inquinanti chimici riferiti al Po indica una bassa qualità delle acque. Anche se meno frequente rispetto ad altre situazioni, resta elevata la frequenza di superi per i parametri relativi alla carica microbica.

Il bacino dei territori scolanti in sinistra Po, diviso in due parti (Roncocorrente e sistema Fissero-Tartaro) geograficamente separate dal bacino del Mincio, presenta una situazione analoga; le acque sono sovente in deficit di ossigeno e numerosi sono i superi della carica batterica. Elevati sono i valori di nutrienti (N e P) e la qualità chimica pone il bacino tra valori appena sufficienti e scadenti.

Il bacino dei territori scolanti in destra Po, ed in particolare il Fossalta, mostra una situazione peggiore poiché esso riceve acque, già di cattiva qualità, dalle bonifiche emiliane e scarica in Po per sollevamento. Raccogliendo tutti i reflui delle terre basse mantovane, infatti, il bacino non riesce a migliorare la qualità delle proprie acque per nessun parametro: spesso in debito di ossigeno, con conducibilità elevata (in particolare nel canale Quarantoli) e in classe pessima per COD e BOD5, percentuale altissima di valori fuori norma per l'azoto ammoniacale e, anche per la particolarità dei terreni, elevatissima la concentrazione di Cloro.

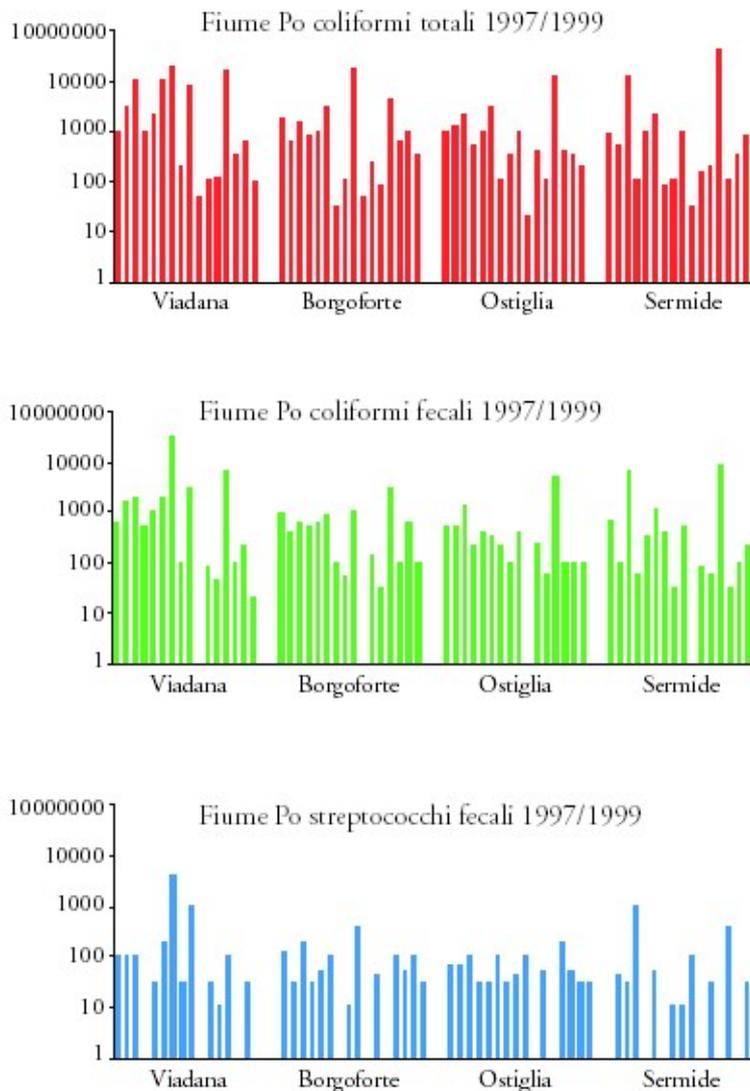


Figura 1 – Andamento di alcuni indici di qualità delle acque del Fiume Po

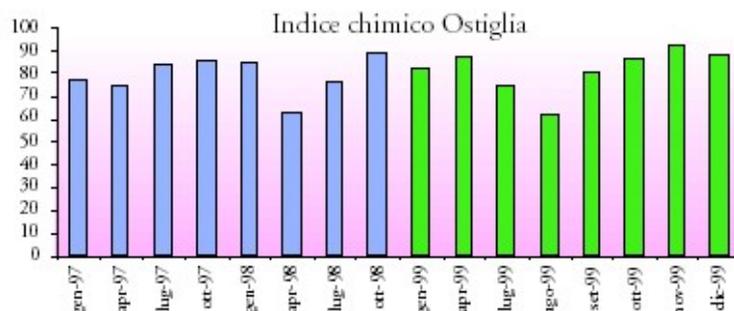


Figura 2 – Indice chimico delle acque del Fiume Po a Ostiglia.

Il bacino del Fiume Mincio

La valutazione dello stato ambientale del bacino del Mincio è operazione complessa soprattutto per le differenze tra i vari segmenti. Tralasciando l'analisi nella parte montana, a monte ed a valle del Lago di Garda, la situazione appare critica nel tratto vallivo, dove la

riduzione della velocità di scorrimento, l'abbandono della gestione dei canali, il progressivo lento interrimento, l'aumento della vegetazione igrofila ed idrofita, i notevoli innalzamenti termici estivi che, per la bassa profondità interessano anche il fondale, l'accumularsi dei sedimenti, la "perdita" d'acqua – soprattutto nella stagione tardo primaverile ed estiva – creano le condizioni per un vistoso peggioramento della qualità. Il lento deflusso accentua i punti di ristagno, l'ossigeno disciolto varia vistosamente nella giornata per la presenza della vegetazione sommersa e della macroscopica produzione algale, la temperatura segue l'andamento dell'insolazione, la trasparenza è quasi sempre ridotta a meno di un metro. Il continuo impoverimento qualitativo dell'ittiofauna, il cui livello quantitativo si mantiene solo grazie alle immissioni forzate, è testimonianza delle gravi condizioni di salute.

Alla stazione di Governolo, il Mincio, ha una classificazione, secondo il D.Lgs. 152/99, di classe 3-sufficiente, ed un corrispondente valore di Indice Biotico Esteso (I.B.E.) di 6.

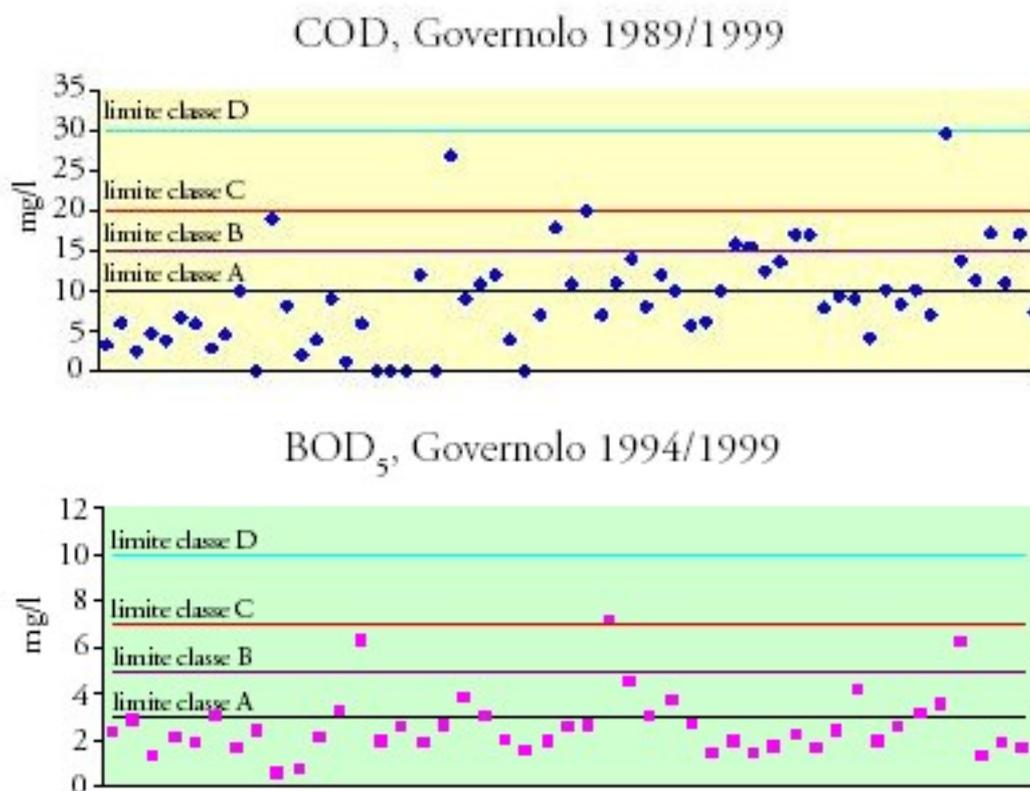


Figura 3 – Andamento degli indici COD e BOD₅ del Fiume Mincio alla stazione di Governolo negli anni fino al 1999

2. STUDIO DI DISPERSIONE TERMICA

L'obiettivo dello studio è quello di valutare, mediante simulazione numerica, la dispersione termica conseguente allo scarico delle acque di raffreddamento della Centrale termoelettrica di Ostiglia, nell'assetto attuale.

La Centrale termoelettrica di Ostiglia (Mantova), in origine composta da quattro sezioni convenzionali da 330 MW ciascuna, è attualmente costituita da tre gruppi a ciclo combinato (gruppi 1, 2 e 3) da 384 MW e da una sezione di tipo tradizionale (sezione 4) da 330 MW per una potenza totale installata di 1482 MW ed utilizza per il ciclo di raffreddamento acqua prelevata dal Fiume Po nella misura massima di 32 m³/s.

In conseguenza della variazione della quantità di calore scaricata attraverso le acque di raffreddamento a seguito dell'esercizio della Centrale è necessario valutare il rispetto del limite di legge relativamente allo scarico termico delle acque di raffreddamento provenienti dai condensatori nel tratto 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 "Norme in materia ambientale" che, nell'allegato 5 alla parte III (*Limiti di emissione degli scarichi idrici*), punto 1 (*Scarichi in corpi d'acqua superficiali*), 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".

Si valuterà, quindi, mediante simulazione numerica, la dispersione termica nel Fiume Po tenendo conto delle condizioni di prelevamento delle acque di raffreddamento. E' immediato constatare come il Fiume Po, in tutto il suo percorso, sia stato e sia tuttora sottoposto ad un monitoraggio continuo che consente di poter disporre di una larga quantità di dati di tipo idrologico, morfologico e di qualità delle acque cui attingere per la definizione dello scenario in cui la centrale stessa viene esercitata. Uno studio avente come obiettivo la valutazione del carico termico complessivo del fiume dipendente dalla presenza di impianti termoelettrici lungo il suo corso è stato condotto congiuntamente

dall'ENEA e dalla Regione Lombardia [1] anche con l'ausilio di numerose misure sperimentali, ma esso non contiene informazioni atte a caratterizzare con precisione il contributo della Centrale di Ostiglia. Anche altre misure [2] condotte per il tratto specifico di fiume non rivestono più un carattere di attualità tale da poter contribuire significativamente al presente studio.

Di conseguenza, si è operato definendo dapprima le condizioni idrologiche e morfologiche del fiume nel tratto di interesse, valutando gli scenari che possono risultare critici dal punto di vista della dispersione termica e, infine, analizzando la dispersione termica delle acque di raffreddamento della Centrale con riferimento alle condizioni di portata e livello del tratto del fiume interessato ed alle condizioni di esercizio ipotizzate facendo uso, date la tipologia dello scarico e la natura del problema, del modello idrostatico bidimensionale incluso nel codice SWEET 4.01, usualmente impiegato per analisi di questo tipo [3],[4],[5],[6].

2.1. Articolazione delle attività

La simulazione numerica del problema sopra descritto richiede una serie di fasi di studio e messa a punto quali:

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,
 - b) definizione dei dati di esercizio nelle condizioni attuale e futura,
 - c) raccolta dei dati caratterizzanti il Fiume Po, in termini di valori di portata, livello e sezioni, per i tratti di interesse.
2. *Definizione del modello di calcolo numerico, che si è incentrata nei seguenti punti*:
 - a) definizione della batimetria del tratto di Fiume Po interessato a partire dai rilievi sperimentali delle sezioni e dai dati topografici;
 - b) definizione del dominio di calcolo. In particolare, la tipologia degli scarichi e delle prese, la conformazione dell'alveo del Fiume Po, a monte ed a valle delle opere di presa stesse, la presenza 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. Il modello bidimensionale utilizzato dal codice Sweet prevede la suddivisione del dominio in elementi finiti triangolari, le cui dimensioni sono ottimizzate per poter analizzare con accuratezza le aree di scarico e di presa e le zone di fiume caratterizzate da bruschi cambiamenti di alveo.
3. *Esecuzione delle simulazioni numeriche*, condotte nelle condizioni ritenute più critiche
4. *Analisi dei risultati*, con particolare riferimento al rispetto dei limiti di legge.

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

2.2. Analisi delle condizioni influenzanti la dispersione termica

Lo scarico da parte di centrali termoelettriche dell'acqua calda proveniente dai circuiti di raffreddamento mediante scarichi a cielo aperto direttamente in corpi fluviali o indirettamente tramite canali artificiali è tipicamente condizionato dalla conformazione e dalle condizioni idrauliche degli stessi del Sito nonché dalle condizioni di esercizio degli impianti. Pertanto, poiché uno dei requisiti per la realizzazione dello studio è la simulazione numerica di un certo numero di casi atti a rispondere agli scopi dello studio stesso, è necessario individuare, attraverso la raccolta e l'analisi dei dati caratteristici del sito e degli impianti, le condizioni di simulazione più adatte allo scopo.

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

- dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico e di presa;
- dati relativi alla configurazione dei corpi idrici e alla relativa batimetria;
- dati relativi ai valori di temperatura, portata e livello dei corpi idrici;
- dati relativi ai parametri meteorologici;
- dati di esercizio della Centrale, quali potenza, modalità di esercizio e portata di scarico dei circuiti di raffreddamento.

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

2.2.1. 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 km 239 della SS 12 Abetone-Brennero, come illustrato in figura 4.

Essa preleva l'acqua di raffreddamento direttamente dal Fiume Po mediante un'opera di presa (Fig. 5) collocata sull'argine sinistro a circa 1000 m a monte del ponte ferroviario e stradale che collega gli abitati di Revere e Ostiglia (Fig. 6) e la restituisce a circa 100 m a monte del medesimo ponte mediante un'opera di scarico a pelo libero (Fig. 7) che scavalca l'argine sinistro stesso. La vicinanza del ponte fa sì che tale opera debba essere tenuta in conto nelle simulazioni numeriche.

Per quanto riguarda il tratto di fiume interessato, esso non presenta particolari di rilievo nel tratto immediatamente a monte della Centrale, mentre presenta un alveo con aree di secca nel tratto a valle dello stesso e la presenza del ponte Revere-Ostiglia immediatamente a valle dell'opera di scarico. Tali particolarità verranno comunque

debitamente considerate nella definizione della batimetria dell'alveo utilizzata dal modello numerico.

La planimetria della Centrale con l'indicazione dei punti di scarico e presa, tratta da [10], è riportata in figura 8.

2.2.2. CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Viene definita "*situazione attuale di riferimento*" per lo studio in oggetto la configurazione dell'impianto che comprende l'esercizio dei moduli 1, 2 e 3 a ciclo combinato e della sezione 4 nell'assetto attuale.

I primi due gruppi (1 e 2) prevedono una portata effettiva di 7.4 m³/s ciascuno, mentre i gruppi 3 e 4 una portata di 8,5 m³/s.

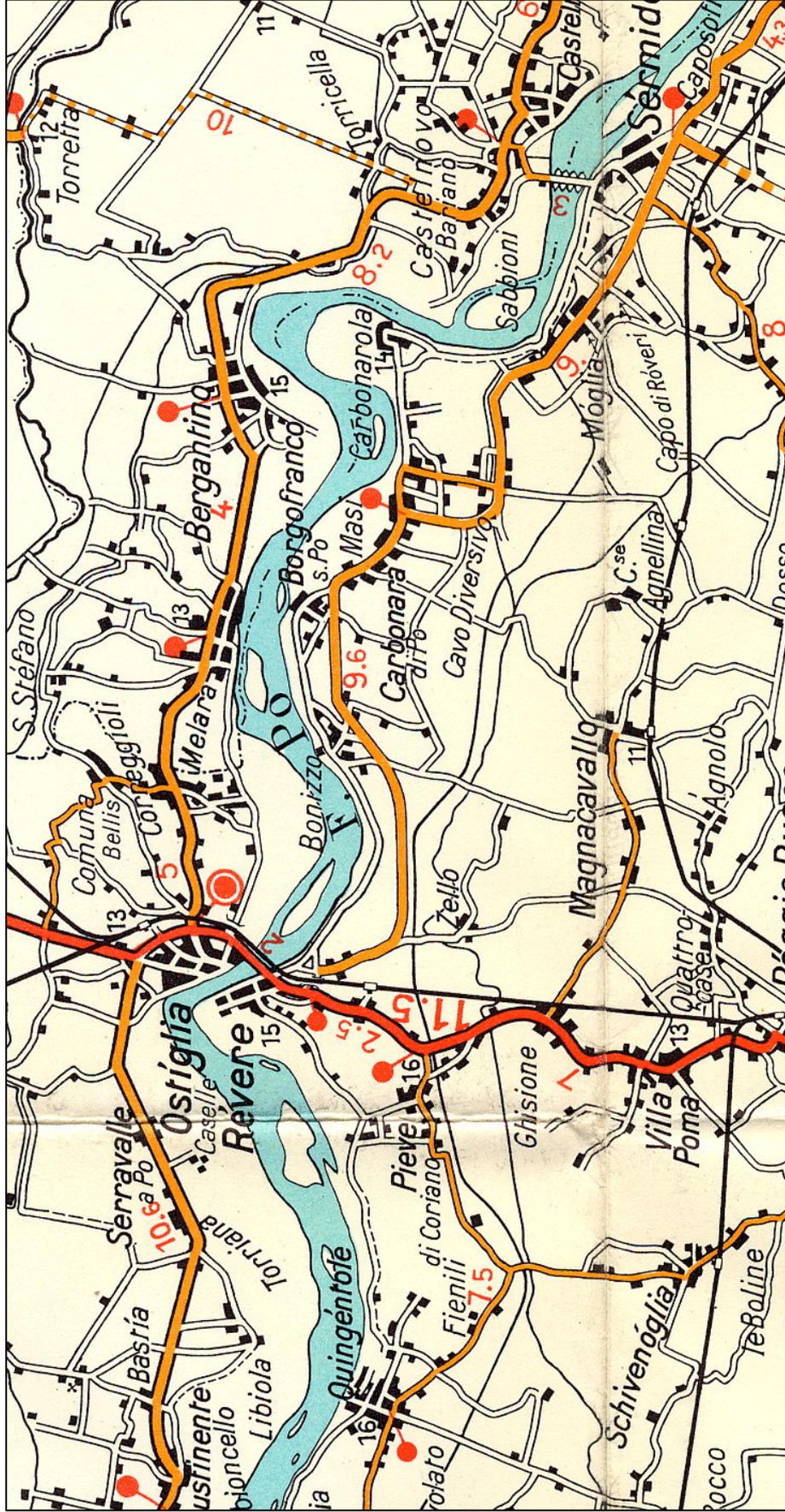


Figura 4 - Carta stradale della zona comprendente il tratto di fiume tra Quingentole e Sermide

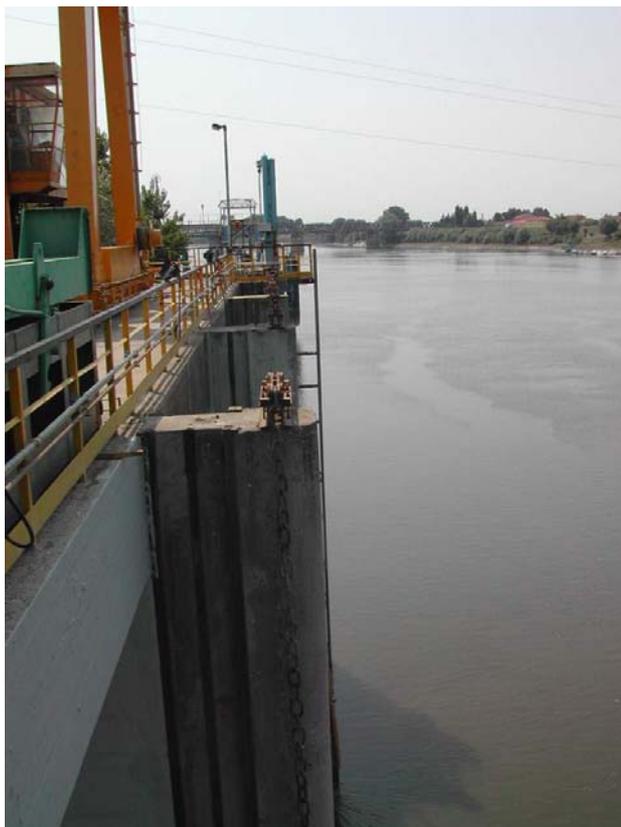


Figura 5 – Opera di presa



Figura 6 - Ponte stradale (SS 12) e ferroviario tra Revere ed Ostiglia visto dall'opera di scarico



Figura 7 – Opera di scarico

2.2.3. CONDIZIONI RELATIVE AL PRELIEVO DELLE ACQUE DI RAFFREDDAMENTO

Per quanto riguarda gli aspetti legati al prelievo delle acque di raffreddamento dei condensatori, occorre tenere presente che nel caso della Centrale di Ostiglia il prelievo avviene direttamente sulla sponda sinistra del Fiume Po mediante apposita opera di presa, per tutti i gruppi.

Il Fiume Po all'altezza di Ostiglia presenta un regime di deflusso tale da garantire la possibilità di prelievo per i 38 m³/s dati in concessione alla Centrale stessa in ogni condizione. Infatti, 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, e nonostante i grandi scarti che si possono avere rispetto alla portata media di 1560 m³/s misurata all'idrometro di Pontelagoscuro (circa 30 km a valle di Ostiglia, con la sola immissione del Fiume Panaro sul lato destro), il deflusso delle acque si presenta regolare in condizioni meteorologiche normali. I valori di portata minima e massima che si possono riscontrare in corrispondenza dell'idrometro di Sermide vanno da 339.89 m³/s (24 luglio 1990) a 6791.08 m³/s (22 novembre 1996) rispettivamente, come riportato in figura 9 tratta dalla banca dati DATAPO 3.0 [11],[12]; il valore massimo può però arrivare a valori superiori

agli 8000 m³/s in casi di piene eccezionali. Tali valori sono confermati dalle misure effettuate a Sermide nel corso del 1997 [13] che riportano un minimo di 408 m³/s, un massimo di 4590 m³/s ed una media di 1220 m³/s.

Come si può desumere da quanto sopra detto, non esistono in generale situazioni in cui non è garantita la portata dell'acqua di raffreddamento, fatta eccezione per condizioni particolarmente anomale quali quelle verificatesi nell'estate del corrente anno, con portate scese sotto i 200 m³/s.

2.2.4. CONDIZIONI RELATIVE ALLO SCARICO DELLE ACQUE DI RAFFREDDAMENTO

Per quanto riguarda gli aspetti legati allo scarico delle acque di raffreddamento dei condensatori, va tenuto presente che la qualità dal punto di vista fisico delle acque di raffreddamento reimmesse nel Po è costantemente controllata nel corso dell'esercizio: da tali dati risulta che l'utilizzo in Centrale non dà luogo ad apprezzabili variazioni delle caratteristiche qualitative delle acque prelevate, sia dal punto di vista qualitativo che rispetto alle norme presenti nel D.L. 152/06.

L'impatto ambientale dovuto allo scarico delle acque di raffreddamento è quindi essenzialmente di tipo termico, per il quale valgono i limiti riportati precedentemente e che giustifica la necessità del presente studio. Di conseguenza gli aspetti che più interessano, legati all'esercizio dei gruppi, sono quelli che definiscono le proprietà delle acque scaricate dal punto di vista termico, in termini di portata immessa e quantità di calore contenuta, che si traduce in un valore di incremento termico allo scarico rispetto alla temperatura dell'acqua prelevata alla presa.

Da questo punto di vista, i dati forniti dalla Centrale sono riportati, riferiti ai vari gruppi nei diversi assetti, in tabella 1.

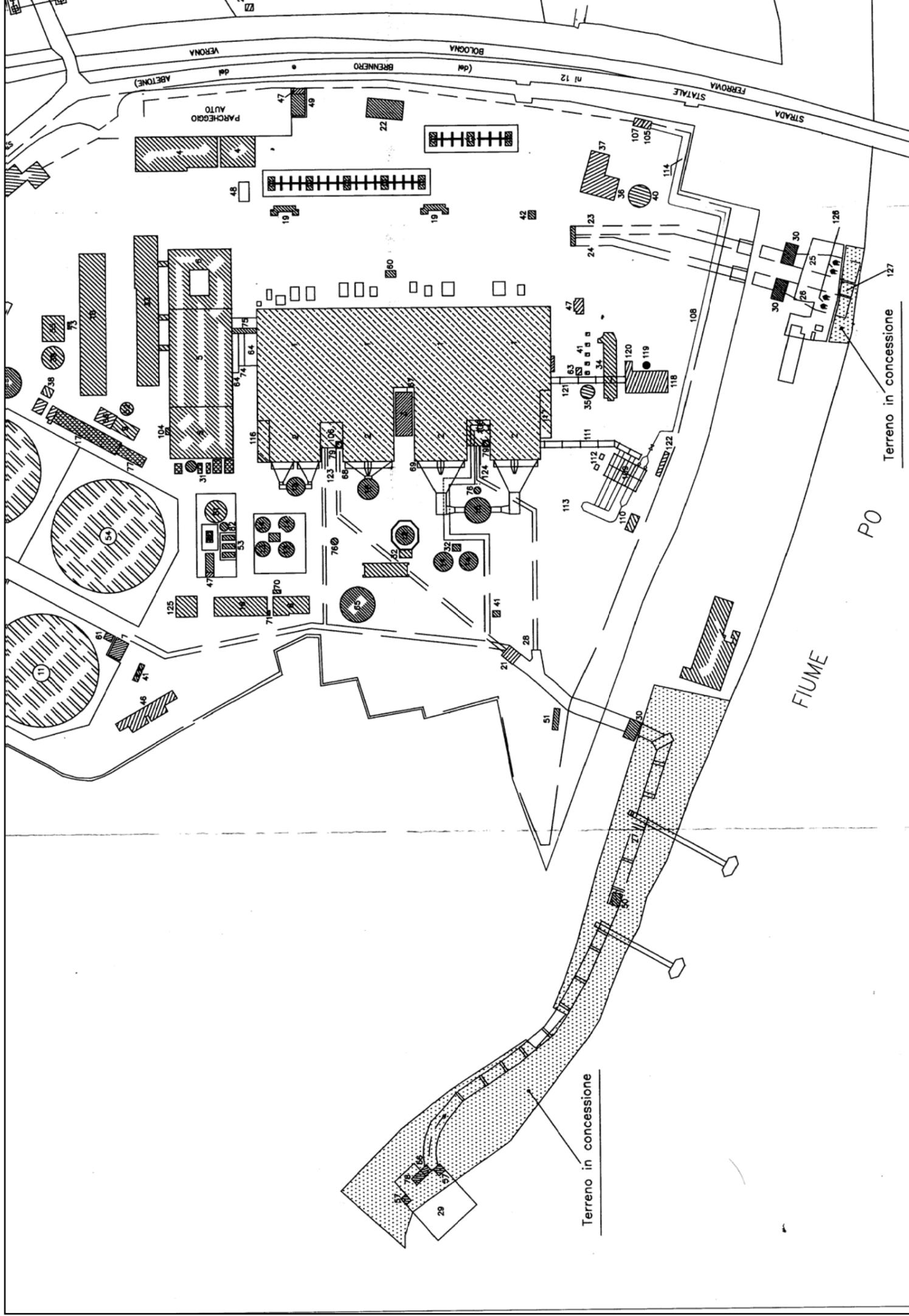
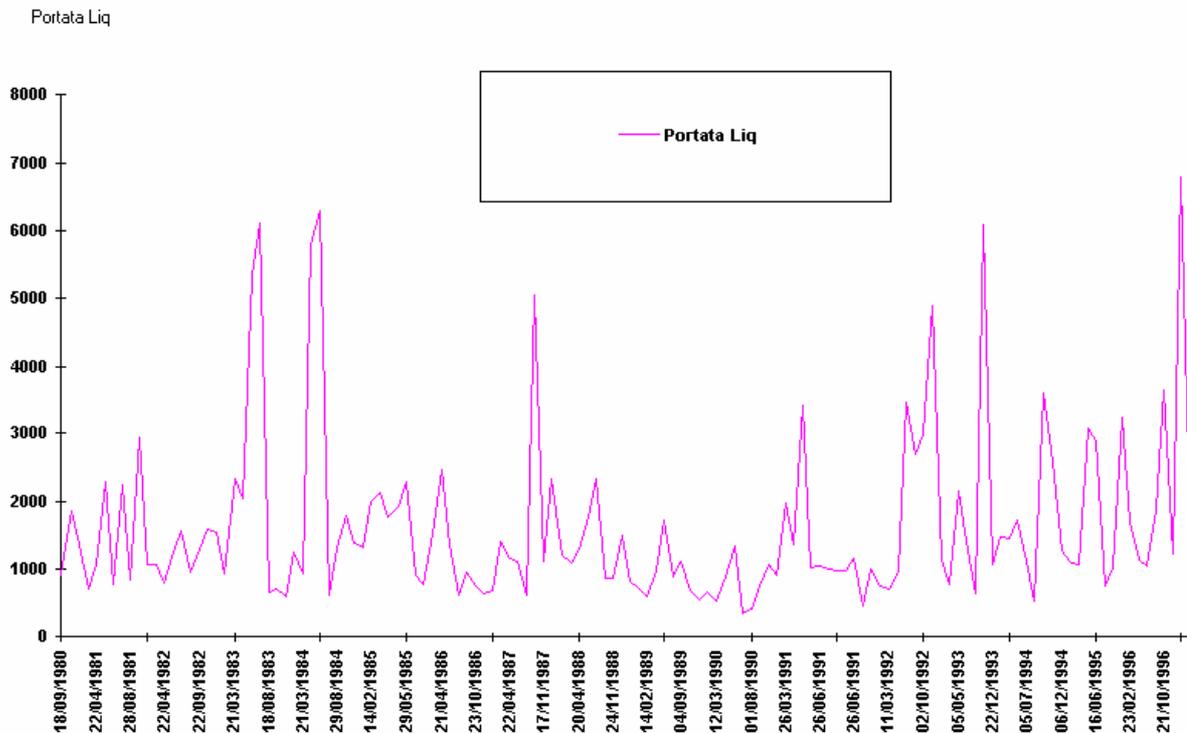


Figura 8 – Planimetria della Centrale con l'indicazione dei punti di scarico e presa

Figura 9 - DataPo 3.0. Valori di portata misurati all'idrometro di Sermide dal 1980 al 1996

Località: SERMIDE



		gruppo 1	gruppo 2	gruppo 3	gruppo 4	Acqua alim.	Totale
Assetto attuale (gr 4 tradizionale)	portata (m ³ /s)	7.4	7.4	8.5	8.5	0.55	32.35
	ΔT (°C)	8	8	7	12	==	8.7

Tabella 1 - Condizioni di scarico nei vari assetti dei gruppi

2.2.5. CARATTERISTICHE DELL'OPERA DI PRESA

Come già anticipato nella descrizione delle condizioni di esercizio, l'opera di presa insiste sul Fiume Po, a circa 1000 m a monte rispetto al ponte Revere - Ostiglia, collocata sull'argine sinistro del fiume.

Di fatto, l'opera di presa si configura come un'unica struttura che presenta quattro sezioni di aspirazione identiche, di forma rettangolare, aventi una luce di 6.80 m ciascuna ed una altezza che va dai 5.50 m s.l.m.m. del basamento ai 22 m s.l.m.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 figure 10 e 11 sono riportati i particolari della sezione longitudinale e della pianta all'imbocco dell'opera di presa, tratte dai disegni di progetto [14], [15].

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, e 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 ed al livello di piena normale, per i quali verranno considerati i valori di progetto di 8.3 m, 11.2 m e 17.2 m s.l.m., trascurando le condizioni di piena eccezionale durante le quali le condizioni di scarico e presa sono da considerarsi del tutto anomale. In definitiva, l'area efficace di aspirazione della bocca, che è quella che interessa ai fini dello studio, è di 76.16 m² in condizioni di magra, di 155.04 m² in condizioni di livello medio e di 318.24 m² in condizioni di piena.

Tenendo conto di quanto sopra esposto, le caratteristiche di aspirazione sono quelle riassunte nella seguente tabella 2.

