



## Indice

<b>1</b>	<b>RIASSUNTO</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>6</b>
2.1	Descrizione della attività.....	6
2.2	Documenti di riferimento.....	7
<b>3</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE, DEGLI SCENARI INTERMEDI E DELL'ASSETTO FINALE DELLA CENTRALE</b> .....	<b>8</b>
3.1	La configurazione attuale della centrale .....	8
3.2	La configurazione finale della centrale .....	12
3.3	Gli scenari intermedi di esercizio.....	13
<b>4</b>	<b>ANALISI DELLE CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA</b> .....	<b>14</b>
4.1	Considerazioni generali.....	14
4.2	Caratteristiche dell'impianto.....	14
4.3	Caratteristiche del territorio .....	15
4.4	Definizione dei parametri caratterizzanti la dispersione termica.....	15
<b>5</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANALISI</b> .....	<b>17</b>
5.1	Considerazioni generali.....	17
5.2	Definizione dei diversi casi di simulazione numerica .....	17
5.3	Metodologia di verifica del rispetto dei limiti di legge.....	20
<b>6</b>	<b>ANALISI DEI RISULTATI</b> .....	<b>23</b>
6.1	Considerazioni generali.....	23
6.2	Analisi della configurazione più critica (scenario B).....	23
6.2.1	<i>Caso B.1 – Mese di marzo</i> .....	23
6.2.2	<i>Caso B.2 – Mese di ottobre</i> .....	28
6.2.3	<i>Caso B.3 – Mesi da novembre a febbraio (periodo invernale)</i> .....	33
6.2.4	<i>Caso B.4 – Mesi da aprile a settembre (periodo estivo)</i> .....	38
6.3	Analisi delle configurazioni non limitanti (scenari A e C) .....	43
6.4	Analisi della configurazione finale (scenario D) .....	46
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>58</b>

## Indice delle figure

fig. 2.1-	Planimetria della centrale con l'indicazione delle opere di presa e scarico	11
fig. 2.2 –	Schema funzionale della torre di raffreddamento wet-dry per il modulo 9	12
fig. 3.1-	Collocazione delle sezioni di valutazione della perturbazione termica.	16
fig. 5.1 –	Caso B.1. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa	25
fig. 5.2 –	Caso B.1. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda	25
fig. 5.3 –	Caso B.1. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	26

fig. 5.4 – caso B.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	26
fig. 5.5 – Caso B.1. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	27
fig. 5.6 – caso B.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	27
fig. 5.7 – Caso B.2. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa	30
fig. 5.8 – Caso B.2. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda	30
fig. 5.9 – Caso B.2. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	31
fig. 5.10 – Caso B.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	31
fig. 5.11 – Caso B.2. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	32
fig. 5.12 – Caso B.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	32
fig. 5.13 – Caso B.3. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa	35
fig. 5.14 – Caso B.3. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda	35
fig. 5.15 – Caso B.3. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	36
fig. 5.16 – Caso B.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	36
fig. 5.17 – Caso B.3. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	37
fig. 5.18 – Caso B.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	37
fig. 5.19 – Caso B.4. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa	40
fig. 5.20 – Caso B.4. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda	40
fig. 5.21 – Caso B.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	41
fig. 5.22 – Caso B.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	41
fig. 5.23 – Caso B.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	42
fig. 5.24 – Caso B.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	42
fig. 5.25 – Casi A.1 e C.1. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	47
fig. 5.26 – Casi A.1 e C.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	47
fig. 5.27 – Casi A.1 e C.1. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	48
fig. 5.28 – Casi A.1 e C.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	48
fig. 5.29 – Casi A.2 e C.2. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	49
fig. 5.30 – Casi A.2 e C.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	49
fig. 5.31 – Casi A.2 e C.2. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	50
fig. 5.32 – Casi A.2 e C.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	50
fig. 5.33 – Casi A.3 e C.3. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	51
fig. 5.34 – Casi A.3 e C.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	51
fig. 5.35 – Casi A.3 e C.3. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	52

fig. 5.36 – Casi A.3 e C.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	52
fig. 5.37 – Casi A.4 e C.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area	53
fig. 5.38 – Casi A.4 e C.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m	53
fig. 5.39 – Casi A.4 e C.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area	54
fig. 5.40 – Casi A.4 e C.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m	54

### Indice delle tabelle

tab. 2.1 – Portata acqua condensatrice per i diversi gruppi	9
tab. 4.1 - Condizioni critiche analizzate nel corso dello studio per ciascun scenario di esercizio	19
tab. 5.1 - Incrementi termici definiti per le sezioni calde nelle diverse condizioni analizzate	55
tab. 5.2 - Risultati dei campionamenti effettuati nella stazione di Muzza – Comazzo (1999-2000) – dal “Rapporto sullo stato dell'ambiente della Provincia di Lodi” anno 2001	56
tab. 5.3– Caratteristiche stimate per l'acqua di scarico dalla torre di raffreddamento	57

**STORIA DELLE REVISIONI**

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	26.05.2006	A6014581	Prima emissione

**1 RIASSUNTO**

L'attività descritta nel presente documento rappresenta le conclusioni di uno studio atto a definire il contributo, per quanto riguarda la dispersione delle acque di raffreddamento della Centrale di Tavazzano Montanaso nell'ambiente idrico, nell'assetto di esercizio approvato per la centrale stessa.

Le valutazioni sono state condotte a partire dai precedenti Studi di Impatto Ambientale già a suo tempo effettuati per l'esercizio del gruppo 7 e per la realizzazione dei moduli 9 e 10 a ciclo combinato single shaft, esaminando le implicazioni del nuovo assetto autorizzato alla luce dei risultati a suo tempo ottenuti.

Il Gruppo di Lavoro che ha contribuito all'esecuzione delle attività descritte nel presente Rapporto è composto da: Giuseppe Paolo Stigliano e Roberto Guandalini.

## 2 INTRODUZIONE

L'attività descritta nel presente documento rappresenta le conclusioni di uno studio atto a definire il contributo, per quanto riguarda la dispersione delle acque di raffreddamento della Centrale di Tavazzano Montanaso nell'ambiente idrico costituito dal sistema dei canali Muzza e Belgiardino e dal fiume Adda, nell'assetto di esercizio approvato per la centrale stessa.

Le valutazioni sono state condotte a partire dai precedenti Studi di Impatto Ambientale già a suo tempo effettuati per l'esercizio della sezione 7 e per la realizzazione dei moduli 9 e 10 a ciclo combinato single shaft, esaminando le implicazioni del nuovo assetto autorizzato alla luce dei risultati a suo tempo ottenuti.

In particolare, poiché le condizioni autorizzate prevedono un esercizio a regime con soli tre gruppi a partire dal 2015, raggiunto però attraverso una serie di scenari intermedi che prevedono l'esercizio temporaneo anche degli altri gruppi attualmente operanti in centrale, lo studio è stato condotto esaminando di volta in volta le implicazioni derivanti da tali scenari intermedi in riferimento al loro impatto sulla dispersione delle acque di raffreddamento dell'impianto.

### 2.1 Descrizione della attività

L'attività descritta nel presente documento è stata condotta in tre distinte fasi:

1. definizione degli scenari intermedi e dell'assetto finale della centrale, a partire dall'attuale configurazione di esercizio;
2. valutazione delle condizioni ambientali critiche ai fini della dispersione nell'ambiente idrico delle acque di raffreddamento;
3. valutazione delle diverse condizioni di scarico afferenti i diversi scenari di esercizio e loro impatto sull'ambiente idrico.

Ciascuna fase sopra elencata è stata condotta a partire dalle informazioni contenute nei precedenti Studi di Impatto Ambientale e relative integrazioni [1],[2],[3],[4], nel rispetto dei limiti imposti dalla normativa [5],[6].

A tale proposito, si fa riferimento al D.Lgs. n° 152/99 "Testo unico sulle acque" e successive modificazioni (D.Lgs. n° 258/00) che, nell'allegato 5 (*Limiti di emissione degli scarichi idrici*), punto 1 (*Scarichi in corpi d'acqua superficiali*), tabella 3 (*Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura*), parametro 2 (*temperatura*), nota 1, recita tra l'altro:

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

Nel caso specifico della Centrale di Tavazzano e Montanaso, il cui recettore è un canale artificiale, il limite applicabile è costituito dal valore di 35 °C allo scarico.

Nelle analisi sono stati, tuttavia, esaminati anche gli effetti sul fiume Adda, allo scopo di poter comparare tra loro gli effetti dei differenti scenari utilizzati.

L'obiettivo dello studio è quindi quello di valutare la dispersione termica nei corpi idrici naturali ed artificiali interessati tenendo conto del modificato assetto dei gruppi nei vari scenari autorizzati e delle condizioni di prelievo delle acque di raffreddamento autorizzate dal Consorzio che gestisce il canale Muzza. I dati ambientali utilizzati sono gli stessi già utilizzati per gli Studi di Impatto Ambientale prima citati, derivanti in massima parte da misure sperimentali [7],[8], mentre per la verifica degli scenari futuri si fa riferimento alle simulazioni numeriche condotte facendo uso del modello idrostatico bidimensionale incluso nel codice SWEET 4.01, anch'esso già impiegato per le analisi di SIA.

## 2.2 Documenti di riferimento

- [1] Endesa Italia Spa – *Centrale di Tavazzano Montanaso. Studio di Impatto Ambientale per l'Esercizio della Sezione Termoelettrica 7.* – Conferenza dei Servizi del 04/09/2003
- [2] Endesa Italia Spa – *Centrale di Tavazzano Montanaso. Studio di Impatto Ambientale per la Realizzazione dei Moduli 9 e 10 a Ciclo Combinato Single Shaft.* – Conferenza dei Servizi del 04/11/2003
- [3] Endesa Italia Spa – *Centrale di Tavazzano Montanaso. Esercizio della Sezione Termoelettrica 7 e Realizzazione dei Moduli 9 e 10 a Ciclo Combinato Single Shaft. Documentazione Integrativa agli Studi di Impatto Ambientale* – Rev. 01 (Marzo 2005)
- [4] Endesa Italia Spa – *Centrale di Tavazzano Montanaso. Documentazione Integrativa agli Studi di Impatto Ambientale* – Rev. 01 (Marzo 2006).
- [5] Testo Unico sulle Acque. D.L. 11 maggio 1999 n. 152 e D.L. 18 agosto 2000 n. 258
- [6] Notiziario IRSA – *Metodi analitici per le acque: Metodologie per la determinazione dell'incremento di temperatura nelle acque marine a seguito di sversamenti di scarichi termici* – n. 4, Ottobre – (dicembre 1993)
- [7] T. Granata – *Centrale di Tavazzano Montanaso. Caratterizzazione della perturbazione termica indotta dallo scarico delle acque di raffreddamento del condensatore nei canali Muzza e Belgiardino e nel fiume Adda* – Relazione Tecnica ENEL Produzione/UML-PC n. 212TZ16540 (Settembre 1998)
- [8] T. Granata – *Centrale termoelettrica di Tavazzano e Montanaso. Valutazione dell'incremento termico indotto nel fiume Adda dallo scarico delle acque di raffreddamento della centrale* – Relazione Tecnica ENEL Produzione/UML-PC n. 212TZ16589 Rev. 1 (Marzo 2001)
- [9] Endesa Italia Spa – *Centrale di Tavazzano Montanaso. Studio di Impatto Ambientale per l'Esercizio della Sezione Termoelettrica 7.* – Studio di Impatto Ambientale. Maggio 2003

### **3 DEFINIZIONE DELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE, DEGLI SCENARI INTERMEDI E DELL'ASSETTO FINALE DELLA CENTRALE**

#### **3.1 La configurazione attuale della centrale**

La centrale termoelettrica di Tavazzano Montanaso (Lodi) è attualmente costituita da quattro gruppi per una potenza totale installata di 1474 MW ed utilizza per il ciclo di raffreddamento acqua prelevata dal canale Muzza nella misura massima di 50 m<sup>3</sup>/s. Di tali gruppi, i gruppi 5 e 6 sono stati trasformati, su autorizzazione del Ministero delle Attività Produttive, in due gruppi a ciclo combinato, con un aumento del rendimento dei nuovi gruppi dal 41% dei vecchi gruppi alimentati ad olio combustibile all'attuale 56%. Il funzionamento dei gruppi a ciclo combinato allo stato attuale è associato all'esercizio del gruppo 8, alimentato ad olio/gas, mentre per l'esercizio del gruppo 7 sono state effettuate apposite valutazioni volte a determinare, in caso di esercizio del gruppo stesso, il rispetto del limite di legge relativamente allo scarico delle acque di raffreddamento dei condensatori nei canali Muzza e Belgiardino e le modificazioni delle condizioni termiche dell'intero sistema idrico costituito da Muzza, Belgiardino e dal fiume Adda [1].

Le centrale utilizza per il ciclo di raffreddamento acqua prelevata dal canale Muzza nella misura massima di 50 m<sup>3</sup>/s. Il canale Muzza è il più importante canale alimentato dal fiume Adda; esso deriva in sponda destra, all'altezza di Cassano d'Adda, una portata massima di 112 m<sup>3</sup>/s e, oltre a fornire l'acqua di raffreddamento alle centrali di Cassano (AEM) e Tavazzano Montanaso (ENDESA), provvede alle esigenze irrigue di un territorio di circa 50000 ettari nel comprensorio di Lodi. Le portate del canale Muzza assumono però valori diversi in relazione alle necessità stagionali di irrigazione, controllate queste ultime dal Consorzio di Bonifica Muzza-Bassa Lodigiana che ha in gestione le utenze del canale stesso. Più in particolare, nel periodo invernale la garanzia della disponibilità della portata nominale di 50 m<sup>3</sup>/s per la centrale di Tavazzano Montanaso è subordinata alla disponibilità di una sufficiente portata nell'alveo dell'Adda in prossimità di Cassano, per cui di fatto la disponibilità per la centrale è di 43 m<sup>3</sup>/s continui per tutto l'anno, elevabili a 50 m<sup>3</sup>/s con buona sicurezza in genere da aprile a settembre.

Per quanto riguarda le garanzie di deflusso e la gestione delle acque dello scarico delle acque di raffreddamento nell'arco dell'intero anno, è stato realizzato il canale scaricatore detto Belgiardino che, partendo dal canale Muzza immediatamente a valle della centrale, confluisce direttamente in Adda dopo un percorso di circa 4.5 km. La topografia della zona comprendente la centrale, i canali Muzza e Belgiardino ed il tratto di fiume Adda interessato sono illustrati nello Studio di Impatto Ambientale relativo all'esercizio del gruppo 7 [1]. La principale funzione del canale Belgiardino consiste comunque nel dirottare in Adda le acque transanti a Tavazzano permettendo la continuità del raffreddamento dei gruppi anche quando il sistema di canali a valle della centrale fosse parzialmente od integralmente indisponibile per esempio per asciutte legate a lavori di manutenzione.

Per quanto riguarda gli aspetti legati al prelievo delle acque di raffreddamento dei condensatori, si è già ricordato che tale prelievo è legato alle esigenze di disponibilità irrigue del canale Muzza; in particolare, il sistema di prelievo dalla Muzza e di restituzione delle acque è caratterizzabile secondo tre periodi fondamentali:

1. nei mesi di marzo ed ottobre la portata destinata alla centrale è di 43 m<sup>3</sup>/s, che viene smaltita privilegiando il canale Belgiardino;
2. nel periodo compreso tra i mesi di aprile e settembre (periodo estivo) alla centrale viene assicurata, se disponibile, una portata massima di 50 m<sup>3</sup>/s che viene interamente restituita al canale Muzza;
3. nel periodo compreso tra i mesi di novembre e febbraio (periodo invernale) la portata massima destinata alla centrale è ancora di 43 m<sup>3</sup>/s, con una restituzione che interessa sia il canale Muzza che il canale Belgiardino.

Gli scenari sopra indicati, legati alle attuali condizioni di esercizio della centrale, presentano tuttavia anche aspetti legati ad altre esigenze, che possono comportare anche modifiche alle condizioni operative. In particolare, nel periodo di asciutta (mesi di marzo ed ottobre) il canale Belgiardino viene attivato sistematicamente, mentre nel periodo invernale lo scarico delle acque di raffreddamento interessa il fiume Adda tramite il canale Belgiardino anche in funzione delle asciutte del canale Muzza a valle della centrale per lavori di manutenzione. Nel periodo estivo (mesi da aprile a settembre), al canale Belgiardino viene comunque mantenuto un minimo flusso di acqua per la sopravvivenza della fauna ittica. Inoltre, in base alla convenzione con il Consorzio, la restituzione delle acque al canale Muzza deve avvenire in modo che il pelo libero nel canale, appena a monte dello sbarramento, si mantenga costante e pari ad un valore di 81.5 m s.l.m.m.; tale regolazione viene fatta mediante apposite paratoie.

Per quanto riguarda gli aspetti legati allo scarico delle acque di raffreddamento dei condensatori, va tenuto presente che la qualità dal punto di vista chimico e fisico delle acque di raffreddamento reimmesse nel sistema canale Muzza – canale Belgiardino è stata valutata mediante analisi sperimentali ed 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. 152/99 e successive modifiche.

L'impatto ambientale dovuto allo scarico delle acque di raffreddamento è quindi essenzialmente di tipo termico, in termini di portata immessa nel corpo idrico e quantità di calore contenuta, che si traduce in un valore di incremento termico allo scarico rispetto alla temperatura dell'acqua prelevata alle prese.

I dati relativi alle condizioni di prelievo e scarico attuali sono riportati in tab. 3.1 per i vari gruppi.

	gruppo 5	gruppo 6	gruppo 7	gruppo 8
portata (m <sup>3</sup> /s)	14.3	12.5	12.5	12.5
$\Delta T$ (°C)	8.13	4.7	7.6	7.6

tab. 3.1 – Portata acqua condensatrice per i diversi gruppi

Come già anticipato nella descrizione delle condizioni di prelievo, tutte le opere di presa insistono sul canale Muzza. In particolare si possono identificare due distinte opere di presa, una per i gruppi 5 e 6 e l'altra per i

gruppi 7 ed 8, entrambe prelevanti l'acqua di raffreddamento da un bacino opere di presa che costituisce un unico corpo con il canale Muzza stesso, come risulta dalla planimetria di fig. 3.1.

Di fatto, l'opera di presa per i gruppi 5 e 6 si configura come un'unica struttura che presenta dal lato del canale Muzza quattro sezioni di aspirazione identiche, di forma rettangolare, aventi una luce di 6.20 m ciascuna ed una altezza di 8.80 m, il cui basamento è posto ad una quota di 75.50 m s.l.m.m.. L'acqua del canale è convogliata in tale struttura per mezzo di una bocca di presa larga 27.8 m con un fondo posto a 78.8 m s.l.m.m.; è inoltre presente un tramezzo di convogliamento di spessore pari ad 1.2 m per regolare l'afflusso delle acque tra le sezioni afferenti al gruppo 5 e quelle del gruppo 6, che di fatto porta l'area efficace di aspirazione della bocca a 90.44 m<sup>2</sup>. Per i particolari costruttivi e di dettaglio si rimanda a quanto contenuto in [1].

Diversamente dalle opere di presa, che prelevano con due strutture affiancate dallo stesso bacino di presa, le opere di scarico per i gruppi 5/6 e per i gruppi 7/8 sono posizionate in punti diversi, come si può constatare dalla planimetria di fig. 3.1. Infatti, l'opera di scarico per i gruppi 5/6 restituisce le acque di raffreddamento al canale Muzza, circa 160 m a valle dell'opera di presa e circa 90 m a monte rispetto all'imbocco del canale Belgiardino, che deriva dal Muzza stesso. Le acque calde provenienti dal circuito di raffreddamento vengono scaricate per mezzo di un diffusore per ciascun gruppo avente una sezione di scarico quadrata di larghezza pari a 5 m e di altezza pari a 4.4 m; tuttavia, poiché il livello massimo nel canale è stabilito in 82 m s.l.m.m. ed il fondo dell'opera è posto a 78.6 m, la sezione efficace massima di scarico per ciascun diffusore risulta di 17 m<sup>2</sup>. Viceversa, l'opera di scarico per i gruppi 7/8 restituisce le acque di raffreddamento al canale Belgiardino, circa 280 m dopo la derivazione dal canale Muzza. Le acque calde provenienti dal circuito di raffreddamento vengono scaricate per mezzo di un diffusore per ciascun gruppo avente una sezione di scarico quadrata di larghezza pari a 5 m e di altezza pari a 3.60 m; tuttavia, poiché il livello massimo nel canale è stabilito in 82 m s.l.m.m. ed il fondo dell'opera è posto a 78.9 m, la sezione efficace massima di scarico per ciascun diffusore risulta di 15.5 m<sup>2</sup>. Anche per i particolari costruttivi e di dettaglio delle opere di scarico si rimanda a quanto contenuto in [1].

Come assetto attuale di esercizio viene quindi considerata nel presente studio la configurazione con 3 moduli di produzione energia elettrica: 2 a gas in assetto a ciclo combinato (gruppo 5 da 769 MW e gruppo 6 da 385 MW) ed 1 ad olio/gas (gruppo 8 da 320 MW), per un prelievo totale di acqua condensatrice di 1.132x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/anno.

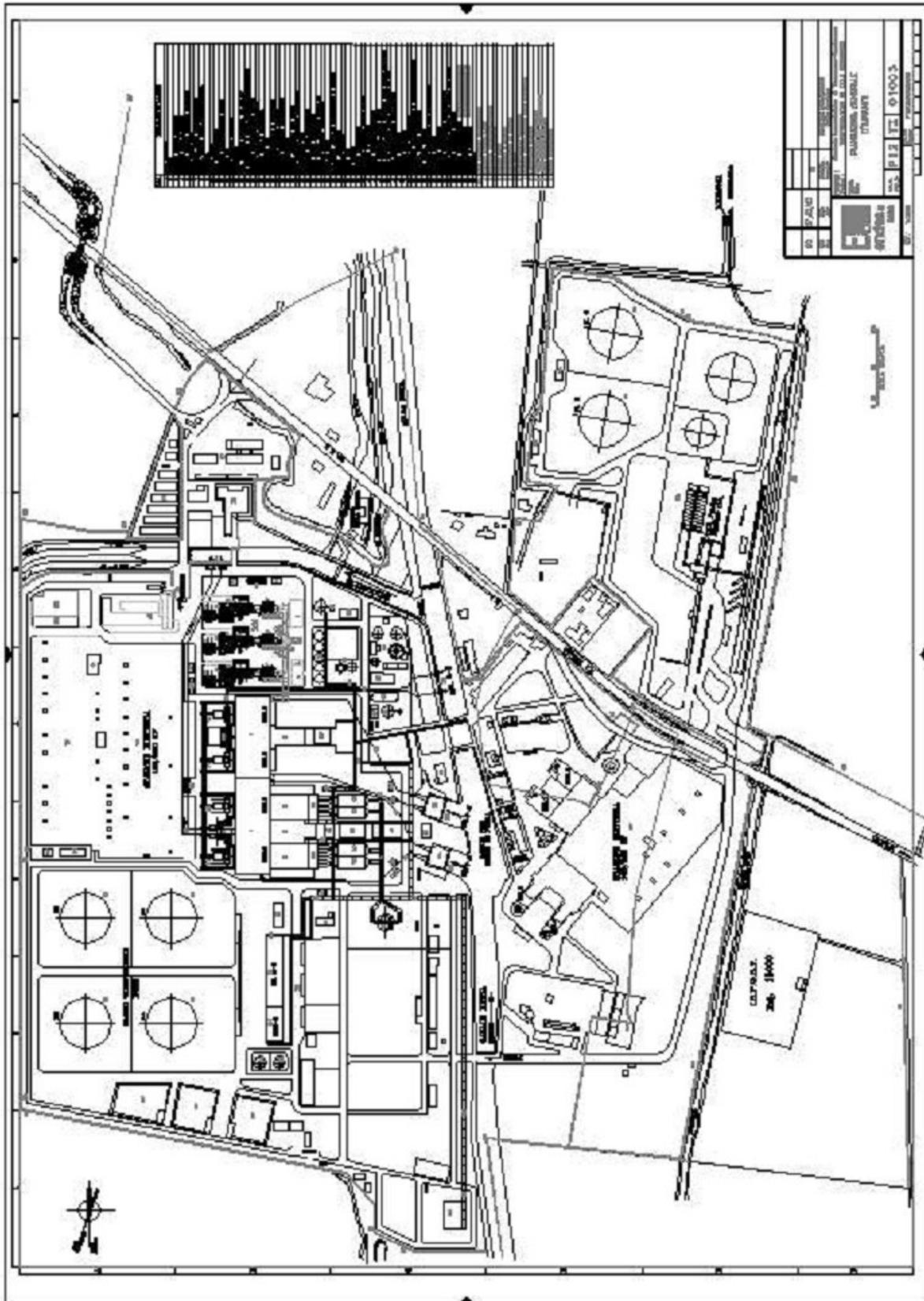


fig. 3.1- Planimetria della centrale con l'indicazione delle opere di presa e scarico



L'impatto ambientale dovuto allo scarico della torre di raffreddamento è quindi sia di tipo termico, a causa del limitato incremento di temperatura subito dall'acqua di scarico nel passaggio in torre, sia soprattutto di tipo chimico, in quanto il processo determina una concentrazione nell'acqua di scarico dei sali originariamente contenuti nell'acqua di reintegro prelevata dal canale Muzza.

