

**Cliente** Enel SpA**Oggetto** Centrale di Porto Tolle. Definizione mediante modellistica numerica tridimensionale delle condizioni di circolazione e di temperatura delle acque nella Sacca del Canarin nella configurazione futura della centrale e della Sacca stessa.**Ordine** Accordo Quadro n. 840001186. Attingimento N. 4000229214 del 5/10/2009**Note** Rev. 0 (AG09SID036 – Lettera n. B1022769)

PUBBLICATO B0000050 (PAD - 1509823)

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

**N. pagine** 107                      **N. pagine fuori testo** 0**Data** 15/07/2011**Elaborato** ESS - Colombo Daniela  
B0000050 3821 ALT**Verificato** ESS - Sala Maurizio  
B0000050 3741 VER**Approvato** ESS - Granata Tommaso (Project Manager)  
B0000050 3744 APP

Mod. RAPP v. 05

*Indice*

<b>1</b>	<b>SOMMARIO.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
2.1	Premessa.....	4
2.2	Scopo dello studio .....	8
2.3	Articolazione dell'attività.....	9
2.4	Documenti di riferimento .....	10
<b>3</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANALISI .....</b>	<b>13</b>
3.1	Considerazioni generali.....	13
3.2	Caratteristiche dell'impianto .....	13
3.2.1	Localizzazione dell'impianto e assetto attuale .....	13
3.2.2	Assetto futuro dell'impianto.....	15
3.3	Caratteristiche morfologiche della Sacca del Canarin.....	19
3.4	Dati topografici e batimetrici.....	23
3.5	Dati meteo marini, idrologici e meteorologici .....	28
3.5.1	Correnti marine e fluviali .....	28
3.5.2	Temperature e salinità .....	29
3.5.3	Oscillazioni del livello marino .....	34
3.5.4	Meteorologia .....	36
3.5.5	Moto ondoso.....	36
<b>4</b>	<b>MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE .....</b>	<b>38</b>
4.1	Cenni sulle caratteristiche del codice TRIMDI ver. 4.0.....	38
4.2	Schema di analisi.....	40
4.2.1	Reticolo di calcolo.....	40
4.2.2	Condizioni al contorno e condizioni iniziali.....	43
4.3	Scenari di calcolo .....	47
4.3.1	Premessa.....	47
4.3.2	Scenari di calcolo .....	48
<b>5</b>	<b>ANALISI DEI RISULTATI .....</b>	<b>50</b>
5.1	Considerazioni generali.....	50
5.2	Valutazione dei sovralti termici secondo la vigente normativa .....	50
5.2.1	Scarichi in mare.....	50
5.2.2	Scarichi in fiume .....	51
5.3	Scenario di validazione .....	54
5.4	Scenari previsionali .....	59
5.4.1	Analisi complessiva.....	59
5.4.2	Scenario n° 1: estivo in assetto mare - mare.....	60
5.4.3	Scenario n° 2: estivo in assetto misto .....	70
5.4.4	Scenario n° 3: estivo in assetto fiume - fiume .....	80
5.4.5	Scenario n° 4: invernale in assetto fiume - fiume.....	85
5.4.6	Influenza del funzionamento della centrale sull'attività di venericoltura .....	91
<b>6</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>103</b>
6.1	Premessa.....	103
6.2	Sintesi dei principali risultati.....	104

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	15/07/2011	B0000050	Prima emissione

## 1 SOMMARIO

Facendo seguito all'istanza, avanzata da Enel Produzione in data 30 maggio 2005, per l'autorizzazione alla conversione da olio combustibile a carbone dell'esistente centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO), le Autorità competenti hanno avviato in data 28 giugno 2005 il relativo procedimento autorizzativo recentemente sfociato nella emanazione del decreto N° 55/01/2011 con cui, *“visti gli esiti istruttori, in particolare il favorevole pronunciamento di compatibilità ambientale, l'intesa della Regione Veneto nonché le risultanze dei lavori della Conferenza di Servizi (Rif. 1)”*, si autorizza la società Enel Produzione alla realizzazione delle opere.

Al documento di cui al Rif. 1, con cui si trasmette il decreto di Autorizzazione Unica N° 55/01/2011, è allegato l'elenco delle prescrizioni ritenute necessarie alla realizzazione del progetto e all'adozione del provvedimento di autorizzazione unica ai sensi della legge n. 55/2002 e s.m.i.. A queste, in particolare, appartengono le prescrizioni formulate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (già riportate in Rif. 2) contenute nel decreto prot. U. DSA-DEC-2009-0000873 del 24 luglio 2009 (prescrizioni della Commissione tecnica di verifica dell'impatto ambientale VIA VAS di cui al parere n. 285 del 29.04.2009).