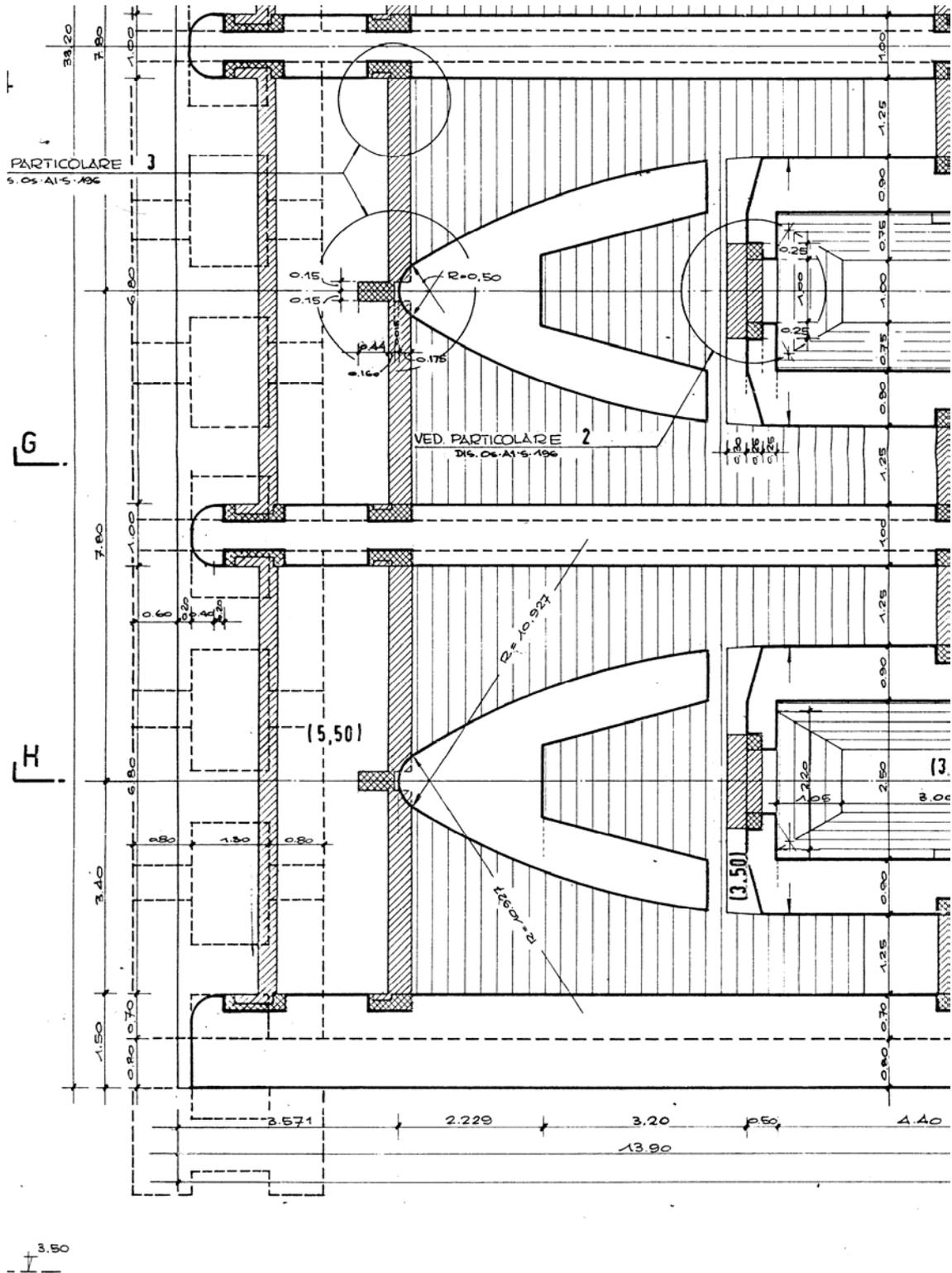


Figura 11 - Sezione in pianta dell'opera di presa nella zona di aspirazione (particolare)

Dimensione caratteristica	Livello di magra	Livello medio	Livello di piena	Unità
Sezioni di aspirazione	4			==
Larghezza di ogni sezione	6.80			m
Altezza di ogni sezione	16.5			m
Quota max superiore	8.3	11.2	17.2	m
Quota inferiore	5.5	5.5	5.5	m
Sezione efficace	76.16	155.04	318.24	m ²
Portata totale (attuale)	32.35			m ³ /s
Portata totale (futura)	32.75			m ³ /s
Velocità di aspirazione (attuale)	0.425	0.209	0.102	
Velocità di aspirazione (futura)	0.430	0.211	0.103	m/s

Tabella 2 - Parametri caratteristici dell'opera di presa

2.2.6. CARATTERISTICHE DELL'OPERA DI SCARICO

L'opera di scarico restituisce le acque di raffreddamento al Fiume Po, circa 100 m a monte del ponte ferroviario e stradale tra Revere ed Ostiglia, scavalcando l'argine sinistro. In particolare, allo scopo di evitare l'indebolimento dell'argine stesso a causa di penetrazioni, i condotti di mandata scavalcano l'argine per poi essere convogliate in due turbine idrauliche per un parziale recupero dell'energia di caduta prima di essere convogliate nel diffusore finale, di tipo superficiale, che scarica le acque direttamente nel fiume. Tale diffusore è costituito da quattro sezioni di scarico identiche, una per ogni gruppo ma raggruppate a due a due per i gruppi 1-2 e per i gruppi 3-4 rispettivamente, di larghezza pari a 5 m e con una altezza che va dai 7.50 m s.l.m.m. del basamento a riva fino ai 19 m s.l.m.m. del piano di calpestio, per arrivare poi ai 22 m dell'argine sinistro scavalcato dai quattro tubi di adduzione dell'acqua di raffreddamento. Va poi citato il fatto che ciascuna sezione di scarico è dotata di una turbina idraulica per il recupero dell'energia spesa dall'acqua nello scavalcamento dell'argine stesso, e di un bypass centrale per consentire lo scarico diretto dell'acqua di sezioni le cui turbine siano 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 tali sezioni.

Nelle figure 12 e 13 sono riportati i particolari della sezione longitudinale e della pianta all'imbocco dell'opera di presa, tratte dai disegni di progetto [16], [17], [18].

Anche per ciò che riguarda la velocità di scarico le condizioni sono legate anche al livello del fiume, che come si è detto varia in un ampio intervallo di valori.

In definitiva, l'area efficace di scarico per ciascun gruppo, che è quella che interessa ai fini dello studio, è di 4 m² in condizioni di magra, di 18.5 m² in condizioni di livello medio e di 48.5 m² in condizioni di piena.

Tenendo conto di quanto sopra esposto, le caratteristiche di scarico sono quelle riassunte nella tabella 3.

Dimensione caratteristica	Livello di magra	Livello medio	Livello di piena	Unità
Sezioni di scarico	4			==
Larghezza di ogni sezione	5			m
Quota max superiore	8.3	11.2	17.2	m
Quota inferiore	7.5	7.5	7.5	m
Sezione totale efficace	16.0	74.0	194	m ²
Portata totale	32.35			m ³ /s
Sovralzo termico medio	8.65			°C
Velocità di scarico	2.022	0.437	0.167	m/s

Tabella 3 - Parametri caratteristici dell'opera di scarico

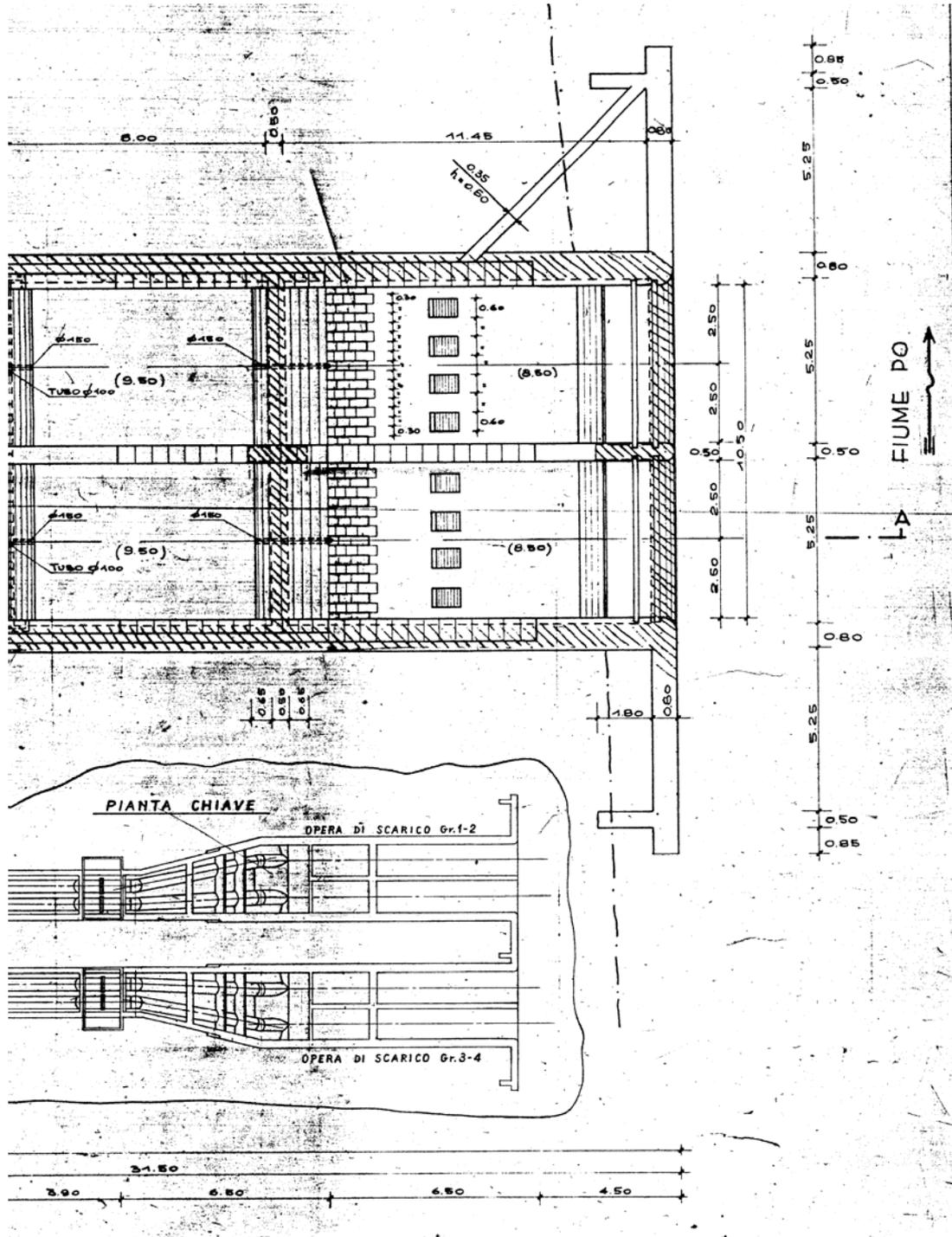


Figura 12 - Opera di scarico. Pianta della zona di scarico (particolare)

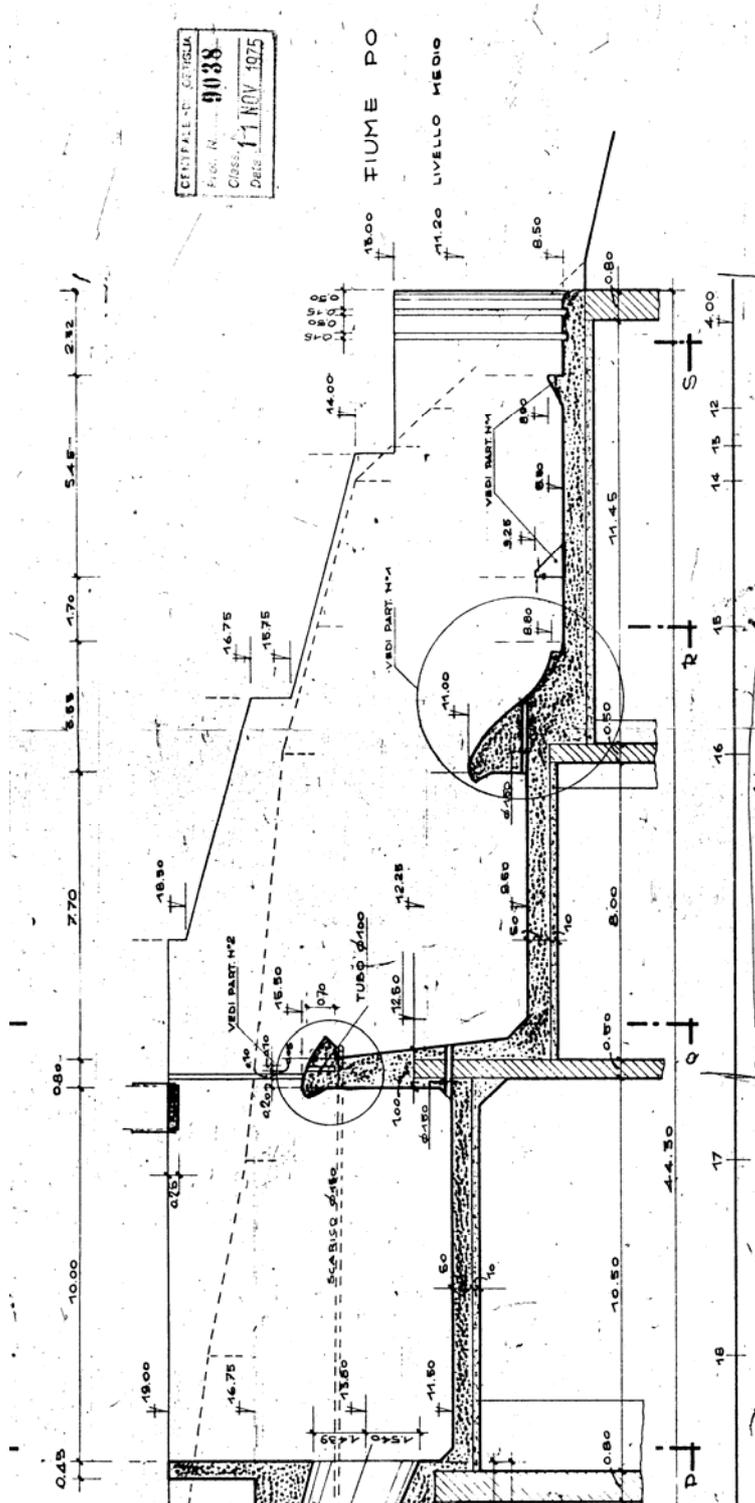


Figura 13 - Opera di scarico. Sezione longitudinale della zona di scarico (particolare)

2.3. - 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 alle condizioni di temperatura;
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.

2.3.1. DATI RELATIVI ALLA MORFOLOGIA DELL'ALVEO

La raccolta dei dati inerenti alla morfologia dell'alveo fluviale riveste una importanza fondamentale, in quanto da essa si deducono informazioni atte a costruire la discretizzazione spaziale per le simulazioni numeriche e la posizione esatta dell'impianto nel dominio di calcolo. Per lo scopo dell'analisi, finalizzata allo studio del comportamento del pennacchio termico, si ritiene significativo considerare un tratto fluviale intorno alla Centrale di qualche chilometro sia a monte che a valle di quest'ultima, in modo da poter considerare completamente sviluppato il campo di moto all'altezza delle opere di scarico e presa e di poter analizzare il comportamento del pennacchio lungo il corso del fiume per un tratto sufficiente a valutarne tutti gli effetti. Nel caso del Sito di Ostiglia, con riferimento alla carta di figura 4, il tratto di fiume considerato è di circa 18 km, ed è compreso tra la località di Quingentole a monte ed il ponte di Sermide a valle.

I dati di morfologia sono necessari alla caratterizzazione della forma dell'alveo, da cui si dovrà dedurre la topologia del dominio di calcolo, e raccolgono le informazioni relative ai parametri descritti nel seguito.

Andamento delle rive destra e sinistra rispetto ad un sistema di riferimento cartesiano di origine arbitraria

Questi dati sono stati raccolti a partire dalle carte tecniche regionali per la Lombardia [19], e trasferiti in un file di formato *.dxf* mediante ArcMap di ArcGIS [20] in modo da essere utilizzabile direttamente dal simulatore numerico. Inoltre, elaborando tale file con AutoCAD

[9] è stata definita la linea mediana del fiume, come rappresentato schematicamente in figura 14, che fa riferimento alle condizioni di livello medio del fiume.

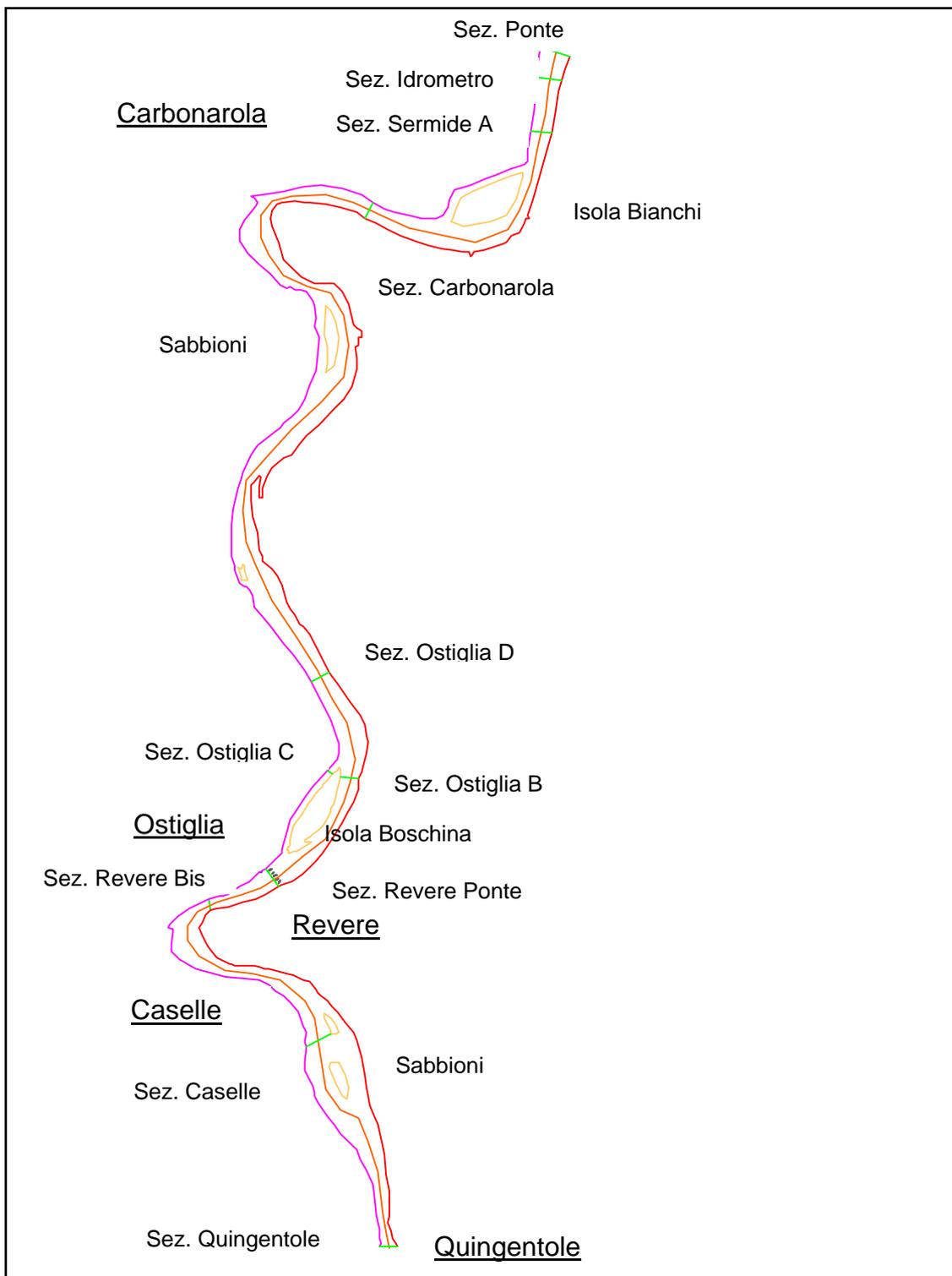


Figura 14 – Tratto del Fiume Po con la posizione delle sezioni batimetriche

Definizione delle sezioni aperte.

Per sezioni aperte nel modello di simulazione si intendono quelle sezioni attraverso cui il fluido esce od entra nel dominio di calcolo, che nel caso in esame sono costituite dalle sezioni di ingresso ed uscita del fiume e da quelle di scarico e aspirazione. Una rappresentazione schematica del modello è riportata in figura 15.

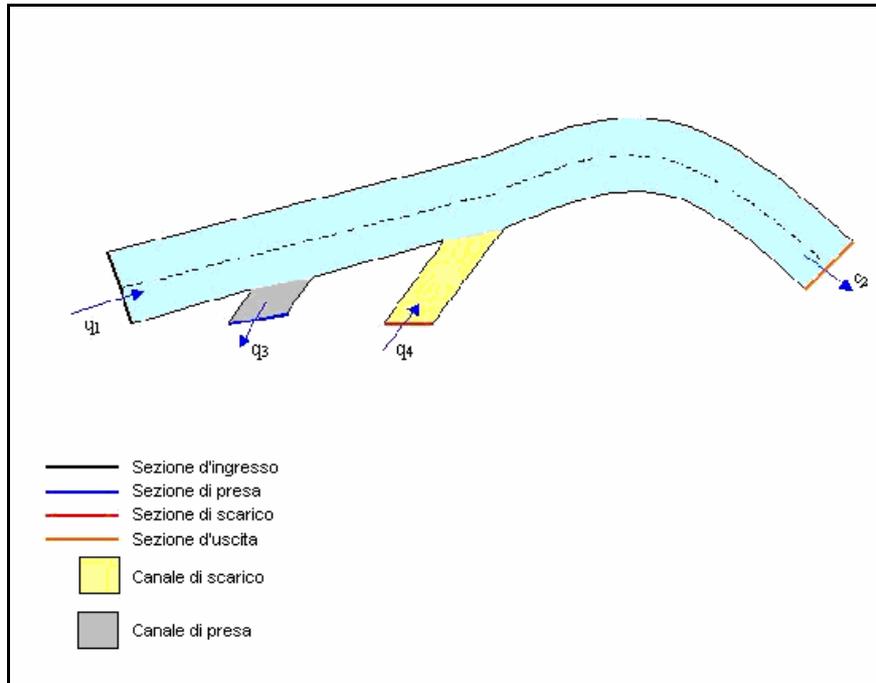


Figura 15 - Andamento schematico di un tratto di fiume con l'indicazione delle sezioni aperte

Definizione della batimetria del Fiume Po nel tratto Quingentole-Sermide

La definizione della batimetria del fiume riveste anch'essa una importanza fondamentale, anche se il modello numerico impiegato di norma per un sito fluviale è di tipo bidimensionale. Infatti la conoscenza della batimetria in ogni punto del reticolo di calcolo consente di effettuare le integrazioni sulla verticale che consentono di tenere conto degli effetti del battente idrostatico e del fondo sull'andamento del campo idrodinamico.

Tuttavia, il Fiume Po non presenta una morfologia stabile nel tempo, sia a livello stagionale che pluriennale. Infatti a livello stagionale si hanno forti variazioni di livello, anche di diversi metri, causate dalle piogge, da periodi di siccità, da prelievi dovuti all'attività agricola, ecc.; come conseguenza, pur non modificandosi il fondo del fiume, la

sezione bagnata dello stesso può cambiare di ampiezza, come schematicamente indicato nella figura 16.

A livello pluriennale, invece, si possono avere modificazioni del fondo per effetto di sedimentazione o asporto di materiale da costruzione, per cui si rende necessario effettuare periodicamente delle misure. Tali misure di profondità dell'alveo, spesso associate a misure di portata, sono in generale condotte in sezioni prefissate del fiume, e ripetute a distanza di tempo sempre con le stesse modalità.

I dati batimetrici esaminati sono relativi a due diverse fonti:

- a. lo studio condotto negli anni 1980-1983 sull'intero corso del Fiume Po per conto del Magistrato del Po di Parma [21];
- b. le informazioni presenti nella banca dati DATAPO [11].

I dati batimetrici disponibili dallo studio di cui al punto (a) sono però ormai datati, per cui si è preferito utilizzare le informazioni contenute nella banca dati DATAPO, mantenuta continuamente aggiornata per quello che riguarda le informazioni provenienti da misure riferite alle stazioni in essa contenute [12]; 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 [13], [22], [23], [24], [25], [26].

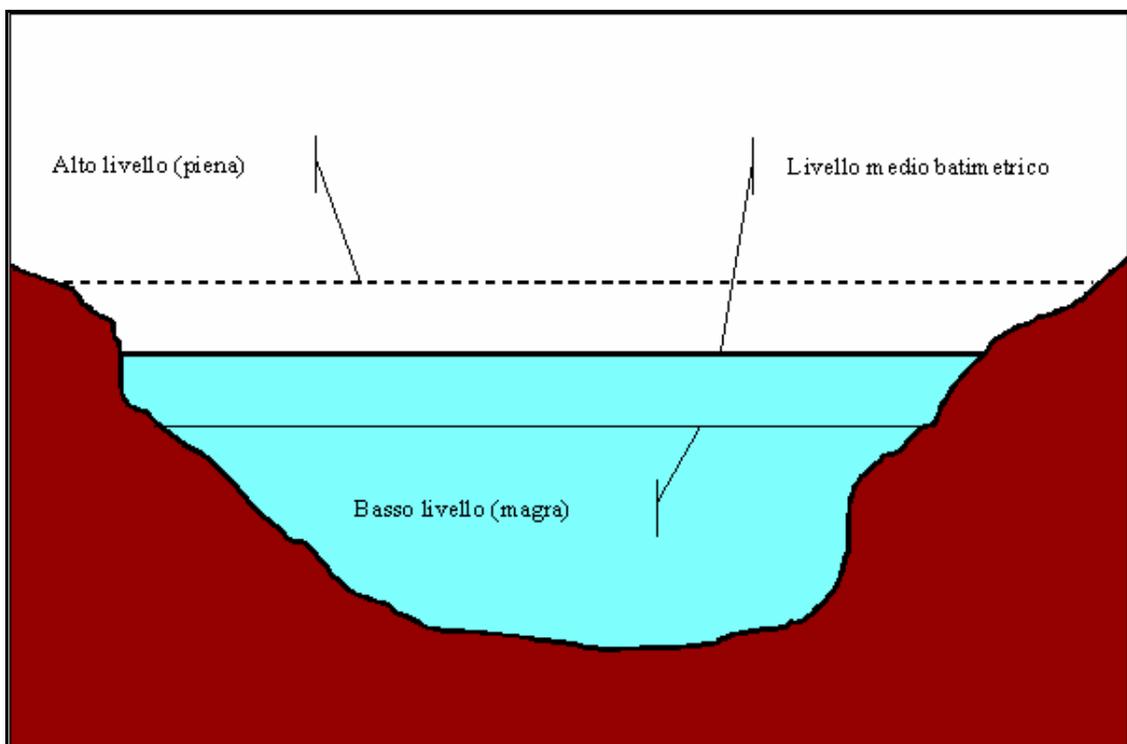


Figura 16 - Schematizzazione della generica sezione batimetrica

Tenendo conto delle misure di batimetria specificatamente condotte in alcune sezioni dell'alveo, e delle misure di profondità associate alle misure di portata condotte in tutte le stazioni di misura, sono state individuate dieci sezioni in cui sono presenti dati di profondità utili alla ricostruzione delle caratteristiche idrologiche e morfologiche del corpo idrico. Le caratteristiche identificative di tali sezioni sono riportate in tabella 4, mentre per quanto attiene la loro collocazione si può osservare quanto segue:

1. la posizione della sezione "Quingentole" è illustrata in figura 17; essa è posta nei pressi della località omonima, a circa 522 km dalla sorgente del Po. Il luogo è caratterizzato da un'isola di notevoli dimensioni, larga circa 1 km, che divide il corso del fiume in due rami. Partendo dalla sponda sinistra, la sezione taglia l'argine a quota 22.94 m, attraversa una serie di campi, un argine minore a quota 19.62 m, un pioppeto di circa 150 m e raggiunge dopo circa 700 m la riva sinistra del primo ramo di fiume. Dopo circa 1650 m si incontra la sponda sinistra del secondo ramo, che in corrispondenza del livello rilevato si sviluppa per circa 253 m. Il punto terminale della sezione è sull'argine destro a quota 21.33 m. Il fondale è prevalentemente sabbioso. L'andamento del profilo batimetrico rilevato per questa sezione è riportato in figura 18;

Codice stazione	Località	Distanza dalla sorgente (km)	Zero idrometrico (m s.l.m.)
90	QUINGENTOLE	522.0	
91	CASELLE	524.0	
	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

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

2. la posizione della sezione “Caselle” è illustrata in figura 19; essa è posta a circa 524 km dalla sorgente del Po, delimitata in sponda sinistra dalla località Caselle ed in sponda destra da Corte Colombara, e si sviluppa per 2676 m. Partendo dalla sponda sinistra, la sezione taglia l’argine a quota 22.30 m, attraversa un pioppeto di circa 260 m, un tratto di circa 430 m di terreno piano ed un secondo pioppeto di circa 700 m, ad una quota di 14.67 m e raggiunge dopo circa 1616 m la riva sinistra. In corrispondenza del livello rilevato, apri a 9.63 m, l’alveo si sviluppa per 290 m. Dopo la riva destra, si incontra un tratto di terreno di 300 m, un argine minore a quota 17.69 m e dopo 290 m l’argine maestro a quota 21.93 m. Il fondale è sabbioso a grana grossa o con piccoli ciottoli. L’andamento del profilo batimetrico rilevato per questa sezione è riportato in figura 20;
3. la posizione della sezione “Revere” è illustrata in figura 21; 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. Si sviluppa per 456 m, partendo dall’argine sinistro a quota 20.38 m, con una riva alzaia a quota 14.15 m ed una spiaggetta. Con un livello di 8.08 m, il pelo libero dell’acqua si situa a 86 m dall’argine, con una larghezza del fiume di 336 m, a ridosso dell’argine destro, posto ad una distanza di 30 m. Il fondale è sabbioso a grana grossa o con piccoli ciottoli. L’andamento del profilo batimetrico rilevato per questa sezione è riportato in figura 22;
4. le sezioni denominate “Ostiglia A”, “Ostiglia B”, “Ostiglia C” ed “Ostiglia D” sono collocate nel tratto di fiume ad una distanza tra i 531 km ed i 533 km dalla sorgente, in corrispondenza del tratto meridionale dell’isola Boschina, come riportato nelle figure 23 e 25. La sezione “A” è posta a 531 km dalla sorgente, è ubicata in corrispondenza della punta meridionale dell’isola Boschina ma è stata rilevata solo in condizioni di forte magra, per cui non viene considerata ai fini del presente studio, mancando dei rilievi per livelli maggiori. Le sezioni “B” e “C” sono poste qualche centinaio di metri a monte, rispettivamente sul ramo destro e sul ramo sinistro del fiume, e per esse si dispone di dati per diversi livelli del fiume. Va però considerato che il ramo sinistro è caratterizzato dalla presenza di una strada che collega la riva destra all’isola in corrispondenza della punta settentrionale, che rappresenta uno sbarramento in condizioni di magra, mentre viene sommersa dall’acqua in condizioni di morbida e di piena. La sezione “C” non è perciò considerata in regime di magra. La sezione “D” è

invece collocata più a valle e consente misure in qualsiasi regime di portata. L'andamento del profilo batimetrico rilevato per queste sezioni è riportato nelle figure 24 e 26;

5. la posizione della sezione "*Carbonarola*" è illustrata in figura 27; essa è posta a 544.5 km dalla sorgente del Po, in corrispondenza dell'abitato di Bariano in riva sinistra e di Carbonarola in riva destra. Per essa sono disponibili numerosi rilevamenti in quanto in corrispondenza di essa è presente l'attraversamento del metanodotto. Il fondale è prevalentemente sabbioso. L'andamento del profilo batimetrico rilevato per questa sezione è riportato in figura 28;
6. la posizione delle sezioni "*Sermide A*", "*Sermide I*" e "*Sermide P*" è illustrata in figura 29. La sezione "A" è posta a 548 km dalla sorgente, poche centinaia di metri a valle della Centrale ora di proprietà Edipower SpA e poche centinaia di metri a monte del ponte stradale che unisce Sermide a Castelmassa. La sezione "I" è posta poche decine di metri a valle della precedente, in corrispondenza dell'idrometrografo di Sermide, mentre la sezione "P" è posta a ridosso del ponte precedentemente citato. In tutto questo tratto di fiume le sponde si presentano molto elevate su entrambi i lati, con rive pressoché parallele. L'andamento del profilo batimetrico rilevato per le diverse sezioni è riportato nelle figure 30÷32 rispettivamente.

Il problema che si presenta esaminando i profili batimetrici rilevati per ciascuna sezione è che essi sono relativi a diversi livelli assoluti del fiume, seppur riportati a quote omogenee sul livello del mare, perché presi in date differenti; ma il dominio di calcolo necessario per effettuare la simulazione numerica fa ovviamente riferimento ad un unico livello del fiume, trattandosi di una simulazione con riferimento ad una condizione ben precisa di portata. Ne consegue che è necessario effettuare una qualche forma di normalizzazione del livello del fiume, rispetto al quale standardizzare poi i valori di profondità del letto misurati nelle diverse sezioni. Come già anticipato in precedenza, il presente studio considera tre diversi livelli del fiume, rispettivamente in regime di magra, di morbida e di piena normale, che in corrispondenza dello scarico della centrale fanno riferimento ai valori di 8.3 m, 11.2 m e 17.2 m s.l.m.m. rispettivamente; poiché dai dati rilevati dalle carte tecniche regionali [19] e dai rilievi del Magistrato del Po [21] risulta per il tratto di fiume interessato una pendenza media pari all' 1%, ne consegue che i valori corrispondenti di livello all'idrometro di Sermide, che viene assunto come riferimento, saranno pari rispettivamente a 6.4 m, 9.3 m

e 15.3 m s.l.m.m., che a loro volta consentono la determinazione del livello rispetto allo zero idrometrico, posto a Sermide a 5.44 m s.l.m.m.. Di conseguenza, adottando questo criterio, i profili batimetrici possono essere resi coerenti in tutte le sezioni in quanto i relativi profili possono essere “tagliati” in corrispondenza di tale valore di riferimento.