### 3.3 Gli scenari intermedi di esercizio

L'assetto di esercizio della centrale termoelettrica di Tavazzano Montanaso verrà progressivamente modificato, secondo una serie di assetti intermedi fino a giungere, nel 2014, ad un assetto finale che comprende l'esercizio degli attuali gruppi 5 e 6 a ciclo combinato e del nuovo gruppo 9 a ciclo combinato "single shaft" come descritto nel precedente paragrafo.

In particolare, ai fini dell'analisi della dispersione termica nel corpo idrico ricevente, si possono individuare due scenari intermedi:

- a) *scenario intermedio I*: Tale scenario di esercizio viene considerato durante la fase di realizzazione del nuovo gruppo 9, la cui entrata in funzione è prevista per l'inizio del 2009, e fa riferimento ad un assetto operativo di centrale con 4 moduli di produzione energia elettrica, e cioè 2 moduli a gas a ciclo combinato (gruppo 5 da 769 MW e gruppo 6 da 385 MW) e 2 gruppi ad olio/gas (gruppo 7 e gruppo 8 da 320 MW ciascuno, con però una produzione annua complessiva equivalente a quella di un solo gruppo);
- b) *scenario intermedio II*: Tale scenario di esercizio viene considerato per un periodo di 5 anni a partire dall'entrata in funzione del gruppo 9, e quindi fino al 2014, e fa riferimento ad un assetto operativo di centrale con 4 moduli di produzione energia elettrica, e cioè 3 moduli a gas a ciclo combinato (gruppo 5 da 769 MW, gruppo 6 da 385 MW e gruppo 9 da 396.5 MW) ed 1 gruppo ad olio/gas (gruppo 8 da 320 MW), questo ultimo alimentato solo a gas a partire dal 2010.

Il prelievo totale di acqua condensatrice permane di  $1.132 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/anno anche nelle fasi intermedie di esercizio.

## 4 ANALISI DELLE CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA

### 4.1 Considerazioni generali

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.

D'altra parte, la valutazione dell'impatto ambientale conseguente alla modifica di moduli esistenti o alla realizzazione di nuovi moduli di produzione elettrica comporta necessariamente il ricorso ai metodi di simulazione numerica, ormai ampiamente affidabili; per la realizzazione delle simulazioni numeriche riferite agli scenari di cui si vuole effettuare la valutazione è però necessario individuare, attraverso la raccolta e l'analisi dei dati caratteristici del sito e degli impianti, le condizioni di simulazione pertinenti a ciascuno di essi.

La raccolta e l'analisi dei dati fa riferimento in particolare alle seguenti tipologie di informazioni:

- dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico e di presa per la definizione delle condizioni idrauliche di prelievo ed immissione delle acque di raffreddamento;
- dati relativi alla configurazione dei corpi idrici e alla relativa batimetria, per la definizione del dominio di calcolo;
- dati relativi ai valori di temperatura, portata e livello dei corpi idrici, per la definizione dei parametri di stato e delle condizioni di circolazione;
- dati di esercizio della centrale, quali potenza, modalità di esercizio e portata di scarico dei circuiti di raffreddamento per la definizione del carico termico disperso nei corpi idrici riceventi.

Naturalmente le informazioni relative alle condizioni ambientali del sito, alla geometria delle opere di scarico e presa ed alle condizioni stagionali dei corpi idrici interessati sono state già ampiamente analizzate e discusse per la valutazione della dispersione termica nei precedenti Studi di Impatto Ambientale e relative integrazioni [1],[2],[3],[4], e ad esse si farà direttamente riferimento nel seguito, richiamando di volta in volta i paragrafi dei documenti cui fare riferimento per i necessari dettagli.

### 4.2 Caratteristiche dell'impianto

I dati di impianti relativi alle opere di scarico e presa sono stati brevemente richiamati nel capitolo precedente, riservato alla descrizioni dei diversi scenari di esercizio previsti nella fase di trasformazione della centrale, con particolare riferimento alla definizione delle opere di scarico e presa operative per i diversi scenari previsti e alle corrispondenti sezioni efficaci.

Per un maggior dettaglio sulle specifiche geometriche e dimensionali e sulla loro collocazione rispetto alla configurazione dei corpi idrici si rimanda al paragrafo 4.3.3.5 di [9]

### 4.3 Caratteristiche del territorio

I dati relativi alla definizione della conformazione del territorio con particolare riferimento alla morfologia ed alla batimetria dei corpi idrici interessati alla dispersione termica, quali i canali Muzza e Belgiardino ed il fiume Adda, sono stati anch'essi esaminati in dettaglio al al paragrafo 4.3.3.5 di [9], cui si rimanda per maggiori informazioni.

Nel medesimo paragrafo è poi possibile ritrovare la caratterizzazione idrologica dei diversi corpi idrici interessati, basata su una ampia gamma di misure sperimentali ed osservazioni di centrale, mediante le quali è possibile determinare, anche in funzione dell'andamento stagionale, le condizioni idrauliche che influenzano la dispersione termica stessa.

### 4.4 Definizione dei parametri caratterizzanti la dispersione termica

I dati idrologici menzionati al paragrafo precedente non sono tuttavia di per se sufficienti a determinare il rispetto della normativa che, per quanto già riportato a stralcio nel paragrafo 2.1, richiede il rispetto del solo vincolo dei 35 °C di temperatura media in ciascuna sezione dei canali artificiali Muzza e Belgiardino.

Tuttavia, per avere un quadro di confronto più completo per i differenti scenari ipotizzati, sono state analizzate anche le condizioni termiche nel fiume Adda, in particolare tra le sezioni a monte dell'immissione del Belgiardino in Adda e quella a valle di detta immissione.

Nella fattispecie sono state dunque individuate tre sezioni:

1. la sezione a monte, altrimenti definita "sezione fredda", che si trova prima della immissione del Belgiardino in Adda, ed è quella in cui è stata misurata la temperatura imperturbata cui fare riferimento;
2. una prima sezione a valle, collocata a circa 100 m dalla confluenza, e per questo detta "sezione a 100 m". In tale sezione i gradienti termici risultano più elevati ed il pennacchio termico non è ancora miscelato;
3. una seconda sezione a valle, collocata a circa 1000 m dalla confluenza, e per questo detta "sezione a 1000 m". Questa sezione è stata scelta in quanto rappresentativa del tratto fluviale in cui il pennacchio termico è completamente mescolato, e di fatto rappresenta il termine della "mixing zone".

La rispondenza di tali sezioni, la cui posizione è illustrata in fig. 4.1, ai requisiti di verifica della normativa è stata verificata sulla base dei dati sperimentali disponibili secondo quanto riportato al al paragrafo 4.3.3.5 di [9]



## 5 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANALISI

### 5.1 Considerazioni generali

L'analisi della dispersione termica nell'assetto finale della centrale di Tavazzano Montanaso e nelle configurazioni intermedie corrispondenti alle diverse fasi di trasformazione dell'impianto è stata condotta utilizzando i medesimi strumenti di simulazione ed i medesimi criteri già utilizzati per i precedenti Studi di Impatto Ambientale.

Di seguito, verranno richiamati gli aspetti essenziali delle condizioni di analisi, rimandando per i dettagli del modello di simulazione al paragrafo 4.3.3.5 di [9], in particolare per la simulazione numerica:

- a. è stato utilizzato un modello matematico bidimensionale del tipo "shallow water" implementato con l'ausilio del codice SWEET che utilizza un reticolo di calcolo ad elementi finiti triangolari del secondo ordine per la generazione del quale è stato necessario assegnare i profili planimetrici dei corpi idrici interessati;
- b. è stato tenuto conto dei fattori ambientali che possono influenzare la dispersione termica, quali ad esempio lo scambio termico con l'atmosfera o l'effetto dovuto alla tipologia del fondo (presenza di erba, ghiaia, manufatti cementizi, ecc.);
- c. sono stati esaminati in l'andamento del campo di velocità e del campo termico nell'intero dominio di calcolo allo scopo di verificare del rispetto dei limiti di legge nelle condizioni supposte più critiche in relazione al futuro assetto della centrale ed alla regime delle acque nei canali artificiali facenti parte del sistema di raffreddamento della centrale stessa.

### 5.2 Definizione dei diversi casi di simulazione numerica

Il sistema di prelievo e di restituzione delle acque di raffreddamento è caratterizzato da tre periodi fondamentali:

1. mesi di marzo ed ottobre, nei quali la portata destinata alla centrale è mediamente di  $43 \text{ m}^3/\text{s}$ , smaltita privilegiando il canale Belgiardino;
2. periodo compreso tra i mesi di aprile e settembre (periodo estivo) nel quale alla centrale viene assicurata, se disponibile, una portata massima di  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  che viene interamente restituita al canale Muzza;
3. periodo compreso tra i mesi di novembre e febbraio (periodo invernale) nel quale la portata massima destinata alla centrale è ancora di  $43 \text{ m}^3/\text{s}$ , con una restituzione ripartita tra il canale Muzza ed il canale Belgiardino.

Gli scenari sopra indicati, tuttavia, oltre a presentare un carattere generale per cui nella realtà si sono avute condizioni anche assai diverse, non rispecchiano completamente quelle che sono le future condizioni operative ipotizzabili. Inoltre, il modello di simulazione numerica adottato richiede la definizione accurata dei seguenti aspetti:

1. condizioni di esercizio che influenzano l'incremento termico in Adda, che si traducono nella definizione delle condizioni di carico e del valore del rapporto  $Q_A/Q_B$  più critico;
2. condizioni imperturbate dei corpi idrici, in termini di portate, livelli e valori di temperatura.

Per quanto riguarda il primo punto, le condizioni di esercizio ipotizzate, che prevedono per i diversi scenari il possibile esercizio dei gruppi 5 e 6 a ciclo combinato e 7 ed 8 ad olio/gas, sono riportate in tab. 3.1, mentre le condizioni relative allo scarico delle acque della torre di raffreddamento del nuovo gruppo 9 a ciclo combinato sono riportate al paragrafo 3.2. Per ogni distinto scenario la condizione di carico verrà valutata in funzione del massimo livello di esercizio autorizzato per ciascun gruppo.

Per quanto riguarda il secondo punto, avendo i parametri caratterizzanti i corpi idrici una dipendenza stagionale, sono stati considerati i medesimi quattro periodi già definiti per le simulazioni di SIA, le cui condizioni ambientali critiche sono riassunte nella successiva tab. 5.1; per i dettagli sulle condizioni idrologiche caratterizzanti ciascun periodo si rimanda al paragrafo 4.3.3.5 di [9]

caso	periodo	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub> /Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>	h <sub>A</sub>	Q <sub>A</sub> monte	Q <sub>M</sub>	Q <sub>M</sub> valle	T <sub>M</sub>	T <sub>A</sub>
caso 1	marzo	36.73	2.22	81.5406	-0.8	44.8106	44.51	7.78	9.5	10
caso 2	ottobre	39.7	2.28	90.516	-0.755	50.816	43	3.3	15.5	15
caso 3	invernale	34.2	1.57	53.694	-0.96456	19.494	41.18	6.98	6.5	7.5
caso 4	estivo	27.35	1.89	51.75	-0.9779	24.4	50	22.65	21	21

Note:

Q<sub>B</sub> = portata Belgiardino (prob di superamento 1%) mc/s pari al massimo tra i valori giornalieri misurati nel periodo

Q<sub>A</sub>/Q<sub>B</sub>=rapporto portate Adda/BG (prob. di sup. 99%) pari al rapporto minimo giornaliero nel periodo 1994-2000

Q<sub>A</sub>=portata Adda = Q<sub>B</sub> \* Q<sub>A</sub>/Q<sub>B</sub>

Q<sub>M</sub>=portata in Muzza (mc/s) da valori 1994-2000

T<sub>M</sub> = temperatura Muzza a monte (°C)

T<sub>A</sub> = temperatura Adda a monte BG (°C)

h<sub>A</sub>= livello dell'Adda all'idrometro di Lodi (zero idrometrico a 64.26 m s.l.m.m.)

**tab. 5.1 - Condizioni critiche analizzate nel corso dello studio per ciascun scenario di esercizio**

Le quattro condizioni corrispondenti ai quattro periodi stagionali sono poi state combinate con i diversi scenari di esercizio descritti nel precedente capitolo 3, e precisamente:

- A. *scenario attuale*, caratterizzato dall'esercizio a pieno carico dei gruppi 5 e 6 a ciclo combinato e dall'esercizio a pieno carico del gruppo 8 alimentato ad olio/gas; come risulta dalla tabella tab. 3.1, la portata complessiva dell'acqua necessaria al raffreddamento prelevata dal canale Muzza in questo caso assomma a 39.3 m<sup>3</sup>/s. Le quattro condizioni stagionali portano per lo scenario attuale a definire, secondo la nomenclatura di tab. 5.1, i casi A1,A2,A3 ed A4 rispettivamente;
- B. *primo scenario intermedio*, corrispondente alla fase di costruzione del nuovo gruppo 9 a ciclo combinato, caratterizzato dall'esercizio a pieno carico dei gruppi 5 e 6 a ciclo combinato e dall'esercizio dei gruppi 7 ed 8 ad olio/gas, ma con la limitazione di una produzione annua complessiva equivalente a quella di un solo gruppi di questo tipo. Questa prescrizione determina però la possibilità di un insieme di configurazioni di esercizio in cui uno o l'altro od entrambi i gruppi 7 ed 8 possono essere in funzione a diversi livelli di carico: dal punto di vista della dispersione termica, quindi, occorre considerare la condizione più limitante dal punto di vista del rispetto dei limiti di legge, che nella fattispecie corrisponde ad una condizione di tutti e quattro i gruppi in esercizio a pieno carico, con una portata totale dell'acqua necessaria al raffreddamento prelevata dal canale Muzza pari quindi a 51.8 m<sup>3</sup>/s. Le quattro condizioni stagionali portano per lo scenario attuale a definire, secondo la nomenclatura di tab. 5.1, i casi B1,B2,B3 e B4 rispettivamente;
- C. *secondo scenario intermedio*, (altrimenti detto *futuro intermedio*), caratterizzato dall'esercizio a pieno carico dei gruppi 5 e 6 a ciclo combinato, dall'esercizio del gruppo 8 alimentato ad olio/gas e dall'esercizio del gruppo 9 a ciclo combinato. In questo caso occorre tenere presente che il carico del gruppo 8 è destinato progressivamente a diminuire, e che dal 2010 esso dovrà essere alimentato esclusivamente a gas. Dal punto di vista della dispersione termica la prescrizione del passaggio a gas non presenta differenze in termini di calore ceduto al corpo idrico, per cui tale scenario si differenzia da quello attuale solo per la presenza del gruppo 9, che però immette nell'opera di scarico dei gruppi 5 e 6 solo l'acqua proveniente dalla torre di raffreddamento, la cui quantità (60 m<sup>3</sup>/h) ed il cui incremento termico (+2 °C) sono tali da non alterare di fatto le condizioni di dispersione termica nel canale Belgiardino e nel fiume Adda rispetto allo scenario attuale. Pertanto, le valutazioni termiche relative allo scenario attuale di cui al punto A. sono da ritenersi ancora valide, e la presenza del gruppo 9 è stata tenuta in conto solo per gli aspetti relativi al contenuto chimico dell'acqua di scarico;
- D. *scenario finale*, caratterizzato dall'esercizio a pieno carico dei gruppi 5 e 6 a ciclo combinato e dall'esercizio del gruppo 9 anch'esso a ciclo combinato. La portata complessiva dell'acqua necessaria al raffreddamento prelevata dal canale Muzza in questo caso assomma a 26.8 m<sup>3</sup>/s. Le quattro condizioni stagionali portano per lo scenario attuale a definire, secondo la nomenclatura di tab. 5.1, i casi D1,D2,D3 e D4 rispettivamente.

### 5.3 Metodologia di verifica del rispetto dei limiti di legge

La Centrale di Tavazzano e Montanaso, il cui recettore è un canale artificiale, ha come limite di legge applicabile il valore di 35 °C allo scarico. Il valore dello scarico termico dei condensatori è monitorato ed il

limite di 35°C è sempre rispettato con un'eventuale riduzione di carico, operata al raggiungimento del valore di allarme di 34,5°C.

Per completezza di analisi, viene di seguito riportata la metodologia seguita per la verifica della dispersione termica utilizzando il confronto con i parametri previsti dal D.Lgs. n° 152/99 “Testo unico sulle acque” e successive modificazioni (D.Lgs. n° 258/00) per i corsi d'acqua naturali.:

*“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.....”*

Ciò significa che sono state fatte considerazioni volte a rappresentare anche il comportamento nelle sezioni fluviali a monte e valle del punto di immissione. In pratica, 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 adotta 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.

Tenendo conto di quanto già riportato nei documenti [1] e [2] e della analisi statistica descritta al precedente paragrafo 3.3.5, 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 prima della immissione del Belgiardino in Adda, per la della temperatura media naturale del corpo idrico recettore;
- *sezione calda a valle*, scelta ad una distanza di circa 100 m dalla confluenza (detta anche “sezione a 100 m”), in cui viene valutato l'incremento termico dovuto allo scarico, sia sull'intera sezione che sulla semi sezione fredda

La collocazione delle sezioni rispetto alla confluenza del Belgiardino in Adda è mostrata nella fig. 4.1.

Per quanto riguarda la verifica dei limiti di concentrazione delle specie chimiche, si fa riferimento ancora alla tabella 3 dell'allegato 5 del D.L. n° 258/00, tenendo presaeante che il tipo di torre di raffreddamento utilizzata presenta un fattore di concentrazione massimo pari a 5.

## 6 ANALISI DEI RISULTATI

### 6.1 Considerazioni generali

Gli scenari identificati in precedenza come conservativi ai fini della valutazione delle condizioni di scarico e del loro impatto sui corpi idrici interessati sono stati analizzati in dettaglio 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 agli scarichi ed alle opere di presa dei cinque gruppi, che interessano il canale Muzza e l'imbocco del canale Belgiardino, e la zona dello sbocco del canale Belgiardino in Adda. Per quanto riguarda la rappresentazione dei risultati, poiché le temperature per qualunque situazione stagionale sono comprese tra i 6 °C ed i 33.2 °C, è stata adottato un intervallo di temperatura compreso tra i 5 °C ed i 35 °C (valore limite di legge), diviso in 20 parti da 1.5 °C ciascuna.

Gli scenari precedentemente descritti, tuttavia, presentano dal punto di vista dell'impatto termico in termini di quantità di calore e di portata scaricata una condizione critica di esercizio quando tutti e quattro i gruppi sono in esercizio a pieno carico, come accade nello scenario B (*primo intermedio*), in quanto gli altri scenari ipotizzati comportano tutti una minore quantità di calore scaricata nei corpi idrici riceventi ed una minore portata di scarico; in particolare, nella situazione finale di esercizio tali quantità risultano pressoché dimezzate rispetto alla situazione dello scenario B. Ne consegue che è essenziale verificare l'andamento della dispersione termica ed il rispetto dei limiti di legge nella configurazione più critica, e verificare negli altri assetti di esercizio la conseguente riduzione dei parametri termici, ricordando sempre che l'eventuale esercizio contemporaneo del gruppo 9 non altera in maniera rilevabile le condizioni di dispersione.

### 6.2 Analisi della configurazione più critica (scenario B)

#### 6.2.1 Caso B.1 – Mese di marzo

Tale caso si riferisce alle condizioni tipiche primaverili in cui il canale Muzza si trova in condizioni di parziale chiusura a valle della centrale e le acque di raffreddamento giungono in Adda prevalentemente attraverso il canale Belgiardino.

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo porta alle seguenti considerazioni:

- l'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando poi il transitorio conseguente per un periodo di due giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie
- le condizioni di analisi, considerate tipiche per il mese di marzo come riportato in tab. 5.1, fanno riferimento ad un valore del rapporto  $Q_A/Q_B$  pari a 2.2;
- il valore di portata nel canale Muzza è inferiore al valore della portata di acqua di raffreddamento aspirata alle opere di presa, per cui ci si attende un effetto di ricircolo, in particolare relativo ai gruppi

5 e 6 la cui opera di presa è la più vicina allo scarico del gruppo 6, il quale presenta a sua volta, come risulta dalla tab. 3.1, il massimo valore di incremento termico allo scarico (8.1 °C). Come in effetti risulta dalla fig. 6.1 che mostra il campo termico nella zona delle prese e degli scarichi, una parte consistente dell'acqua calda scaricata dai gruppi 5/6 viene convogliata verso le opere di presa dei gruppi 5 e 6, mentre la restante parte viene convogliata verso il canale Belgiardino ed in minima parte prosegue lungo il canale Muzza, raffreddandosi. La presenza di ricircolo è ulteriormente evidenziata dall'andamento del campo di moto (sovrapposto in figura), da cui risulta evidente la risalita dell'acqua calda lungo la Muzza. In queste condizioni, con l'ipotesi di funzionamento a pieno carico, il modello numerico calcola un incremento di temperatura alla presa dei gruppi 5/6 di 4.7 °C massimi, mentre alla presa 7/8 si ha un valore mediamente inferiore a 0.1 °C. In queste condizioni, l'acqua che viene scaricata attraverso il canale Belgiardino presenta una temperatura media all'imbocco di 20.1 °C;

- il campo termico risultante nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda è riportato in fig. 6.2, con la posizione della sezione a 100 m. La prima considerazione che emerge dall'analisi del campo termico è che il pennacchio termico si mantiene a ridosso della sponda destra, e non si riscontra la presenza di barriere termiche. L'andamento del campo di moto, particolarmente in corrispondenza della confluenza, mostra come il flusso nel fiume non sia particolarmente modificato dall'immissione dell'effluente caldo, consentendo così il mantenimento di una buona parte della sezione di fiume in condizioni non perturbate;
- l'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato fig. 6.3. Si può immediatamente osservare che il valore di incremento sull'intera sezione, pari a 2.0 °C, è inferiore al valore limite di legge anche considerando un ricircolo oggettivamente assai alto; anche il valore sulla semi sezione fredda, che è pari a 0.1 °C, risulta in queste condizioni inferiore al limite imposto di 1 °C. Se si osserva l'andamento delle temperature lungo la sezione, riportato in fig. 6.4, si nota comunque come l'andamento delle temperature sulla sezione a 100 m presenti valori mediamente elevati nella zona del pennacchio, che però rimane abbastanza confinato verso la sponda destra, con un massimo di 16.3 °C a circa 6 m da essa. Il valore medio di temperatura allo scarico del Belgiardino, in corrispondenza della sezione di confluenza, è pari a 16.5 °C.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minimo rapporto probabile tra le portate di Adda e Belgiardino, massimo valore di portata in quest'ultimo, massimo carico della centrale, minimo valore di portata in Muzza con conseguente alto valore di ricircolo, determinano comunque una condizione che rispetta, nella sezione a 100 m dalla confluenza di Belgiardino, i limiti che la legge impone sul valore di incremento termico medio degli scarichi diretti in fiume, per quanto non applicabili nel caso specifico, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

Le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000 m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.5 e fig. 6.6.