Il presente documento riferisce dei risultati dello studio commissionato da Enel SpA a CESI SpA al fine di rispondere alla prescrizione A. 42) di cui al suddetto elenco e qui di seguito richiamata:

*“Prima dell'inizio dei lavori, il Proponente dovrà trasmettere alla Regione Veneto, all'ARPA Veneto ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare uno studio di modellistica tridimensionale relativamente allo scarico delle acque di raffreddamento sia in termini di innalzamento termico che di dispersione di eventuali inquinanti con particolare riferimento all'impatto che essi possono avere sulla qualità delle acque”.*

Nel seguito si descriveranno le attività complessivamente svolte ed i risultati ottenuti mediante la suddetta analisi modellistica condotta attraverso l'applicazione del codice di calcolo TRIMDI 4.0, con cui è stato possibile caratterizzare nelle tre dimensioni l'idro-termodinamica dell'area coinvolta.

Lo studio ha investigato diverse condizioni ambientali estive di magra del Po, tali cioè da far configurare l'impossibilità di prelevare dal fiume l'intero volume delle acque di raffreddamento della centrale imponendone il prelievo, parziale o totale, dal mare e dalla contigua area deltizia di bassi fondali denominata Sacca del Canarin (funzionamento nell'assetto cosiddetto “mare – mare” della centrale).

Le simulazioni hanno riguardato lo studio della perturbazione termica indotta nelle diverse aree del Delta negli assetti futuri sia della centrale, considerata nell'autorizzato nuovo assetto a carbone, sia della Sacca del Canarin, simulata nella futura configurazione caratterizzata dalla realizzazione delle opere del cosiddetto “Progetto di Vivificazione” del Consorzio di Bonifica Delta Po - Adige.

Il presente studio risponde alle richieste della prescrizione A. 42) analizzando il fenomeno della diffusione della perturbazione termica con particolare riferimento sia alla necessità di preservare condizioni ambientali tali da consentire il mantenimento dell'esistente attività di venericoltura, sia all'efficienza di funzionamento della centrale specie nei più critici periodi estivi.

## 2 INTRODUZIONE

### 2.1 Premessa

In condizioni normali la centrale di Porto Tolle (Rovigo) opera prelevando e scaricando l'acqua di raffreddamento dal fiume Po in corrispondenza del ramo di Pila, ma in caso di riduzione della portata fluviale<sup>1</sup> l'aspirazione e la restituzione delle acque di raffreddamento avvengono direttamente a mare. In particolare, l'opera di presa è collegata tramite un canale di aspirazione alla Sacca del Canarin, un'area del Delta del Po a sua volta collegata al mare aperto attraverso una bocca naturale posta a Nord della Sacca stessa. Lo scarico a mare avviene attraverso un canale naturale che si sviluppa nell'area lagunare a Nord della Sacca e sfocia poco sopra la bocca Nord della Sacca.

La conversione a carbone della centrale termoelettrica non prevede la modifica dei circuiti di prelievo e restituzione delle acque di raffreddamento, che si manterranno identici a quelli attuali in entrambi i possibili assetti di funzionamento, denominati mare – mare e fiume – fiume, schematicamente illustrati in Figura 1.

Nell'area centro - settentrionale prossima alla Bocca Nord della Sacca sono attualmente localizzati i vivai di ingrasso di vongole veraci (Rif. 3, Rif. 4 e Figura 2), e per assicurare il mantenimento e lo sviluppo di questa attività, il Consorzio di Bonifica Delta Po - Adige ha già da tempo in progetto un intervento di vivificazione (Rif. 5, Rif. 6 e Figura 3) con ripristino di una bocca a Sud, il dragaggio di canali interni e il rialzo di barene e velme, che Enel si è impegnata a realizzare nell'ambito del progetto di conversione a carbone della centrale.

E' in questo quadro progettuale complessivo che si inserisce la verifica numerica oggetto del presente studio.