A partire dai profili batimetrici normalizzati come sopra descritto, il codice SWEET 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 nell'alveo, come l'isola Bianchi in prossimità di Carbonarola. Per quanto riguarda il tratto di fiume oggetto del presente studio, l'andamento batimetrico generato a partire dalle sezioni sopra descritte è riportato nelle figure 33÷35 per i tre livelli di magra, medio e di piena rispettivamente.

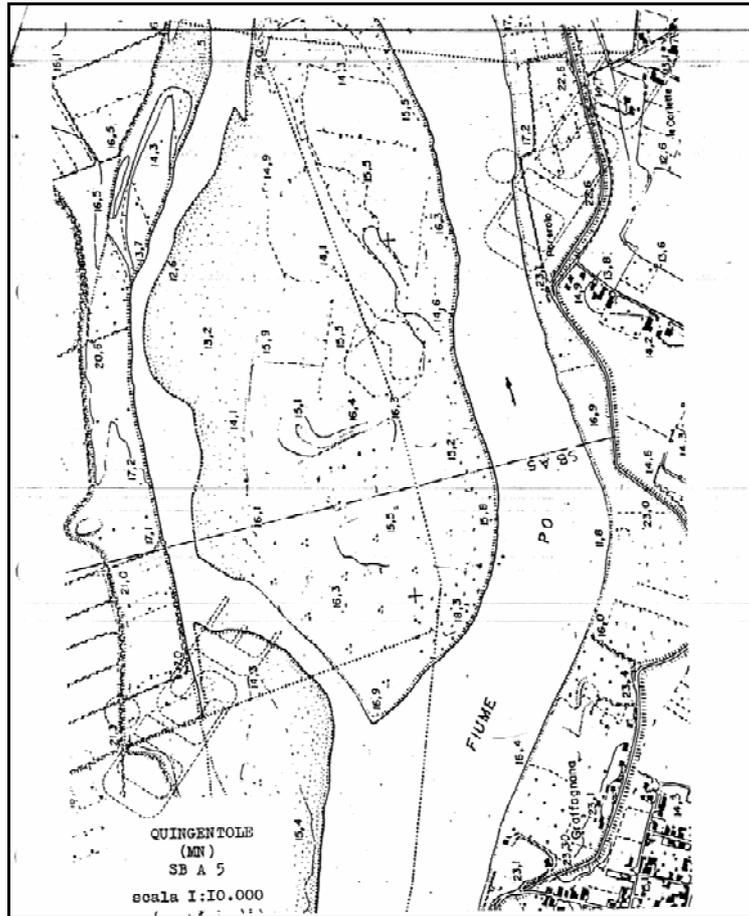


Figura 17 - Posizione della sezione "Quingentole"

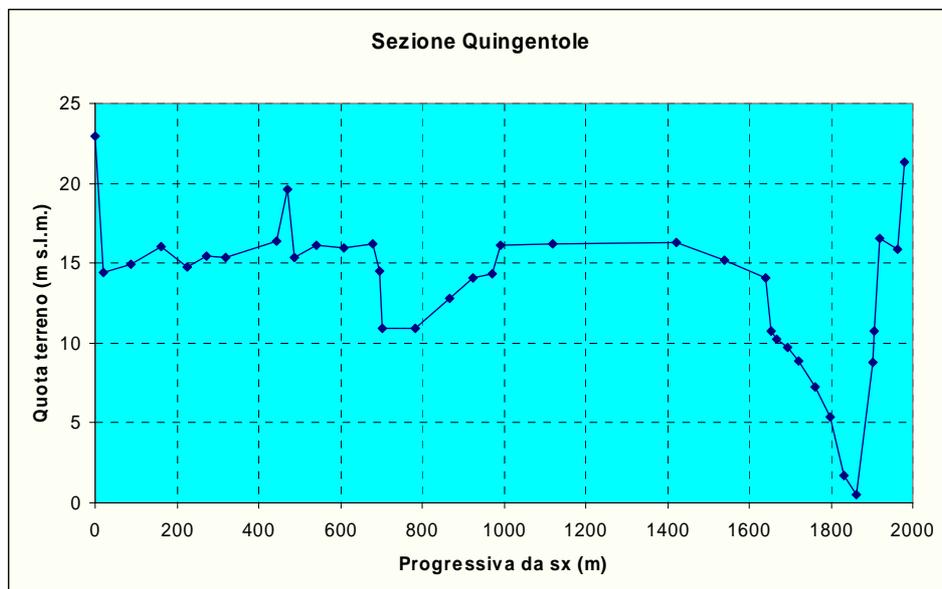


Figura 18 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Quingentole"

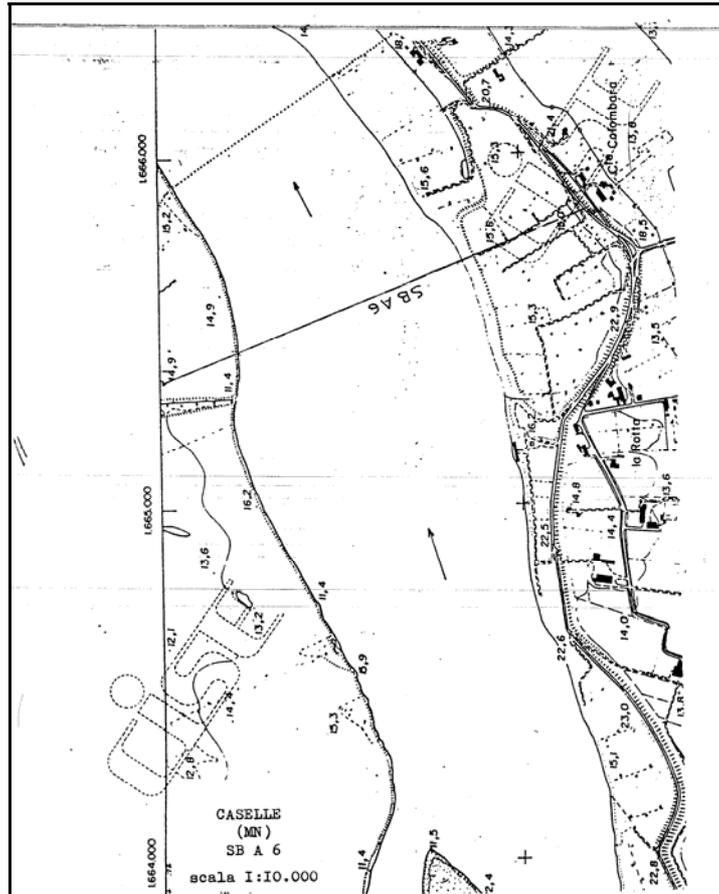


Figura 19 - Posizione della sezione "Caselle"

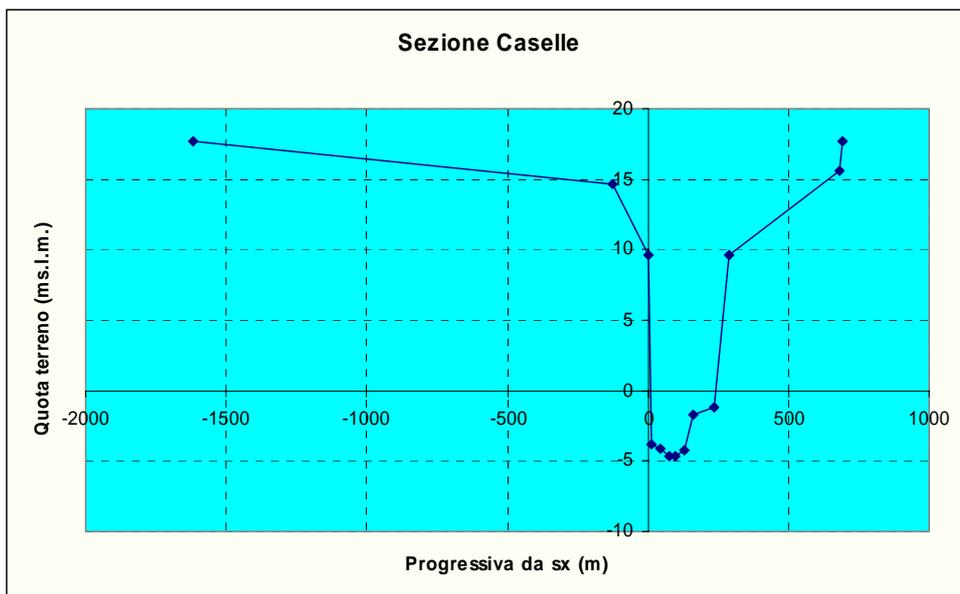


Figura 20 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Caselle"

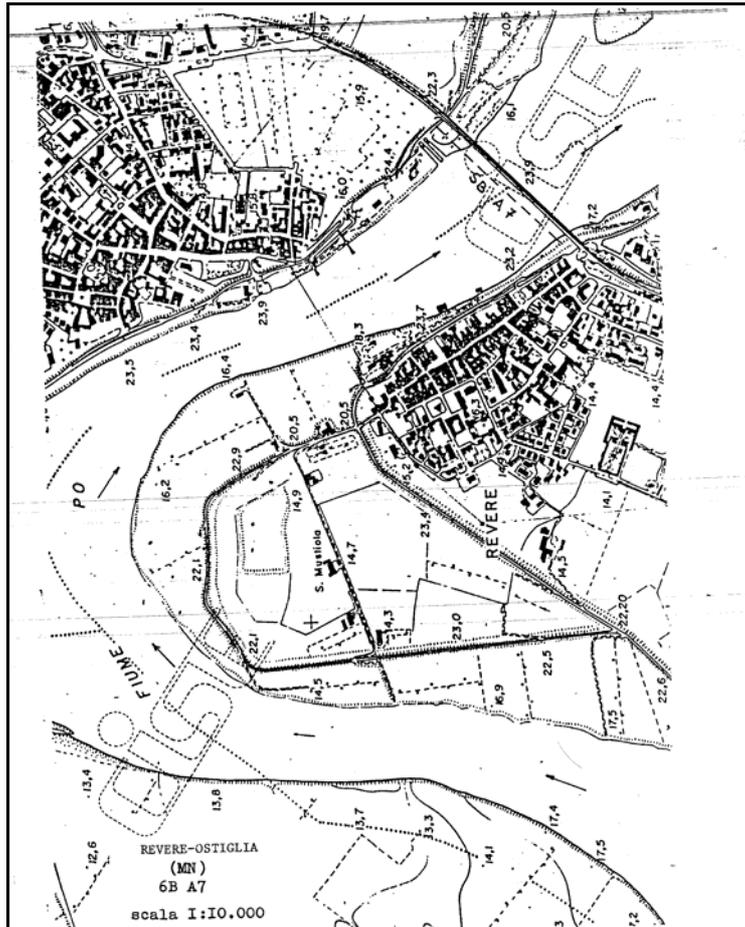


Figura 21 - Posizione della sezione "Revere"

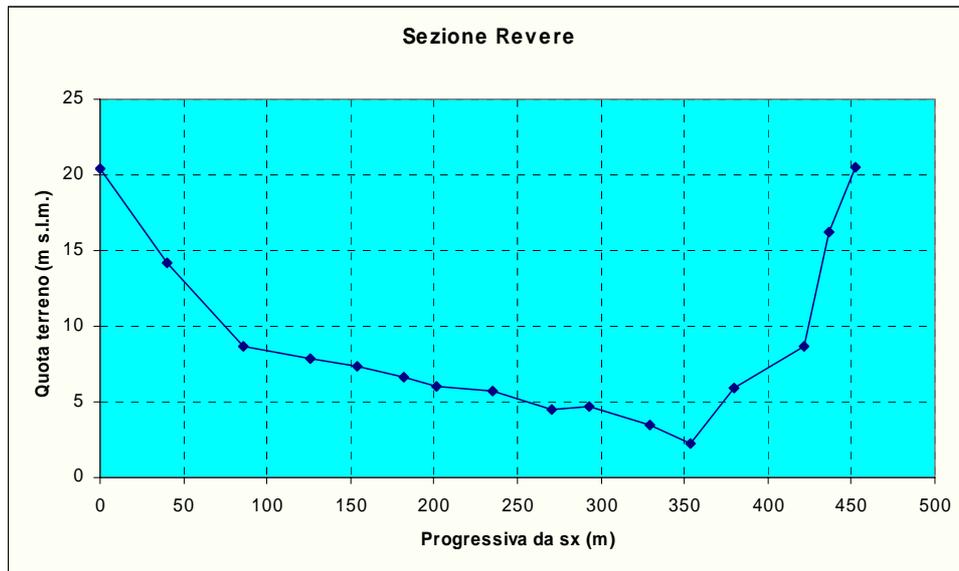


Figura 22 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Revere"



Figura 23 - Posizione delle sezioni "Ostiglia A" ed "Ostiglia D"

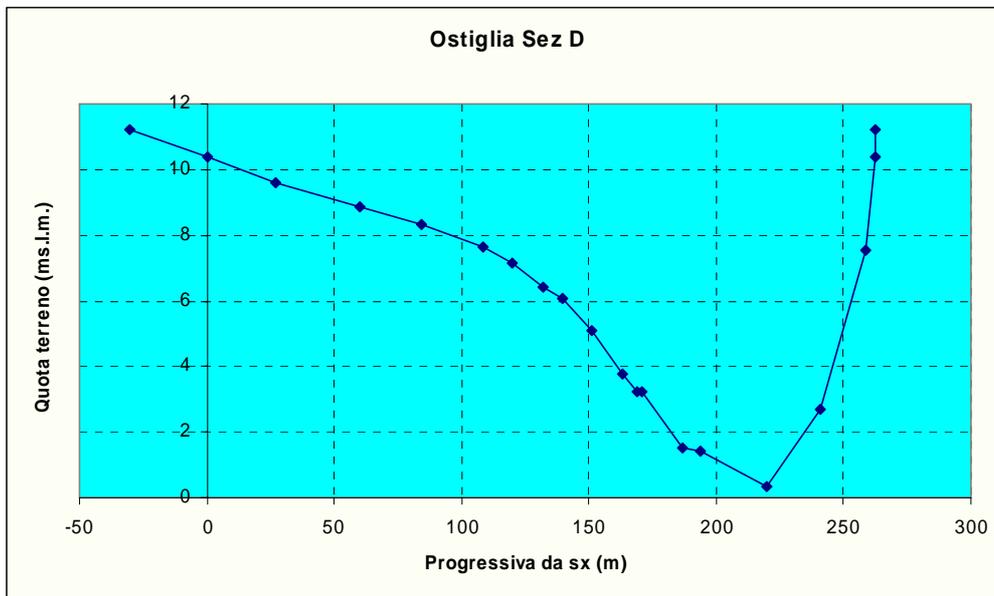


Figura 24 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Ostiglia D"

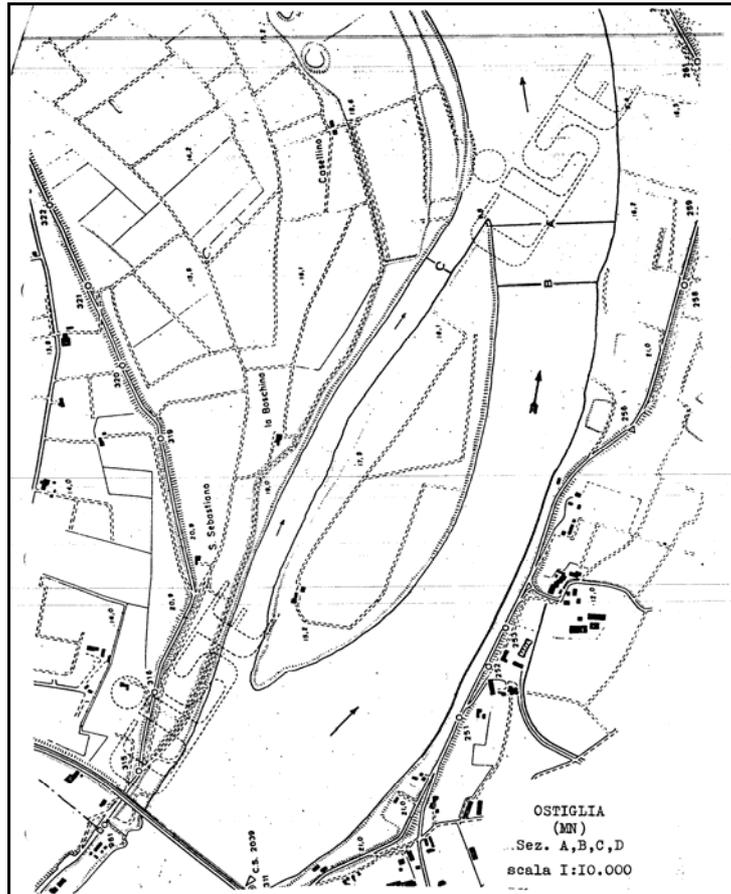


Figura 25 - Posizione delle sezioni "Ostiglia A", "Ostiglia B" ed "Ostiglia C"

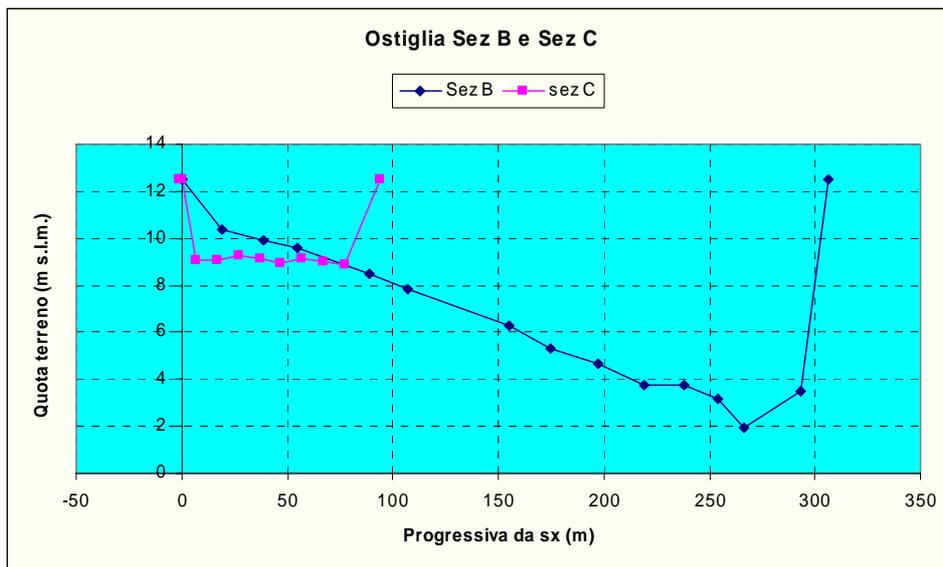


Figura 26 - Profilo batimetrico rilevato per le sezioni "Ostiglia B" ed "Ostiglia C"

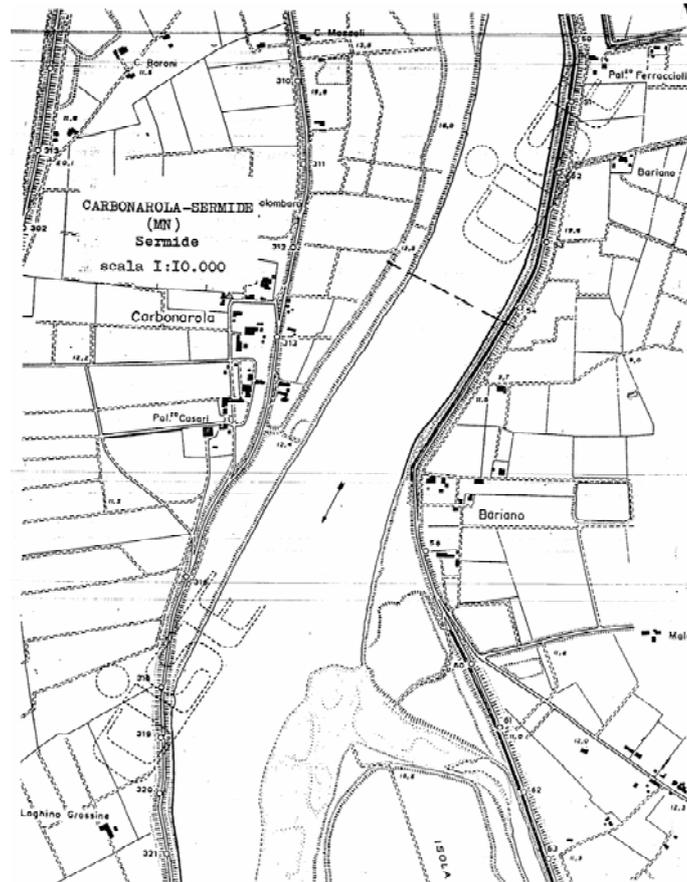


Figura 27 - Posizione della sezione "Carbonarola"

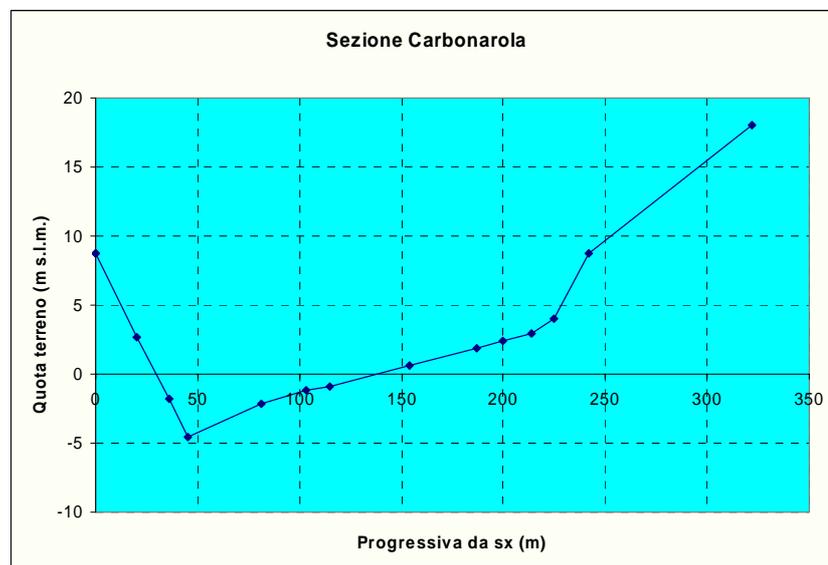


Figura 28 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Carbonarola"

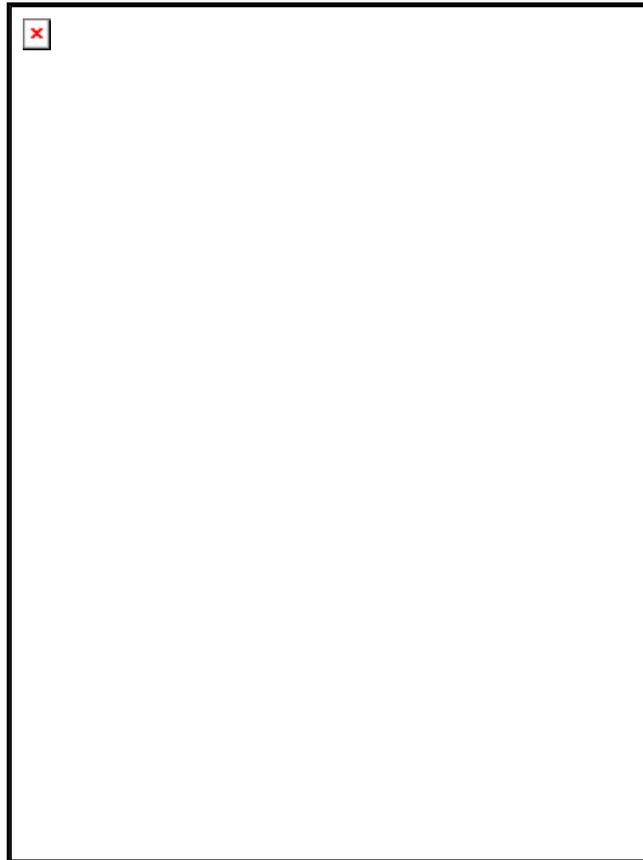


Figura 29 - Posizione delle sezioni "Sermide A ", "Sermide I" e "Sermide P"

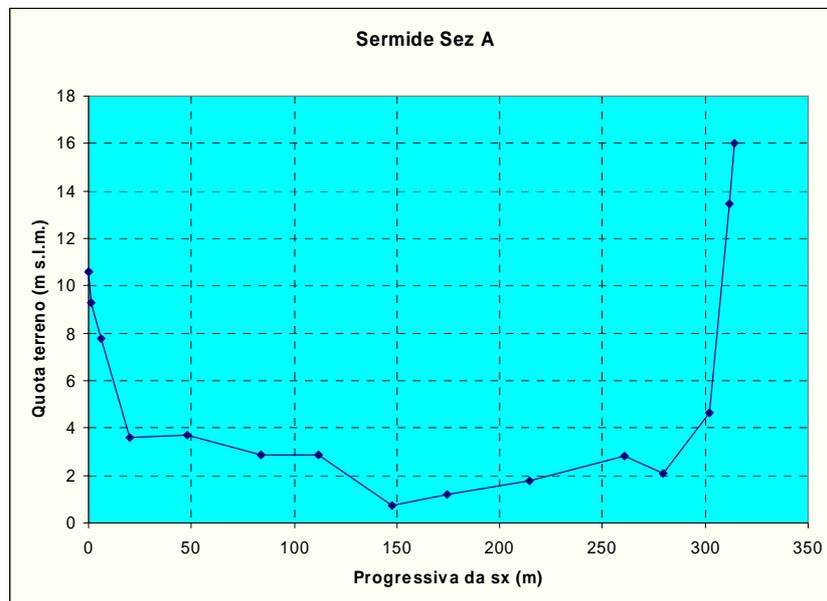


Figura 30 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Sermide A"

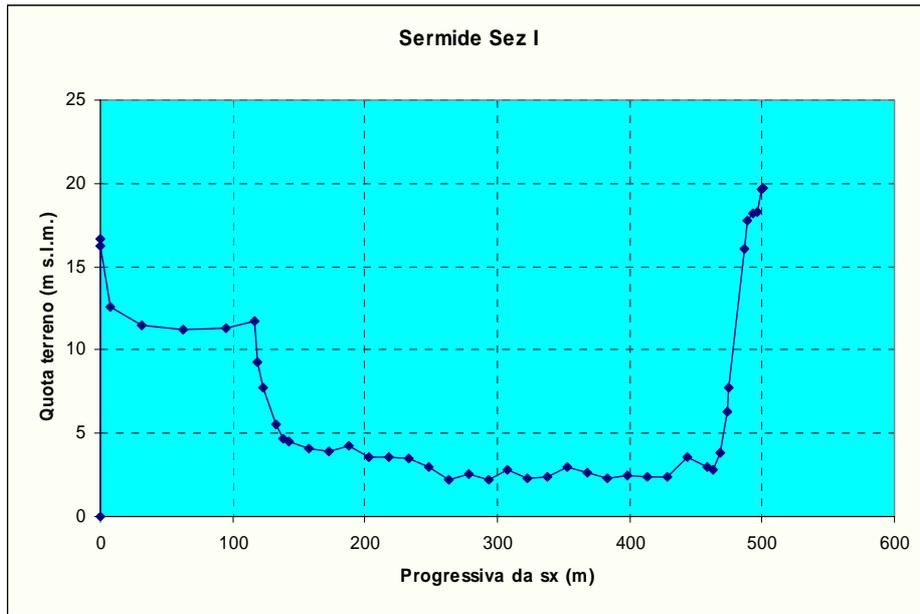


Figura 31 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Sermide I"

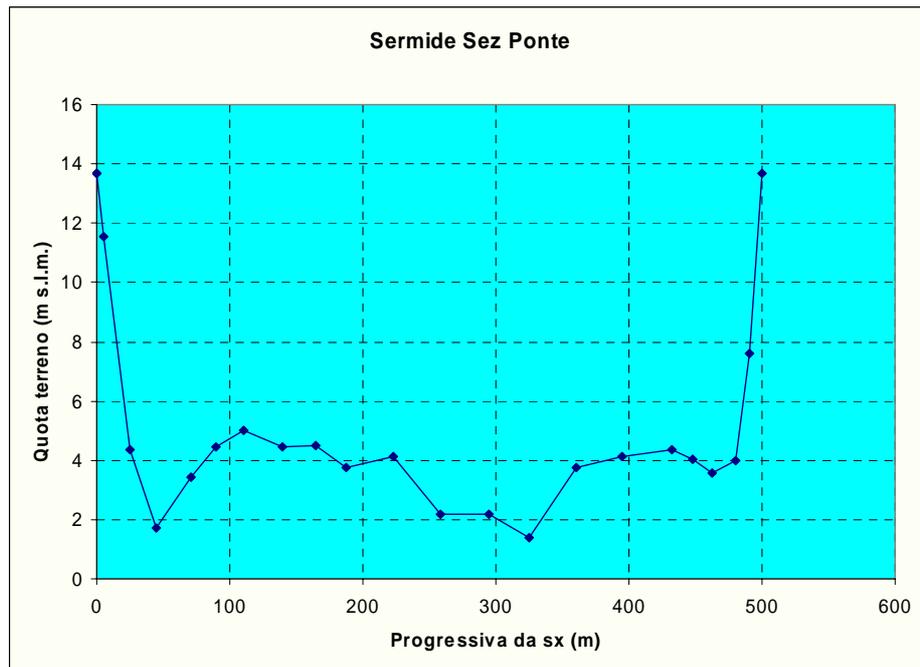


Figura 32 - Profilo batimetrico rilevato per la sezione "Sermide P"

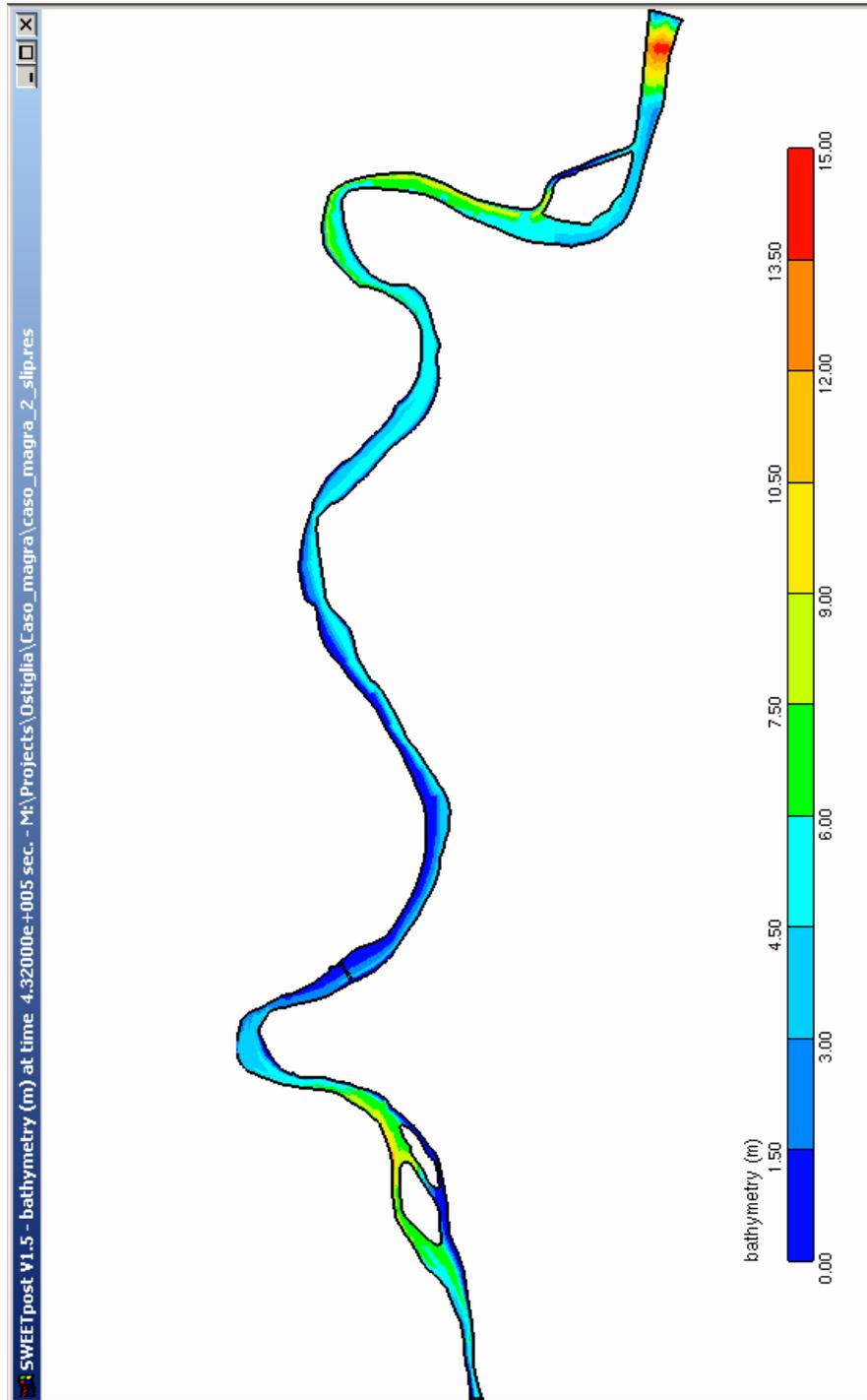


Figura 33 - Andamento della batimetria generato per il livello di magra del fiume