L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.

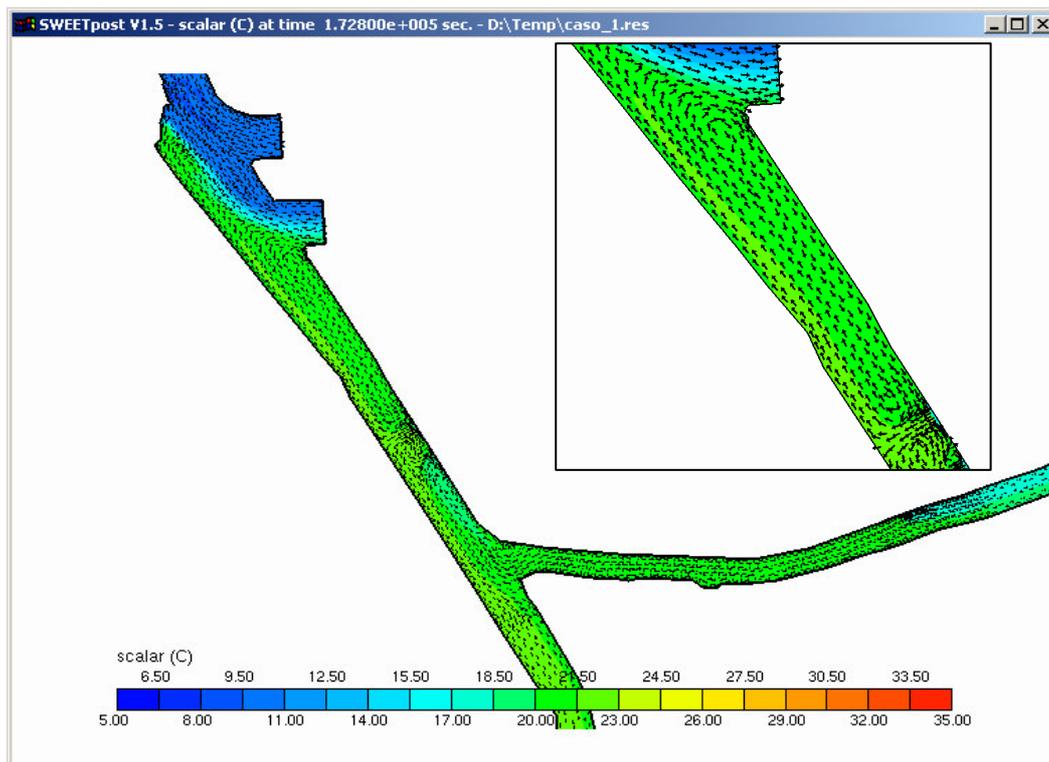


fig. 6.1 – Caso B.1. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa

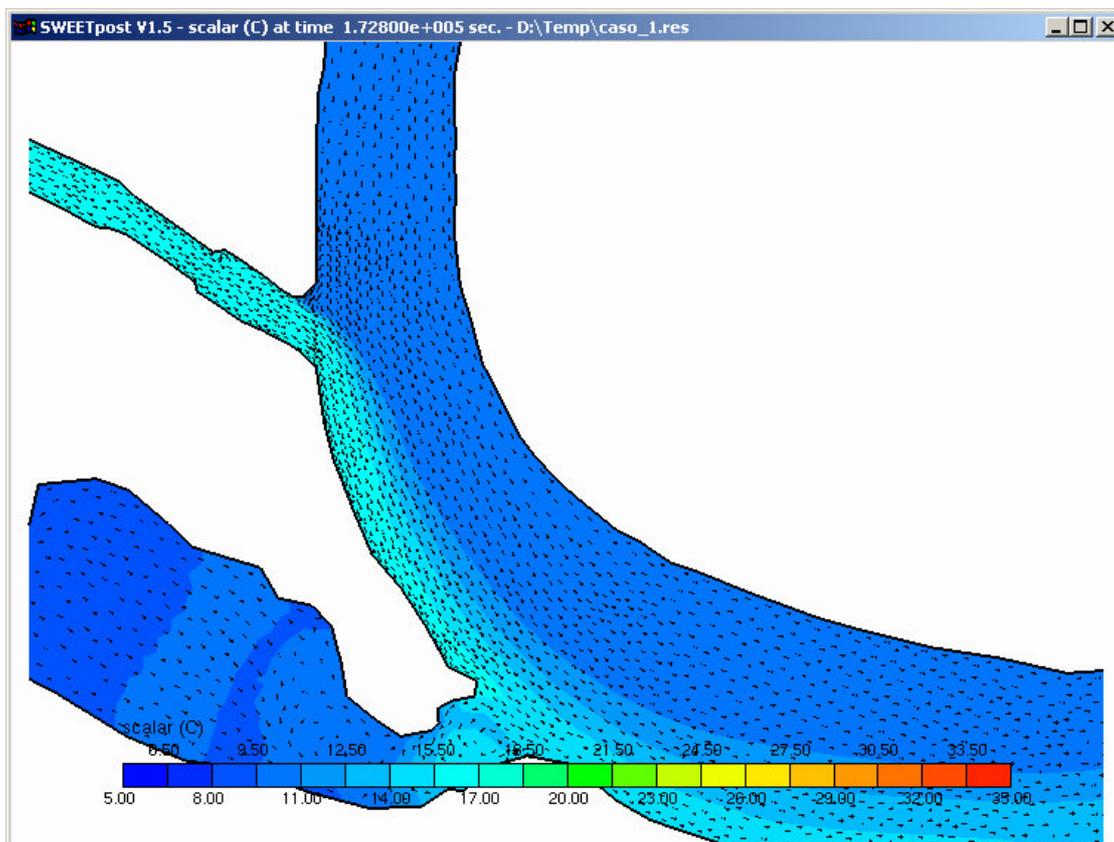


fig. 6.2 – Caso B.1. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda

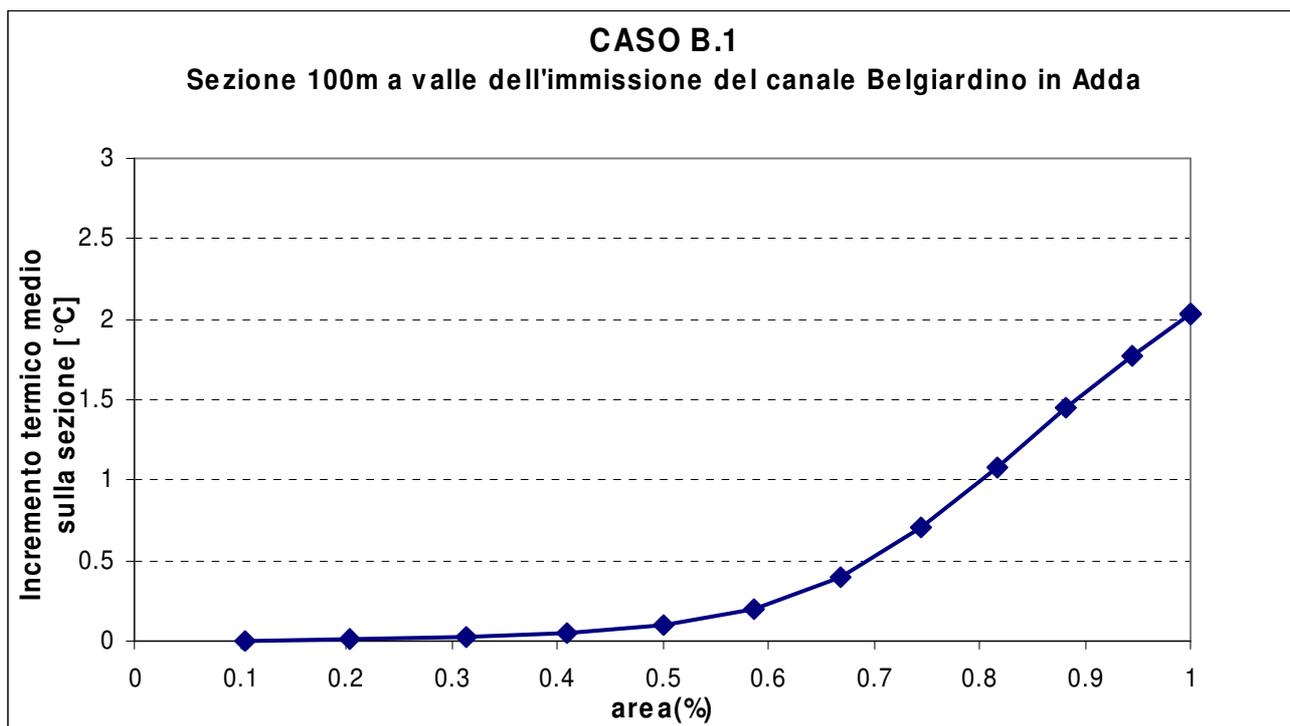


fig. 6.3 – Caso B.1. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

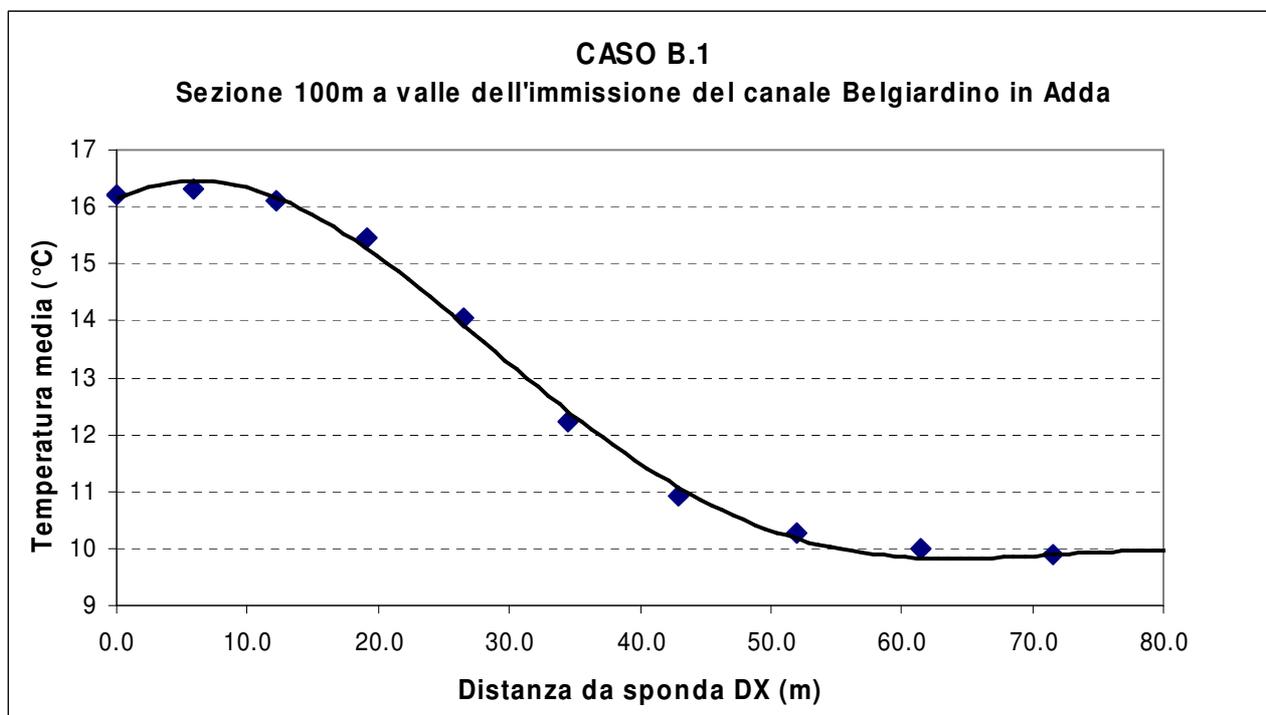


fig. 6.4 – caso B.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

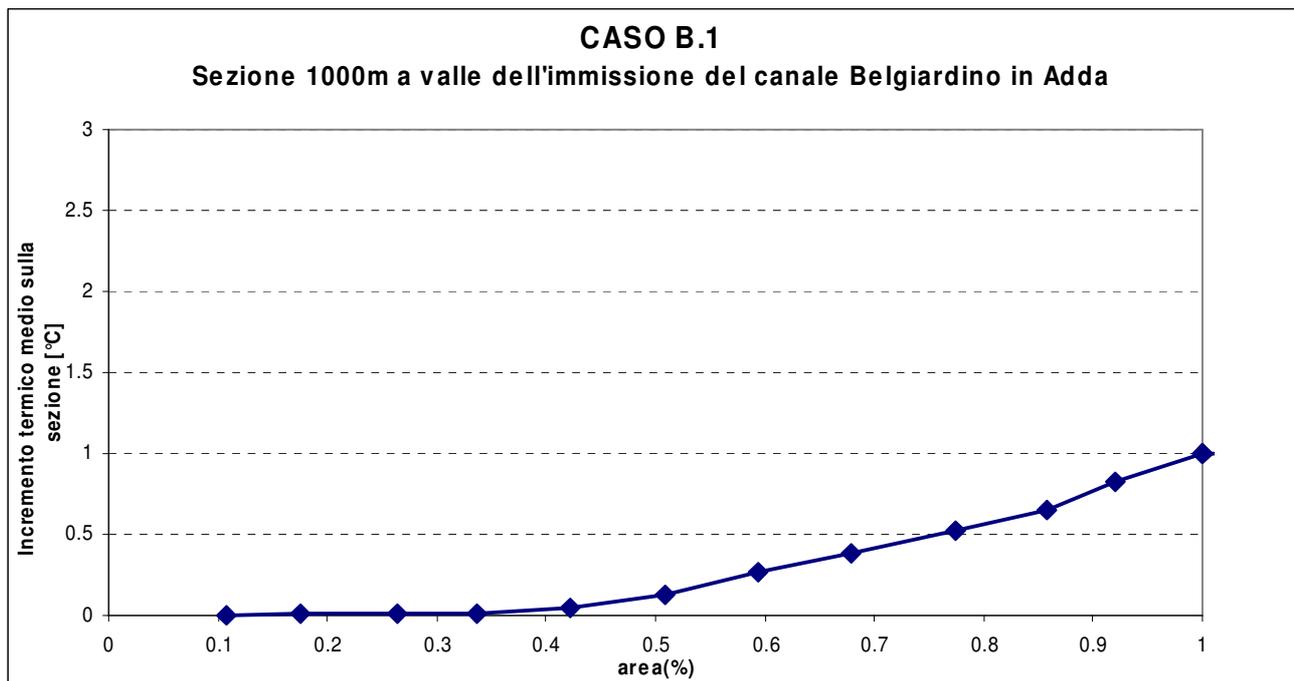


fig. 6.5 – Caso B.1. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

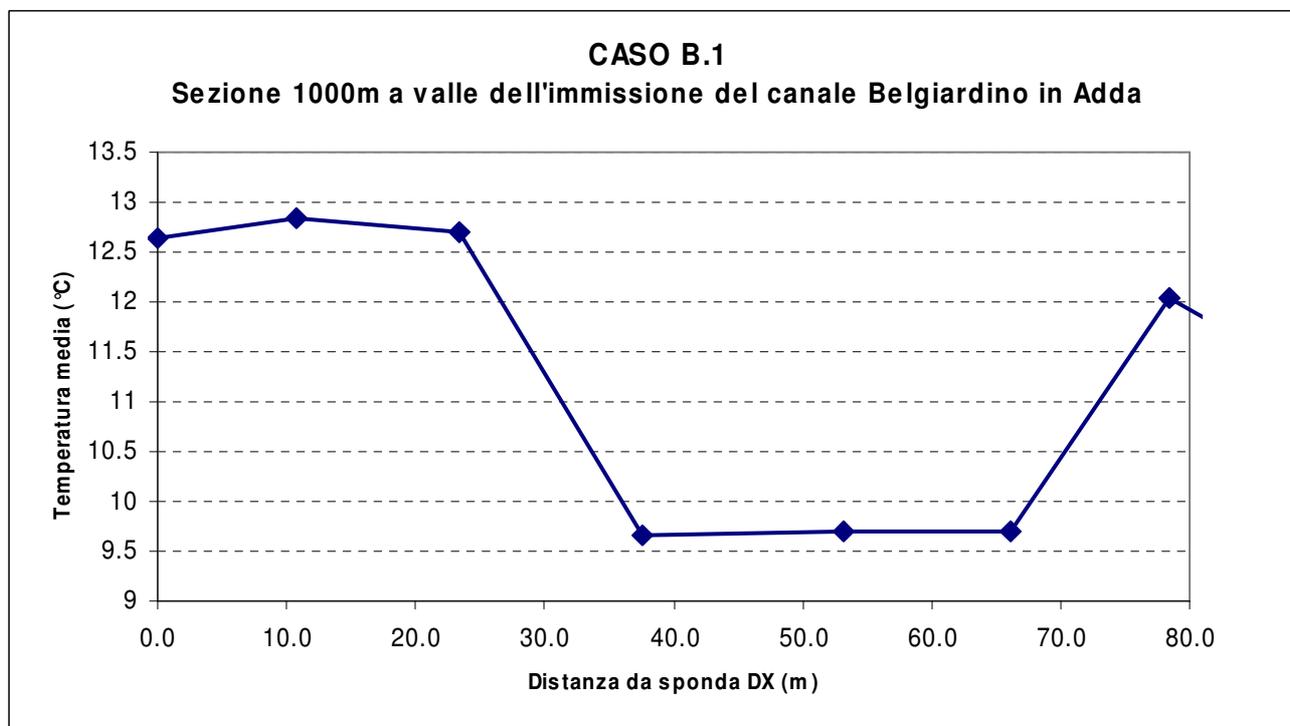


fig. 6.6 – caso B.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

### 6.2.2 Caso B. 2 – Mese di ottobre

Tale caso si riferisce alle condizioni tipiche autunnali in cui il canale Muzza si trova come nel periodo primaverile, in condizioni di parziale chiusura a valle della centrale e le acque di raffreddamento giungono in Adda prevalentemente attraverso il canale Belgiardino.

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo porta alle seguenti considerazioni:

- l'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando poi il transitorio conseguente per un periodo di due giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie;
- le condizioni di analisi, considerate tipiche per il mese di ottobre come riportato in tab. 5.1, fanno riferimento ad un valore del rapporto  $Q_A/Q_B$  pari a 2.8;
- il valore di portata nel canale Muzza è inferiore al valore della portata di acqua di raffreddamento aspirata alle opere di presa, per cui ci si attende un effetto di ricircolo, in particolare relativo ai gruppi 5 e 6 la cui opera di presa è la più vicina allo scarico del gruppo 6, il quale presenta a sua volta, come risulta dalla tab. 3.1, il massimo valore di incremento termico allo scarico (8.13 °C). Come in effetti risulta dalla fig. 6.7 che mostra il campo termico nella zona delle prese e degli scarichi, una parte consistente dell'acqua calda scaricata dai gruppi 5 e 6 viene convogliata verso le opere di presa dei gruppi 5 e 6, mentre la restante parte viene convogliata verso il canale Belgiardino ed in minima parte prosegue lungo il canale Muzza, raffreddandosi. La presenza di ricircolo è ulteriormente evidenziata dall'andamento del campo di moto (sovrapposto in figura), da cui risulta evidente la risalita dell'acqua calda lungo la Muzza. In queste condizioni, con l'ipotesi di funzionamento a pieno carico, il modello numerico calcola un incremento di temperatura alla presa dei gruppi 5/6 di 5.6 °C massimi, mentre alla presa 7/8 si ha un valore praticamente nullo. In queste condizioni, l'acqua che viene scaricata attraverso il canale Belgiardino presenta una temperatura media all'imbocco di 26.7 °C;
- il campo termico risultante nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda è riportato in fig. 6.8, con la posizione della sezione a 100 m. La prima considerazione che emerge dall'analisi del campo termico è che il pennacchio termico si mantiene a ridosso della sponda destra, e non si riscontra la presenza di barriere termiche. L'andamento del campo di moto, particolarmente in corrispondenza della confluenza, mostra come il flusso nel fiume non sia particolarmente modificato dall'immissione dell'effluente caldo, consentendo così il mantenimento di una buona parte della sezione di fiume in condizioni non perturbate
- l'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato in fig. 6.9. Si può immediatamente osservare che il valore di incremento sull'intera sezione, pari a 2.3 °C, è inferiore al valore limite di legge anche considerando un ricircolo oggettivamente assai alto; anche il valore sulla semi sezione fredda, che è pari a 0.1 °C, risulta in queste condizioni inferiore al limite imposto di 1 °C. Se si osserva l'andamento delle temperature lungo la sezione, riportato in fig. 6.10, si nota comunque come l'andamento delle temperature sulla sezione a 100 m presenti valori mediamente elevati nella zona del pennacchio, che però rimane abbastanza confinato verso la sponda destra, con

un massimo di 22.7 °C a circa 5 m da essa. Il valore medio di temperatura allo scarico del Belgiardino, in corrispondenza della sezione di confluenza, è pari a 23 °C.

Di fatto, l'andamento di tale caso è assai simile nel comportamento a quello discusso al precedente paragrafo per il mese di marzo, tenuto conto del differente valore della temperatura imperturbata.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minimo rapporto probabile tra le portate di Adda e Belgiardino, massimo valore di portata in quest'ultimo, massimo carico della centrale, minimo valore di portata in Muzza con conseguente alto valore di ricircolo, determinano comunque una condizione che rispetta, nella sezione a 100 m dalla confluenza di Belgiardino i limiti che la legge impone sul valore di incremento termico medio degli scarichi diretti in fiume, per quanto non applicabili nel caso specifico, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

Le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000 m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.11 e fig. 6.12.

L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.