---

<sup>1</sup> Il prelievo da fiume è condizionato dalla portata del Po con riferimento alla stazione idrometrica di Pontelagoscuro ed in particolare:

- a) con portata del fiume non superiore a 380  $\text{m}^3/\text{sec}$  deve essere attuata la sospensione della derivazione;
  - b) con portata uguale o superiore a 420  $\text{m}^3/\text{sec}$  la derivazione non deve essere superiore a 40  $\text{m}^3/\text{sec}$ ;
  - c) con portata uguale o superiore a 460  $\text{m}^3/\text{sec}$  la derivazione può raggiungere gli 80  $\text{m}^3/\text{sec}$ .
-



Figura 1 Vista da satellite dell'area in esame con indicazione del circuito delle acque di raffreddamento della centrale negli assetti di funzionamento mare – mare e fiume - fiume



Figura 2 Dislocazione delle aree di ingrasso in Sacca del Canarin (secondo le indicazioni contenute in Rif. 3 e Rif. 4)

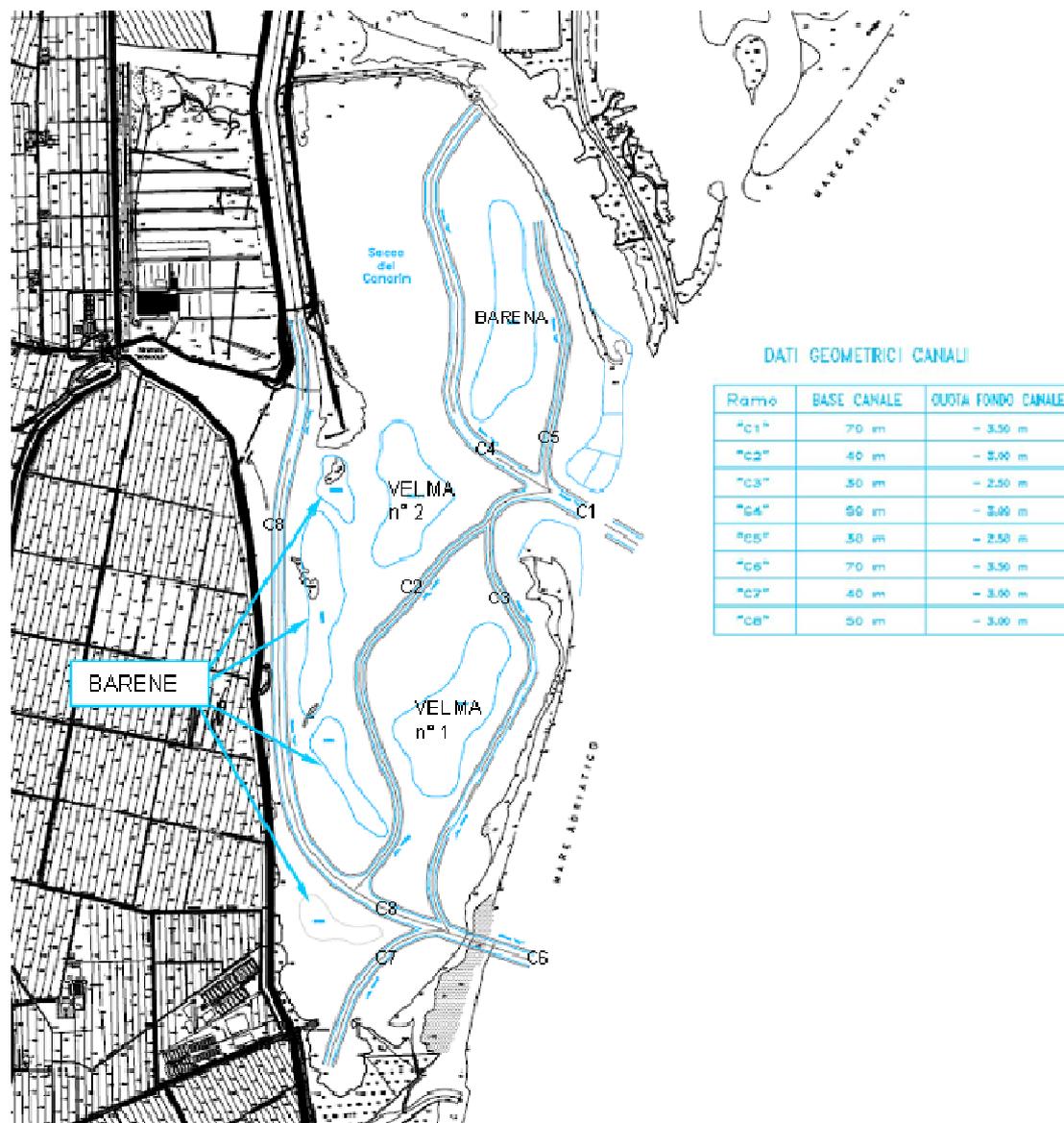


Figura 3 Progetto di vivificazione del Consorzio di Bonifica (estratto da Rif. 5 e Rif. 6)