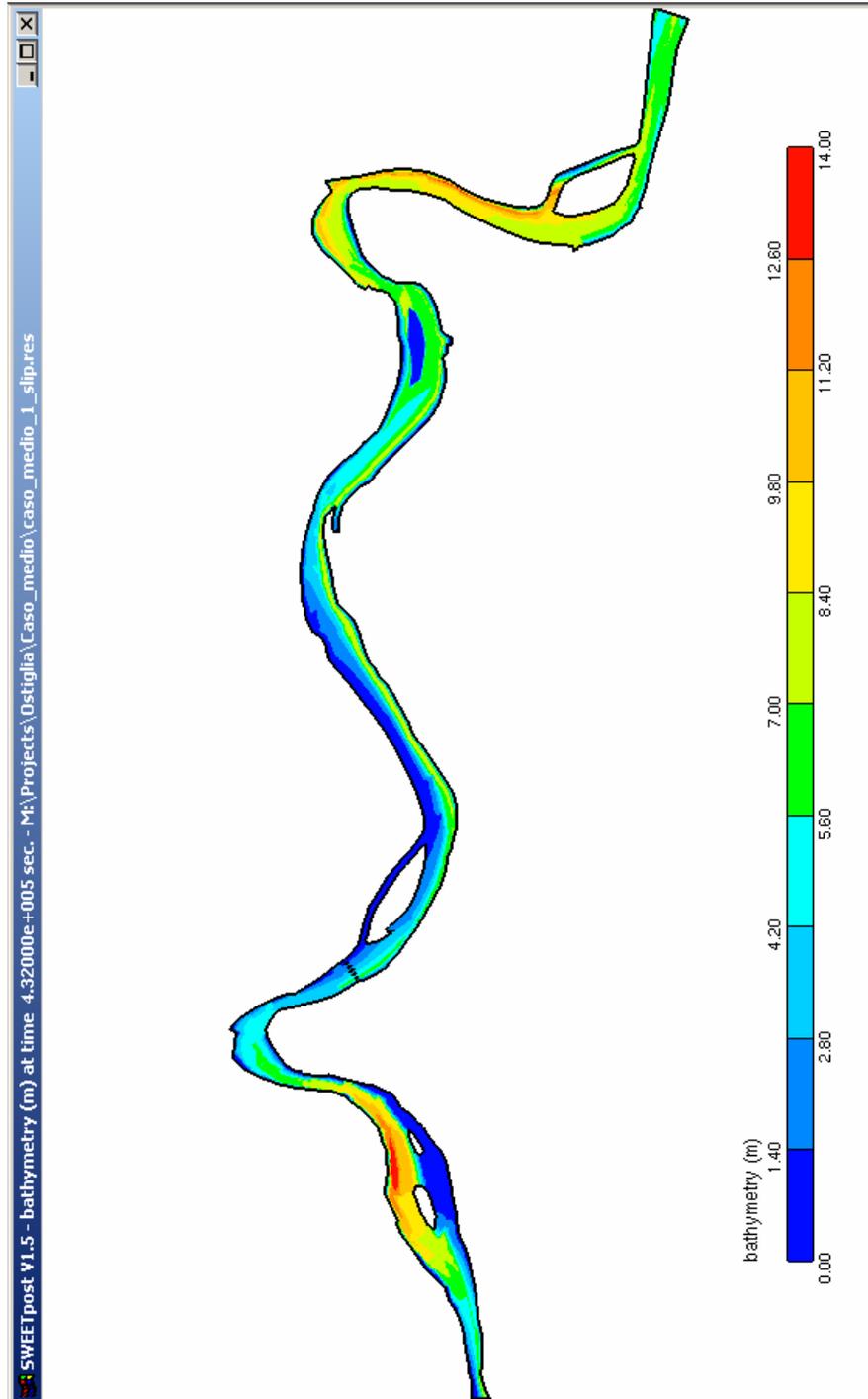


Figura 34 - Andamento della batimetria generato per il livello medio del fiume

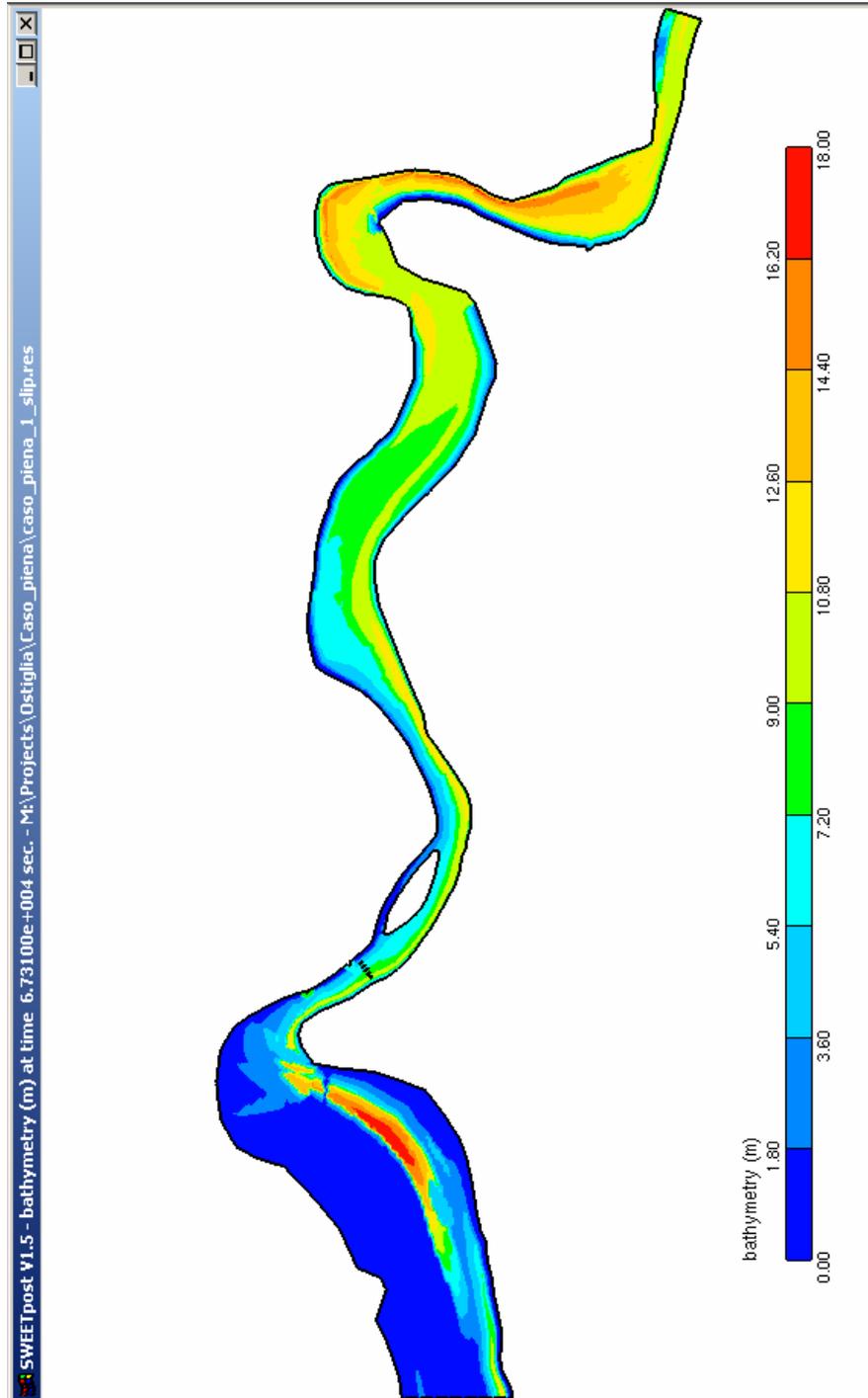


Figura 35 - Andamento della batimetria generato per il livello di piena normale del fiume

2.3.2. DATI RELATIVI AL FLUSSO IDRICO

I dati relativi al flusso idrico hanno lo scopo di fornire tutte le informazioni atte a definire il comportamento nel tempo 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 medio 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 8.3 m, 10.2 m e 17.2 m s.l.m.m., come dai disegni [14] e [18]. 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, nella fattispecie le sezioni "Quingentole" e "Sermide Ponte". In particolare, risulta conveniente fissare il valore del livello del fiume a Sermide ed imporre la portata del fiume alla sezione di Quingentole; 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, sommata alla portata scaricata dalla centrale a Revere, 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:

- a. 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;
- b. dedurre il valore di portata del fiume corrispondente ai valori di livello assunti;
- c. 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 [19] 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 26.2 km, si può ritenere valida una pendenza dell'ordine dell'1%. La correttezza di tale valore è poi confermata dalle misure dell'alveo del fiume riportate nel documento [21] 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, assunta come riferimento, pari a 19 km, i valori di livello a Sermide risulteranno inferiori di 1.9 m rispetto a quelli stimati allo scarico, prossimo a sua volta alla sezione "Revere", e cioè pari a 6.4 m in condizioni di magra, 9.3 m in condizioni di livello medio e 15.3 m in condizioni di piena, sempre riferiti al livello del mare.

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 figura 36. In tale figura sono riportati alcuni dei valori misurati a partire dal 1996 e l'andamento della funzione approssimante, che assume la forma:

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

dove $a = 63.340868$, $b=-2.138535$ e $n=1.983558$, essendo i livelli riportati in figura riferiti allo zero dell'idrometrografo di Sermide, posto a 5.44 m s.l.m.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.

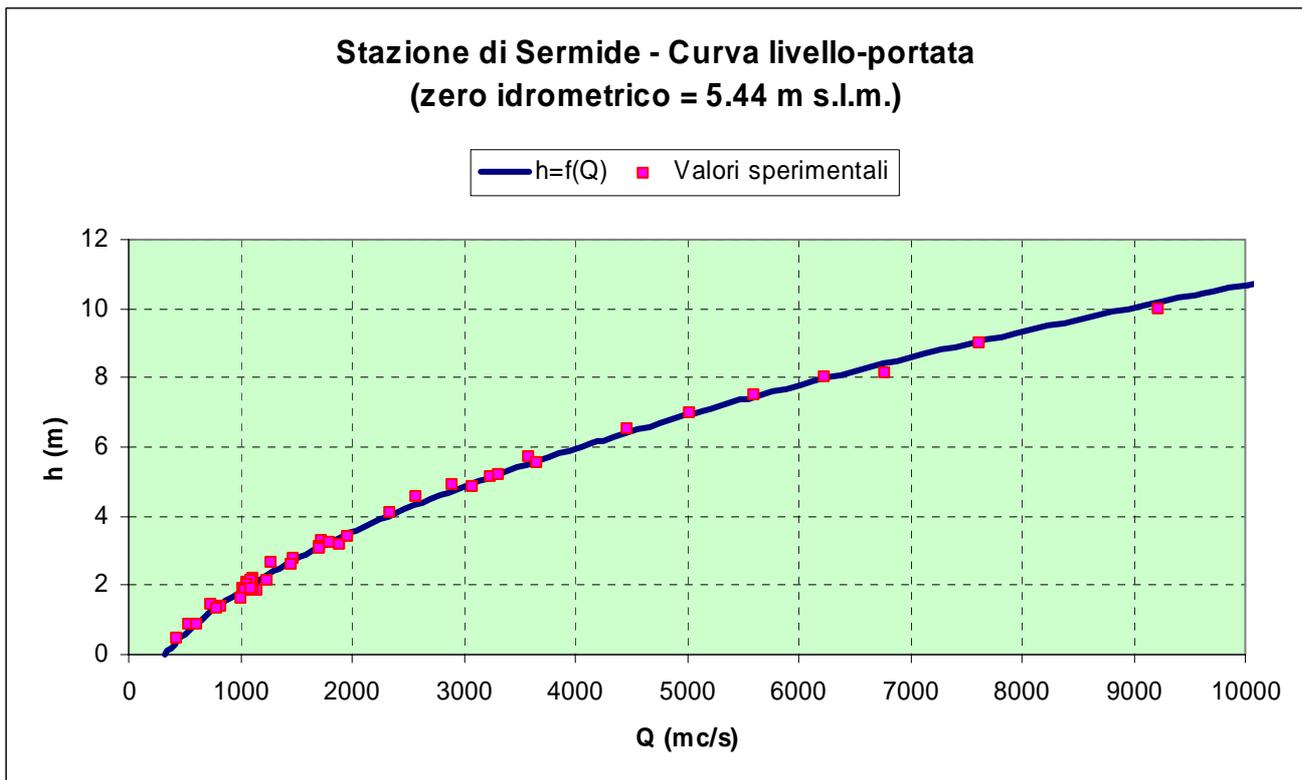


Figura 36 - Scala di deflusso del Po a Sermide

Di conseguenza, assumendo i livelli di magra e medio prima calcolati ed ipotizzando un livello di piena di 13.3 m, le rispettive portate Q assumono i valori:

- *condizioni di magra*, con livello pari a 6.4 m s.l.m.m.: $Q = 645 \text{ m}^3/\text{s}$;
- *condizioni di medio livello*, con livello pari a 9.3 m: $Q = 2253 \text{ m}^3/\text{s}$;
- *condizioni di piena normale*, con livello pari a 13.3 m: $Q = 6500 \text{ m}^3/\text{s}$.

I valori di portata così calcolati verranno imposti alla sezione di ingresso di Quingentole, diminuiti del valore della portata scaricata dalla Centrale.

Per completare il quadro che caratterizza il flusso idrico nelle condizioni studiate, è necessario valutare la frequenza con cui le condizioni ipotizzate si manifestano nel corso dell'anno e se esiste una correlazione tipica stagionale. A tale scopo è stata esaminata in primo luogo la scala delle portate, sempre riferita alla sezione di riferimento di Sermide, riportata in figura 37 per l'anno 1996 e in figura 38 per l'anno 1997, per i quali si hanno gli andamenti più completi grazie a campagne sistematiche e prolungate di misura; i dati comunque presente relativamente ad anni successivi ricalcano con buona approssimazione tali andamenti. Da tali figure si può vedere come la condizioni di magra del fiume al valore della portata scelto è superata per più di 300 giorni all'anno, e quindi

rappresenta un corretto limite inferiore delle condizioni di flusso idrico del fiume. La condizione di medio livello assunta viene viceversa superata in media per più di 100 giorni all'anno, anche se tale valore è fortemente condizionato nei diversi anni; esso rappresenta comunque in modo corretto la condizione media tipica del flusso. Infine, la condizione di piena assunta è superata per pochi giorni all'anno, e spesso non viene raggiunta, per cui rappresenta in modo corretto la condizione di limite superiore per il flusso idrico stesso. Le valutazioni sopra esposte sono confermate dagli andamenti medi giornalieri delle portate, illustrati in figura 39 e figura 40 sempre relative al medesimo periodo, in cui si vede come i valori di portata medi ed alti fluttuano statisticamente in funzione del periodo considerato.

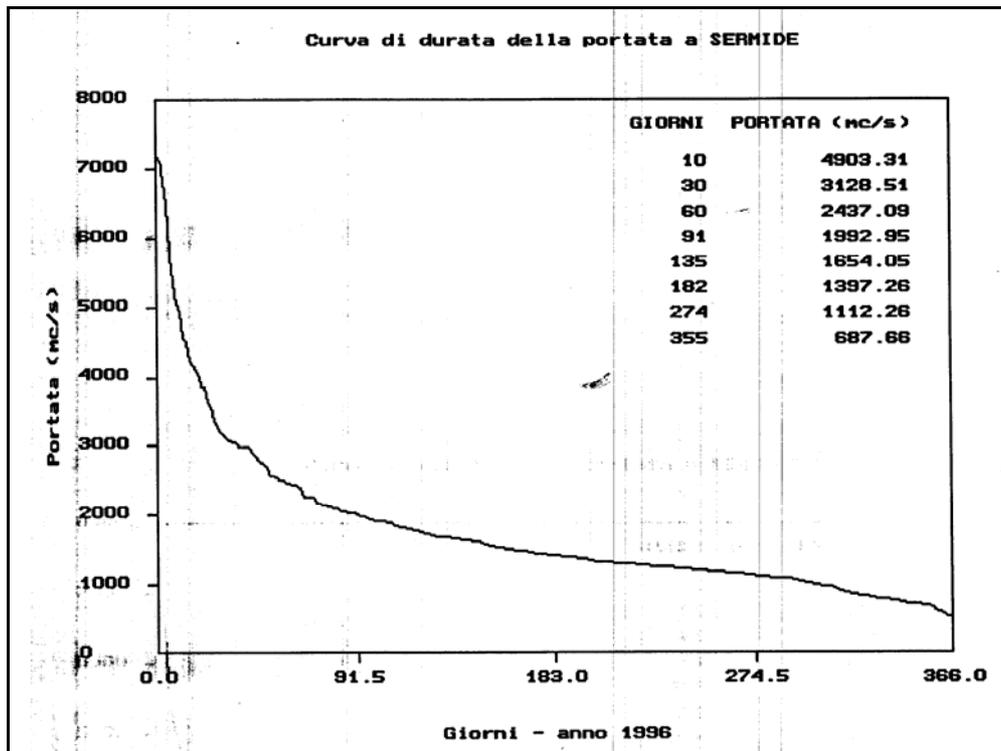


Figura 37 – Scala di durata delle portate del Po a Sermide (1996)

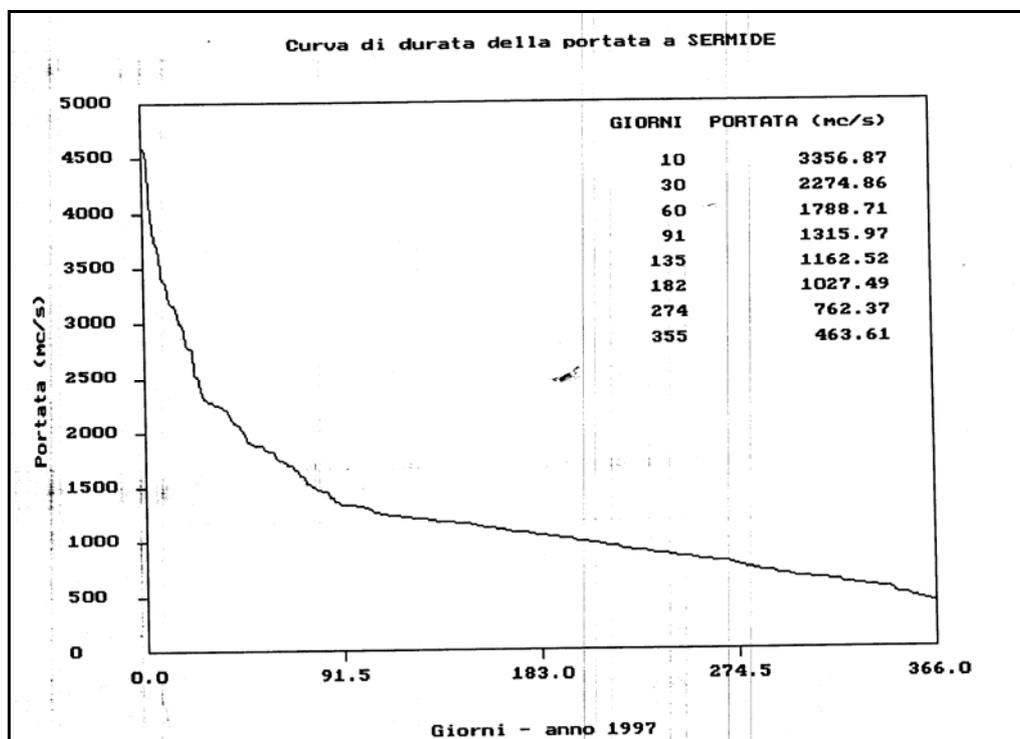


Figura 38 – Scala di durata delle portate del Po a Sermide (1997)

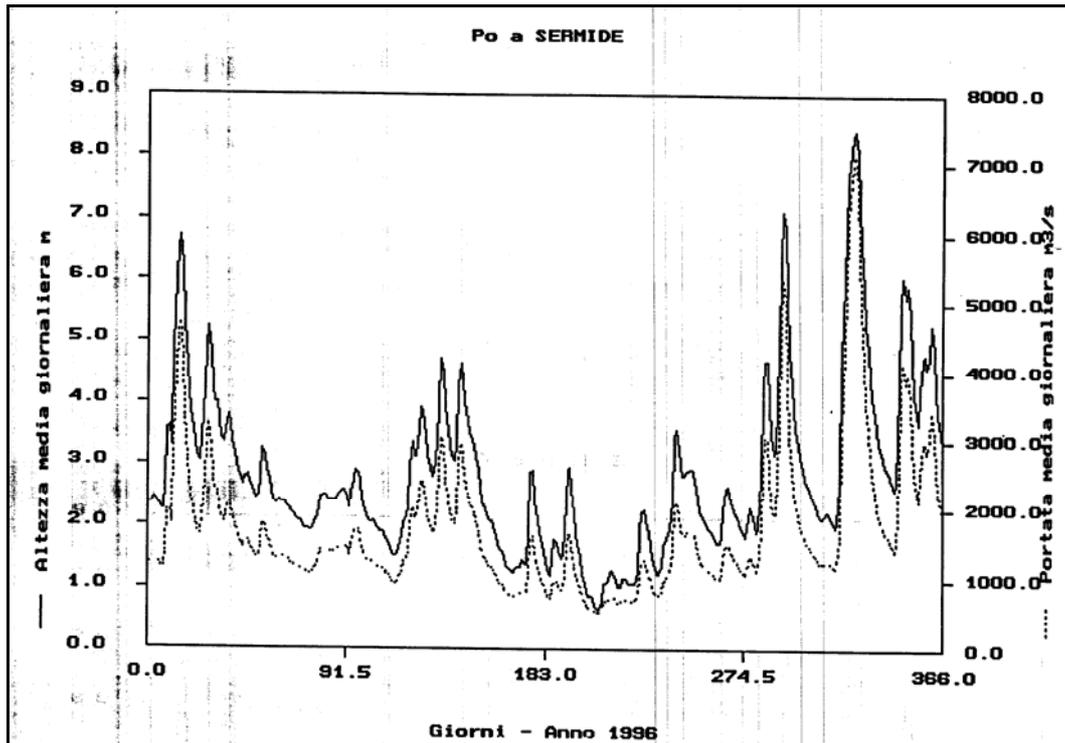


Figura 39 – Andamento medio giornaliero delle portate del Po a Sermide (1996)

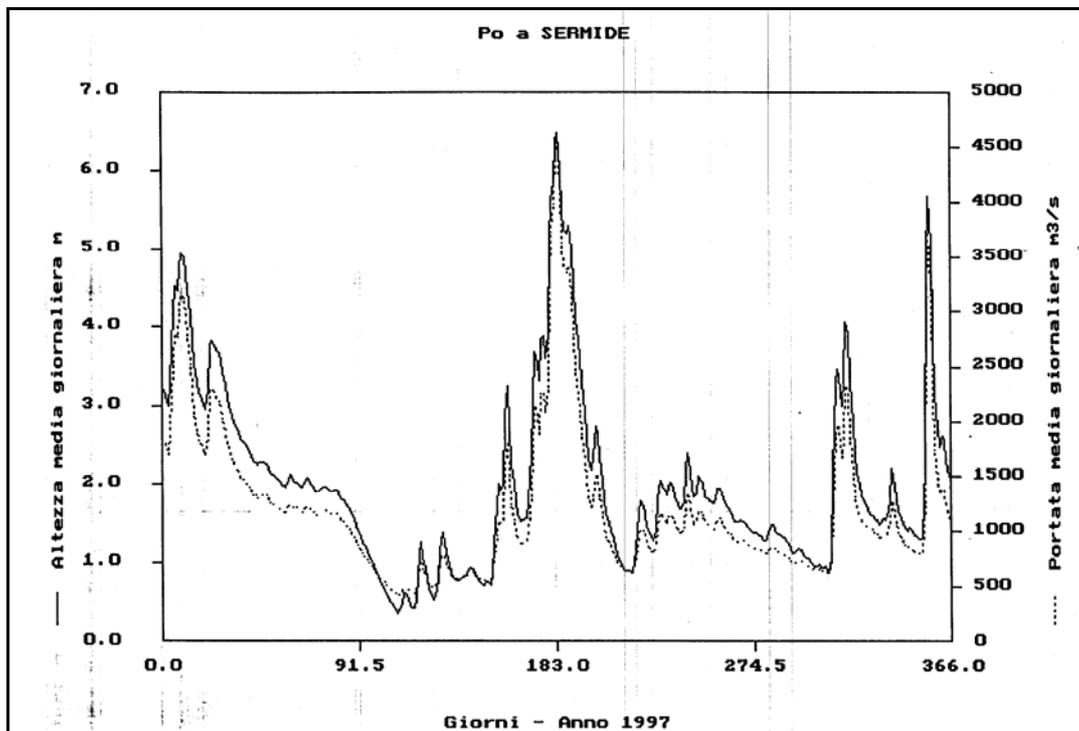


Figura 40 – Andamento medio giornaliero delle portate del Po a Sermide (1997)

2.3.3. DATI RELATIVI ALLE CARATTERISTICHE DEL FONDALE

Per caratterizzare poi il modello numerico dal punto di vista dell'effetto della natura del fondale, occorre caratterizzare l'alveo in riferimento alla tipologia di fondo in quanto influente sul campo di moto che si instaura nel corpo idrico. Dal documento [22] si può dedurre 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 $42 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$; infatti il modello riconosce per tale coefficiente i valori attribuibili ai diversi tipi di fondali per un fiume od un canale a pelo libero riportati in tabella5.

Tipo di fondale	Coefficiente di Gauckler-Strickler
Cemento perfettamente liscio, canale diritto	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

Tabella 5 - Coefficienti di Gauckler-Strickler per i diversi tipi di fondali

2.3.4. DATI RELATIVI ALLE CONDIZIONI DI TEMPERATURA

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 il valore più opportuno da utilizzare nello studio, è stata fatta una analisi delle temperature provenienti da due distinte fonti:

- a. le misure di temperatura fornite dalla Centrale all'ingresso dei condensatori per i gruppi 2 e 4;
- b. 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 figura 41, mentre in figura 42 è riportato l'andamento medio che se ne deduce. I valori minimi si riscontrano nel periodo invernale, da dicembre a marzo, e sono compresi tra 5.5 °C e 8.1 °C, con un valore medio di 7.33 °C; i valori massimi si riscontrano invece in estate, nel periodo tra giugno e settembre, e sono compresi tra 20 °C e 26.6 °C, con un valore medio di 24.8 °C.

Analogamente, è possibile estrarre i valori di temperatura dell'acqua misurati 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, che sono stati poi riportati in figura 43 ed in figura 44 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. Più precisamente, il valore medio invernale è pari a 7.3 °C e quello estivo a 25.2 °C.

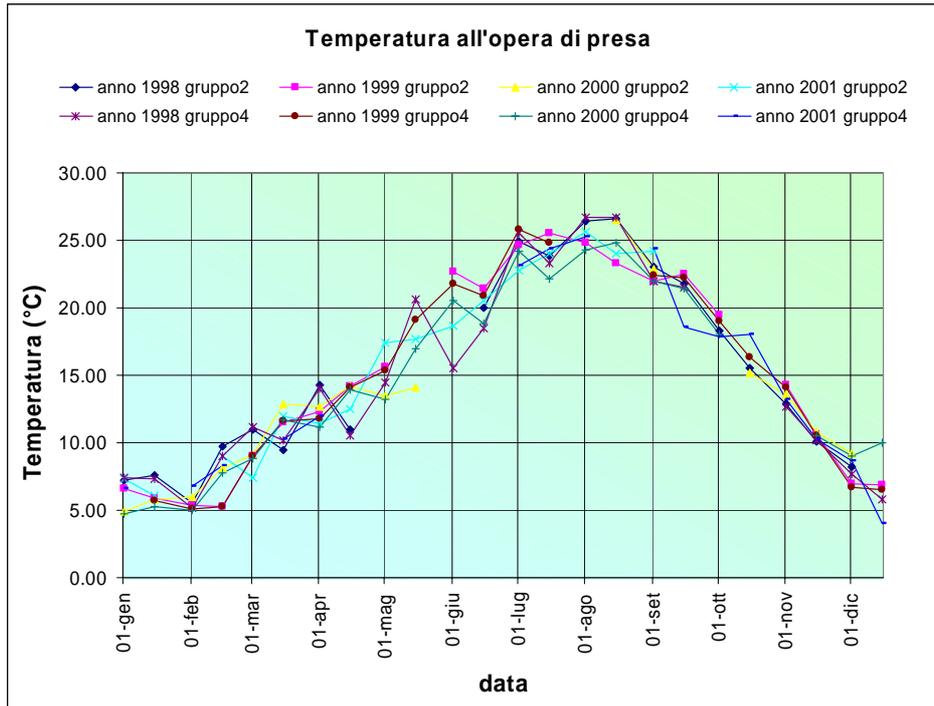


Figura 41 - Valori di temperatura rilevati all'ingresso condensatori

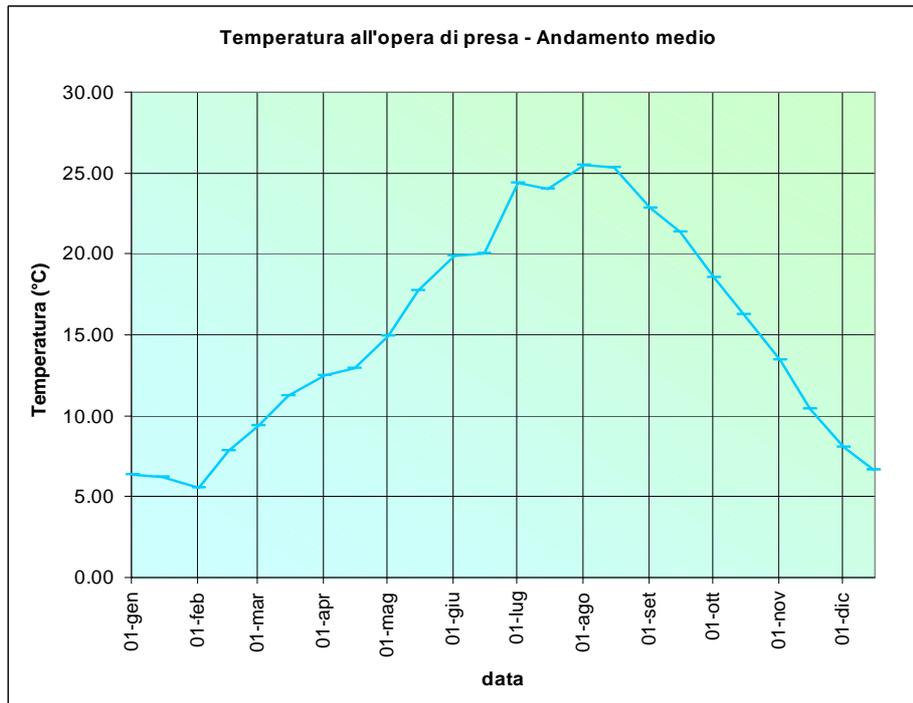


Figura 42 – Andamento medio della temperatura all'ingresso condensatori



Figura 43 - Andamento della temperatura del Po rilevato alla sezione di Ostiglia

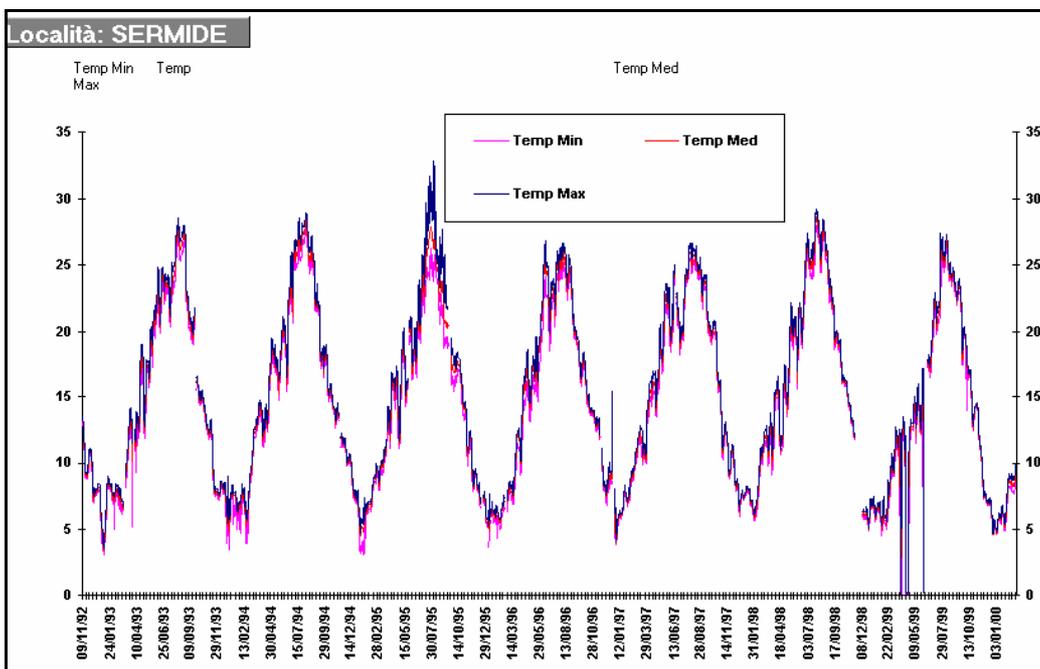


Figura 44 - Andamento della temperatura del Po rilevato alla sezione di Sermide

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 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, valori che peraltro si riscontrano anche in periodi primaverili e soprattutto autunnali, quando è più probabile una situazione di piena.