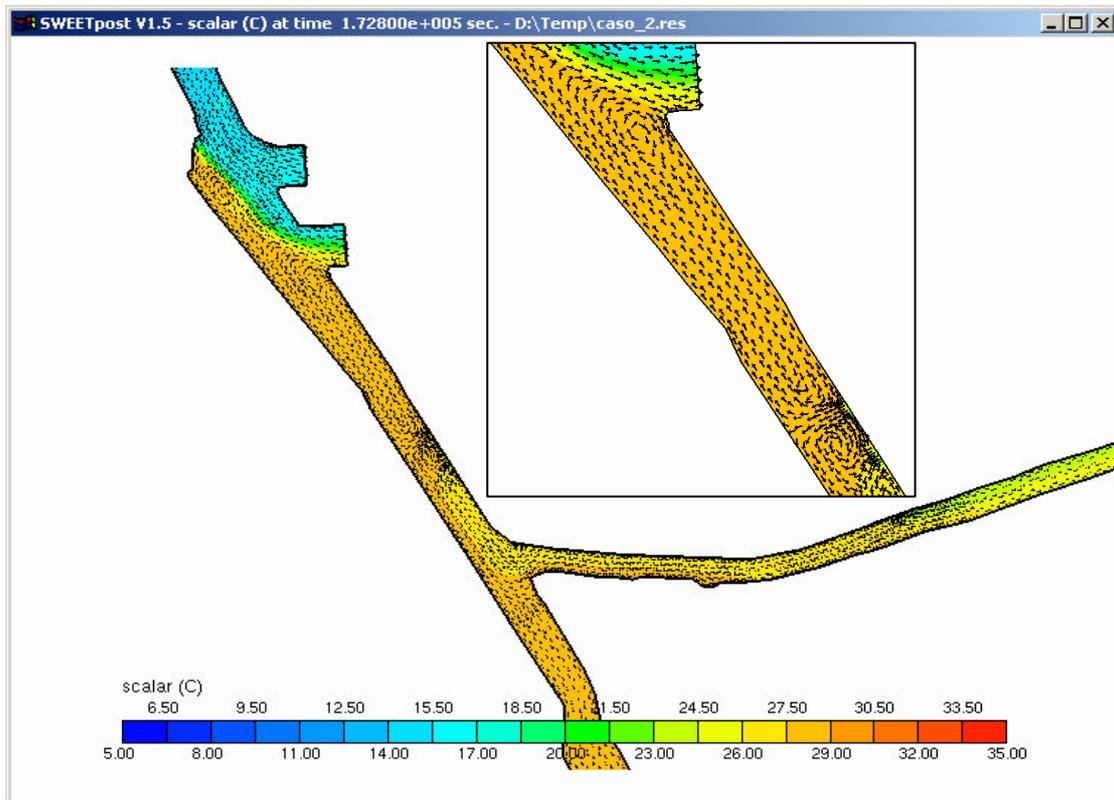


fig. 6.7 – Caso B.2. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa

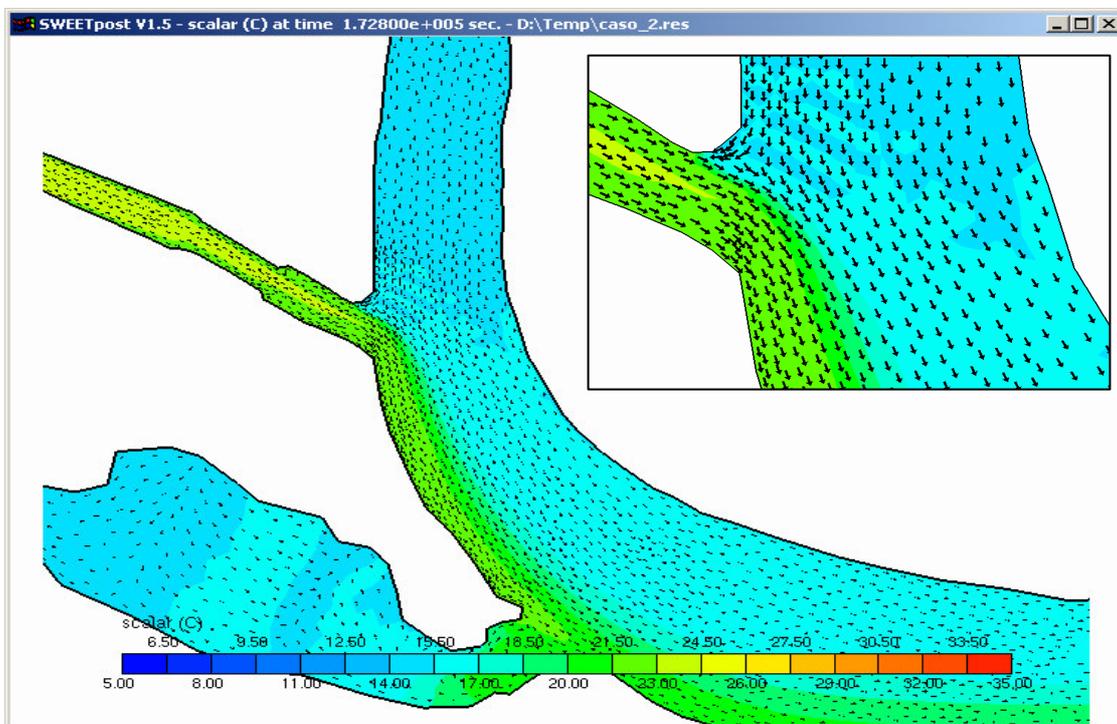


fig. 6.8 – Caso B.2. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda

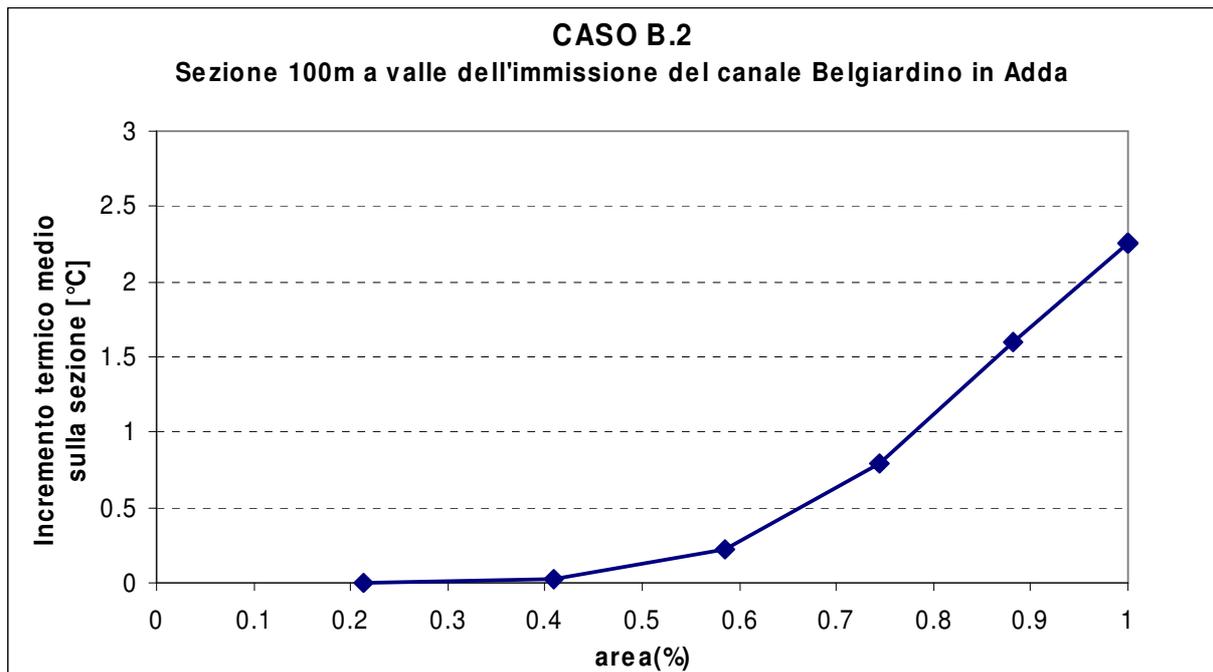


fig. 6.9 – Caso B.2. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

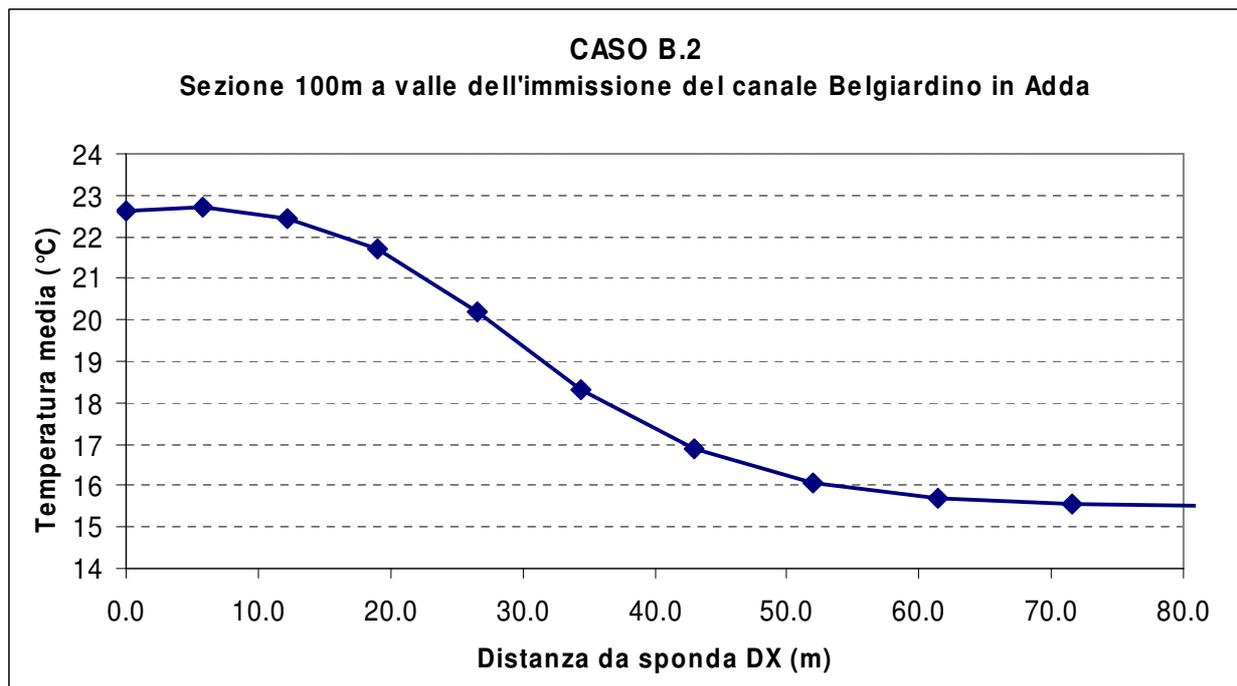


fig. 6.10 – Caso B.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

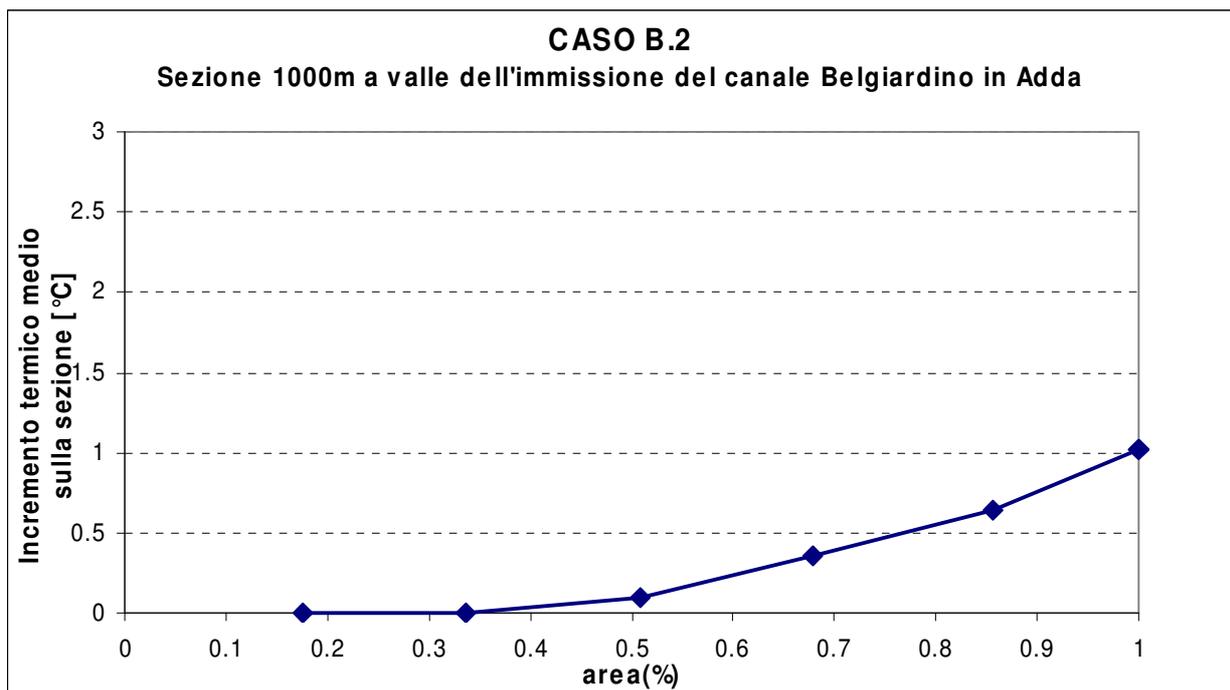


fig. 6.11 – Caso B.2. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

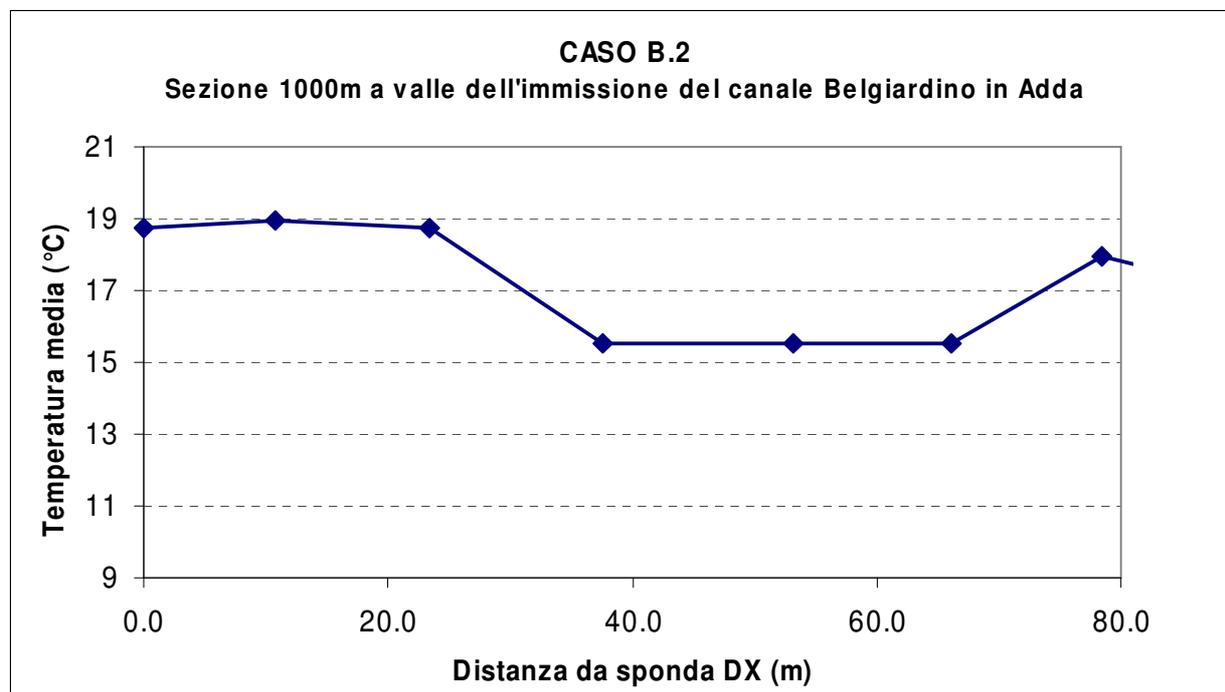


fig. 6.12 – Caso B.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

### 6.2.3 Caso B.3 – Mesi da novembre a febbraio (periodo invernale)

Tale caso si riferisce alle condizioni tipiche del periodo invernale in le acque di raffreddamento sono ripartite tra il canale Belgiardino, giungendo in Adda, ed il canale Muzza.

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo porta alle seguenti considerazioni:

- l'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando poi il transitorio conseguente per un periodo di due giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie
- le condizioni di analisi, considerate tipiche per il mese di ottobre come riportato in tab. 5.1, fanno riferimento ad un valore del rapporto  $Q_A/Q_B$  pari a 1.57;
- il valore di portata nel canale Muzza è ancora inferiore al valore della portata di acqua di raffreddamento aspirata alle opere di presa, per cui ci si attende un effetto di ricircolo, in particolare relativo ai gruppi 5 e 6 la cui opera di presa è la più vicina allo scarico del gruppo 6, il quale presenta a sua volta, come risulta dalla tab. 3.1, il massimo valore di incremento termico allo scarico (8.13 °C). Come in effetti risulta dalla fig. 6.13 che mostra il campo termico nella zona delle prese e degli scarichi, una parte consistente dell'acqua calda scaricata dai gruppi 5/6 viene convogliata verso le opere di presa dei gruppi 5 e 6, mentre la restante parte viene convogliata verso il canale Belgiardino ed in minima parte prosegue lungo il canale Muzza, raffreddandosi. La presenza di ricircolo è ulteriormente evidenziata dall'andamento del campo di moto (sovrapposto in figura), da cui risulta evidente la risalita dell'acqua calda lungo la Muzza. In queste condizioni, con l'ipotesi di funzionamento a pieno carico, il modello numerico calcola un incremento di temperatura alla presa dei gruppi 5/6 di 3.9 °C massimi, mentre alla presa 7/8 si ha un valore pressoché nullo; il valore di ricircolo, pur essendo la portata della Muzza inferiore rispetto alle situazioni studiate in precedenza, è comunque inferiore perché vi è un maggior effetto di raffreddamento dovuto alla temperatura più bassa dell'acqua del canale. In queste condizioni, l'acqua che viene scaricata attraverso il canale Belgiardino presenta una temperatura media all'imbocco di 15.3°C;
- il campo termico risultante nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda è riportato in fig. 6.14, con la posizione della sezione a 100 m. La prima considerazione che emerge dall'analisi del campo termico è che il pennacchio termico è ora più ampio, a causa della maggior portata relativa del canale Belgiardino rispetto all'Adda. L'andamento del campo di moto, particolarmente in corrispondenza della confluenza, mostra come il flusso nel fiume non sia comunque particolarmente modificato dall'immissione dell'effluente caldo, consentendo così il mantenimento di almeno metà della sezione di fiume in condizioni non perturbate
- l'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato in fig. 6.15. Si può immediatamente osservare che il valore di incremento sull'intera sezione, pari a 2.5 °C, è comunque inferiore al valore limite di legge anche considerando un ricircolo oggettivamente assai alto; anche il valore sulla semi sezione fredda, che è pari a 0.5 °C, risulta in queste condizioni inferiore al limite imposto di 1 °C. E' comunque innegabile che questa situazione si presenta più critica rispetto a quelle discusse nei precedenti paragrafi, a causa essenzialmente del basso rapporto

tra le portate di Adda e Belgiardino Infatti, se si osserva l'andamento delle temperature lungo la sezione, riportato in fig. 6.16, si nota un andamento delle temperature sulla sezione a 100 m con valori mediamente elevati in buona parte della semi sezione calda, con un massimo di 12.5 °C a circa 12 m dalla riva destra. Il valore medio di temperatura allo scarico del Belgiardino, in corrispondenza della sezione di confluenza, è pari a 12.6 °C.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minimo rapporto probabile tra le portate di Adda e Belgiardino, massimo valore di portata in quest'ultimo, massimo carico della centrale, minimo valore di portata in Muzza con conseguente alto valore di ricircolo, determinano comunque una condizione che rispetta, nella sezione a 100 m dalla confluenza di Belgiardino, i limiti che la legge impone sul valore di incremento termico medio degli scarichi diretti in fiume, per quanto non applicabili nel caso specifico, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

Le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000 m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.17 e fig. 6.18.

L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.

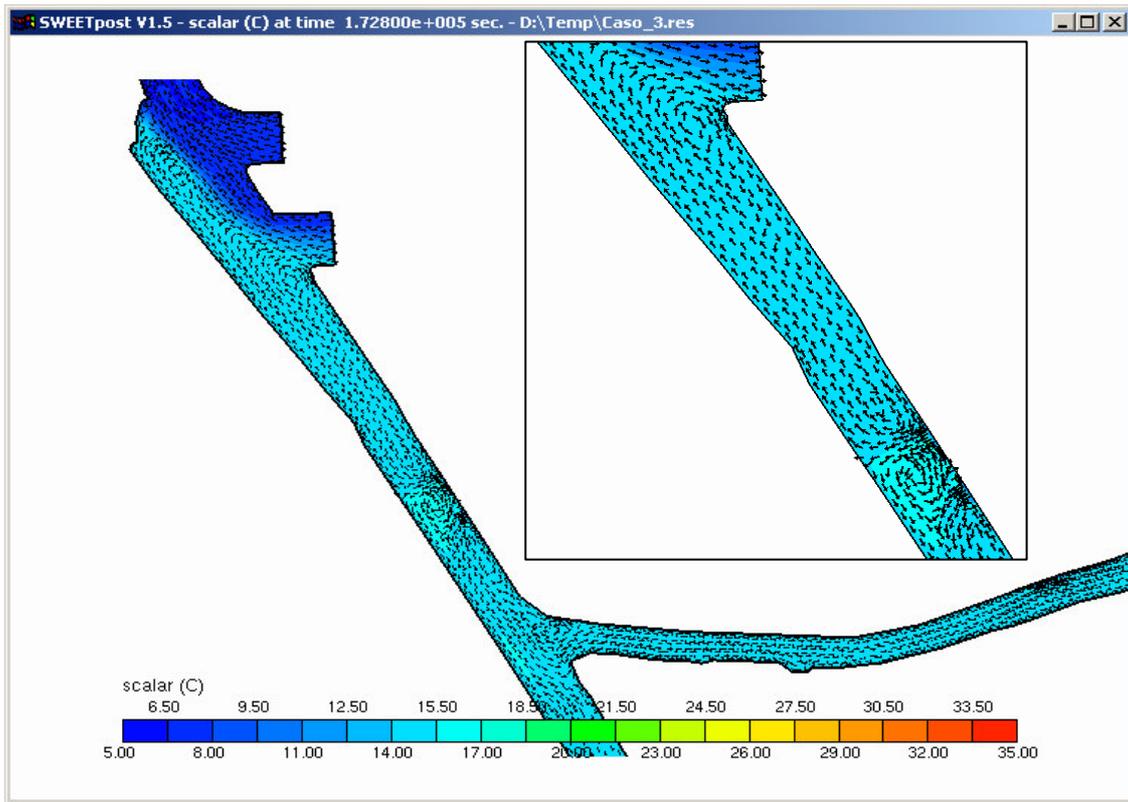


fig. 6.13 – Caso B.3. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa

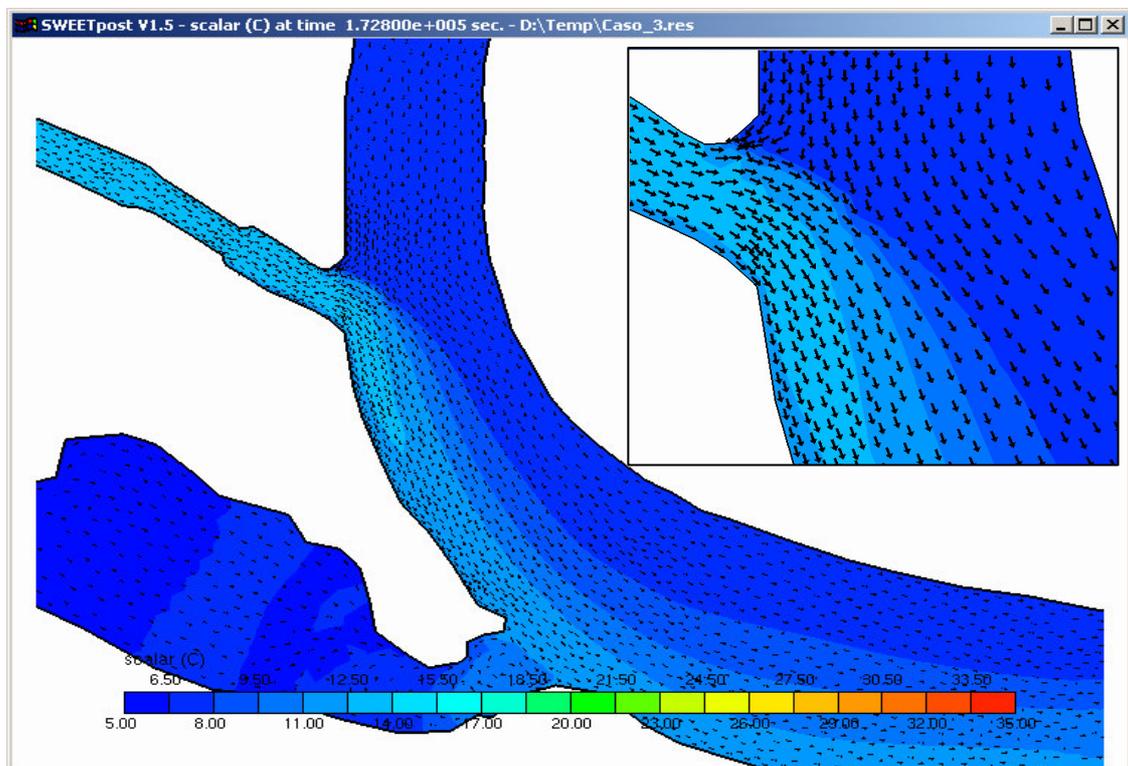


fig. 6.14 – Caso B.3. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda

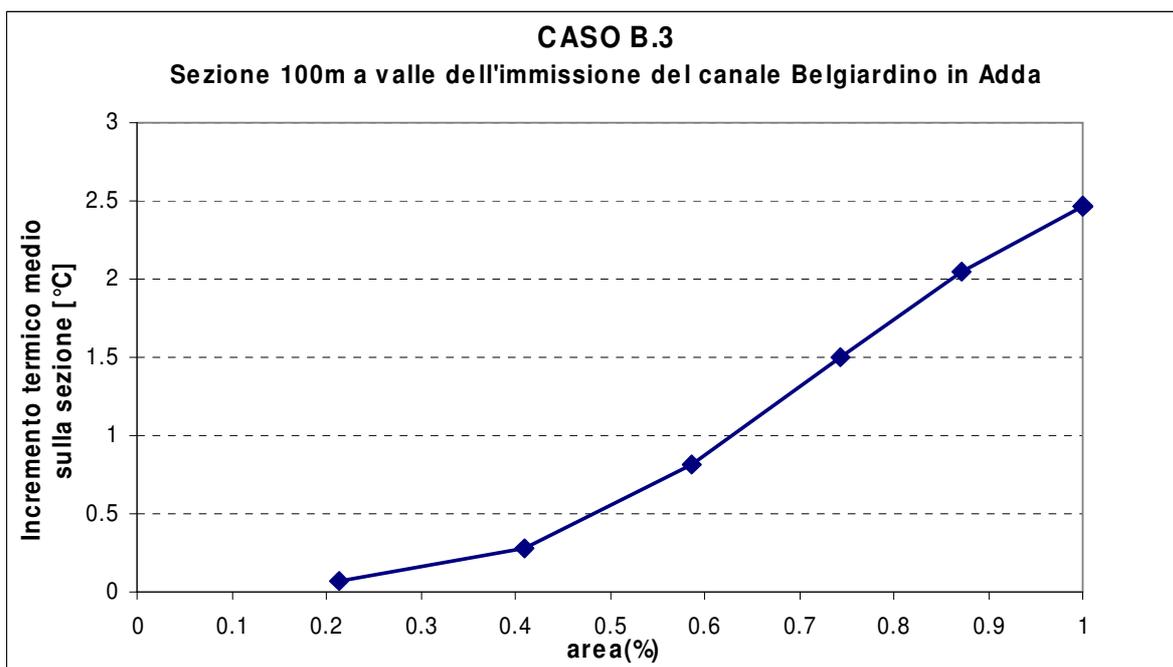


fig. 6.15 – Caso B.3. Andamento dell’incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

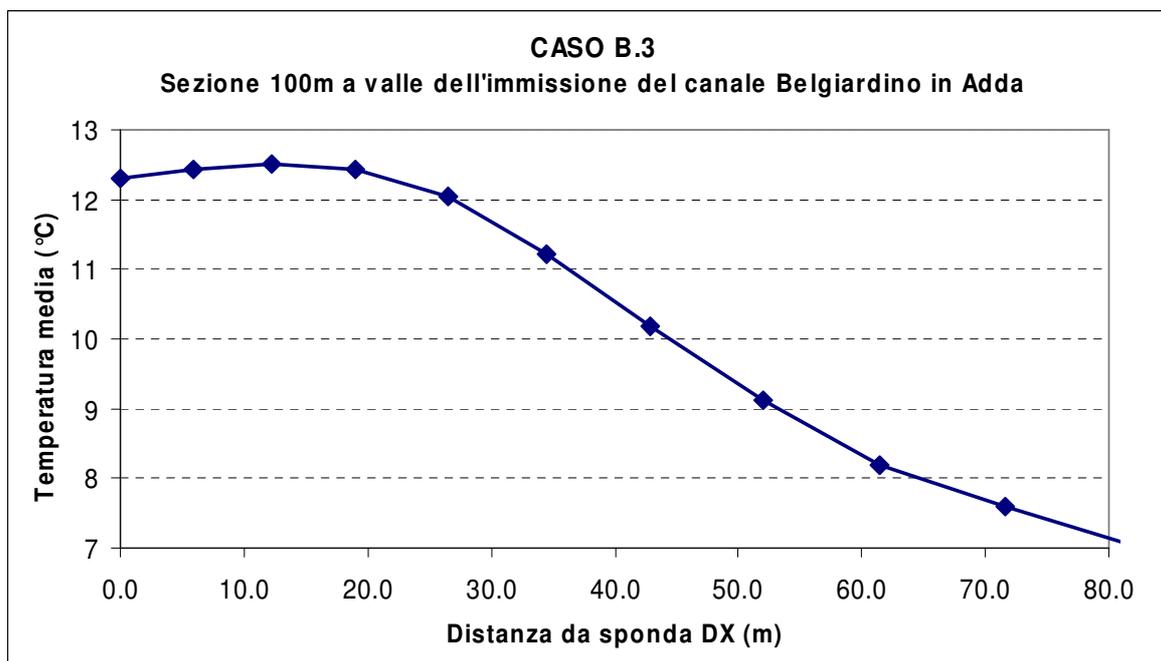


fig. 6.16 – Caso B.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

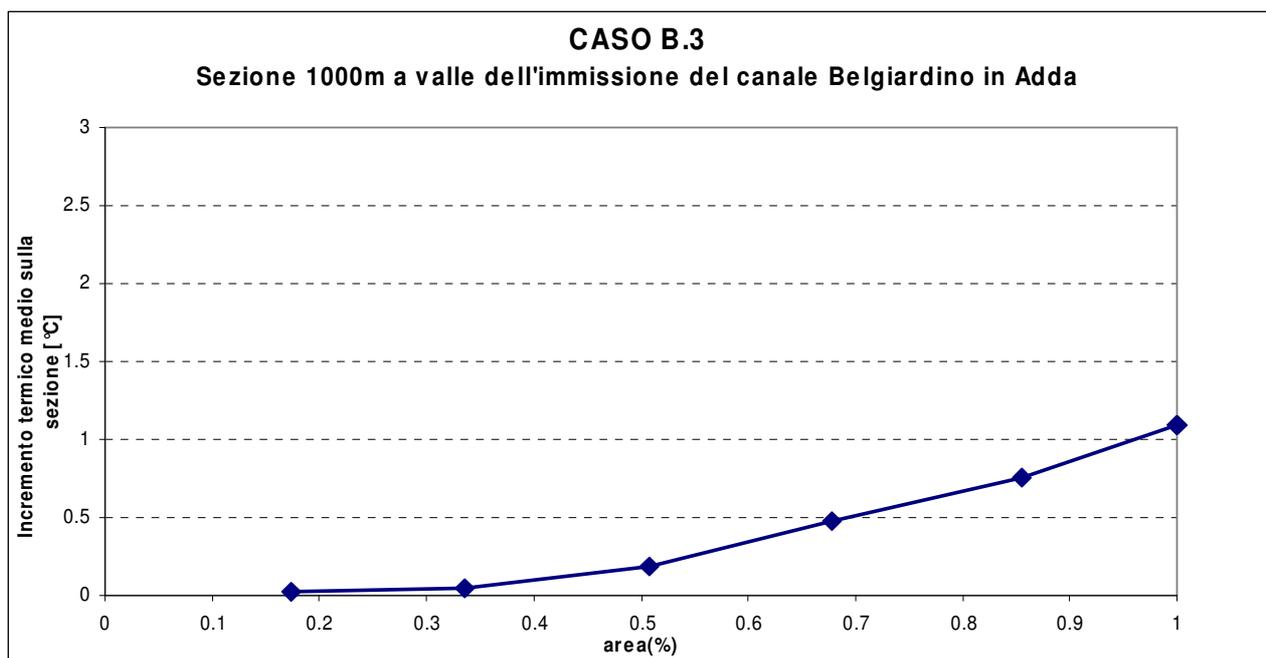


fig. 6.17 – Caso B.3. Andamento dell’incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

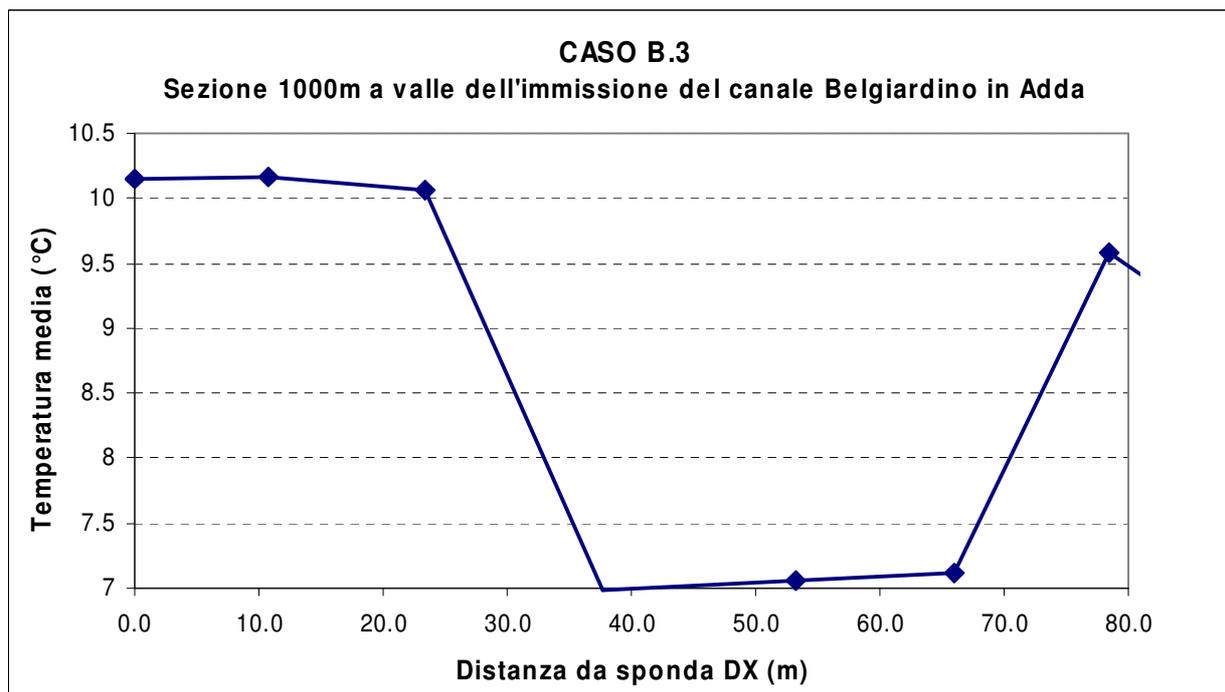


fig. 6.18 – Caso B.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

#### 6.2.4 Caso B.4 – Mesi da aprile a settembre (periodo estivo)

Tale caso si riferisce alle condizioni tipiche ipotizzate per il periodo estivo in cui le acque di raffreddamento sono ripartite tra il canale Belgiardino, giungendo in Adda, ed il canale Muzza.

L'analisi del campo termico e del campo di velocità risultante nelle varie sezioni del dominio di calcolo porta alle seguenti considerazioni:

- l'analisi è stata condotta ipotizzando l'apertura degli scarichi al tempo iniziale e simulando poi il transitorio conseguente per un periodo di due giorni. Le condizioni ottenute al termine della simulazione sono risultate stazionarie
- le condizioni di analisi, considerate tipiche per il mese di ottobre come riportato in tab. 5.1, fanno riferimento ad un valore del rapporto  $Q_A/Q_B$  pari a 1.89;
- il valore di portata nel canale Muzza è ora solo leggermente inferiore al valore della portata di acqua di raffreddamento aspirata alle opere di presa, per cui ci si attende un limitato effetto di ricircolo, prevalentemente per i gruppi 5 e 6 la cui opera di presa è la più vicina allo scarico del gruppo 6, il quale presenta a sua volta, come risulta dalla tab. 3.1, il massimo valore di incremento termico allo scarico (8.13 °C). Come in effetti risulta dalla fig. 6.19 che mostra il campo termico nella zona delle prese e degli scarichi, una parte molto limitata dell'acqua calda scaricata dai gruppi 5/6 viene convogliata verso le opere di presa dei gruppi 5 e 6, mentre la restante parte viene convogliata verso il canale Belgiardino ed in minima parte prosegue lungo il canale Muzza, raffreddandosi. La presenza di un ricircolo assai limitato è ulteriormente evidenziata dall'andamento del campo di moto (sovrapposto in figura), da cui mancano i flussi di moto risalenti il canale fino al bacino antistante le opere di presa. In queste condizioni, con l'ipotesi di funzionamento a pieno carico, il modello numerico calcola un incremento di temperatura alla presa dei gruppi 5/6 di 1.6 °C massimi, mentre alla presa 7/8 si ha un valore nullo. In queste condizioni, l'acqua che viene scaricata attraverso il canale Belgiardino presenta una temperatura media all'imbocco di 28.1°C;
- il campo termico risultante nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda è riportato in fig. 6.20, con la posizione della sezione a 100 m. La prima considerazione che emerge dall'analisi del campo termico è che il pennacchio termico è comunque ampio, a causa della maggior portata relativa del canale Belgiardino rispetto all'Adda. L'andamento del campo di moto, particolarmente in corrispondenza della confluenza, mostra come il flusso nel fiume non sia comunque particolarmente modificato dall'immissione dell'effluente caldo, consentendo così il mantenimento di almeno metà della sezione di fiume in condizioni non perturbate
- l'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato in fig. 6.21. Si può immediatamente osservare che il valore di incremento sull'intera sezione, pari a 2.0 °C, è comunque inferiore al valore limite di legge anche considerando un ricircolo oggettivamente assai alto; anche il valore sulla semi sezione fredda, che è pari a 0.3 °C, risulta in queste condizioni inferiore al limite imposto di 1 °C. E' una situazione intermedia rispetto a quelle discusse nei precedenti paragrafi, a causa essenzialmente del basso rapporto tra le portate di Adda e Belgiardino. Infatti, se si osserva l'andamento delle temperature lungo la sezione, riportato in fig. 6.22, si nota un andamento delle temperature sulla sezione a 100 m con valori mediamente elevati in buona parte della

semi sezione calda, con un massimo di 26.6 °C a circa 5 m dalla riva destra. Il valore medio di temperatura allo scarico del Belgiardino, in corrispondenza della sezione di confluenza, è pari a 26.7 °C.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minimo rapporto probabile tra le portate di Adda e Belgiardino, massimo valore di portata in quest'ultimo, massimo carico della centrale, anche se in presenza di un limitato ricircolo) determinano comunque una condizione che rispetta, nella sezione a 100 m dalla confluenza di Belgiardino, i limiti che la legge impone sul valore di incremento termico medio degli scarichi diretti in fiume, per quanto non applicabili nel caso specifico, sia per l'intera sezione che per la semi sezione fredda.

Le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000 m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.23 e fig. 6.24.

L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.

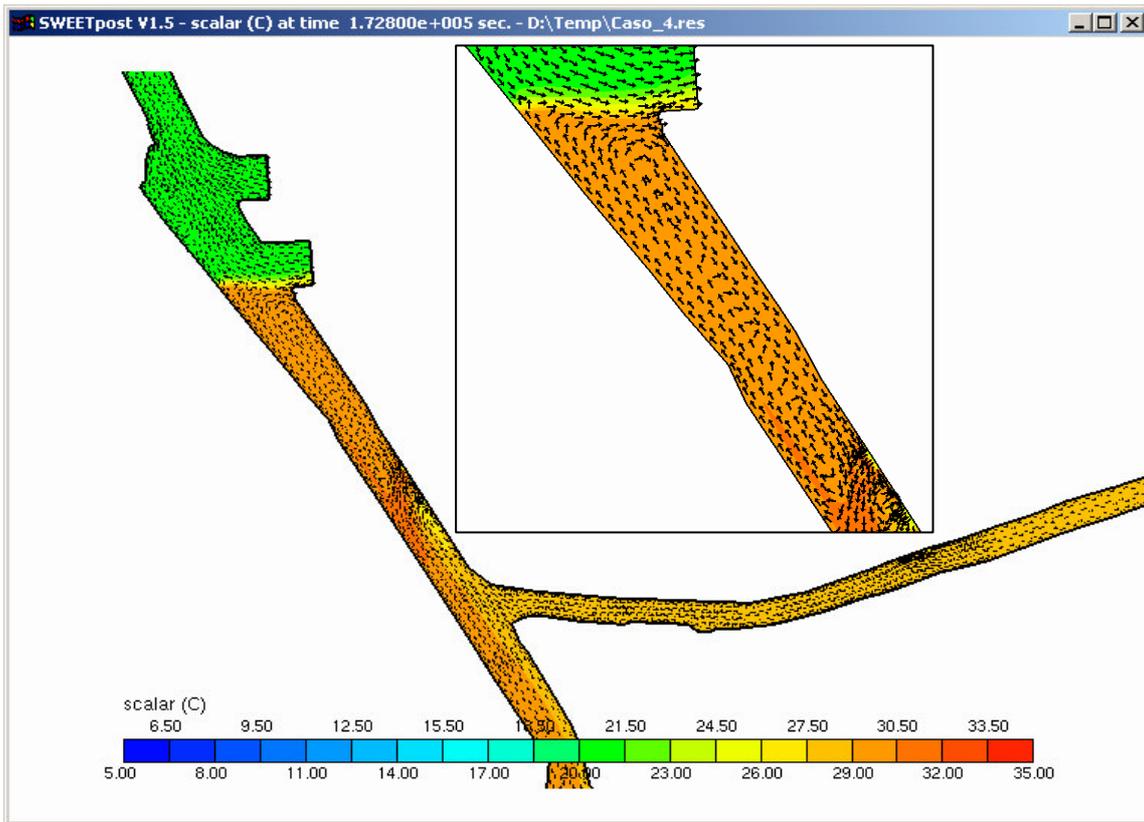


fig. 6.19 – Caso B.4. Campo termico e campo di moto nella zona delle opere di scarico e presa

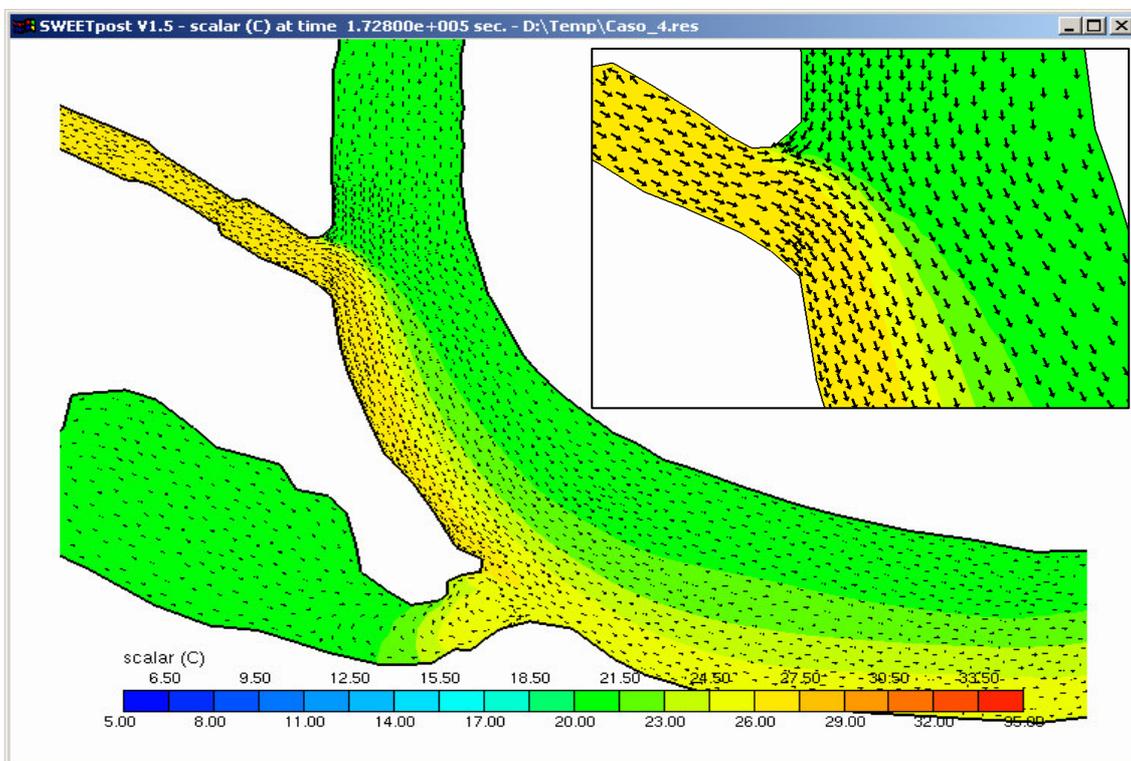


fig. 6.20 – Caso B.4. Campo termico e campo di moto nella zona della confluenza del Belgiardino in Adda