2.3.5. 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 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) [28]; in essa sono raccolti i dati di 185 stazioni meteorologiche dell'Aeronautica e di alcune stazioni poste presso alcune centrali Enel. Tale banca 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.m.), in quanto situata a poche decine di km 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:

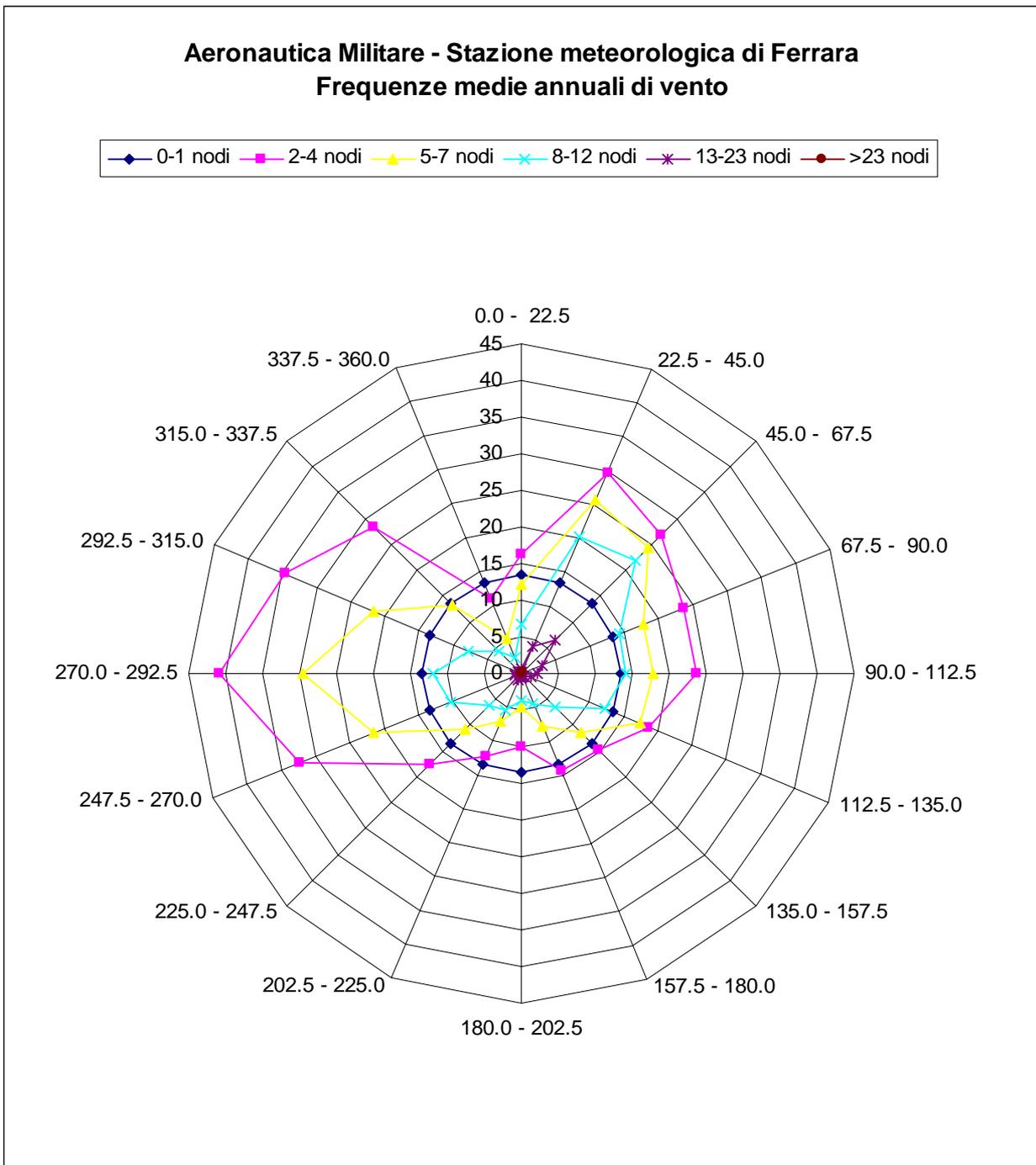
- frequenze annuali;
- frequenze stagionali (primaverili, estive, autunnali e invernali).

Nella tabella 6 sono riportate le frequenze del vento al suolo valutate per Ferrara su base annuale; riprodotte poi in formato di grafo radar in figura 45. L'esame dei dati ivi riprodotti, tenendo conto che 1 nodo è pari ad una velocità del vento di 0.51444 m/s, 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 (e quindi a 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 sono il 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 della superficie dell'acqua. A questo proposito, però, va ricordato che il modello numerico valuta non tanto lo scambio termico in assoluto, quanto il "raffreddamento" differenziale subito dal pennacchio caldo rispetto al corpo idrico imperturbato, che quindi dipende dalla differenza di temperatura tra pennacchio e fiume imperturbato. Poiché questo valore nel caso della Centrale di Ostiglia non supera i 10 °C (Tab. 1), 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 W/m² °C.

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

Tabella 6 - Direzione e velocità del vento su base annuale a Ferrara



Fi

Figura 45 - Andamento delle frequenze del vento su base annuale a Ferrara

2.3.6. DEFINIZIONE DELLA SCHEMATIZZAZIONE NUMERICA

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 corrente 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 al futuro assetto della Centrale, valutati anche in confronto con la situazione attuale. 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 verranno illustrati i passaggi che hanno condotto alla definizione del modello di simulazione numerica e degli scenari di analisi.

Definizione delle condizioni 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 prevedono l'assetto riportato in tabella 1.

Per quanto riguarda il secondo punto, avendo i parametri caratterizzanti i corpi idrici una forte dipendenza dal flusso idrico, in termini di portata e di livello, sono stati individuati tre distinte condizioni, corrispondenti ai livelli di magra, medio e di piena del fiume già ampiamente 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 tre distinte situazioni:

1. *Caso_magra_1*, caratterizzato dal livello di magra;
2. *Caso_medio_1*, caratterizzato dal livello medio;
3. *Caso_piena_1*, caratterizzato dal livello di piena;

2.4. 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 26 km, dei quali circa 7 km a monte dell'opera di scarico, allo scopo di consentire il pieno sviluppo del campo di moto e di tenere conto in maniera corretta della stretta ansa che il fiume stesso presenta immediatamente prima dell'opera di presa.

Il dominio così individuato è stato poi campionato mediante AutoCAD allo scopo di definirne i contorni e la localizzazione delle opere di scarico e di presa da considerare; queste informazioni sono poi state importate in FEMAP, che ha generato il reticolo di calcolo ad elementi finiti triangolari necessario per il modello numerico. Questa operazione, allo scopo di garantire l'accuratezza dei risultati del calcolo, 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 il ponte tra Revere ed Ostiglia, collocato circa 100 m 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 diversa configurazione dell'alveo bagnato nelle tre situazioni di flusso. In particolare:

- Caso 1: il reticolo di calcolo relativo alle condizioni di magra, generato con il generatore FEMAP, è illustrato in figura 46, e comprende 23153 elementi, formati da 10706 nodi, di cui 6220 lineari. La figura 49 presenta il dettaglio del reticolo di calcolo in corrispondenza dell'opera di scarico, in cui sono evidenziati anche i pilastri del ponte sulla SS 12;
- Caso 2: il reticolo di calcolo relativo alle condizioni di medio livello, generato con il generatore FEMAP, è illustrato in figura 47, e comprende 18163 elementi, formati da 8441 nodi, di cui 4857 lineari. La figura 50 presenta il dettaglio del reticolo di calcolo in corrispondenza dell'opera di scarico, in cui sono evidenziati anche i pilastri del ponte sulla SS 12;
- Caso 3: il reticolo di calcolo relativo alle condizioni di medio livello, generato con il generatore FEMAP, è illustrato in figura 48, e comprende 19436 elementi, formati da 9250 nodi, di cui 5091 lineari. La figura 51 presenta il dettaglio del reticolo di calcolo in corrispondenza dell'opera di scarico, in cui sono evidenziati anche i pilastri del ponte sulla SS 12.

Dall'esame delle figure sopra citate si nota molto bene 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 scoperta e la sezione efficace di scarico è arretrata rispetto alla linea bagnata a riva destra, in condizioni di livello medio essa si trova a filo della corrente, mentre in condizioni di piena l'opera di scarico è parzialmente sommersa e la sezione efficace di scarico è anch'essa sommersa.

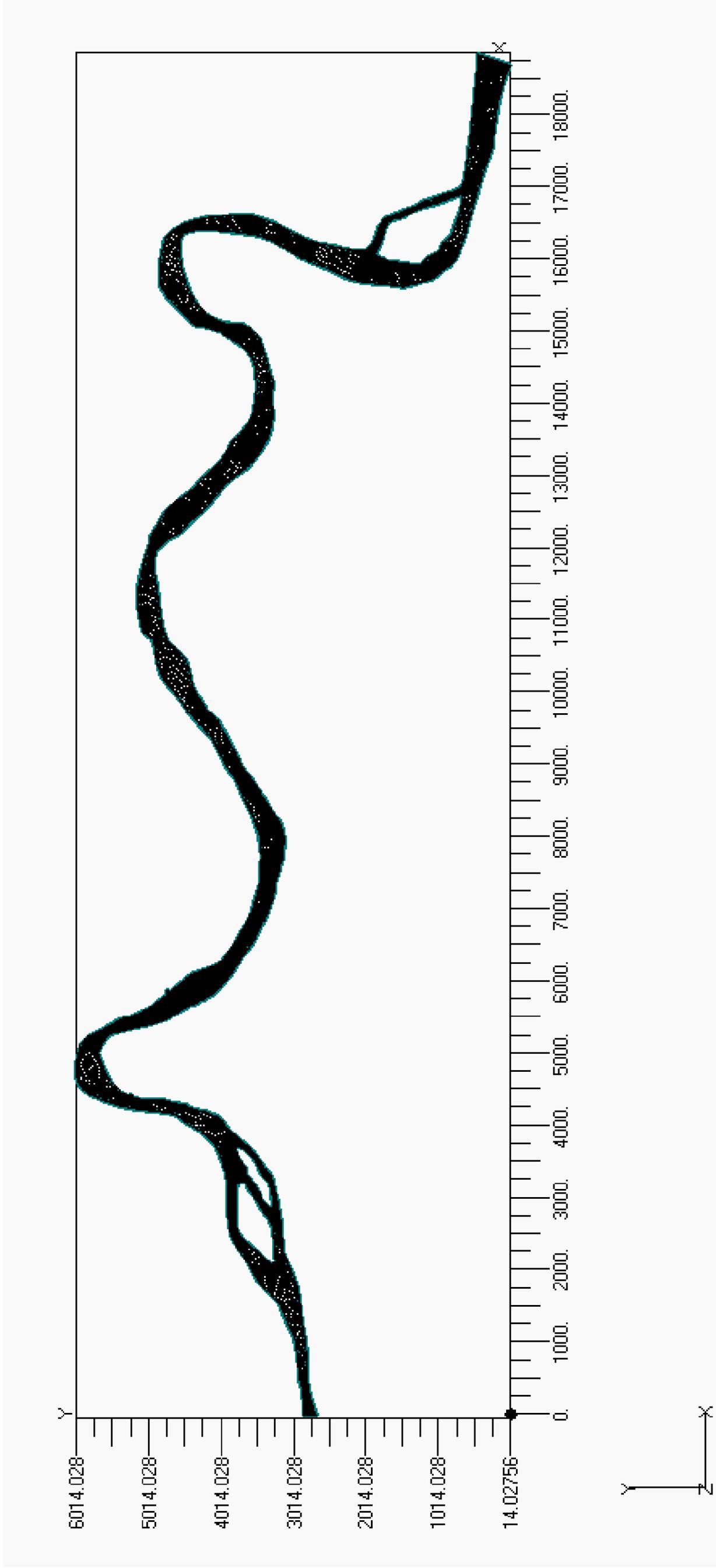


Figura 46 - Reticolo di calcolo per il codice Sweet nelle condizioni di magra

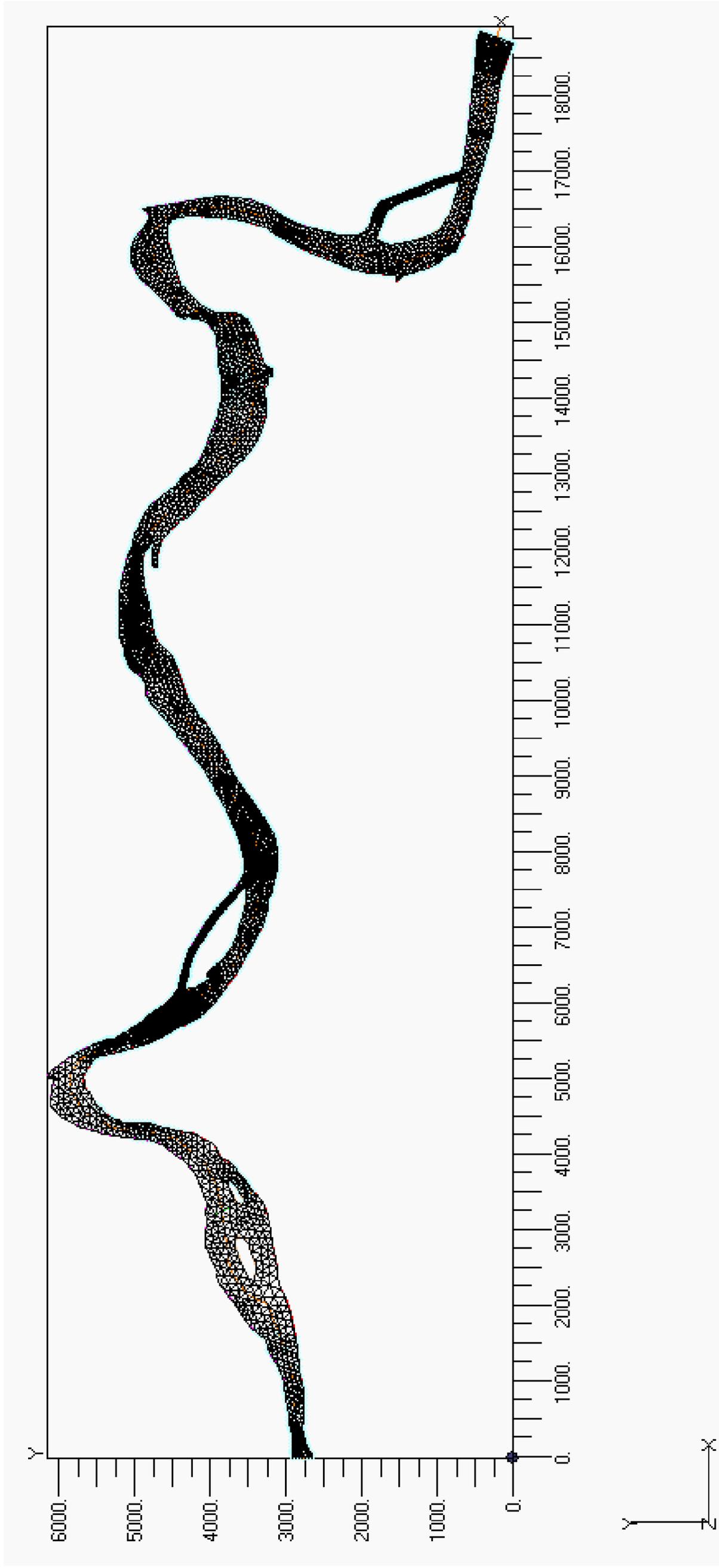


Figura 47 - Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di livello medio

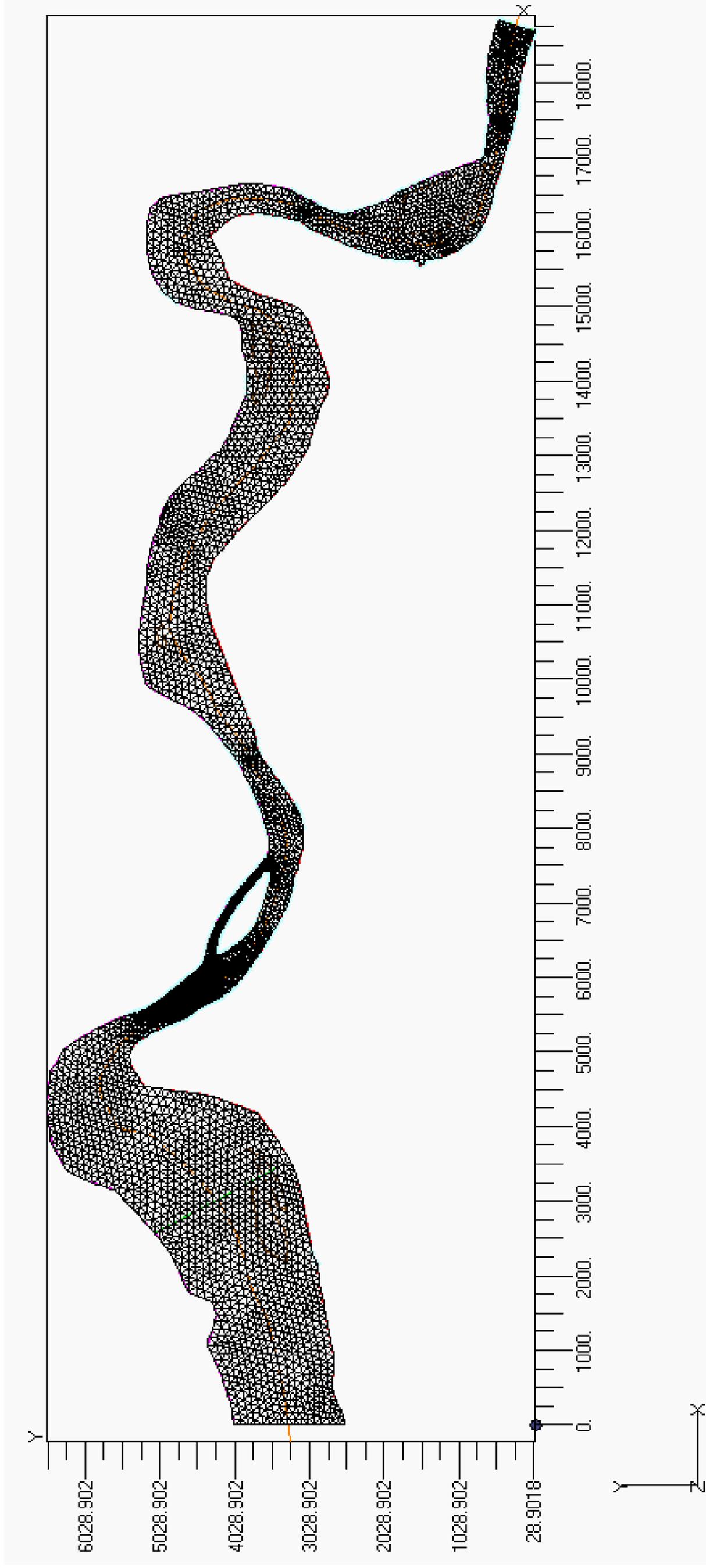


Figura 48 - Reticolo di calcolo per il codice SWEET nelle condizioni di piena

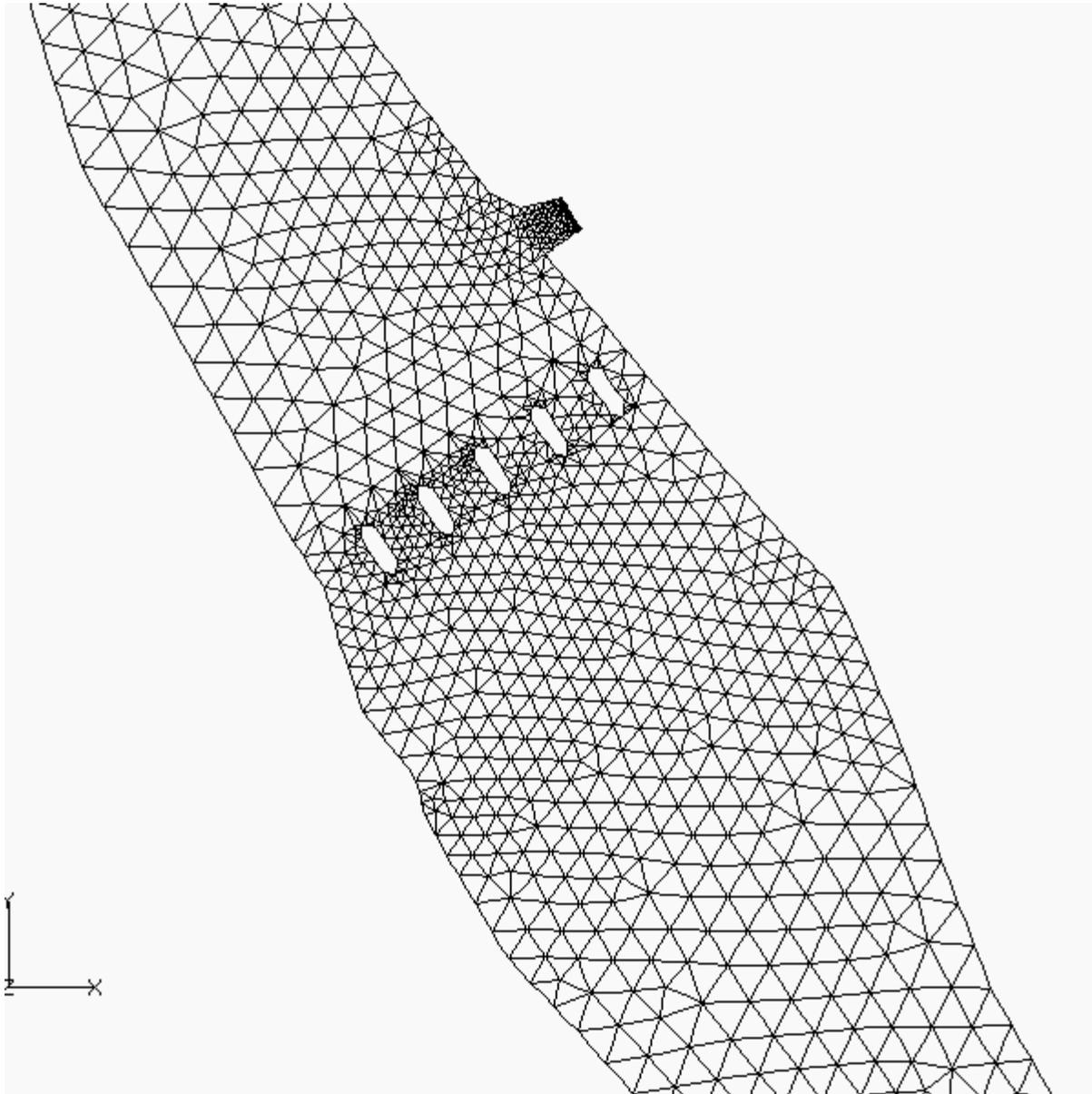


Figura 49 - Reticolo di calcolo per il codice Sweet nelle condizioni di magra.

Particolare della zona di scarico

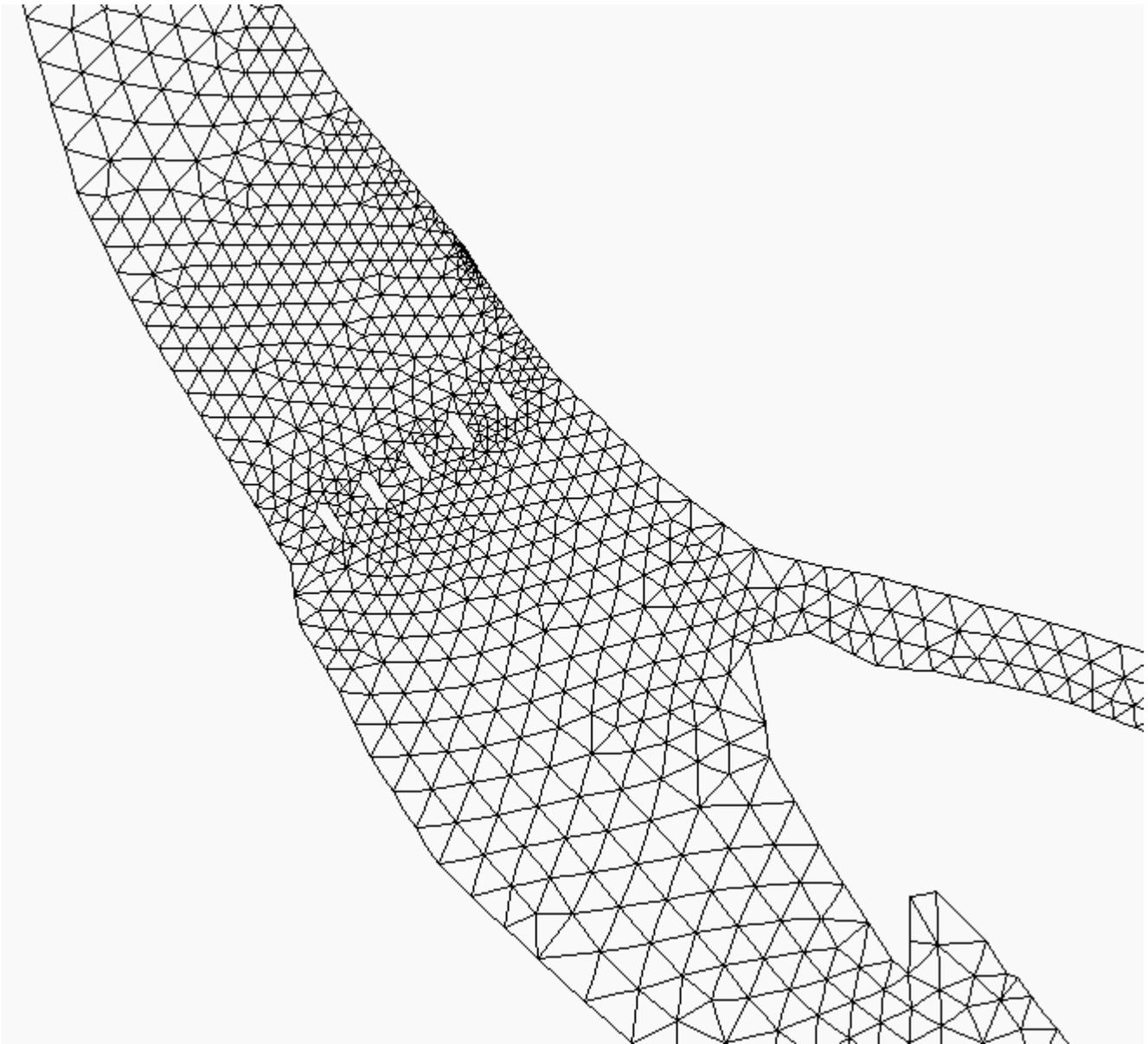


Figura 50 - Reticolo di calcolo per il codice Sweet nelle condizioni di livello medio.
Particolare della zona di scarico

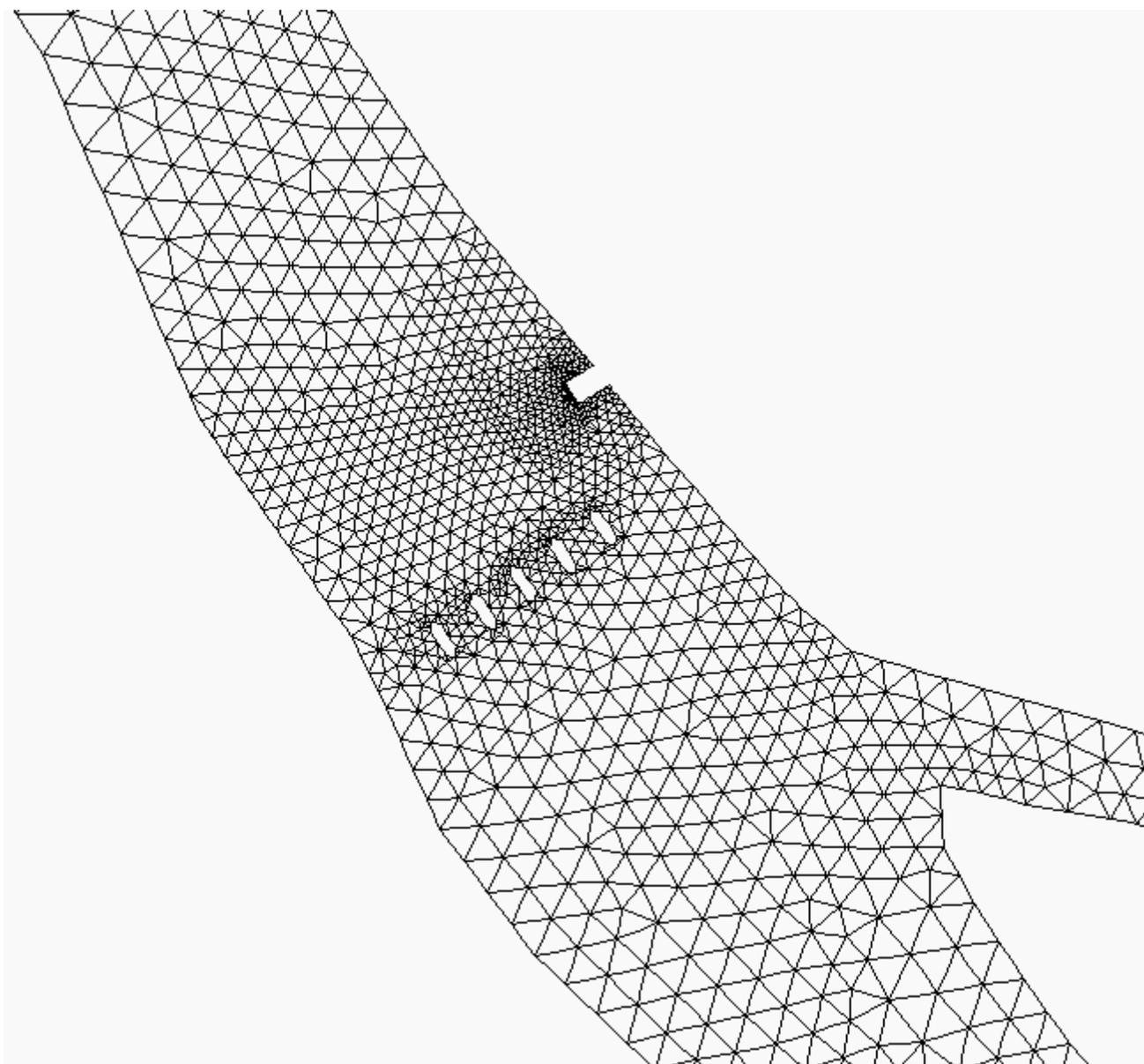


Figura 51 - Reticolo di calcolo per il codice Sweet nelle condizioni di piena.
Particolare della zona di scarico

Condizioni iniziali e condizioni al contorno

Infine occorre definire le condizioni iniziali e le condizioni al contorno da adottare nella simulazione numerica. 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 dell'acqua in tutto il dominio posta inizialmente uguale a 0.0 m/s. Ciò in pratica significa che si suppone inizialmente il corpo idrico fermo, e la sua distribuzione di velocità viene calcolata come stato stazionario raggiunto al termine del transitorio causato dalla imposizione delle condizioni di portata e livello al contorno (sezioni di Quingentole e 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 alla 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 a Quingentole, in funzione del caso simulato;
- temperatura dell'acqua all'ingresso del Fiume Po a Quingentole;
- livello del Fiume Po alla sezione di uscita (idrometro di Sermide), in funzione del caso simulato;
- portata di aspirazione alla presa, in funzione dell'assetto della Centrale;
- portata di scarico in corrispondenza alla sezione efficace di scarico;
- temperatura di scarico in corrispondenza alla sezione efficace di scarico;

Ulteriori condizioni valide per l'intero dominio sono:

- considerazione di un coefficiente di scambio termico con l'atmosfera pari a 10 W/m²°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, corrispondente al fondo naturale di un fiume o di un canale artificiale con fondo non cementato

Analisi dei risultati

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 nello studio sono stati analizzati sia graficamente sia mediante post processamento di tipo analitico allo scopo di estrarre l'insieme delle informazioni utili a caratterizzare il campo termico nell'intero dominio ed a valutarne l'impatto.

In particolare, sono state esaminate con particolare attenzione le zone relative allo scarico, al ponte adiacente ed ai tratti di fiume a valle dello scarico stesso fino in prossimità di Sermide, per le implicazioni derivanti dalla applicazione dei limiti di legge.

Metodologia di verifica del rispetto dei limiti di legge

La metodologia di verifica del rispetto dei limiti di legge fa riferimento al D.L. n° 152/06 "Norme in materia ambientale" che, nell'allegato 5 alla parte III (Limiti di emissione degli scarichi idrici), 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 formula 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. Nel nostro caso, si è fatto riferimento per l’analisi dell’incremento termico di legge alle sezioni:

- *sezione imperturbata a monte* (detta anche “sezione fredda”) che è stata collocata immediatamente prima della opera di presa, per la della temperatura media naturale del corpo idrico recettore;

- *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;
- *sezione a 1000 m*, scelta ad una distanza di circa 1000 m dallo scarico quale sezione calda in cui il pennacchio termico raggiunge il suo massimo sviluppo in larghezza e nella quale è ancora valutato l'incremento termico sia sull'intera sezione che sulla semi sezione fredda.

Valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra

La valutazione dell'incremento termico in condizioni di magra del fiume fa riferimento alla situazione in cui il livello all'idrometro di Sermide è pari a 6.4 m s.l.m.m., con una portata di 645 m³/s, corrispondente ad un livello di 8.3 m all'opera di scarico. Il calcolo, eseguito sempre in condizioni conservative di temperatura media invernale e calma di vento, fa riferimento al reticolo di figura 46 ed utilizza la batimetria calcolata dal codice in queste condizioni e mostrata in figura 33.