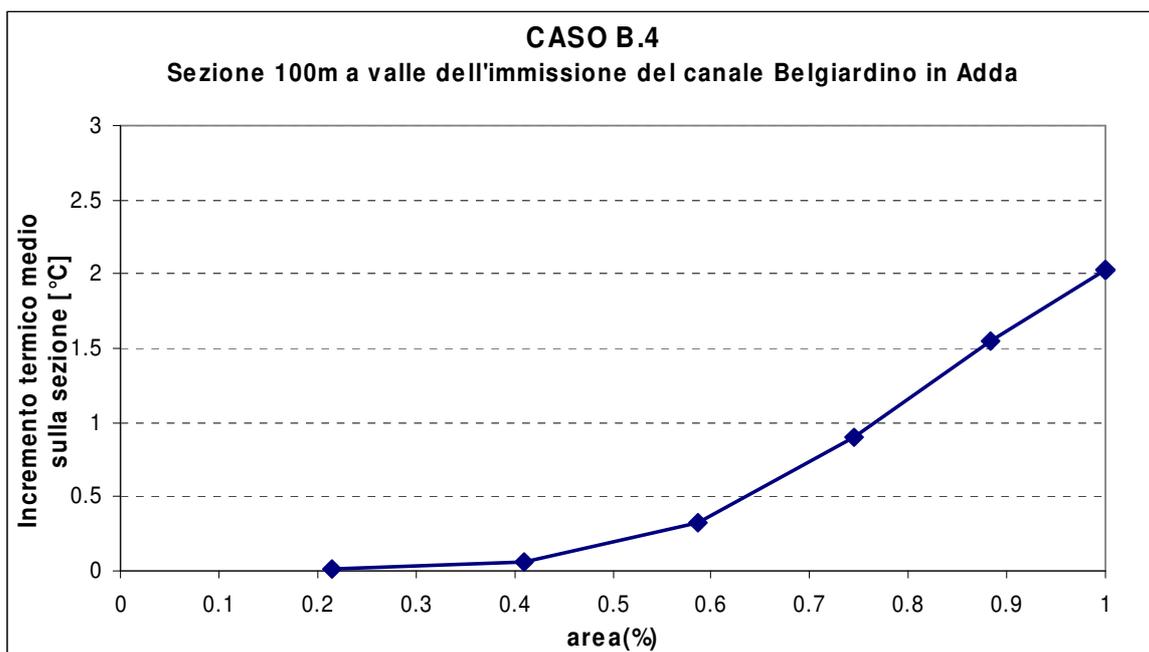


fig. 6.21 – Caso B.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

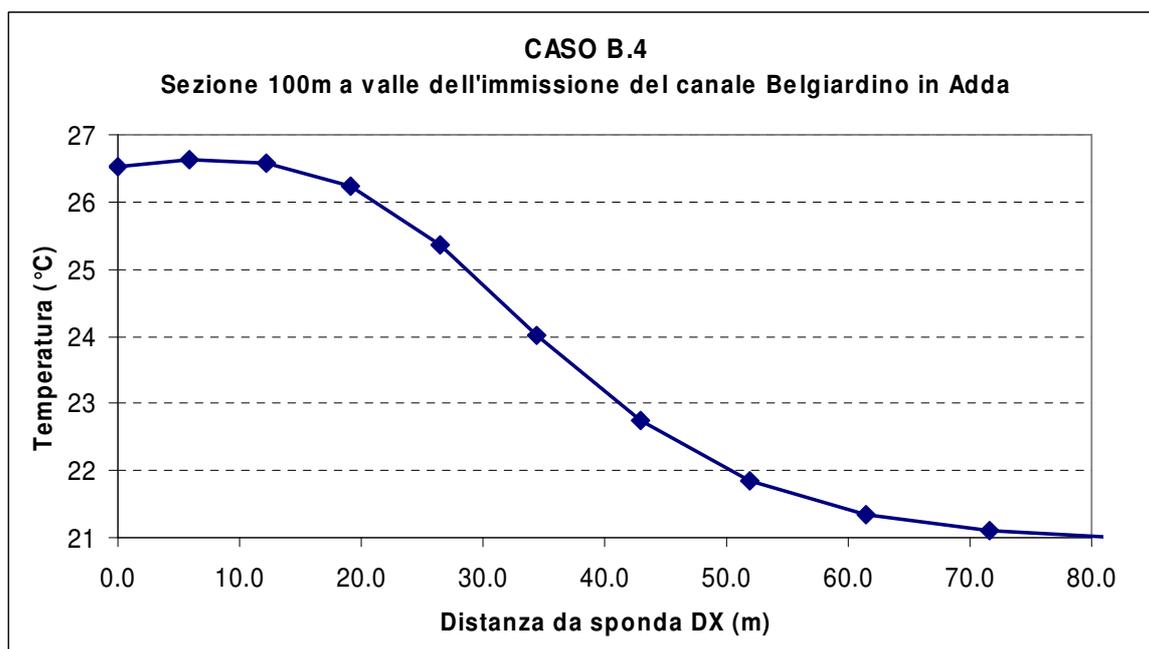


fig. 6.22 – Caso B.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

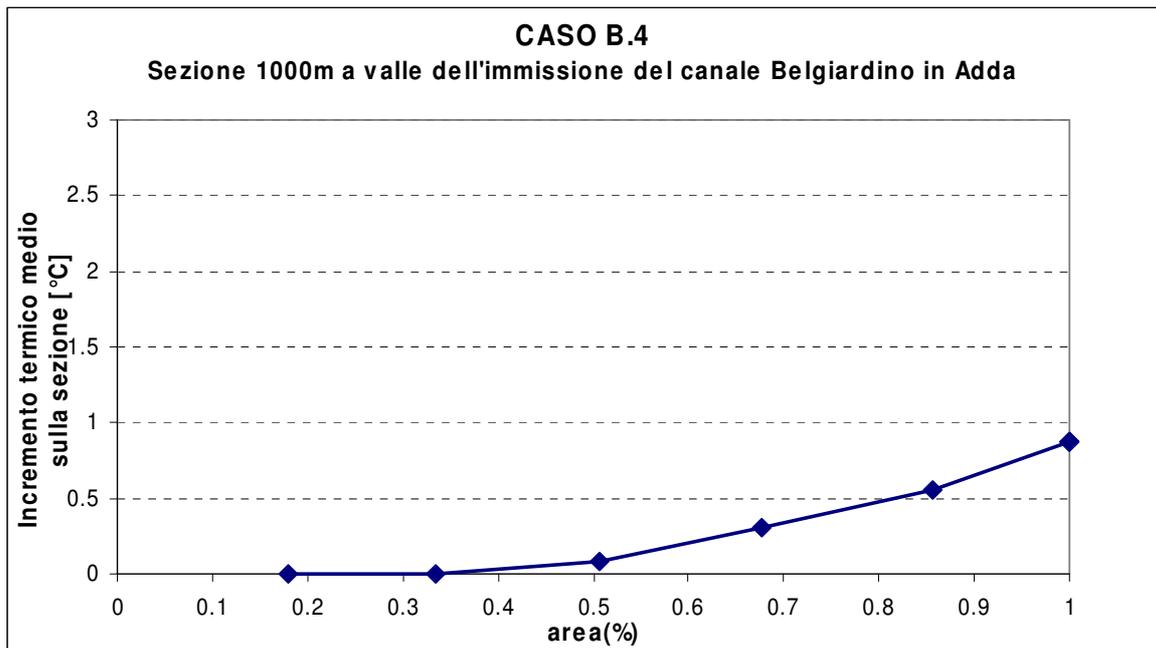


fig. 6.23 – Caso B.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

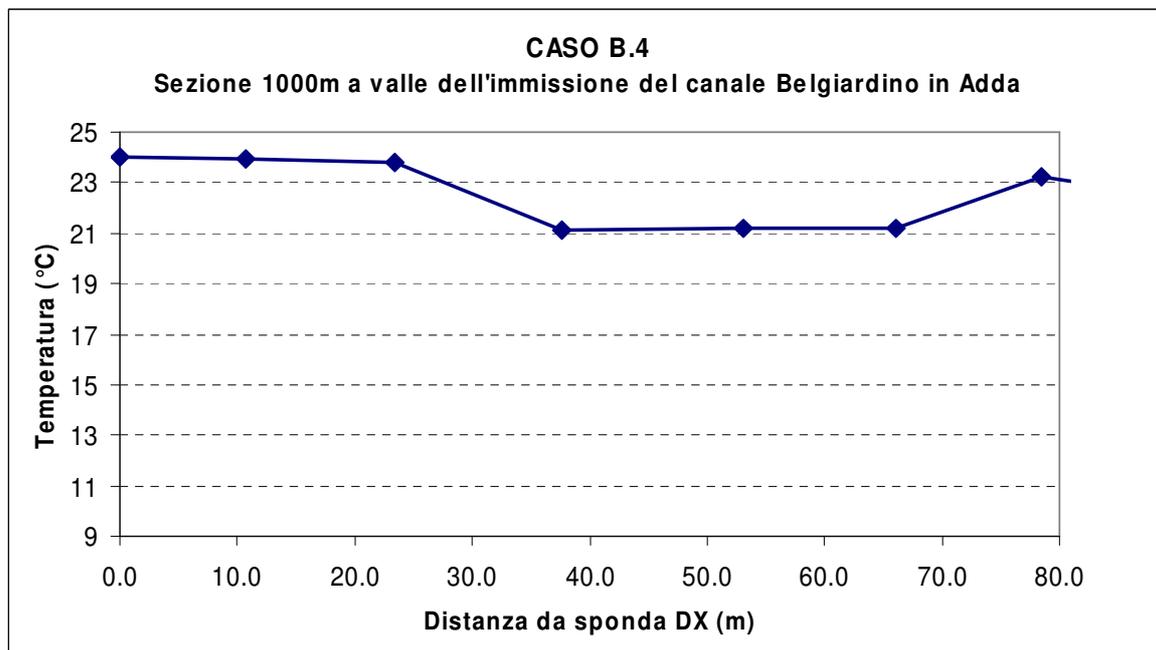


fig. 6.24 – Caso B.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

### 6.3 Analisi delle configurazioni non limitanti (scenari A e C)

Come già anticipato al paragrafo 6.1, dal punto di vista della dispersione termica gli scenari A (situazione attuale) e C (situazione intermedia con gruppo 9 in esercizio) presentano lo stesso tipo di impatto, essenzialmente legato all'esercizio a pieno carico dei gruppi 5, 6 e 8.

Questa situazione rappresenta quindi rispetto alla precedente una situazione di minore quantità di calore immessa nei corpi idrici riceventi rispetto allo scenario più critico analizzato in precedenza, e quindi dal punto di vista del limite di 35 °C sulla temperatura massima allo scarico e nei canali artificiali, questo caso è sicuramente verificato nel momento in cui è verificato lo scenario più critico. Tuttavia, la dinamica della dispersione termica, pur riguardando una immissione di calore ridotta, è modificata anche dal fatto che l'assenza del gruppo 7 comporta una riduzione della portata allo scarico 7/8, e ciò comporta di conseguenza una modifica delle condizioni di miscelamento. Di conseguenza è stata effettuata una simulazione numerica dettagliata anche nelle condizioni di gruppo 7 fermo, valutando nelle quattro medesime condizioni stagionali dello scenario precedente gli incrementi termici risultanti sulle sezioni calde a 100 m ed a 1000 m dalla confluenza Adda-Belgiardino.

In particolare è emerso che:

- *Casi A.1 e C.1 (mese di marzo).* L'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato in fig. 6.25. Si può immediatamente osservare che il valore di incremento sull'intera sezione, pari a 1.3 °C, è inferiore a quello riscontrato nel precedente scenario con quattro gruppi in funzione. Anche il ricircolo termico, precedentemente assai alto, viene drasticamente ridotto. Il valore sulla semi sezione fredda, rimane dell'ordine di 0.1 °C, ancora molto inferiore quindi al limite di 1 °C. Se si osserva l'andamento delle temperature lungo la sezione, riportato in fig. 6.26, anche confrontato con la precedente situazione a quattro gruppi di fig. 6.3, si nota ancora un andamento delle temperature sulla sezione a 100 m con valori mediamente elevati nella zona del pennacchio che rimane sempre confinato verso la sponda destra, ma con un massimo di 13.6 °C a circa 10 m da essa, e quindi inferiore di circa 2.7 °C rispetto al massimo del precedente scenario. Le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000 m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.27 e fig. 6.28. L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.
- *Casi A.2 e C.2 (mese di ottobre).* L'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato in fig. 6.29. Anche in questo caso si può immediatamente osservare che il valore di incremento sull'intera sezione, pari a 1.4 °C, è inferiore al valore osservato con tutti i gruppi in funzione; anche il valore sulla semi sezione fredda, dell'ordine di 0.1 °C, risulta sempre molto inferiore al limite di 1 °C. Anche l'andamento delle temperature lungo la sezione a 100 m, riportato in fig. 6.30, non si discosta molto da quello dei casi precedenti, con un massimo di 19.7 °C a circa 10 m dalla sponda destra, inferiore quindi di 3 °C rispetto allo scenario con tutti i gruppi in funzione. Di fatto, l'andamento di tale caso è assai simile nel comportamento a quello discusso al precedente punto per il mese di marzo, tenuto conto del differente valore della temperatura imperturbata; anche in questo caso, le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000

m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.31 e fig. 6.32. L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.

- *Casi A.3 e C.3 (periodo invernale)*. L'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato in fig. 6.33. In questo caso il valore di incremento sull'intera sezione è pari a 1.7 °C, quindi inferiore al valore ottenuto con tutti i gruppi in funzione; anche il valore sulla semi sezione fredda, di 0.5 °C con tutti i gruppi in funzione, scende a 0.4 °C, a maggior ragione quindi inferiore al limite di 1 °C. Anche questo scenario, comunque, ha confermato che questa situazione ambientale si presenta più critica rispetto a quelle discusse nei precedenti casi, a causa essenzialmente del basso rapporto tra le portate di Adda e Belgiardino. Infatti, se si osserva l'andamento delle temperature lungo la sezione, riportato in fig. 6.34, si nota un andamento delle temperature sulla sezione a 100 m con valori mediamente elevati in buona parte della semi sezione calda, con un massimo di 10.8 °C a circa 15 m dalla riva destra. Le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000 m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.35 e fig. 6.36. L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.
- *Casi A.4 e C.4 (periodo invernale)*. L'andamento dell'incremento termico nella sezione a 100 m con l'area della sezione è riportato in fig. 6.37. Il valore di incremento sull'intera sezione, pari a 1.6 °C, è comunque inferiore al valore limite di legge; anche il valore sulla semi sezione fredda, che è pari a 0.1 °C, risulta in queste condizioni inferiore al limite di 1 °C. E' una situazione intermedia rispetto a quelle discusse nei precedenti paragrafi, a causa essenzialmente del basso rapporto tra le portate di Adda e Belgiardino, e comunque a parità di condizioni i valori ottenuti sono sempre inferiori a quelli riscontrati nello scenario con quattro gruppi in funzione. Questo si riscontra anche se si osserva l'andamento delle temperature lungo la sezione, riportato in fig. 6.38, si nota un andamento delle temperature sulla sezione a 100 m con valori mediamente elevati in buona parte della semi sezione calda, con un massimo di 25.8 °C a circa 12 m dalla riva destra. Le stesse considerazioni sono state applicate alla sezione a 1000 m, che è risultata comunque meno critica, come evidenziato in fig. 6.39 e fig. 6.40. L'insieme dei valori dei parametri termici sopra discussi è riportato in tab. 6.1.

L'insieme delle considerazioni sopra esposte porta a concludere che la condizione simulata, che presenta una serie di aspetti di tipo conservativo (minimo rapporto probabile tra le portate di Adda e Belgiardino, massimo valore di portata in questo ultimo, massimo carico dei gruppi in esercizio) determinano comunque una condizione che rispetta, nella sezione a 100 m dalla confluenza del Belgiardino, un incremento termico medio inferiore a quello che la legge impone per scarichi diretti in corpi fluviali, sia per l'intera sezione sia per la semisezione fredda.

Gli scenari A e C differiscono in pratica per la presenza in esercizio, per il secondo scenario, del gruppo 9. Dal punto di vista della dispersione termica gli scenari A e C sono pressoché coincidenti, in quanto il contributo delle acque di scarico della torre di raffreddamento del gruppo 9 stesso, pari a 60 m<sup>3</sup>/h, è trascurabile rispetto alla portata di raffreddamento dei gruppi 5 e 6, pari a 96480. m<sup>3</sup>/h. Tuttavia il raffreddamento mediante una torre di tipo "wet-dry", nelle condizioni di progetto ipotizzate comporta una concentrazione del contenuto salino dell'acqua di reintegro, per cui è necessario effettuare una analisi previsionale della qualità delle acque, considerate sia dal punto di vista chimico sia termico, allo scopo di valutare l'impatto del nuovo modulo a ciclo combinato rispetto alla situazione attuale.

L'impatto sul sistema idrico interessato dal prelievo e dallo scarico delle acque di raffreddamento dell'impianto è limitato alla considerazione delle acque di reintegro ("makeup") e di scarico ("Blowdown") della torre stessa, in quanto l'acqua di reintegro verrà derivata dalla presa dei gruppi 7 ed 8, e scaricata nella condotta di restituzione dei moduli 5 e 6.

Le portate di acqua di reintegro e di scarico, unitamente alle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua allo scarico, sono i soli parametri necessari per la valutazione dell'impatto sul sistema idrico. In particolare, si considera per il modulo 9 un valore di portata di reintegro pari a 300 m<sup>3</sup>/h ed una portata di scarico di 60 m<sup>3</sup>/h, corrispondenti alle condizioni nominali di progetto a 15 °C di temperatura e 60% di umidità; in queste condizioni, la temperatura dell'acqua di scarico è di circa 17 °C.

Sotto il profilo chimico, le caratteristiche dell'acqua di reintegro sono sostanzialmente quelle prelevate dal canale Muzza alla presa dei gruppi 7 ed 8 con l'aggiunta di acido solforico per l'addolcimento dell'acqua in ragione di 20 kg/h che, per una portata di reintegro di 300 m<sup>3</sup>/h, significa una concentrazione di 70 mg/l circa.

Lo schema di funzionamento di una torre di raffreddamento di questo tipo, però, comporta un aumento della concentrazione salina nell'acqua di scarico direttamente proporzionale al rapporto tra le portate di reintegro e di scarico; ciò significa che, in presenza dei nuovi moduli, le concentrazioni dei sali allo scarico sono incrementate di un fattore 5 rispetto a quelle in ingresso.

Poiché lo scarico delle torri avviene, come sopra descritto, direttamente nella condotta di restituzione dei moduli 5 e 6, è necessario che le concentrazioni saline allo scarico siano comunque mantenute entro i limiti fissati dal D.Lgs. 152/99 e successive modifiche (D.Lgs. 258/00).

Per effettuare una valutazione di questo tipo, sono state prese in considerazione le caratteristiche chimiche dell'acqua di reintegro, prelevata dal canale Muzza, in condizioni tipiche estive ed invernali, facendo riferimento sia ai risultati dei campionamenti effettuati nella stazione di Comazzo e riportati in tab. 6.2 sia ai risultati di due analisi tipiche degli stessi periodi effettuate dalla centrale stessa rispettivamente il 5/11/2002 ed il 28/5/2003.

I valori delle concentrazioni delle varie specie chimiche ipotizzabili allo scarico sono stati poi stimati considerato un fattore di concentrazione pari a 5, e quindi confrontati con i limiti imposti dalla tabella 3 dell'allegato 5 del Dls 152/99, modificata secondo il Dls 258/00.

I risultati sono stati riportati nella tab. 6.3. Si può immediatamente notare come in ogni condizione stimata i valori dei parametri si mantengano sempre al di sotto dei limiti previsti dal Dls 152/99, e ciò è tanto più vero se si considera il fatto che la qualità delle acque del canale Muzza è migliorata successivamente alle misure del 2000, come confermato dalle recenti misure della centrale riportate in tabella e dalle misure condotte nel corso del 2002 dall'ARPA di Lodi, già citate al paragrafo 4.3.3.3 di [9]

L'immissione di circa 70 mg/l di acido solforico con l'acqua di reintegro allo scopo di addolcire l'acqua nel circuito di refrigerazione aggiunge di fatto questa quantità ai solfati presenti in tab. 6.3, portando però il loro valore, nel peggiore dei casi, a circa 200 mg/l contro i 1000 mg/l consentiti.

#### **6.4 Analisi della configurazione finale (scenario D)**

Come già anticipato al paragrafo 6.1, dal punto di vista della dispersione termica lo scenario finale che prevede l'esercizio dei gruppi 5, 6 e 9, tutti a ciclo combinato, si presenta come la meno limitante dal punto di vista della dispersione termica, in quanto le acque di raffreddamento provenienti dai condensatori dei gruppi 5 e 6 rappresentano poco più della metà della portata e del calore scaricati nel sistema Muzza-Belgiardino quando tutti e quattro i gruppi 5, 6, 7 ed 8 sono in esercizio, come nella prima fase intermedia.

Inoltre, il fatto che lo scarico dei gruppi 5 e 6 avviene nel canale Muzza prima della derivazione del canale Belgiardino fa sì che in queste condizioni il percorso del pennacchio termico per giungere fino alla confluenza con il fiume Adda risulta il più lungo, e quindi con un maggior raffreddamento anche per scambio termico con l'atmosfera.

Queste considerazioni, unitamente al fatto che già negli scenari precedenti le condizioni riscontrate nelle sezioni calde sono risultate ampiamente al di sotto dei limiti presi a riferimento, consente di poter affermare la assoluta non criticità di tale condizione di esercizio per quanto riguarda la dispersione termica, in tutte le possibili condizioni stagionali.

L'esercizio del gruppo 9, se da una parte non altera la dispersione termica, dall'altra porta ad una maggior concentrazione delle sostanze presenti nell'acqua di scarico della torre di raffreddamento rispetto alle condizioni di prelievo, che però risulta sempre al di sotto dei limiti di legge, come già discusso nel paragrafo precedente.

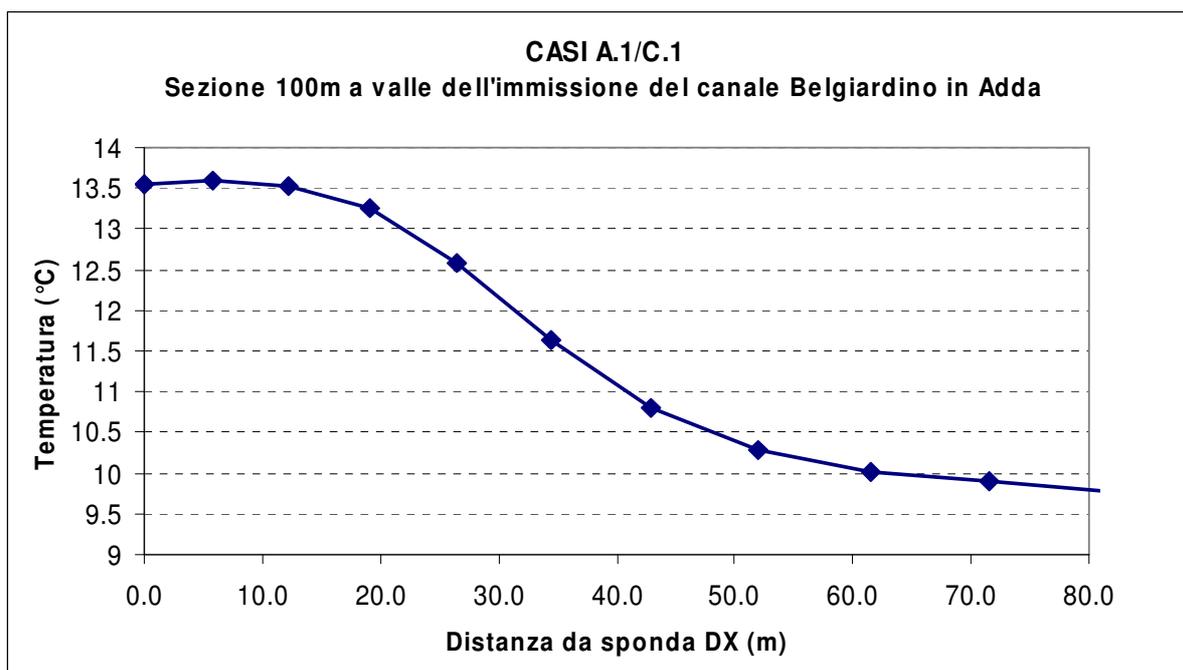


fig. 6.25 – Casi A.1 e C.1. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

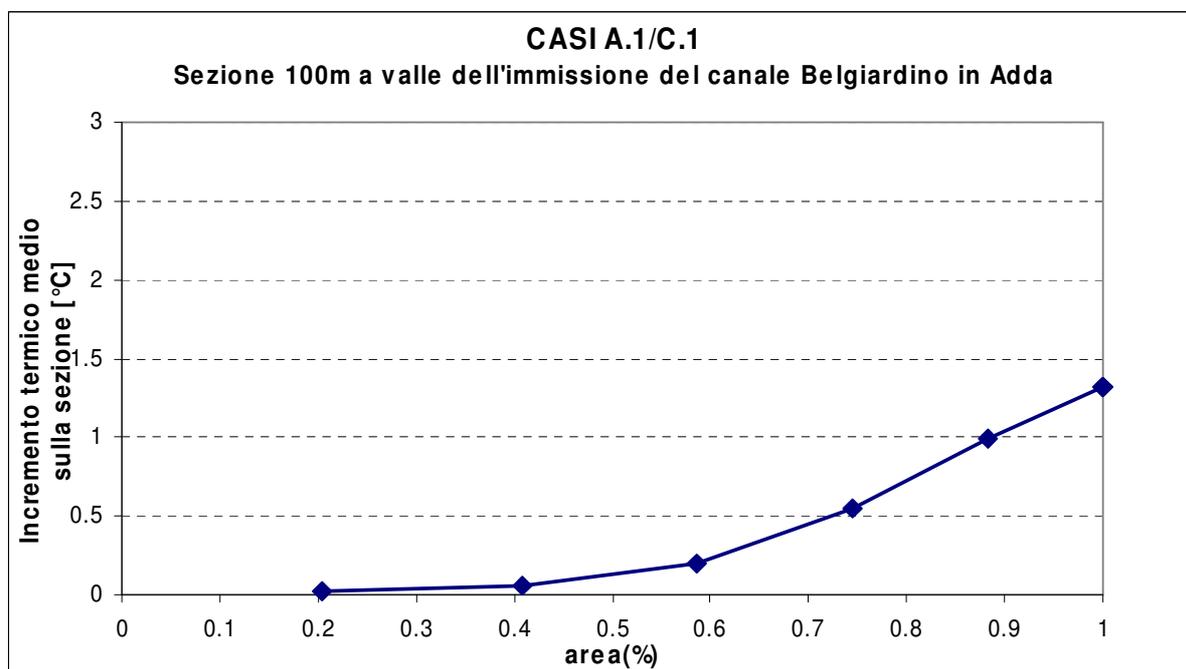


fig. 6.26 – Casi A.1 e C.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

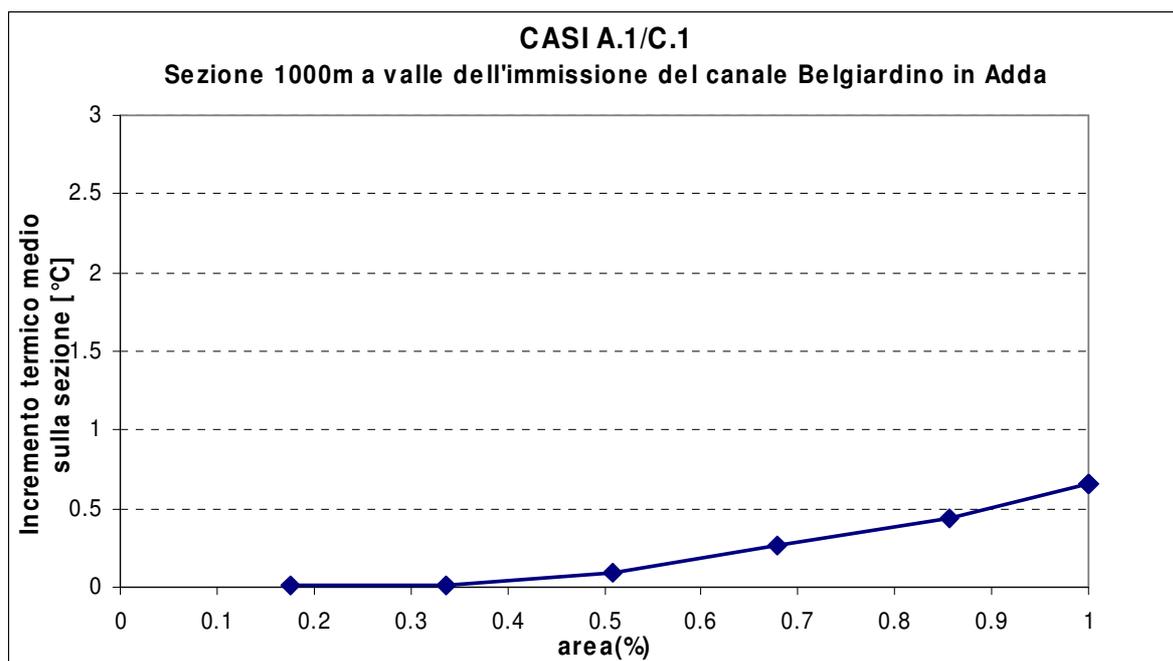


fig. 6.27 – Casi A.1 e C.1. Andamento dell’incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

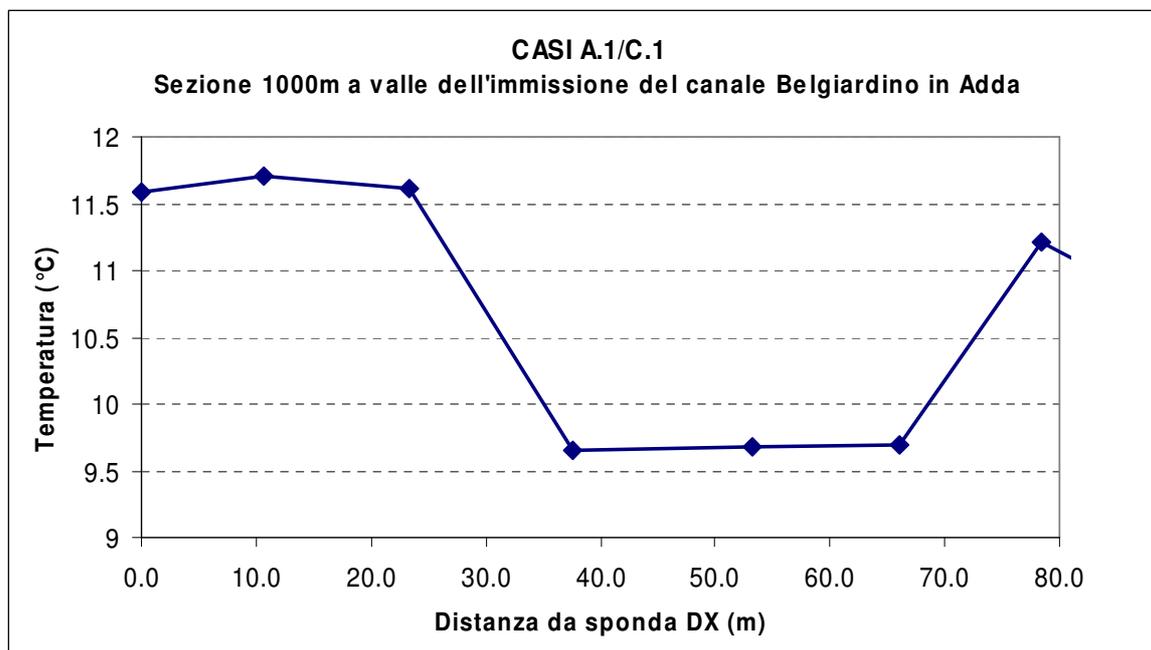


fig. 6.28 – Casi A.1 e C.1. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

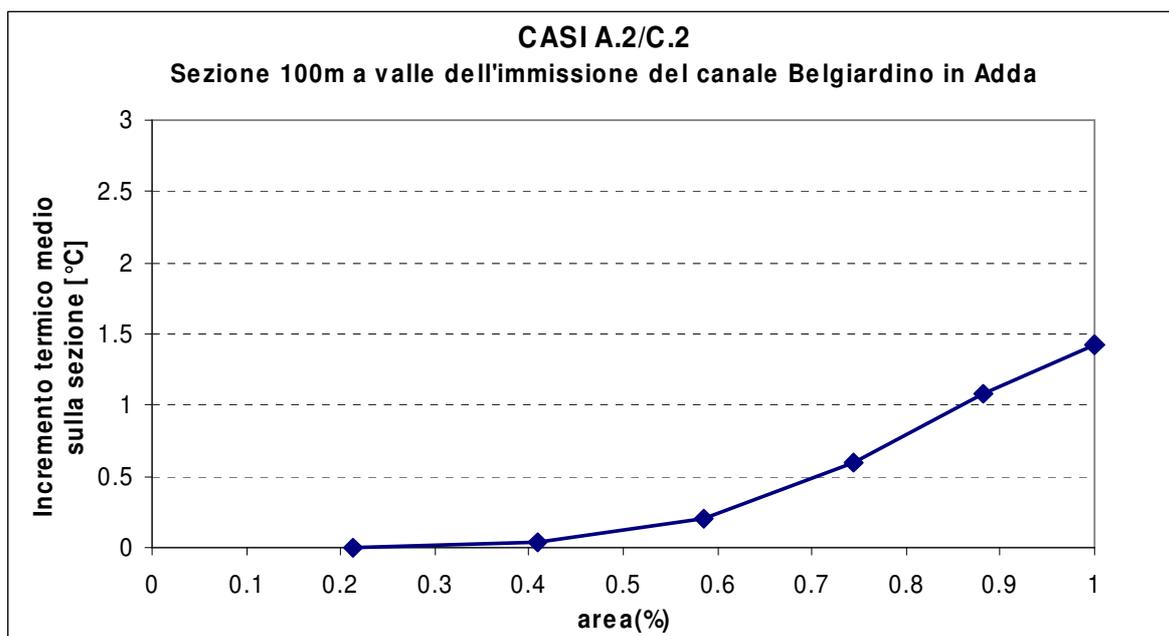


fig. 6.29 – Casi A.2 e C.2. Andamento dell’incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

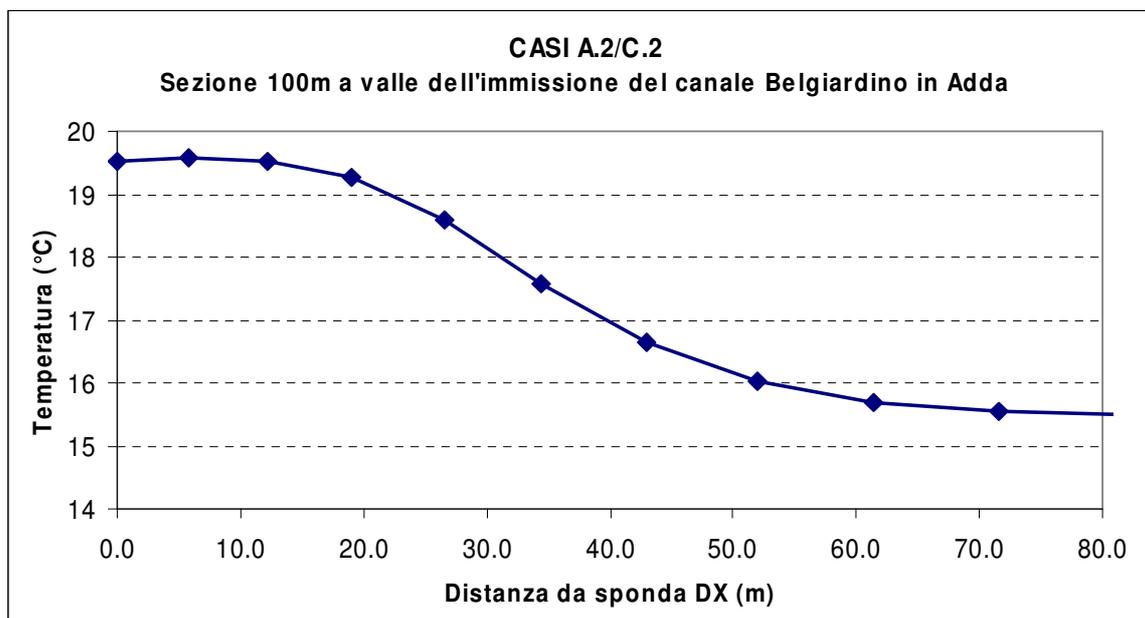


fig. 6.30 – Casi A.2 e C.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

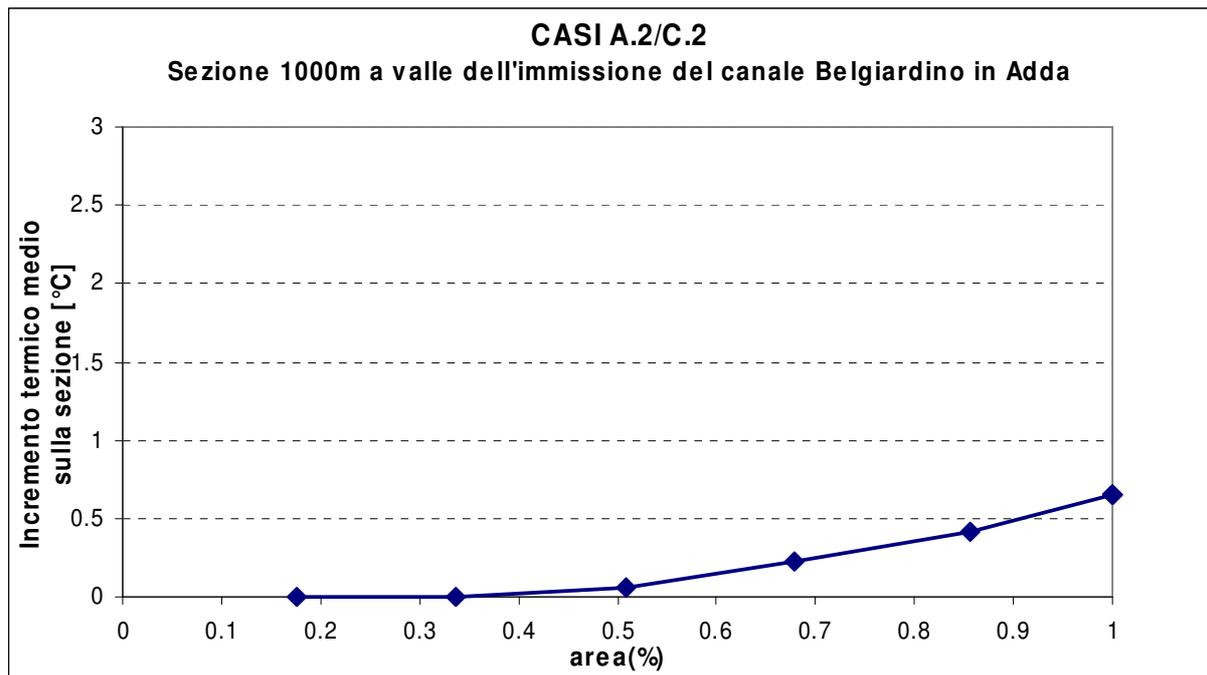


fig. 6.31 – Casi A.2 e C.2. Andamento dell’incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