Caso 1 – situazione attuale in condizioni di magra

Tale caso si riferisce alle condizioni attuali della Centrale, così come riportate in tabella 1. L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando poi 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 figura 52. 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 Quingentole, pari a 1.66 m, è in buon accordo con il valore atteso in base ai rilievi sperimentali;
- c) l'andamento del campo termico ottenuto dalla simulazione numerica è riportato in figura 53 con riferimento all'intero tratto del Po considerato. Si vede immediatamente come il pennacchio caldo pieghi immediatamente verso valle, senza risentire della aspirazione della presa a monte, peraltro posta diverse centinaia di metri a monte. Per

meglio analizzarne il comportamento, il tratto di fiume interessato dal pennacchio stesso è mostrato in figura 54, con l'indicazione delle diverse isoterme indicanti un sovrizzo termico di 0.5 °C ciascuna a partire dalla temperatura imperturbata di 7.3 °C; infine in figura 55 è mostrato il dettaglio della zona di scarico, con sovrapposto l'andamento del campo di moto. Dall'esame delle figure citate si nota come il pennacchio sia ben sviluppato per una lunghezza di circa 7 km, con una canalizzazione marcata verso la sponda sinistra a partire dal ponte di Revere, attraversato dal pennacchio in corrispondenza delle prime due arcate. Si nota altresì che il pennacchio passa tutto a destra dell'isola Boschina a causa dello sbarramento delle sezione sinistra del fiume nelle condizioni di magra;

- d) il campo di moto risultante nella zona immediatamente a valle dello scarico è mostrato in figura 56, sovrapposto all'andamento del gradiente di velocità del flusso idrico. Esso risulta particolarmente interessante per comprendere lo sviluppo del pennacchio caldo a valle dello scarico. In particolare, si osserva che nelle condizioni di magra lo scarico avviene sul bordo della riva, con una velocità di scarico compresa tra 1.7 m/s e 2.0 m/s, che però subisce un immediato rallentamento sia per effetto del basso fondale allo scarico sia per l'incontro della corrente del fiume, con direzione trasversale rispetto allo scarico stesso e con velocità dell'ordine di 1 m/s. Il risultato è la formazione di un flusso che piega verso le prime due arcate del ponte, determinando a monte dello scarico una piccola zona di rallentamento della corrente del fiume, la quale però, una volta superato il ponte, finisce per essere la componente determinante del moto. L'andamento sopra discusso è ancora più chiaro esaminando la figura 57, che mostra le linee di isoflusso sempre sovrapposte al gradiente di velocità;
- e) l'analisi dell'incremento termico è stata condotta nelle due sezioni calde a 100 m e 1000 m dallo scarico, ed i relativi profili sono mostrati in figura 58. In entrambi i casi oltre il 60 % dell'area della sezione conserva il valore di temperatura imperturbata del fiume, ed il massimo incremento termico raggiunto sulla sezione stessa è pari a 0.5 °C, e quindi ampiamente entro i requisiti di legge. Si può invece notare come nella sezione a 1000 m, pur essendo le temperature assolute (riportate in figura 59) inferiori rispetto alla sezione a 100 m, la porzione calda di sezione presenta un incremento termico mediamente maggiore, a riprova dell'allargamento del pennacchio caldo per effetto della diffusione.

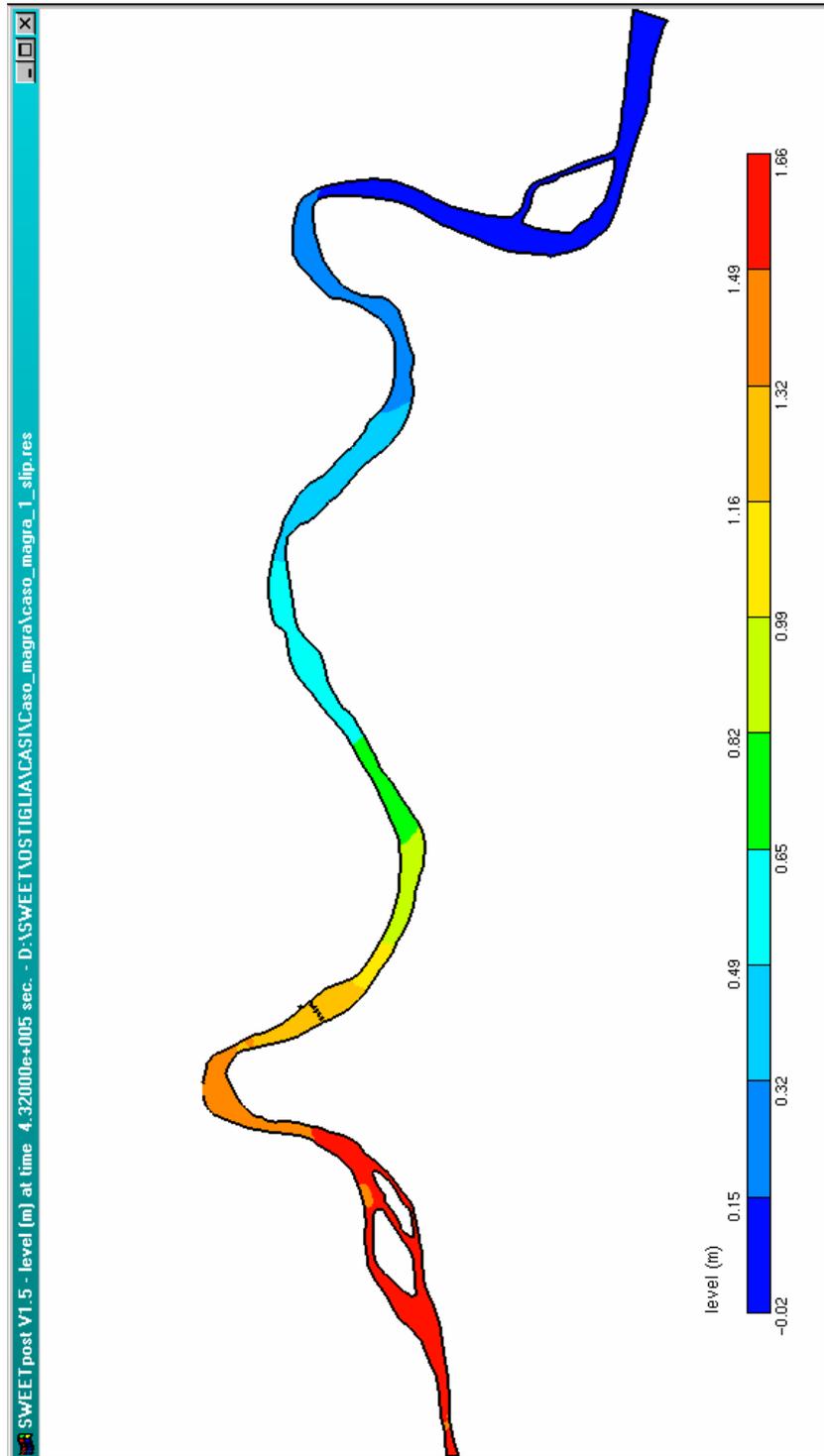


Figura 52 – Situazione attuale. Condizioni di magra.

Andamento del livello del Fiume Po rispetto al livello di riferimento (idrometro di Sermide)

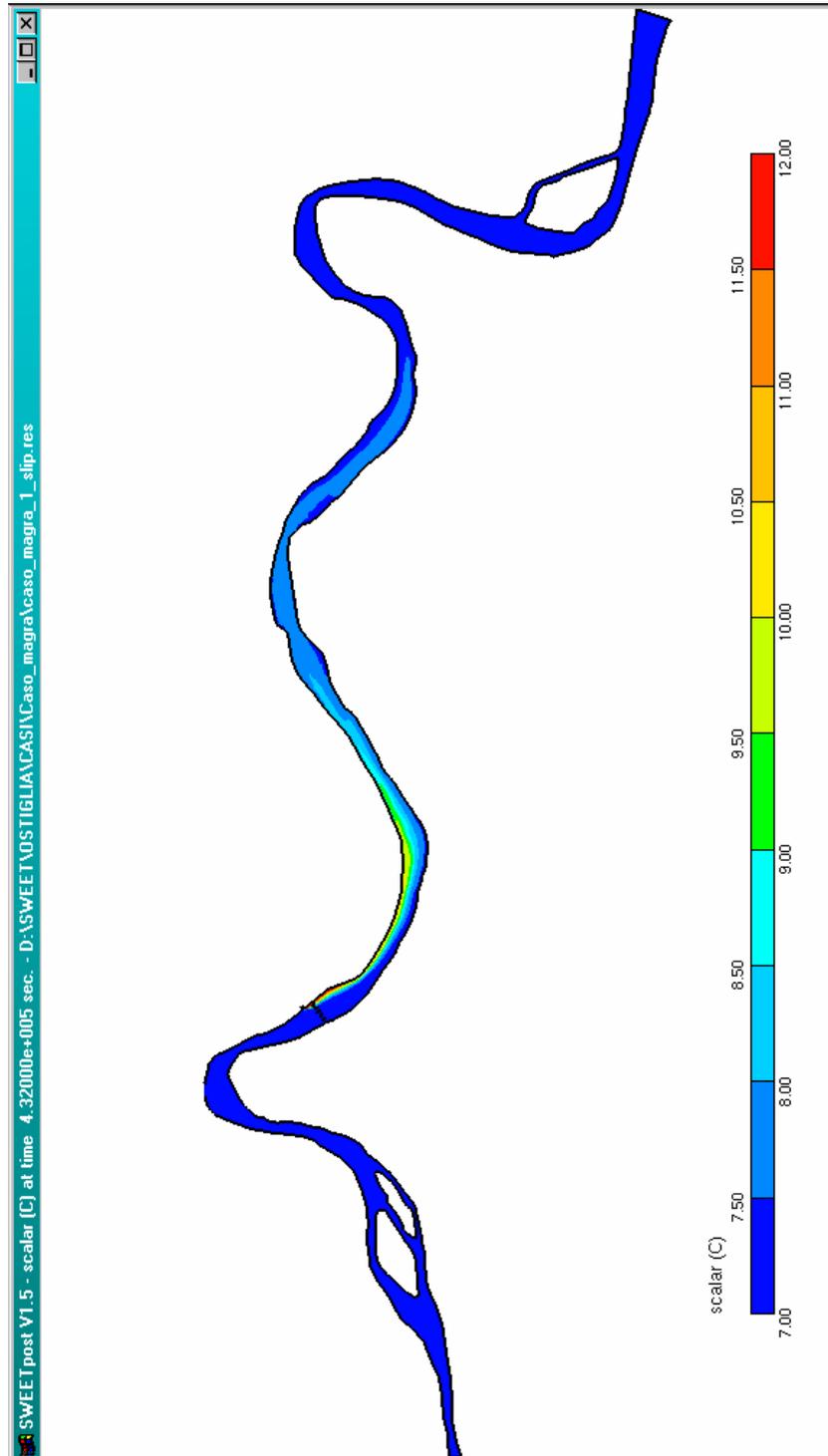


Figura 53 - Situazione attuale. Condizioni di magra.
Andamento del campo termico nel Fiume Po

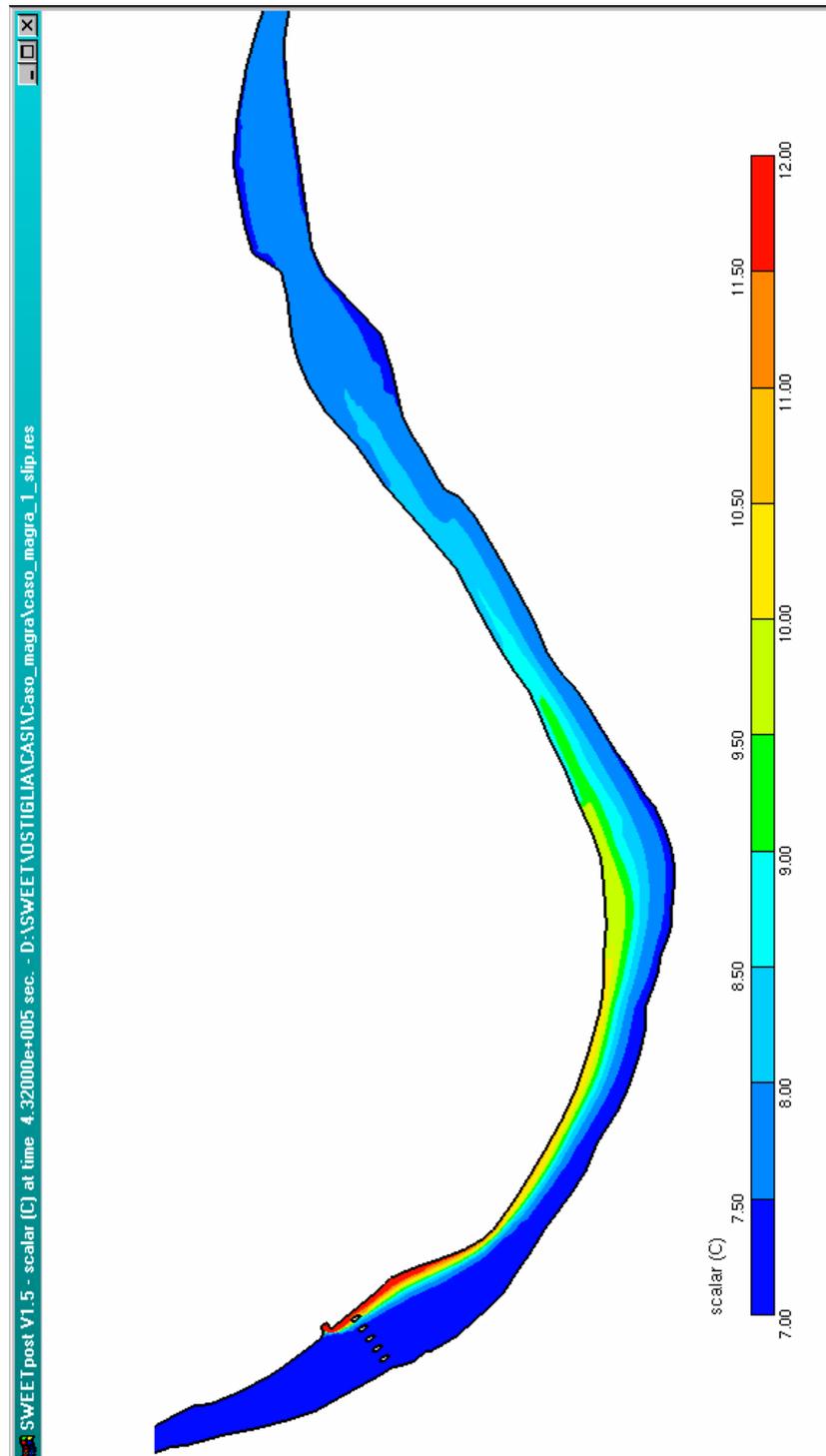


Figura 54 - Situazione attuale. Condizioni di magra.
Andamento del campo termico nel tratto perturbato dallo scarico

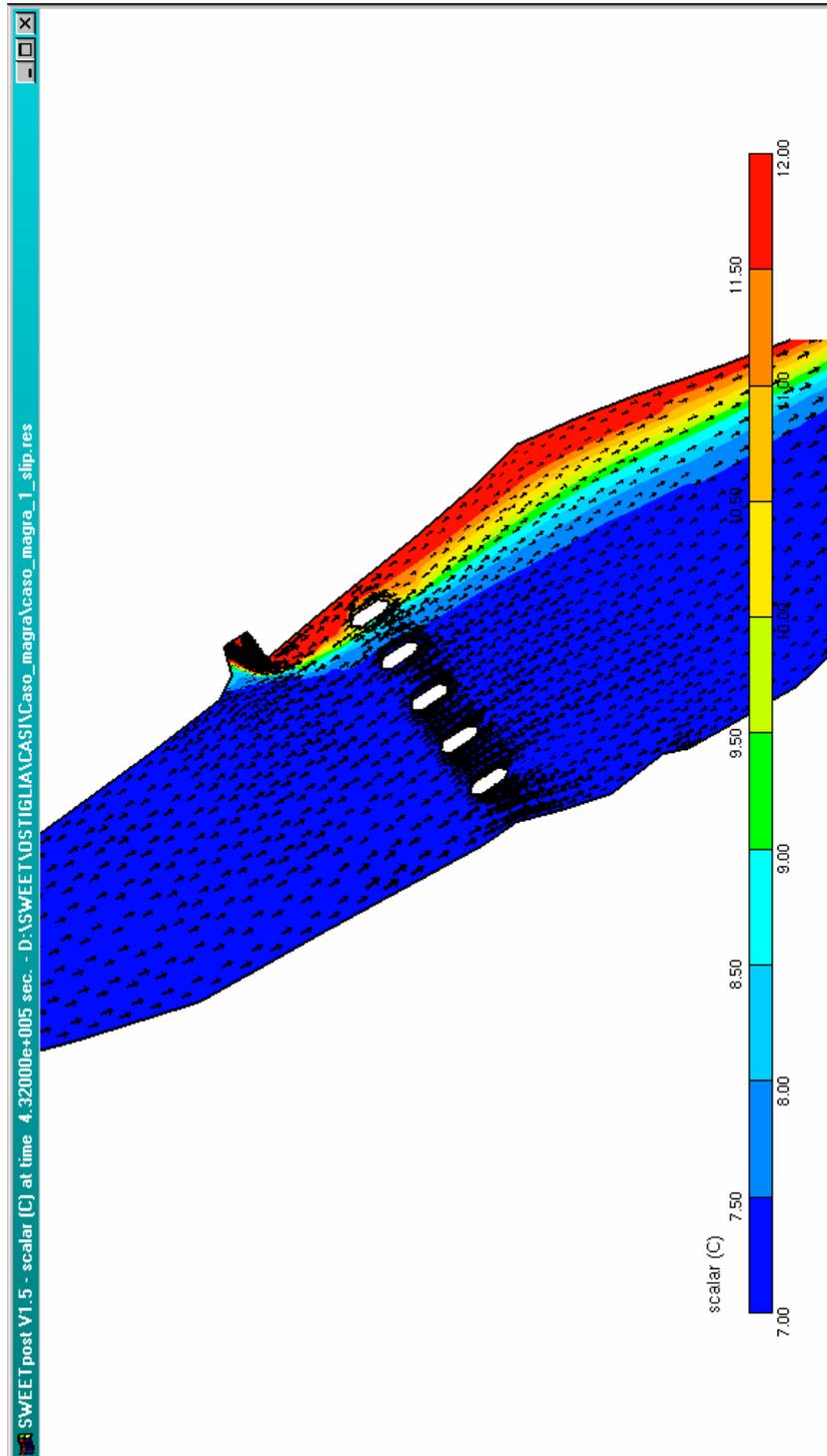


Figura 55 - Situazione attuale. Condizioni di magra.

Andamento del campo termico in prossimità dello scarico e campo di moto corrispondente

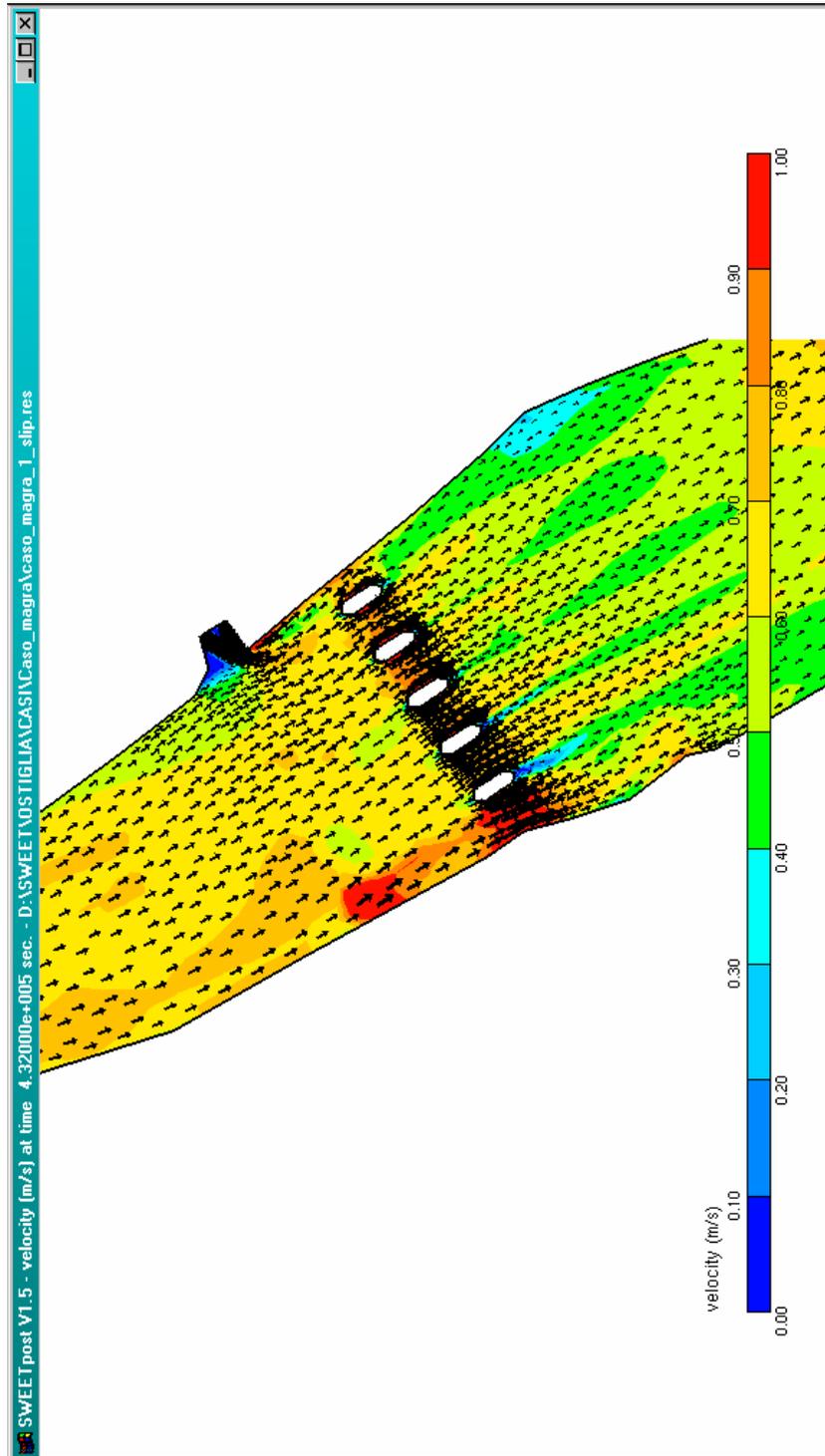


Figura 56 - Situazione attuale. Condizioni di magra.

Andamento del campo di moto e del gradiente di velocità in prossimità dello scarico

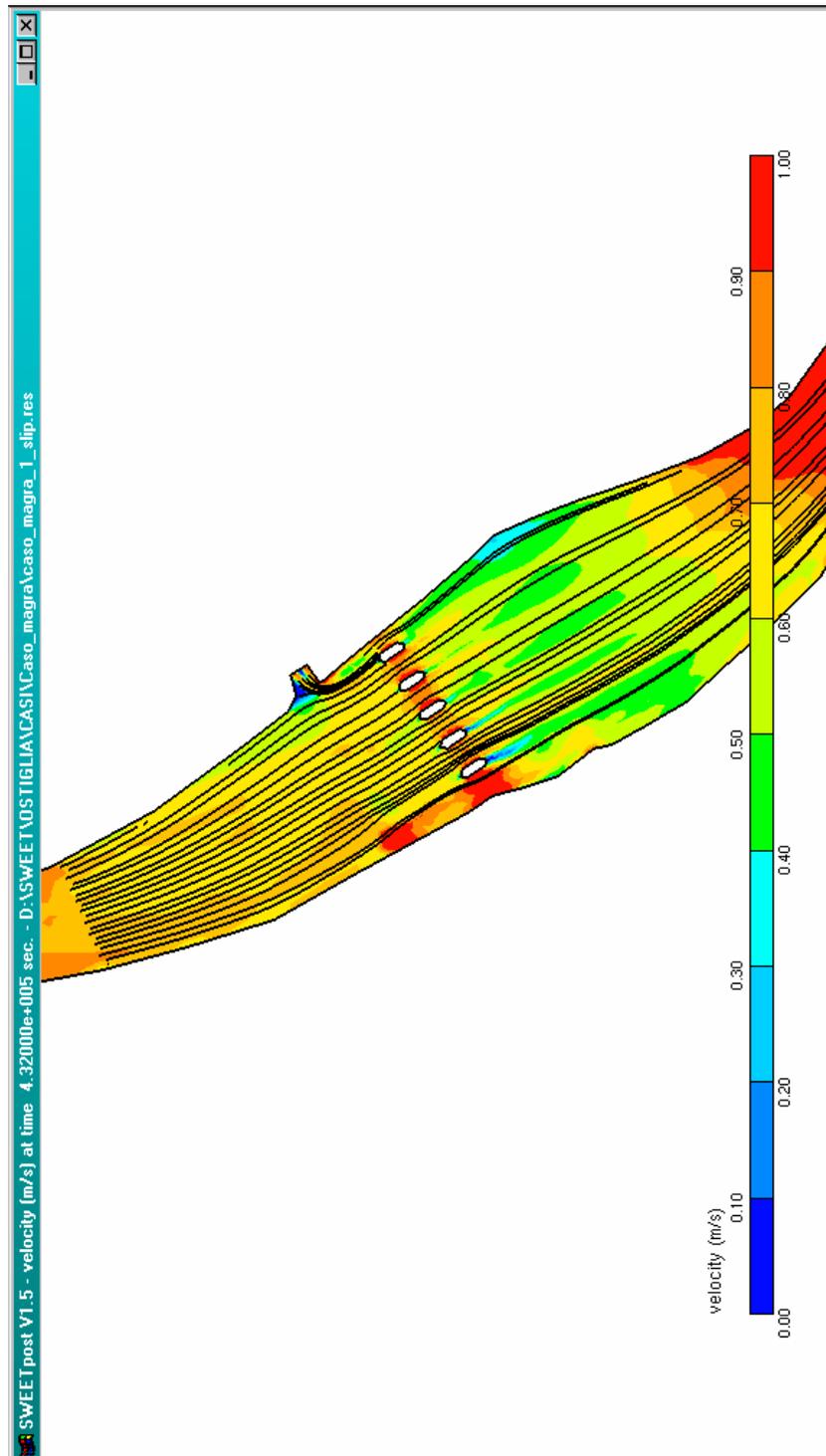


Figura 57 - Situazione attuale. Condizioni di magra.
 Linee di flusso e gradiente di velocità in prossimità dello scarico

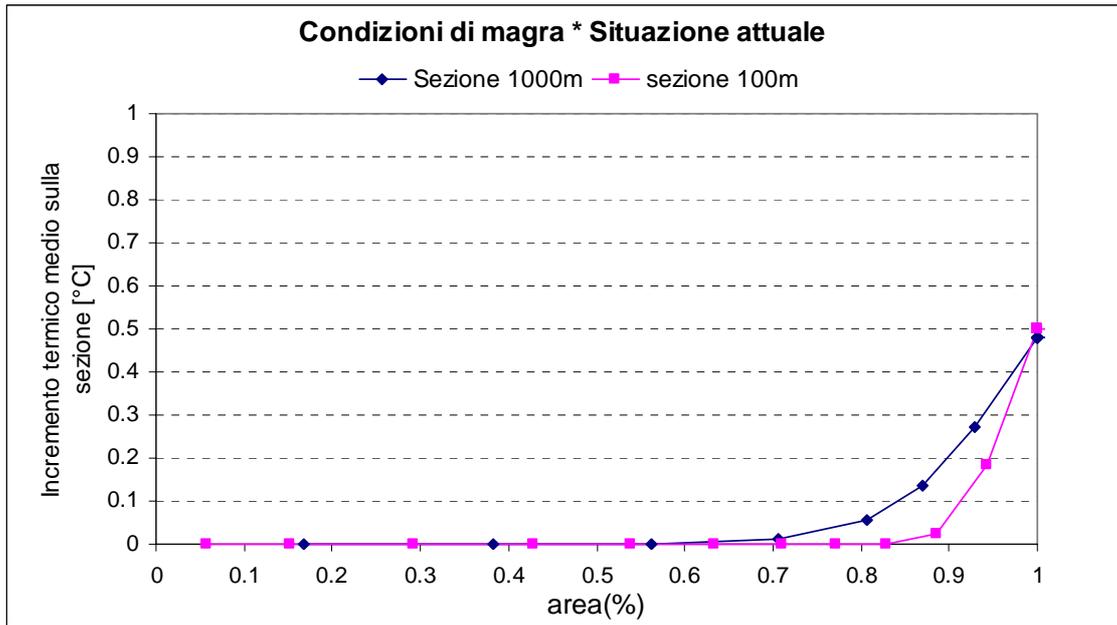


Figura 58 - Situazione attuale. Condizioni di magra. Andamento dell'incremento termico medio nelle sezioni a 100 m e 1000 m in funzione della percentuale di area

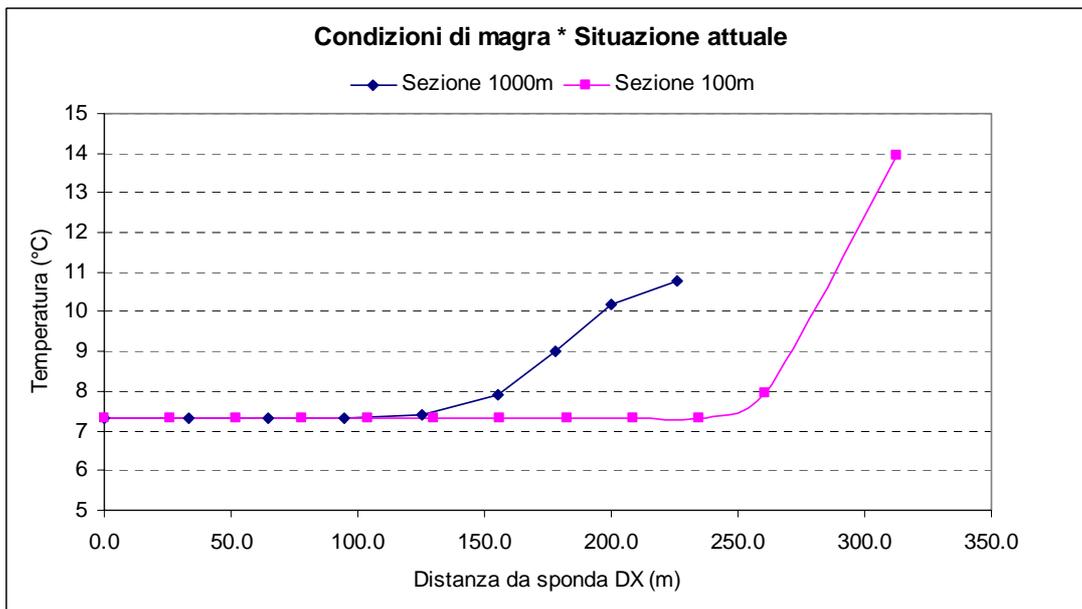


Figura 59 - Situazione attuale. Condizioni di magra. Andamento della temperatura nelle sezioni a 100 m e 1000 m

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minima portata del fiume, condizioni invernali di temperatura, calma di vento), che fa riferimento alla situazione attuale della Centrale, determinano comunque 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.

Valutazione dell'incremento termico in condizioni di livello medio

La valutazione dell'incremento termico in condizioni di livello medio del fiume fa riferimento alla situazione in cui il livello all'idrometro di Sermide è pari a 9.3 m s.l.m.m., con una portata di 2253 m³/s, corrispondente ad un livello di 11.2 m all'opera di scarico. Il calcolo, eseguito sempre in condizioni conservative di temperatura media invernale e calma di vento, fa riferimento al reticolo di figura 47 ed utilizza la batimetria calcolata dal codice in queste condizioni e mostrata in figura 34.