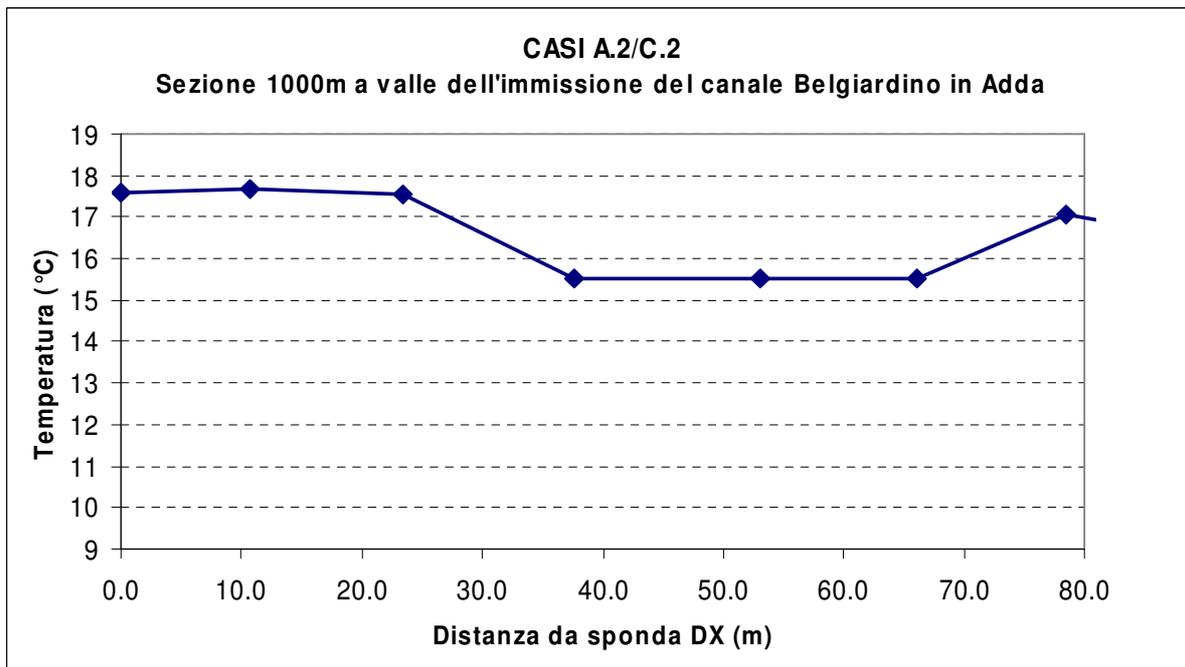


fig. 6.32 – Casi A.2 e C.2. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

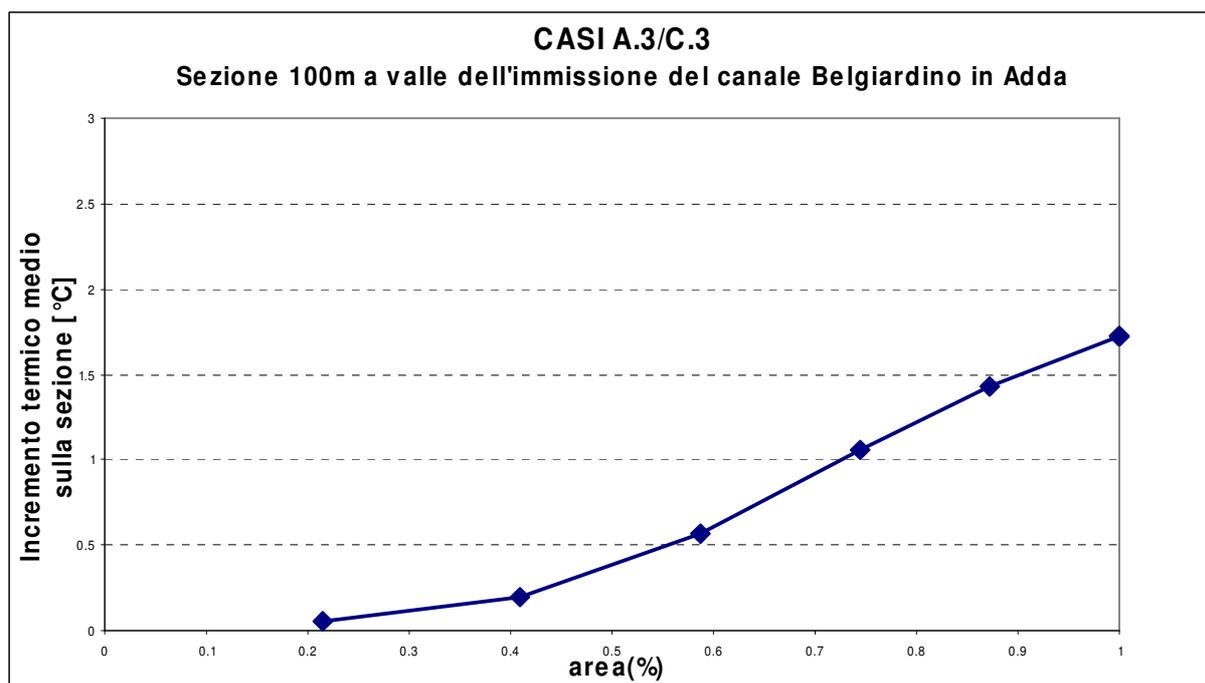


fig. 6.33 – Casi A.3 e C.3. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

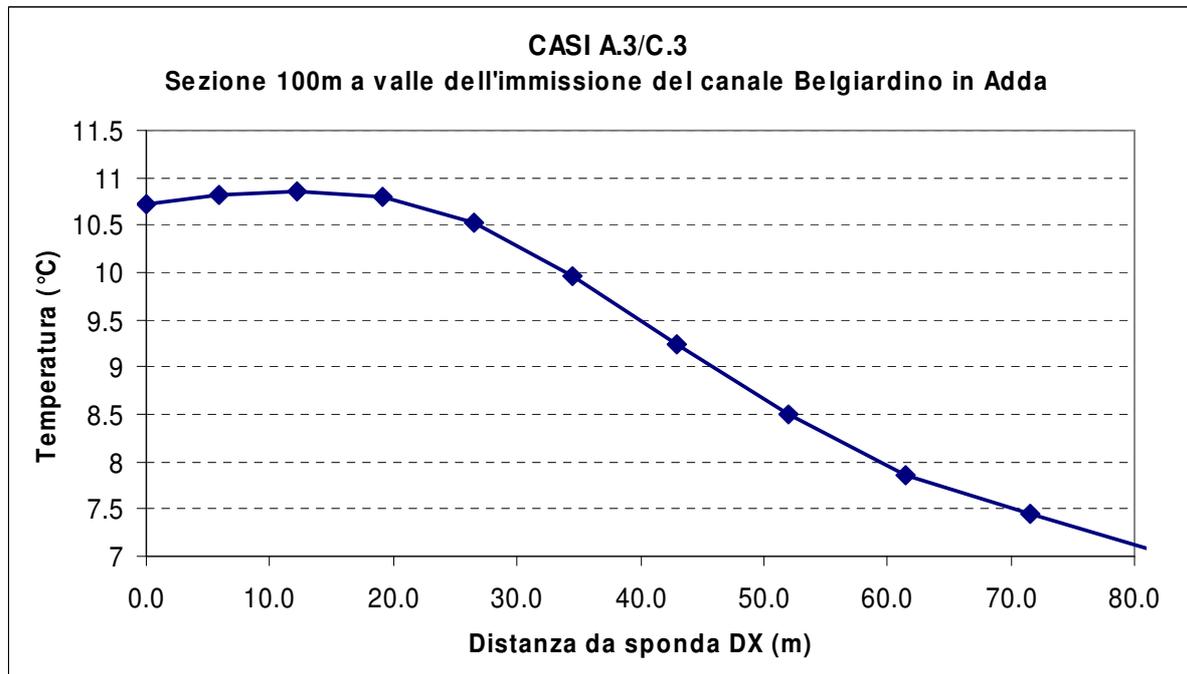


fig. 6.34 – Casi A.3 e C.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

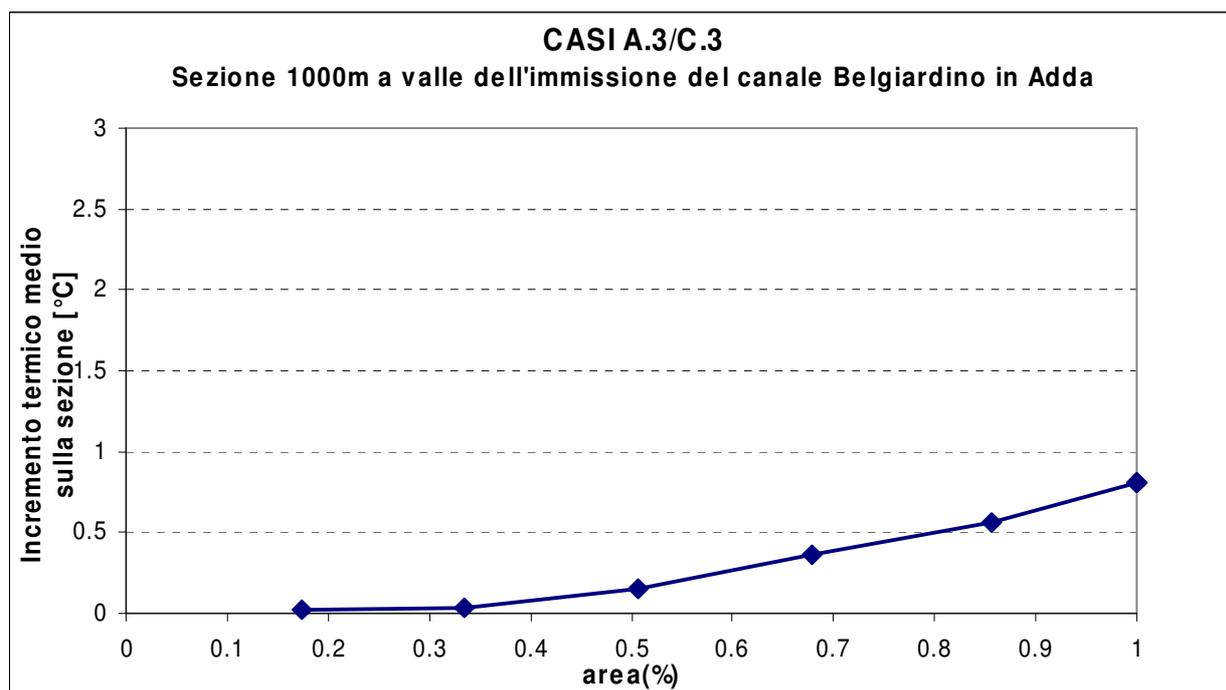


fig. 6.35 – Casi A.3 e C.3. Andamento dell’incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

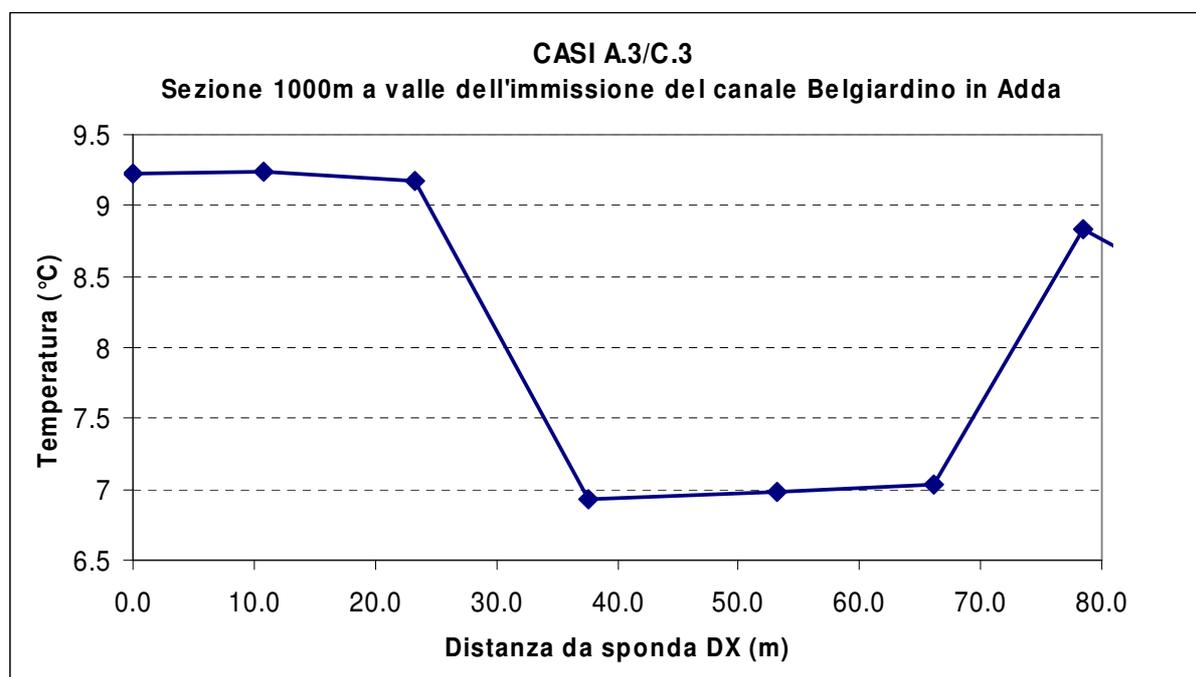


fig. 6.36 – Casi A.3 e C.3. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

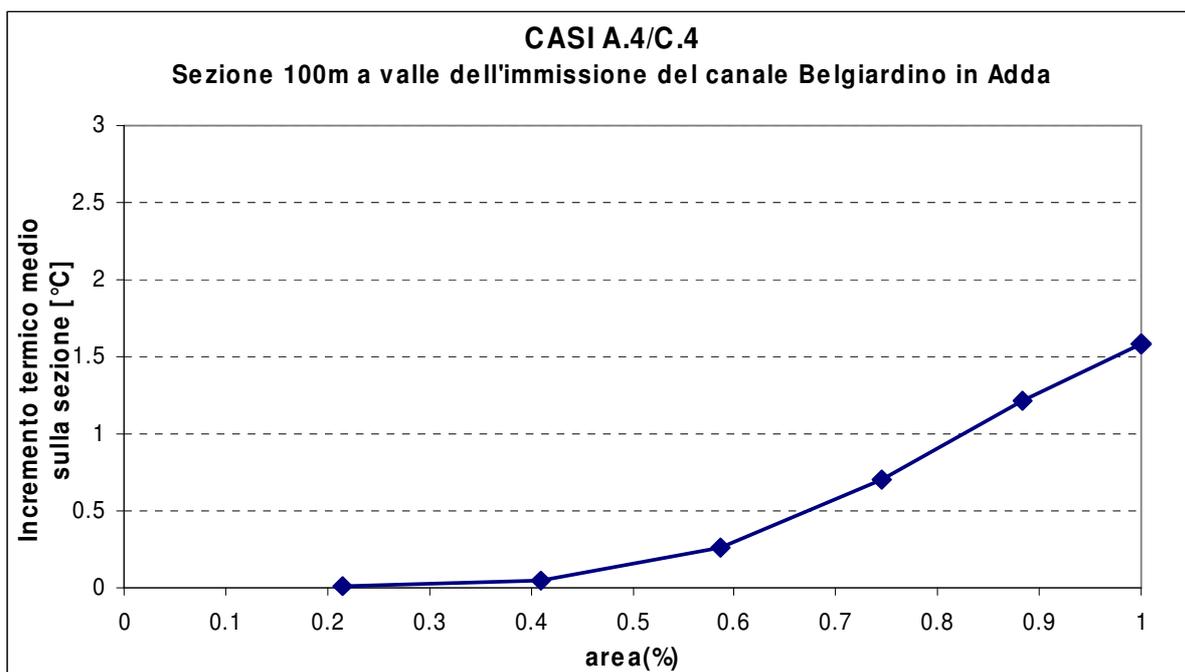


fig. 6.37 – Casi A.4 e C.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 100 m in funzione della percentuale di area

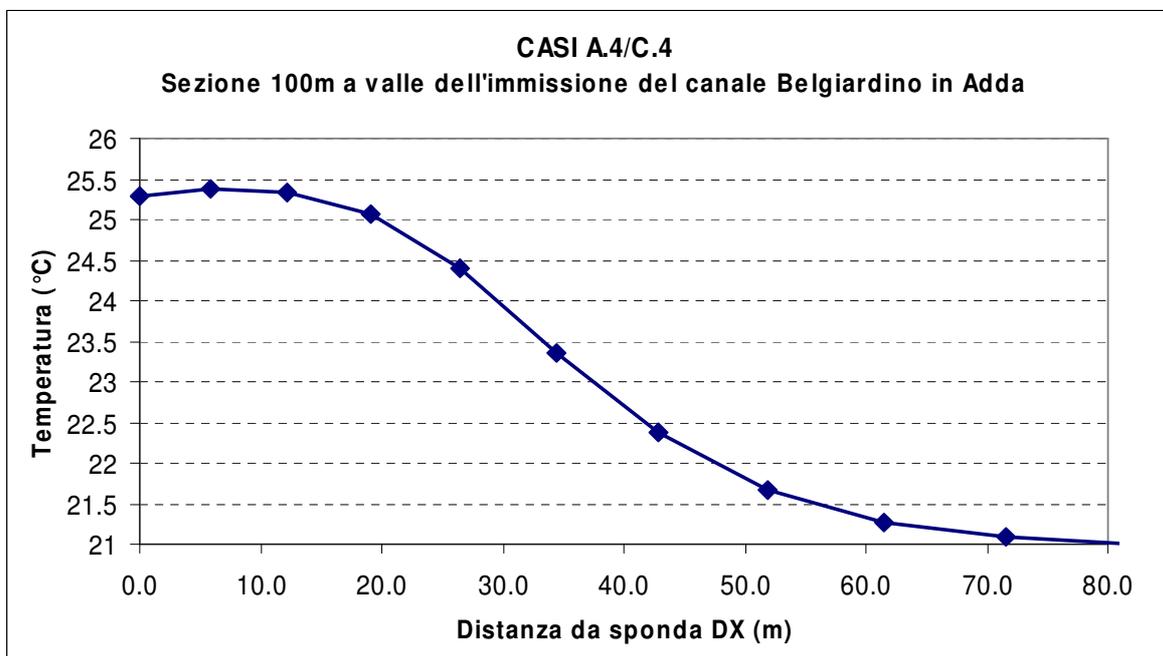


fig. 6.38 – Casi A.4 e C.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 100 m

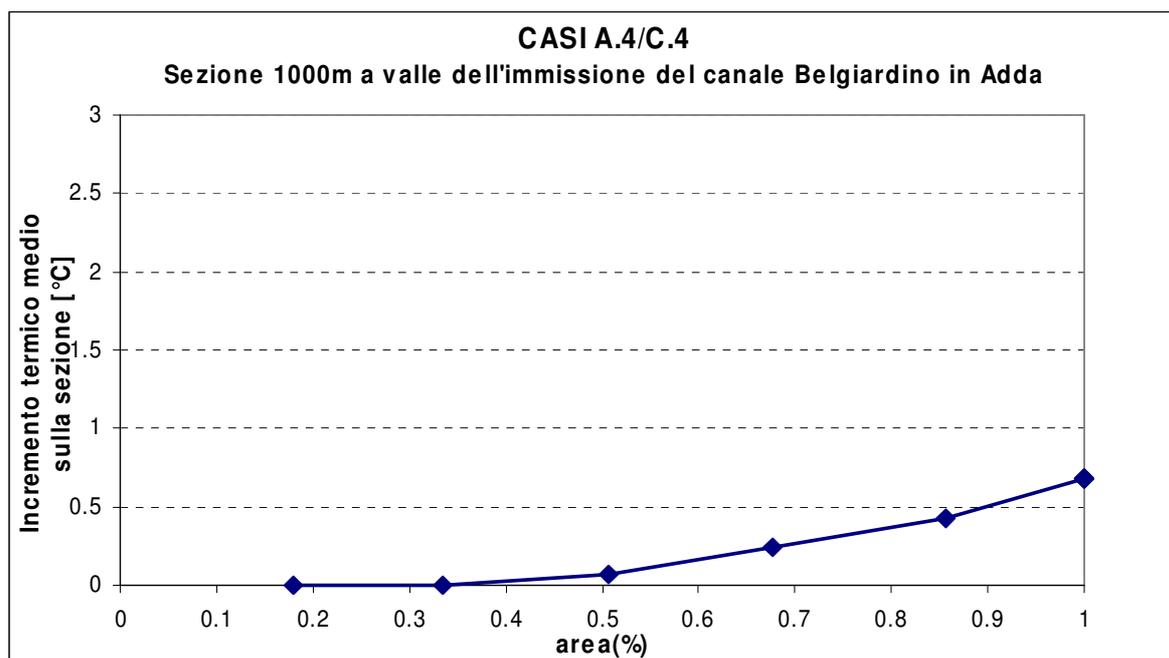


fig. 6.39 – Casi A.4 e C.4. Andamento dell'incremento termico medio nella sezione a 1000 m in funzione della percentuale di area

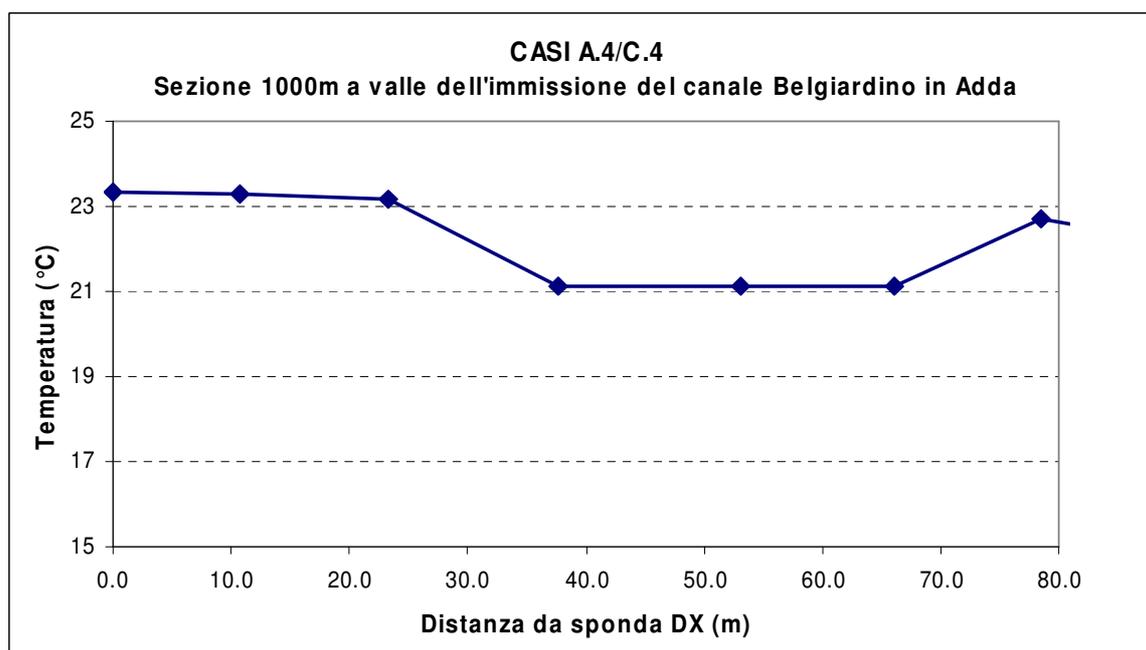


fig. 6.40 – Casi A.4 e C.4. Andamento della temperatura media nella sezione a 1000 m

Scenario B - Fase di progettazione gruppo 9 (primo intermedio)							
Caso	Condizione	$\Delta T$ Sezione 100m 50% (°C)	$\Delta T$ Sezione 100m 100% (°C)	$\Delta T$ Sezione 1000m 50% (°C)	$\Delta T$ Sezione 1000m 100% (°C)	Temperatura Muzza-Belgiardino (°C)	Temperatura sbocco Belgiardino-Adda (°C)
B.1	Mese di Marzo	0.10	2.03	0.12	1.00	20.14	16.50
B.2	Mese di Ottobre	0.09	2.26	0.09	1.02	26.70	23.00
B.3	Periodo invernale Novembre-Febbraio	0.51	2.47	0.19	1.09	15.30	12.60
B.4	Periodo estivo Aprile-Settembre	0.16	2.03	0.08	0.87	28.10	26.70

Scenario A - Situazione attuale * Scenario C - futuro intermedio (secondo intermedio)							
Caso	Condizione	$\Delta T$ Sezione 100m 50% (°C)	$\Delta T$ Sezione 100m 100% (°C)	$\Delta T$ Sezione 1000m 50% (°C)	$\Delta T$ Sezione 1000m 100% (°C)	Temperatura Muzza-Belgiardino (°C)	Temperatura sbocco Belgiardino-Adda (°C)
A.1/C.1	Mese di Marzo	0.10	1.30	0.09	0.66	14.00	13.70
A.2/C.2	Mese di Ottobre	0.09	1.43	0.06	0.65	19.90	19.69
A.3/C.3	Periodo invernale Novembre-Febbraio	0.36	1.73	0.15	0.81	11.30	10.93
A.4/C.4	Periodo estivo Aprile-Settembre	0.13	1.58	0.07	0.68	26.07	25.50

tab. 6.1 - Incrementi termici definiti per le sezioni calde nelle diverse condizioni analizzate

<b>Risultati dei campionamenti effettuati nella stazione di MUZZA - Comazzo</b>			
<i>Muzza - Comazzo</i>	<i>U.M.</i>	<i>E 99</i>	<i>I 00</i>
Temperatura acqua	°C	21,00	7,00
Solidi in sospensione	mg/l	6,00	< 5,00
Ossigeno disciolto	mg/l	8,65	9,00
pH		7,90	7,90
Conducibilità	µS/cm	180,00	230,00
Azoto nitrico	mg/l	1,50	1,65
Azoto ammoniacale	mg/l	< 0,05	< 0,05
Fosfati	mg/l	< 0,05	< 1,00
Fosforo totale	mg/l	< 0,05	0,25
BOD <sub>5</sub>	mg/l	9,00	8,00
COD	mg/l	28,00	24,00
Tensioattivi anionici	mg/l	< 0,10	< 0,20
Rame	µg/l	< 5,00	< 5,00
Zinco	µg/l	13,70	15,00
Piombo	µg/l	< 5,00	< 5,00
Mercurio	µg/l	0,30	0,30
Cadmio	µg/l	< 0,50	< 0,50
Cromo	µg/l	< 5,00	< 10,00
Coliformi fecali	MPN/100ml	170.000	3.600
% O <sub>2</sub> a saturazione	%	4,00	27,00
Solfati	mg/l	19,20	19,60
Cloruri	mg/l	5,70	9,20
Azoto Kjeldahl	µg/l	0,38	< 1,00
Nichel	mg/l	< 5,00	< 5,00
Oli minerali	mg/l	< 0,02	< 0,02

**tab. 6.2 - Risultati dei campionamenti effettuati nella stazione di Muzza – Comazzo (1999-2000) – dal “Rapporto sullo stato dell’ambiente della Provincia di Lodi” anno 2001**

<b>Centrale di Tavazzano e Montanaso - Verifica dei limiti a valle della torre di raffreddamento</b>						
<i>Sostanze misurate</i>	<i>Dls 152/99 e 258/00</i>		<i>Analisi acqua di raffreddamento</i>		<i>Analisi acqua Muzza a Comazzo</i>	
	<i>Unità di misura</i>	<i>Limite di legge</i>	<i>05/11/2002</i>	<i>28/05/2003</i>	<i>Estate 1999</i>	<i>Inverno 2000</i>
pH		5.5-9.5	7.98	8.35	7.9	7.9
Temperatura	°C	n.a.	13.5	19	21	7
Solidi sospesi totali	mg/l	≤ 80	9.5	48.5	30	25
BOD5	mg/l	≤ 40	5	5	40	40
COD	mg/l	≤ 160	35	40	140	120
Cadmio	mg/l	≤ 0.02	n.d.	n.d.	0.0025	0.0025
Cromo totale	mg/l	≤ 2	n.d.	n.d.	0.025	0.05
Ferro	mg/l	≤ 2	0.038	0.088	n.d.	n.d.
Mercurio	mg/l	≤ 0.005	n.d.	n.d.	0.0015	0.0015
Nichel	mg/l	≤ 2	n.d.	n.d.	0.025	0.025
Piombo	mg/l	≤ 0.2	n.d.	n.d.	0.025	0.025
Rame	mg/l	≤ 0.1	0.065	0.086	0.025	0.025
Zinco	mg/l	≤ 0.5	n.d.	n.d.	0.069	0.075
Solfiti (come SO3)	mg/l	≤ 1	0	0	n.d.	n.d.
Solfati (come SO4)	mg/l	≤ 1000	124.77	105.57	96	98
Cloruri	mg/l	≤ 1200	38.96	35.42	28.5	46
Fosforo totale (come P)	mg/l	≤ 10	n.d.	n.d.	0.25	1.25
Azoto ammoniacale (come NH4)	mg/l	≤ 15	1.8	0.9	0.25	0.25
Azoto nitrico (come N)	mg/l	≤ 20	8.4	4.2	7.5	8.25
Grassi ed olii	mg/l	≤ 20	n.d.	n.d.	0.1	0.1
Tensioattivi totali	mg/l	≤ 2	n.d.	n.d.	0.5	1

**tab. 6.3– Caratteristiche stimate per l'acqua di scarico dalla torre di raffreddamento**

## 7 CONCLUSIONI

Quanto riportato nel presente documento consente di affermare che a partire dalla situazione attuale di esercizio, le fasi di costruzione del gruppo 9 a ciclo combinato, le fasi di esercizio intermedio previste fino al 2014 e la situazione di esercizio futuro non comportano in nessuna condizione ambientale il superamento dei limiti di legge sia per quanto riguarda le condizioni di dispersione termica delle acque di raffreddamento dei condensatori nel corpo idrico recettore, sia per quanto riguarda la qualità delle acque scaricate dalla torre di raffreddamento.