Caso 2 – situazione attuale in condizioni di livello medio

Tale caso si riferisce alle condizioni attuali della centrale, così come riportate in tabella 1 . L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando poi 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 figura 68. 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 Quingentole, pari a 3.05 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 figura 69 con riferimento all'intero tratto del Po considerato. Si vede immediatamente come il pennacchio caldo pieghi immediatamente verso valle, senza risentire della aspirazione della presa a monte, peraltro posta diverse centinaia di metri a monte. Per meglio analizzarne il comportamento, il tratto di fiume interessato dal pennacchio

stesso è mostrato in figura 70, con l'indicazione delle diverse isoterme indicanti un sovrizzo termico di 0.5 °C ciascuna a partire dalla temperatura imperturbata di 7.3 °C; infine in figura 71 è mostrato il dettaglio della zona di scarico, con sovrapposto l'andamento del campo di moto. Dall'esame delle figure citate si nota come il pennacchio sia ben sviluppato per una lunghezza di circa 7.5 km, con una canalizzazione marcata verso la sponda sinistra a partire dal ponte di Revere, attraversato dal pennacchio in corrispondenza delle prime due arcate. Si nota altresì che il pennacchio passa tutto a sinistra dell'isola Boschina, a differenza di quanto riscontrato in periodo di magra, in quanto lo sbarramento delle sezione sinistra del fiume costituito dalla presenza del guado è comunque assai inferiore al livello del fiume in queste condizioni, e nel ramo a sinistra dell'isola è comunque incanalata una portata significativa;

- d) confrontando il pennacchio caldo ottenuto nelle condizioni del caso in esame con quello già discusso, a parità di condizioni di scarico, per il livello di magra, si nota subito, oltre al diverso percorso compiuto dal pennacchio stesso, una minore estensione delle isoterme più calde. In corrispondenza della punta meridionale dell'isola Boschina il pennacchio ha ora una temperatura inferiore di circa 1 °C rispetto alla condizione di magra, e ciò può essere attribuito al maggior mescolamento che ora subisce il pennacchio nel tratto iniziale ed al fatto che nel ramo di sinistra la velocità del fiume è ora assai superiore rispetto a quella media che si aveva nel caso precedente, con una conseguente maggior turbolenza e miscelamento;
- e) il campo di moto risultante nella zona immediatamente a valle dello scarico è mostrato in figura 72, sovrapposto all'andamento del gradiente di velocità del flusso idrico. Esso giustifica quanto già descritto al punto precedente, ed in generale mostra, soprattutto rispetto alla situazione di magra, una maggior velocità del flusso idrico in ogni sezione dell'alveo. In questo modo, il pennacchio viene sì trascinato più lontano, ma prevale l'azione di mescolamento turbolento ed un maggior incanalamento, che riduce la sezione calda rispetto all'intera sezione del fiume. L'andamento sopra discusso è ancora più chiaro esaminando la figura 73, che mostra le linee di isoflusso sempre sovrapposte al gradiente di velocità;
- f) l'analisi dell'incremento termico è stata condotta nelle due sezioni calde a 100 m e 1000 m dallo scarico, ed i relativi profili sono mostrati in figura 74. Nel caso della sezione a 1000 m il 70 % dell'area della sezione conserva il valore di temperatura

imperturbata del fiume, ed il massimo incremento termico raggiunto sulla sezione stessa è pari a 0.3 °C, mentre la sezione a 100 m presenta oltre l'85% di area imperturbata ma un incremento termico inferiore (0.24 °C). Questo comportamento deriva dalla maggior portata e livello del fiume, che favoriscono il miscelamento iniziale del getto allo scarico, e portando di conseguenza alla diffusione lungo il percorso del fiume di un pennacchio meno caldo. In ogni caso, i valori di incremento sono ampiamente entro i requisiti di legge. Si può invece notare come nella sezione a 1000 m, pur essendo le temperature assolute (riportate in figura 75) inferiori rispetto alla sezione a 100 m, la porzione calda di sezione presenta un incremento termico mediamente maggiore, a riprova dell'allargamento del pennacchio caldo per effetto della diffusione. Inoltre se si confrontano i valori di incremento ora ottenuti con quelli nelle condizioni di magra si osserva immediatamente una riduzione del 50% del valore massimo, e solo la temperatura nella sezione a 100 m presenta un valore assoluto lievemente superiore nella zona di pennacchio adiacente la riva sinistra, ora più bassa per effetto dell'allargamento dell'alveo bagnato.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minima portata del fiume, condizioni invernali di temperatura, calma di vento), che fa riferimento alla situazione attuale della Centrale, determinano comunque 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.

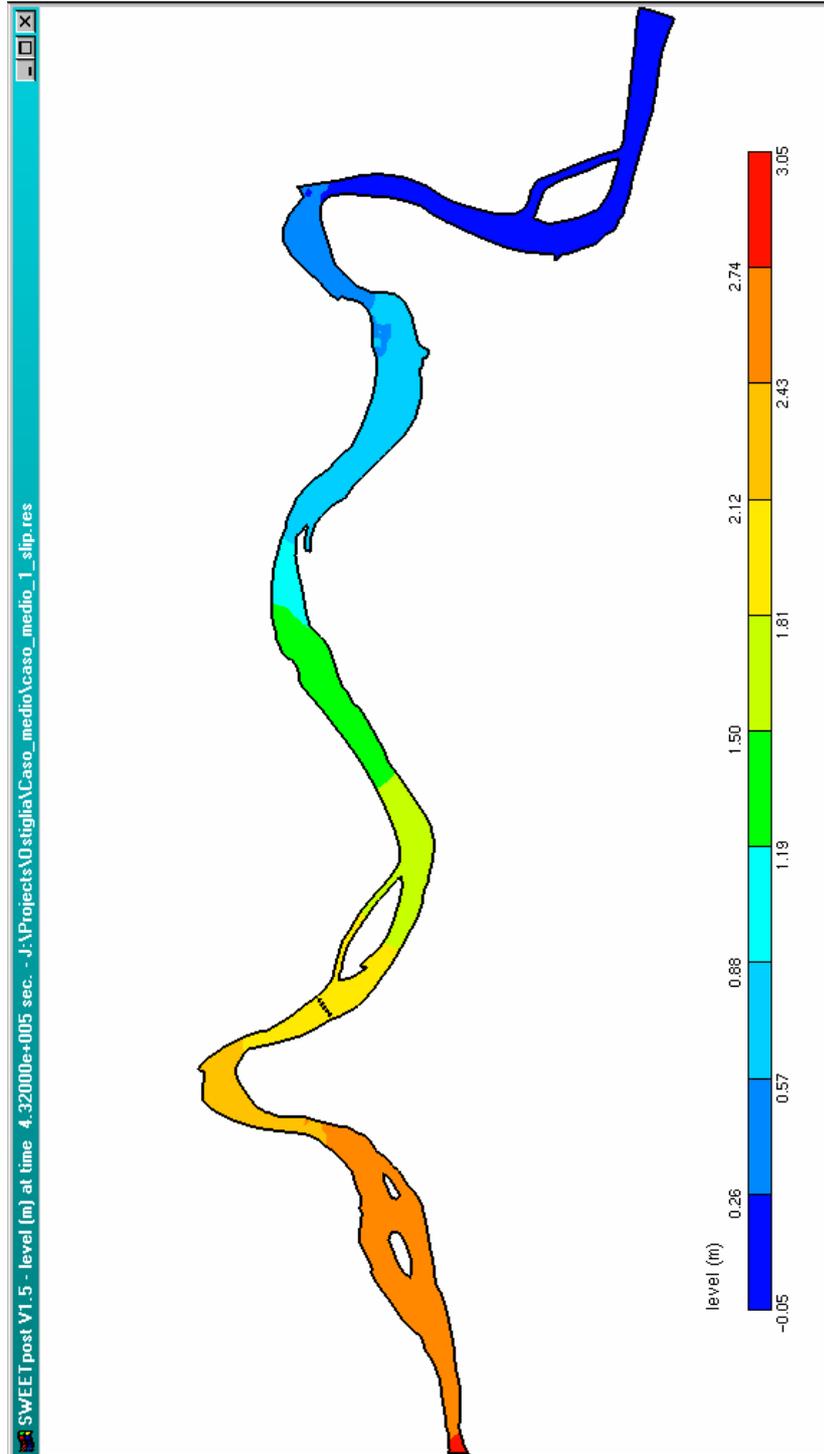


Figura 68 – Situazione attuale. Condizioni di livello medio.

Andamento del livello del Fiume Po rispetto al livello di riferimento (idrometro di Sermide)

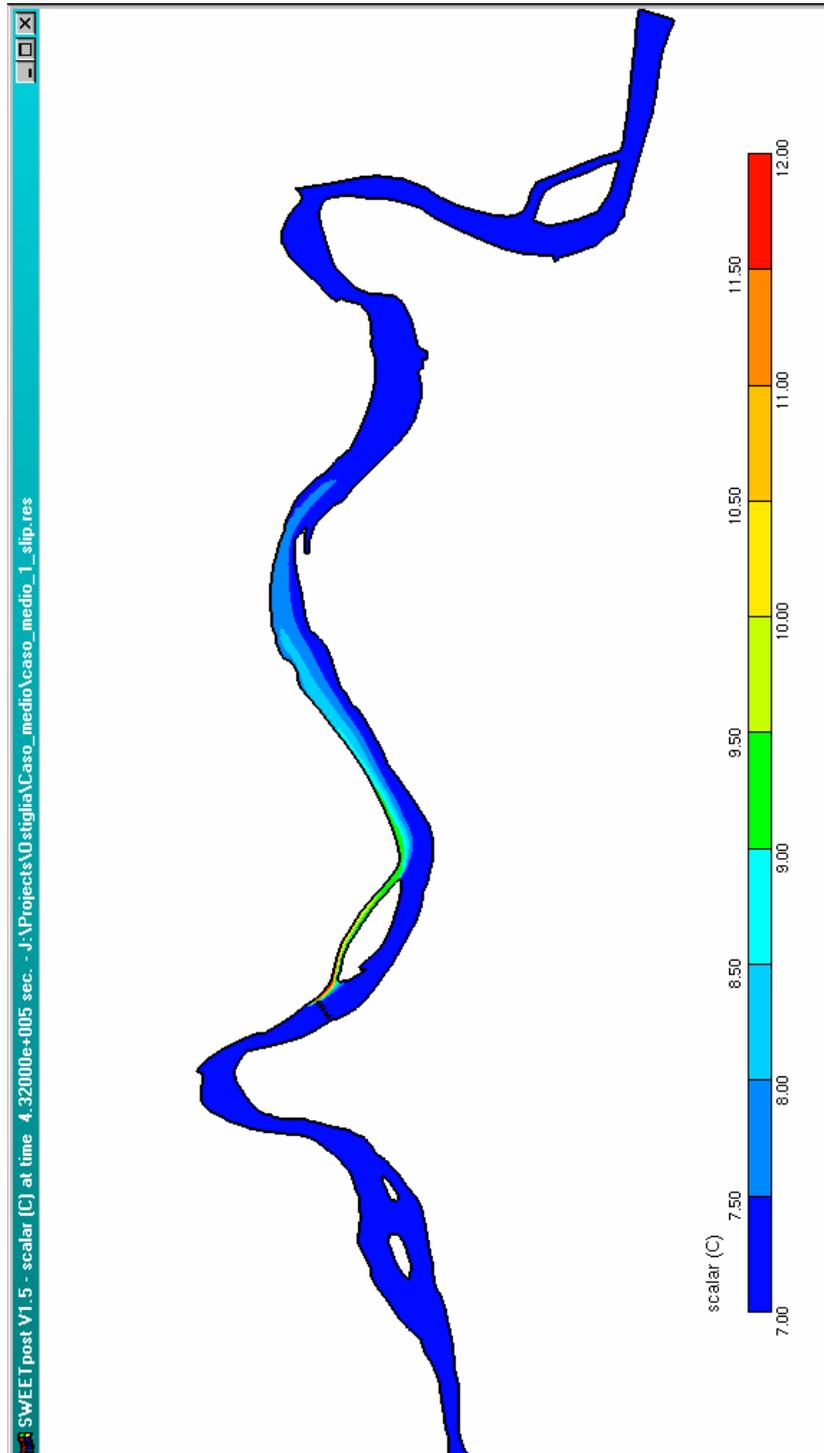


Figura 69 - Situazione attuale. Condizioni di livello medio.
 Andamento del campo termico nel Fiume Po

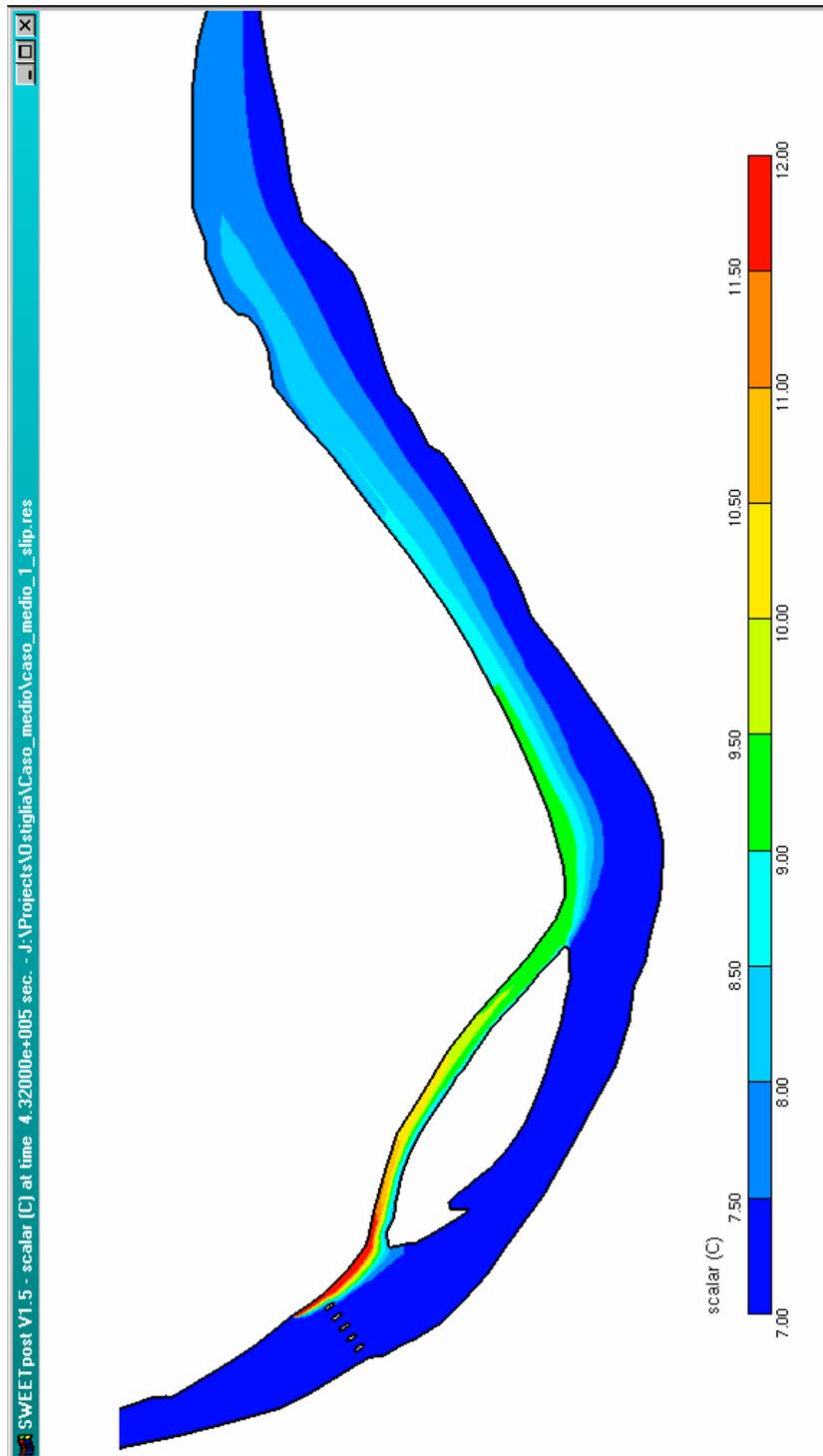


Figura 70 - Situazione attuale. Condizioni di livello medio.
Andamento del campo termico nel tratto perturbato dallo scarico

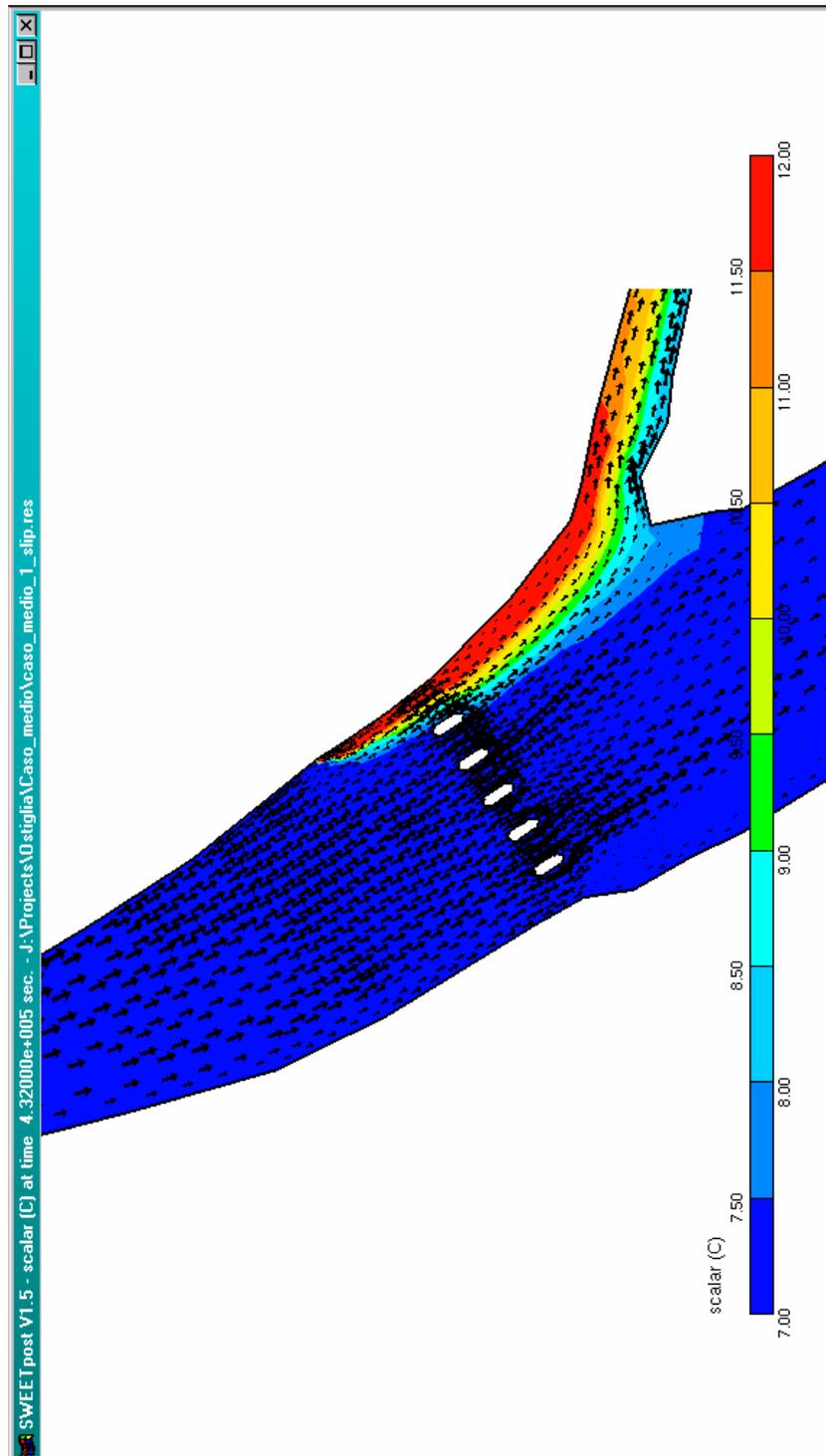


Figura 71 - Situazione attuale. Condizioni di livello medio.

Andamento del campo termico in prossimità dello scarico e campo di moto corrispondente

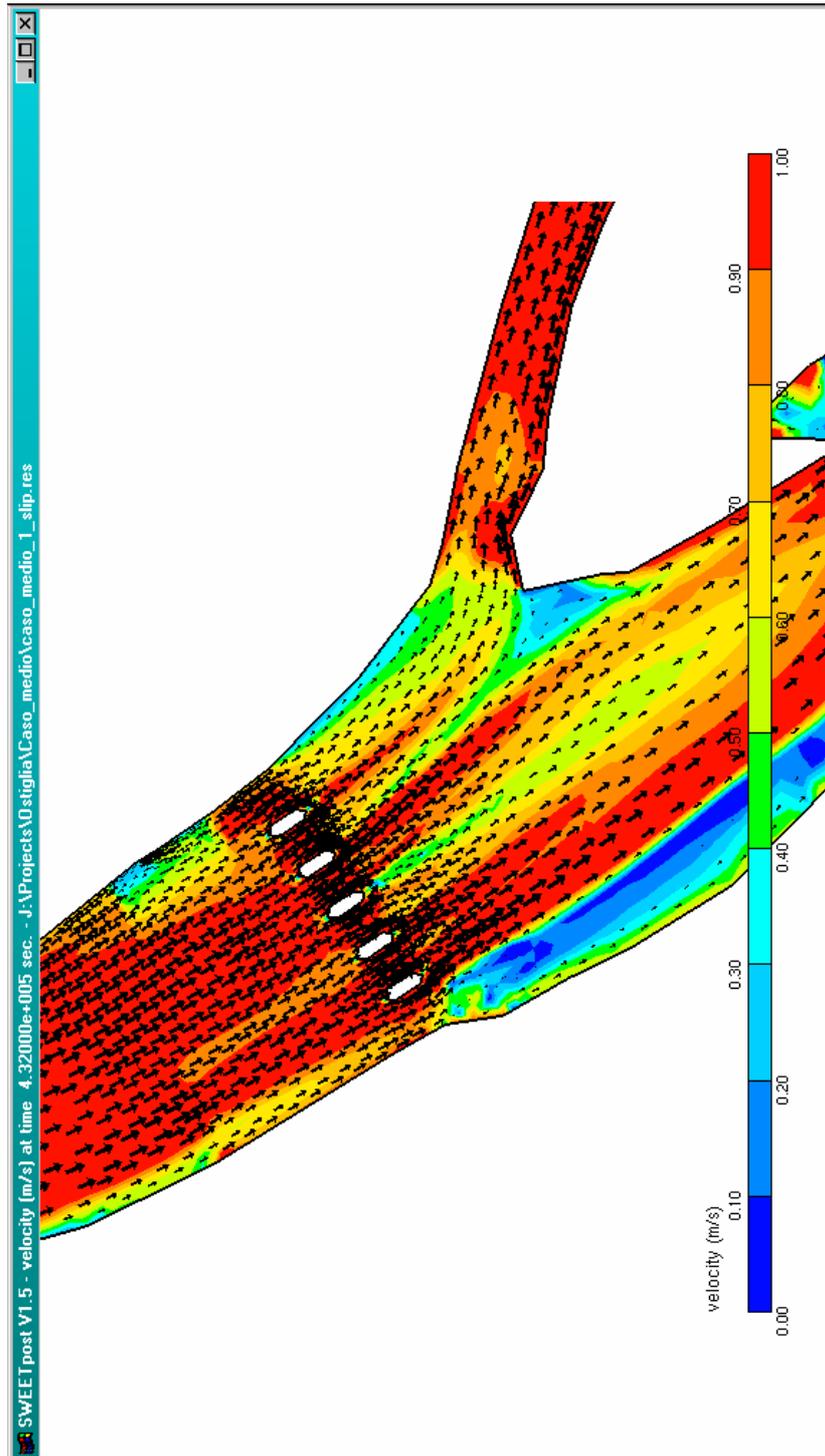


Figura 72 - Situazione attuale. Condizioni di livello medio.

Andamento del campo di moto e del gradiente di velocità in prossimità dello scarico

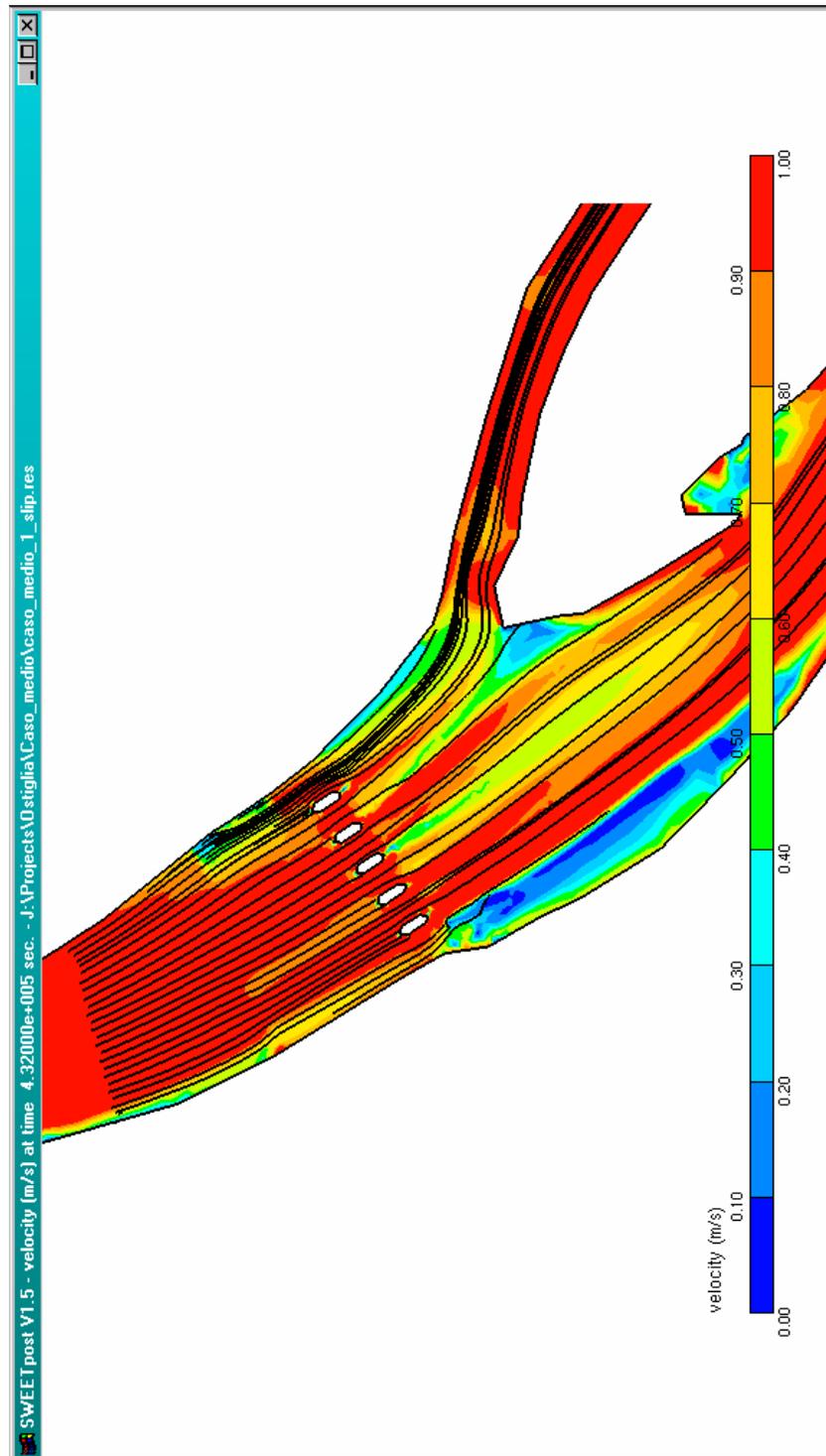


Figura 73 - Situazione attuale. Condizioni di livello medio.
 Linee di flusso e gradiente di velocità in prossimità dello scarico

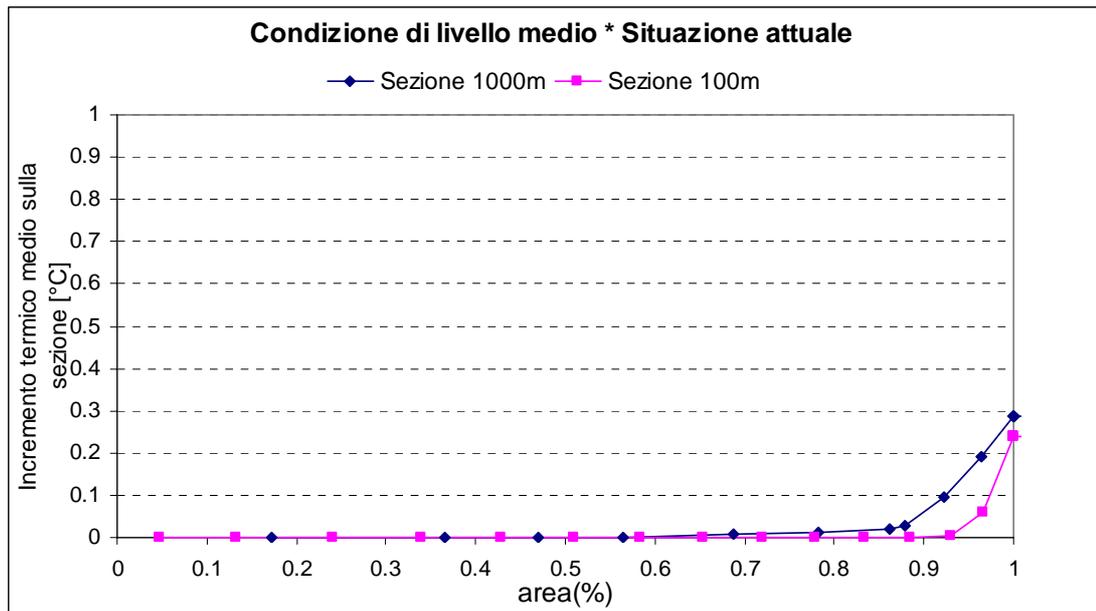


Figura 74- Situazione attuale. Condizioni di livello medio. Andamento dell'incremento termico medio nelle sezioni a 100 m e 1000 m in funzione della percentuale di area

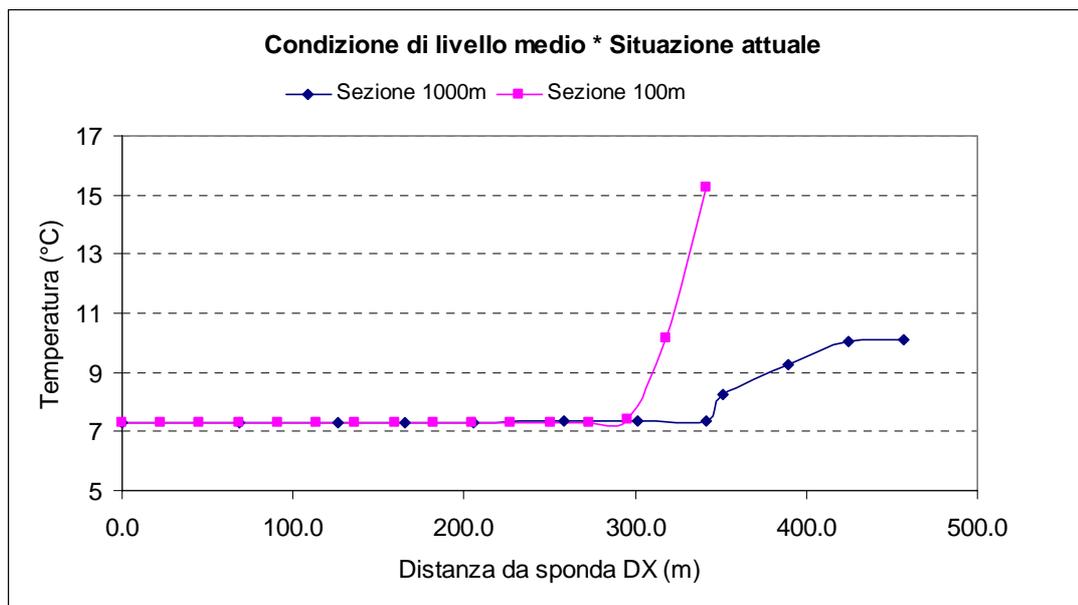


Figura 75 - Situazione attuale. Condizioni di livello medio. Andamento della temperatura nelle sezioni a 100 m e 1000 m

Valutazione dell'incremento termico in condizioni di piena

La valutazione dell'incremento termico in condizioni di piena normale del fiume fa riferimento alla situazione in cui il livello all'idrometro di Sermide è pari a 13.3 m s.l.m.m., con una portata di 6500 m³/s, corrispondente ad un livello di 15.2 m all'opera di scarico. Il calcolo, eseguito sempre in condizioni conservative di temperatura media invernale e calma di vento, fa riferimento al reticolo di figura 48 ed utilizza la batimetria calcolata dal codice in queste condizioni e mostrata in figura 35.

Caso 3 – situazione attuale in condizioni di piena

Tale caso si riferisce alle condizioni attuali della centrale, così come riportate in tabella 1 . L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo porta alle seguenti considerazioni:

- a) l'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando poi 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 figura 84. 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 Quingentole, è pari a 2.82 m;
- c) l'andamento del campo termico ottenuto dalla simulazione numerica è riportato in figura 85 con riferimento all'intero tratto del Po considerato. Si vede immediatamente come il pennacchio caldo pieghi immediatamente verso valle, e si raffreddi molto in fretta, con la formazione di una piccola zona calda a ridosso della struttura di scarico, ora parzialmente sommersa. Per meglio analizzarne il comportamento, il tratto di fiume interessato dal pennacchio stesso è mostrato in figura 86, con l'indicazione delle diverse isoterme indicanti un sovrizzo termico di 0.5 °C ciascuna a partire dalla temperatura imperturbata di 7.3 °C; infine in figura 87 è mostrato il dettaglio della zona di scarico, con sovrapposto l'andamento del campo di moto. Dall'esame delle figure citate si nota come il pennacchio sia ben sviluppato per una lunghezza di circa 6.5 km, con una canalizzazione marcata verso la sponda sinistra a partire dal ponte di Revere, attraversato dal pennacchio in corrispondenza delle prime due arcate. Si nota altresì che il pennacchio passa in massima parte a sinistra dell'isola Boschina, a differenza di

quanto riscontrato in periodo di magra, in quanto lo sbarramento delle sezione sinistra del fiume costituito dalla presenza del guado è comunque assai inferiore al livello del fiume in queste condizioni, e nel ramo a sinistra dell'isola è comunque incanalata una portata significativa;

- d) confrontando il pennacchio caldo ottenuto nelle condizioni del caso in esame con quelli già discussi, a parità di condizioni di scarico, per il livello di magra e medio, si nota subito, oltre al diverso percorso compiuto dal pennacchio stesso, una minore estensione delle isoterme più calde. In corrispondenza della punta meridionale dell'isola Boschina il pennacchio ha ora una temperatura inferiore di circa $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla condizione di magra, e ciò può essere attribuito al maggior mescolamento che ora subisce il pennacchio nel tratto iniziale ed al fatto che nel ramo di sinistra la velocità del fiume è ora assai superiore rispetto a quella media che si aveva nei casi precedente, con una conseguente maggior turbolenza e miscelamento. In altre parole, le condizioni di piena favoriscono il mescolamento iniziale del pennacchio, che oltretutto viene scaricato ad una quota inferiore al pelo libero dell'acqua ;
- e) il campo di moto risultante nella zona immediatamente a valle dello scarico è mostrato in figura 88, sovrapposto all'andamento del gradiente di velocità del flusso idrico. Esso giustifica quanto già descritto al punto precedente, ed in generale mostra una maggior velocità del flusso idrico in ogni sezione dell'alveo. 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. L'andamento sopra discusso è ancora più chiaro esaminando la figura 89, che mostra le linee di isoflusso sempre sovrapposte al gradiente di velocità;
- f) l'analisi dell'incremento termico è stata condotta nelle due sezioni calde a 100 m e 1000 m dallo scarico, ed i relativi profili sono mostrati in figura 90. Nel caso della sezione a 1000 m il 60 % dell'area della sezione conserva il valore di temperatura imperturbata del fiume, ed il massimo incremento termico raggiunto sulla sezione stessa è pari a $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}$, mentre la sezione a 100 m presenta oltre l'85 % di area imperturbata ma un incremento termico inferiore ($0.17\text{ }^{\circ}\text{C}$). Questo comportamento deriva dalla maggior portata e livello del fiume, che favoriscono il miscelamento iniziale del getto allo scarico, e portando di conseguenza alla diffusione lungo il percorso del fiume di un pennacchio meno caldo. In ogni caso, i valori di incremento sono ampiamente entro i requisiti di legge. Si può invece notare come nella sezione a

1000 m, pur essendo le temperature assolute (riportate in figura 91) inferiori rispetto alla sezione a 100 m, la porzione calda di sezione presenta un incremento termico mediamente maggiore, a riprova dell'allargamento del pennacchio caldo per effetto della diffusione. Inoltre se si confrontano i valori di incremento ora ottenuti con quelli nelle condizioni precedenti si osserva immediatamente una riduzione del valore massimo rispetto alle condizioni di magra, e solo la temperatura nella sezione a 100 m presenta un valore assoluto lievemente superiore nella zona di pennacchio adiacente la riva sinistra, ora più bassa per effetto dell'allargamento dell'alveo bagnato.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minima portata del fiume, condizioni invernali di temperatura, calma di vento), che fa riferimento alla situazione attuale della Centrale, determinano comunque 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.

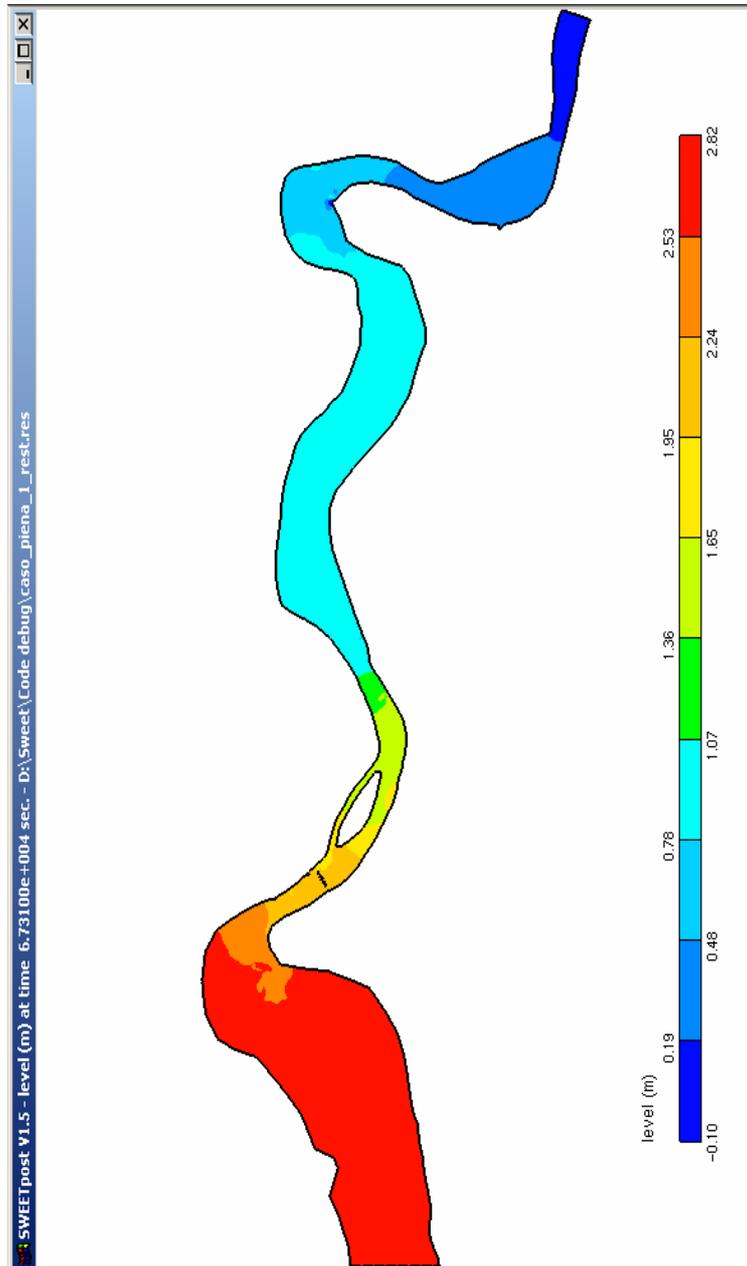


Figura 84– Situazione attuale. Condizioni di piena.

Andamento del livello del Fiume Po rispetto al livello di riferimento (idrometro di Sermide)

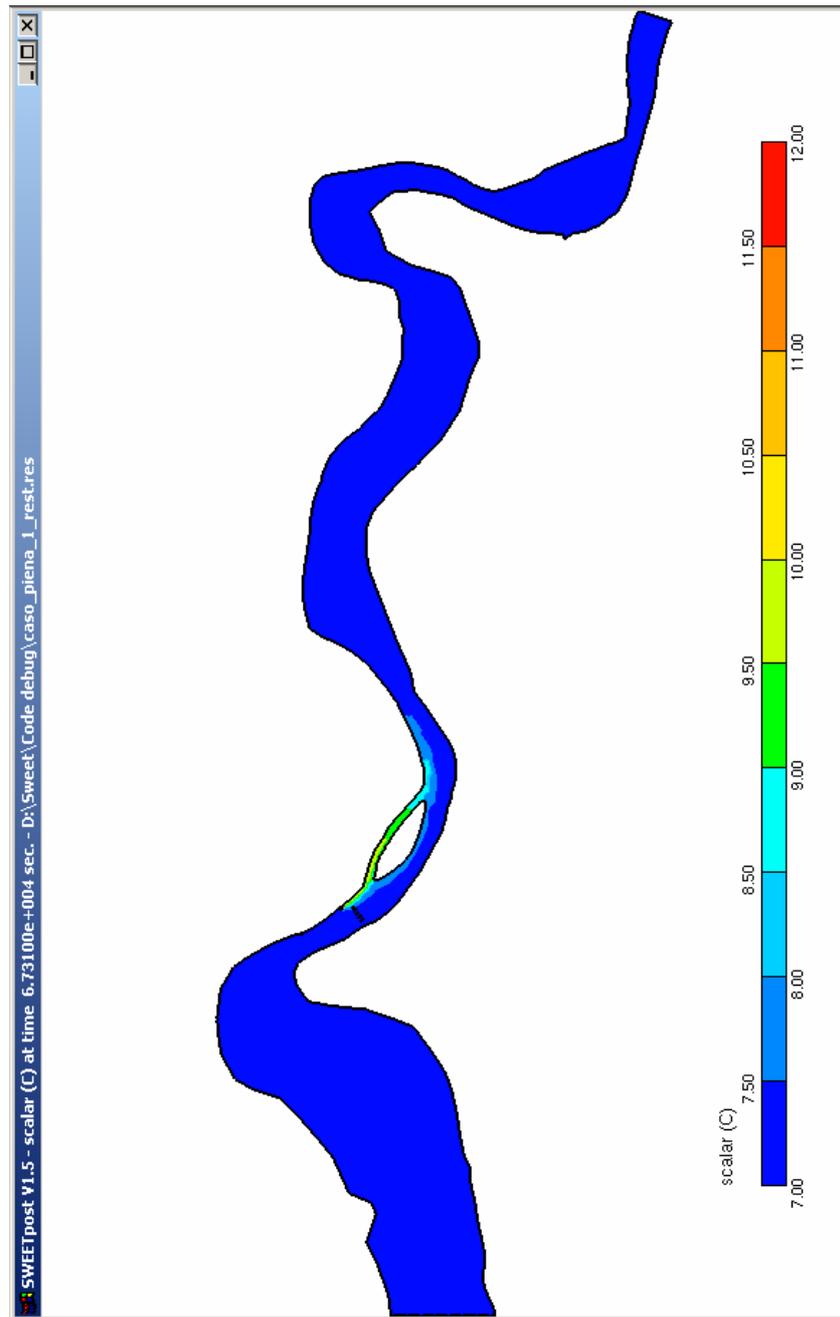


Figura 85 - Situazione attuale. Condizioni di piena.
Andamento del campo termico nel Fiume Po

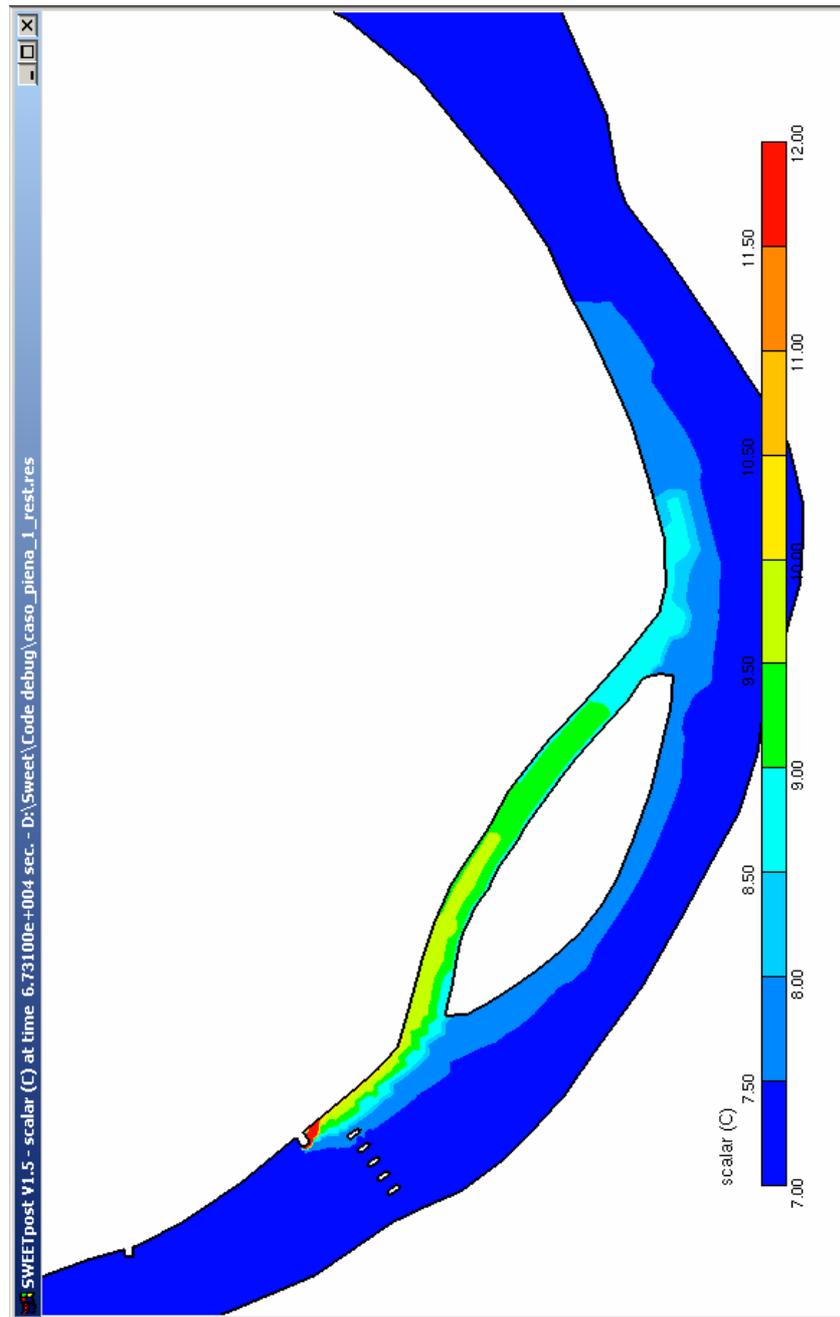


Figura 86- Situazione attuale. Condizioni di piena.
Andamento del campo termico nel tratto perturbato dallo scarico

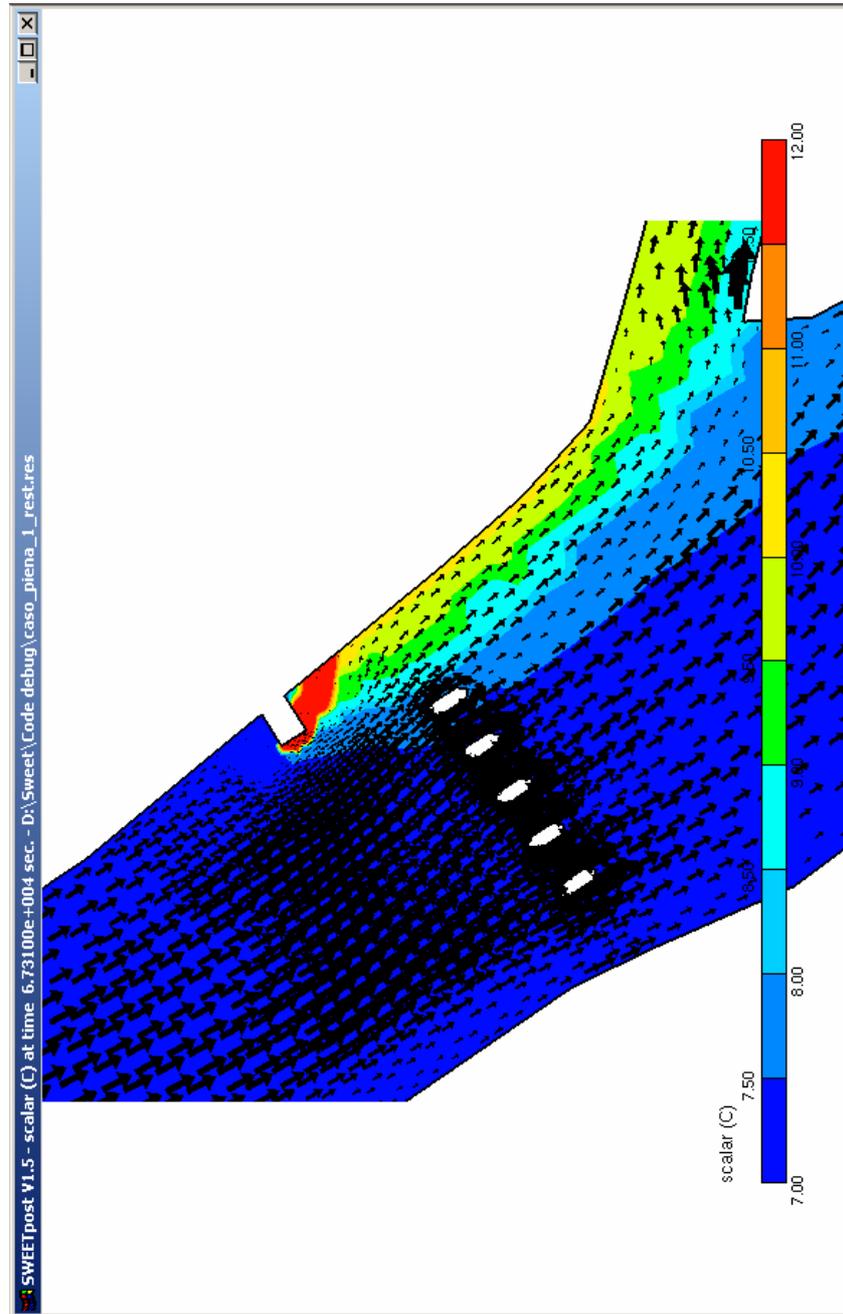


Figura 87 - Situazione attuale. Condizioni di piena.

Andamento del campo termico in prossimità dello scarico e campo di moto corrispondente

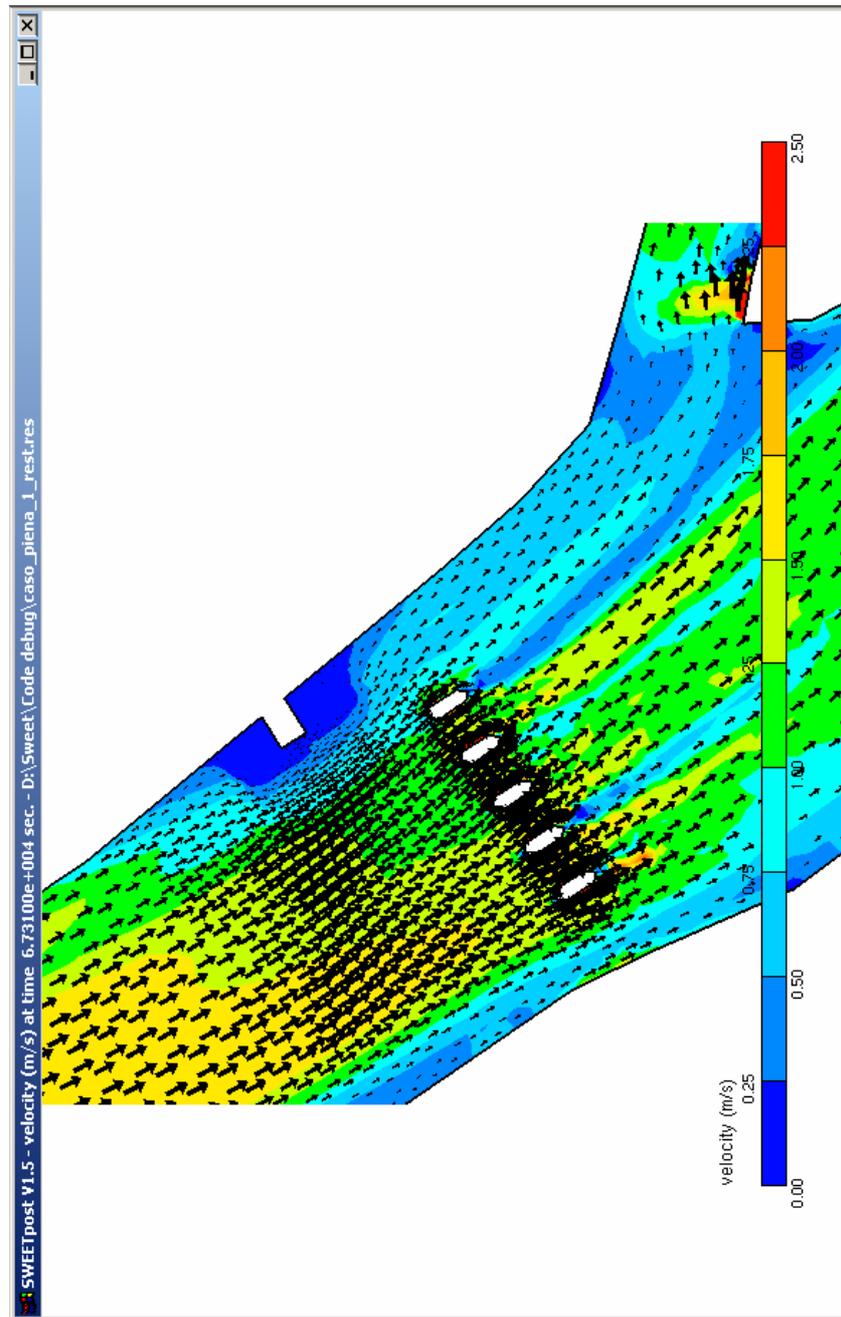


Figura 88 - Situazione attuale. Condizioni di piena.

Andamento del campo di moto e del gradiente di velocità in prossimità dello scarico

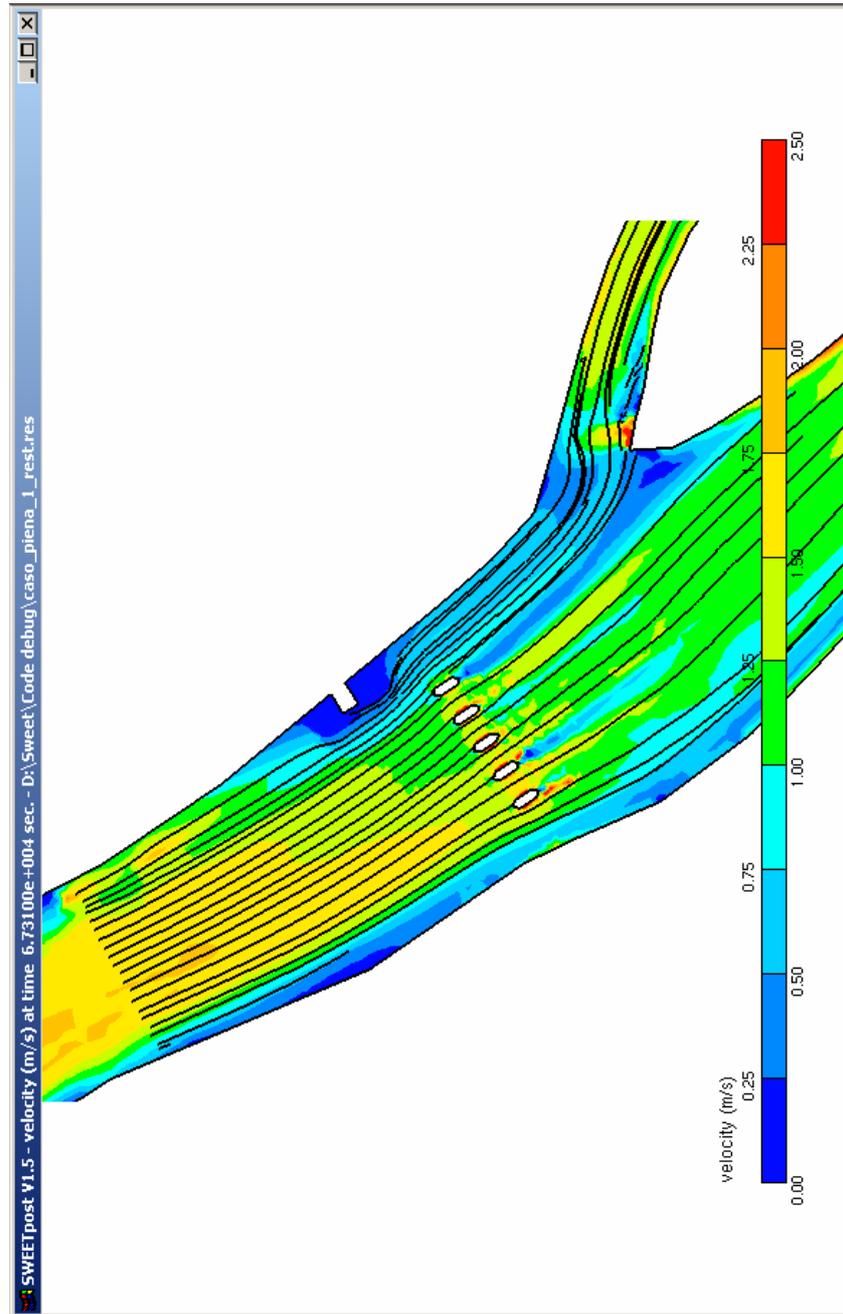


Figura 89 - Situazione attuale. Condizioni di piena.
 Linee di flusso e gradiente di velocità in prossimità dello scarico

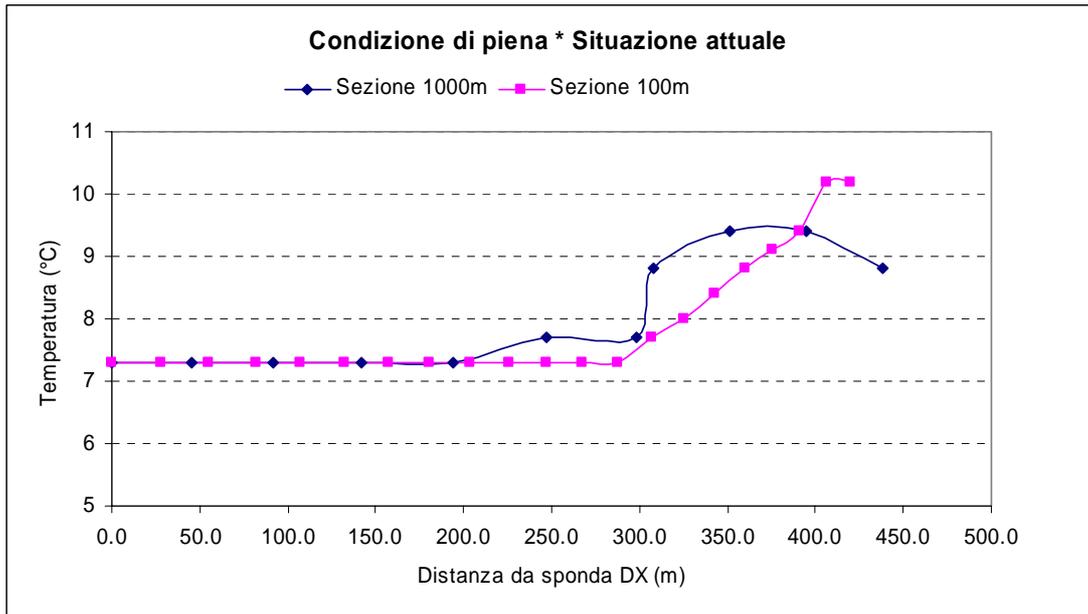


Figura 90 - Situazione attuale. Condizioni di piena. Andamento dell'incremento termico medio nelle sezioni a 100 m e 1000 m in funzione della percentuale di area

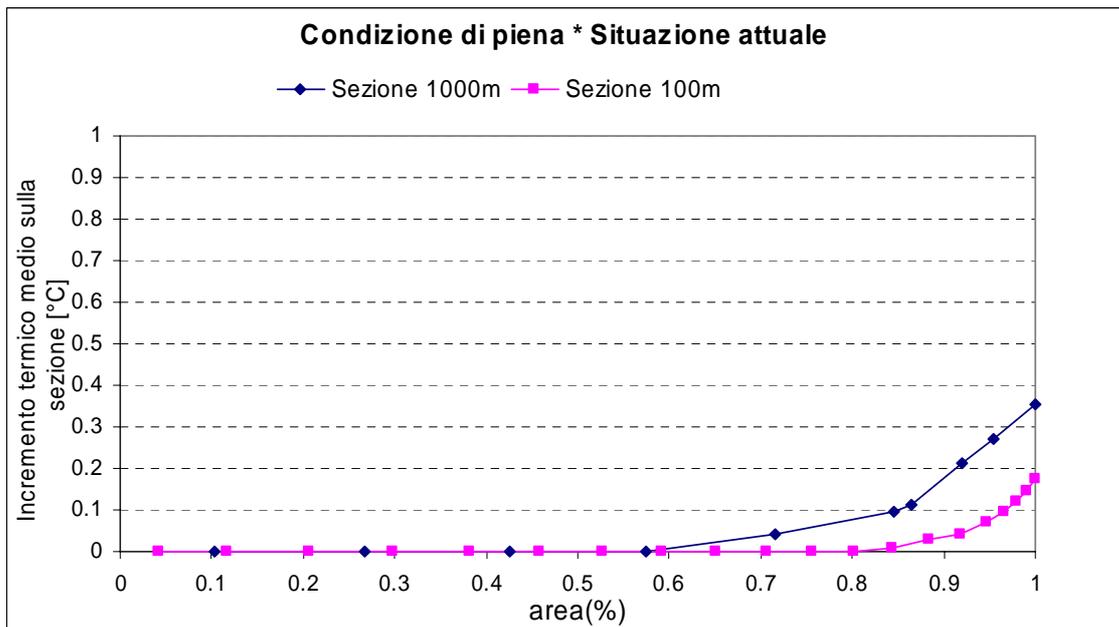


Figura 91 - Situazione attuale. Condizioni di piena. Andamento della temperatura nelle sezioni a 100 m e 1000 m

2.5. Considerazioni finali

Lo studio di simulazione numerica della dispersione termica nella condizione di esercizio della Centrale, è stato condotto considerando fattori ambientali di tipo conservativo, con particolare riguardo alla temperatura imperturbata del Fiume Po ed alle condizioni meteorologiche.

Avendo i parametri caratterizzanti i corpi idrici una forte dipendenza dal flusso idrico, in termini di portata e di livello, sono stati individuati tre distinte condizioni, corrispondenti al livello di magra, medio e di piena del fiume, mentre sono state mantenute invariate le condizioni ambientali di vento e temperatura naturale imperturbata, scelte conservativamente tra le più critiche

Dalle simulazioni eseguite nelle tre condizioni di portata scelte risulta che l'incremento termico, valutato secondo i criteri previsti dalla normativa nelle sezioni significative a valle dello scarico, è sempre ampiamente lontano dai limiti di legge imposti sul valore di incremento termico medio, sia per l'intera sezione che per la semisezione fredda e non si riscontrano situazioni potenzialmente critiche.

3. BIBLIOGRAFIA

- [1] ENEA (1990): "Regione Lombardia – Valutazione del Carico termico del Fiume Po. Sintesi degli Studi e delle Ricerche Svolti dall'ENEA su Commessa della Regione Lombardia, Aprile.
- [2] AA.VV. (1982): "Studio delle Disponibilità Idriche del Po nel Tratto Lombardo, in Relazione alla Localizzazione delle Nuove Centrali Elettriche Indicate dal PEN per la Regione Lombardia" – ENEL-CRIS SI-605/82, Settembre.
- [3] R. Guandalini, F. Sala, G. Stigliano, E. Colombo et alii (2002) : "Etude de faisabilité d'une liaison électrique directe Algérie – Espagne. 2nde phase: avant projet" – CESI A2/039618, Novembre.
- [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.
- [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.
- [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.
- [7] R. Guandalini (2003): "SWEET. 2D Environmental Fluid Dynamics. Installation and User's Manual – Personal WorkNote 031/5", September.
- [8] FEMAP 7.01 (2001): "High Performance CAE for the Desktop – Enterprise Software Products, Inc".
- [9] AutoCAD 2000 (1999): "A CAD Tool for Design – AutoDesk, Inc".
- [10] ENDESA Italia (1997): "Centrale di Ostiglia. Planivolumetria Generale – Disegno n. STO-882 Rev. 7 Scala 1:2000", Febbraio.
- [11] M. Pozzoni, A. Bozzani (1994): "DATAPO. Sistema Informativo per l'Archiviazione dei Dati Ambientali sul Fiume Po – CISE-SAQ-94-37", Settembre.
- [12] R. Guandalini (2003): "Conversione ed Aggiornamento della Banca Dati DATAPO in Ambiente Windows 2000 - Personal WorkNote 060/0", Ottobre.
- [13] G.P. Stigliano (1998): "Elaborazioni Idrologiche in Alcune Stazioni di Preminente Interesse Enel nell'Ambito della Commessa MISPO – CISE-SQS-97-29", Aprile.

- [14] Enel Compartimento di Venezia (1967): "Centrale di Ostiglia. Opera di Presa. Sezione Longitudinale H-H. Disegno n. Os-A1-S-203 rev. G Scala 1:50", Ottobre.
- [15] Enel Compartimento di Venezia (1967): "Centrale di Ostiglia. Opera di Presa. Pianta B-B. Disegno n. Os-A1-S-197 rev. G Scala 1:50", Novembre.
- [16] Riva Hydroart SpA Milano (1997): "Impianto di Ostiglia. Pianta delle Nuove Opere – Disegno n. 1P-152975 Rev. E Scala 1:100", Agosto.
- [17] Riva Hydroart SpA Milano (1997): "Impianto di Ostiglia. Piano Topografico delle Nuove Opere – Disegno n. 1P-152973 Rev. d Scala 1:200", Aprile.
- [18] Enel – Centrale di Ostiglia (1971): "Impianto Acqua di Circolazione. Attraversamento dell'Argine a Valle della Centrale e Opera di Scarico. Pianta e Sezione Longitudinale – Disegno n. 709.042 Scala 1:100", Gennaio.
- [19] Carta Topografica Regionale della Lombardia. Scala 1:10000. Quadri F8a1, F8a2, F8a3, F8a4, F8b1, F8b2, F8b3, F8b4, F8c1, F8c2, F8c3, F8c4, F8d3.
- [20] Environmental Systems Research Institute (2000): "ArcGIS 8. Using ArcMAP – ESRI Inc. Redland (USA)".
- [21] Ministero dei Lavori Pubblici. Magistrato per il Po (1980-1983): "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".
- [22] G.P. Stigliano (1993): "Fiume Po ed Affluenti. Sezioni di Misura " – CISE 7406.
- [23] G.P. Stigliano, E. Storni (1997): "Elaborazioni Idrologiche in Alcune Stazioni di Preminente Interesse Enel nell'Ambito della Commessa SIMCA – CISE-SQS-96-46", Marzo.
- [24] G. Della Dora, V. Tarzia (1997): "Misurazioni delle Portate sui Corsi d'Acqua del bacino del Po - CISE-SQS-97-1", Giugno.
- [25] V. Tarzia (1998): "Misurazioni delle Portate sui Corsi d'Acqua del bacino del Po - CISE-SQS-97-21", Gennaio.
- [26] G.P. Stigliano (1997): "Attività Sperimentale di Indagini Idrometriche sul Fiume Po ed Affluenti Svolta nel 1997 nell'Ambito della Commessa MISPO – CISE-SQS-97-24", Dicembre.
- [27] Ministero dei Lavori Pubblici (1985): "Magistrato per il Po – Fiume Po. Tratto: Castel S. Giovanni – Revere – Pieve Porto Morone – Ostiglia. Monografie Caposaldi di Livellazione".
- [28] AA.VV. (1991): "Caratteristiche Diffusive dell'Atmosfera. Criteri Generali del lavoro e Guida alla sua Utilizzazione". – Servizio Meteorologico Aeronautica Militare, Enel.