## 2.2 Scopo dello studio

La centrale termoelettrica di Porto Tolle di proprietà di Enel spa è attualmente composta da quattro gruppi alimentati ad olio combustibile, con una potenza efficiente lorda di ciascuna sezione pari a 660 MW per una potenza complessiva pari a 2640 MW. Nell'ambito dell'autorizzata trasformazione a carbone dell'impianto, la centrale opererà con un assetto a tre gruppi ultra supercritici da 660 MW, per una potenza complessiva lorda nominale di 1980 MWe.

La Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale ha recentemente (Rif. 2) espresso parere favorevole circa la compatibilità ambientale del progetto relativo alla conversione a carbone dell'esistente centrale termoelettrica di Porto Tolle a condizione dell'osservanza di alcune prescrizioni.

Tra queste la prescrizione A° 42 richiede l'esecuzione di uno “studio di modellistica tridimensionale relativamente allo scarico delle acque di raffreddamento sia in termini di innalzamento termico che di dispersione di eventuali inquinanti con particolare riferimento all'impatto che essi possono avere sulla qualità delle acque”.

Il presente studio risponde alle richieste della suddetta prescrizione considerando il fenomeno della diffusione del pennacchio caldo alla luce sia dell'efficienza di funzionamento della centrale specie nei più critici periodi estivi, sia della necessità di preservare condizioni di qualità termica delle acque in Sacca del Canarin tali da consentire il mantenimento, ovvero lo sviluppo dell'esistente attività di venericoltura. In considerazione, infatti, del non utilizzo di ipoclorito e dell'esigua quantità di reflui ITAR rispetto alla portata delle acque di circolazione, la perturbazione termica indotta dallo scarico delle acque di raffreddamento rimane l'unica potenzialmente capace di alterare la qualità delle acque, intesa come *habitat* dell'attività di venericoltura prevalente nelle aree in oggetto.

Lo studio in oggetto analizza la dispersione termica della centrale nelle condizioni meteomarine e di ventosità caratteristiche del sito e ritenute più a rischio, ed è stato condotto con il codice di calcolo TRIMDI 4.0, con cui è stato possibile caratterizzare con un dettaglio tridimensionale l'idro-termodinamica dell'area coinvolta.

In particolare sono state valutate quelle situazioni che riproducono le condizioni meteomarine e meteorologiche del sito tali da ottenere risultati conservativi riguardo agli obiettivi seguenti:

- verifica delle temperature massime raggiunte in Sacca del Canarin, con particolare riferimento alla temperatura critica per l'attività di venericoltura riportata in Rif. 4, vale a dire la temperatura di 31°C indicata quale “limite vitale” di temperatura per la coltivazione della vongola verace filippina;
- verifica dell'entità dell'eventuale ricircolo termico alla presa a mare della centrale nell'ipotesi di funzionamento in assetto mare - mare;
- verifica del rispetto dei limiti di legge nelle sezioni di Po a valle dello scarico a fiume e in prossimità della foce del canale di scarico a mare, a seguito della mutata idrodinamica indotta dalle nuove opere del progetto di vivificazione.

La tipologia dello scarico e delle prese, unitamente alla topografia della costa ed alla conformazione delle opere eventualmente presenti sul perimetro costiero simulato, sono stati considerati con un dettaglio adeguato agli scopi dello studio.

### 2.3 Articolazione dell'attività

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, lo studio è stato articolato nelle fasi distinte di seguito riportate:

1. analisi dei dati disponibili utili alla caratterizzazione ambientale del sito e dello scarico caldo e della presa della centrale. In particolare è stato possibile usufruire delle recenti campagne di monitoraggio termico esteso condotte da CESI nell'area della Sacca del Canarin (estate 2008, Rif. 7 e estate 2010, Rif. 8). Tali misure di temperatura, opportunamente integrate con altri dati ambientali provenienti, tra l'altro, dalle campagne di misura volte alla definizione degli andamenti batimetrici (Rif. 9, Rif. 10, Rif. 11, Rif. 12, Rif. 13, Rif. 14, Rif. 15, Rif. 16), dalle ortofoto dei voli più recenti (Rif. 17) e dalla cartografia della zona in oggetto (Rif. 18), hanno consentito di definire l'insieme dei parametri ambientali e di esercizio che influenzano il campo idrodinamico e termico; l'analisi è contenuta nel capitolo 3;
2. definizione di un dominio di calcolo per la simulazione con modello tridimensionale che tiene conto della conformazione della Sacca del Canarin, nella configurazione futura prevista dal progetto di vivificazione (Rif. 5, Rif. 6), delle opere di scarico e presa della centrale; il dominio di calcolo è stato completato dalla riproduzione del tratto finale del fiume Po (al fine di simulare correttamente anche l'effetto della corrente residua nella Busa di Dritta ed in quella di Scirocco) e della zona di mare circostante per una estensione sufficiente a garantire l'instaurarsi di condizioni di equilibrio<sup>2</sup>. Sono stati generati due reticoli di calcolo relativi rispettivamente alle configurazioni attuale (per la fase di validazione) e futura, della centrale e della Sacca del Canarin; la descrizione del modello e dello schema di analisi sono riportati al capitolo 4;
3. esecuzione delle simulazioni numeriche, di validazione e di previsione, analisi ed elaborazione dei risultati ottenuti e stesura del rapporto tecnico conclusivo; la disamina dei risultati delle simulazioni è contenuta nel capitolo 5, mentre le considerazioni conclusive derivanti dallo studio sono oggetto del capitolo 6.

Le analisi per la dispersione dello scarico delle acque di raffreddamento degli impianti nelle condizioni meteomarine caratteristiche del sito sono state condotte attraverso un codice di simulazione numerica in grado di caratterizzare con un dettaglio tridimensionale l'idro-termodinamica dell'area coinvolta. Data la tipologia dello scarico e la natura del problema, le simulazioni sono state condotte con il codice proprietario tridimensionale TRIMDI, nella versione 4.0 (Rif. 23) recentemente messa a punto proprio per far fronte alle particolari condizioni morfologiche del sito in esame, caratterizzato da fondali limitati, che, unitamente alla simulazione delle oscillazioni di marea, ha reso particolarmente laboriosa la modellazione dei fenomeni complessivamente agenti.

---

<sup>2</sup> Da intendersi in termini di condizioni cicliche di equilibrio a seguito della simulazione di un transitorio di marea, come più chiaramente illustrato nel seguito

## 2.4 Documenti di riferimento

- Rif. 1 Ministero dello Sviluppo Economico. Dipartimento per l'Energia. Direzione Generale per l'energia nucleare, le energie rinnovabili e l'efficienza energetica. Divisione II. Produzione elettrica. "Procedimento per l'autorizzazione, ai sensi del DL 7 febbraio 2002, n. 7, convertito in legge 9 aprile 2002, n. 55, alla conversione dell'esistente centrale termoelettrica nel Comune di Porto Tolle (RO) da olio combustibile a carbone. **Trasmissione del decreto di autorizzazione unica N° 55/01/2011**" REGISTRO UFFICIALE Prot. N. 0000193-07/01/2011 - uscita
- Rif. 2 Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Direzione Salvaguardia Ambientale. Divisione III. Valutazione Impatto Ambientale di Infrastrutture, Opere Civili ed Impianti Industriali "Decreto di pronuncia di compatibilità ambientale relativo al progetto di centrale termoelettrica da 1980 MWe, alimentata a carbone, ubicata in Comune di Porto Tolle (RO), in luogo della esistente centrale termoelettrica ad olio combustibile – Proponente Enel Produzione S.p.A." Notifica Decreto di Compatibilità Ambientale DSA-DEC-2009-0000873 del 24.07.2009. U.prot DSA-2009-002069 del 30/07/2009
- Rif. 3 Schema orti. "Laguna del Canarin. Aggiornamento del 10/11/2008. Marchesini Luigino. Con zone seminate da spostamento prodotto all'interno del canale e da sottotaglia immesso durante pesca della quota."
- Rif. 4 Documento Riservato "Centrale termoelettrica di Porto Tolle. Interferenze ed effetti indotti sull'attività di venericoltura in laguna del Canarin." Dott. Emanuele Rossetti. Iscrizione Albo Nazionale Biologi n° 036468
- Rif. 5 Consorzio di Bonifica Delta Po Adige, Progetto n. 2003.03 "Lavori di vivificazione della Sacca del Canarin in Comune di Porto Tolle (RO) e recupero di un'area lagunare ai fini dell'acquacoltura." Delibera CIPE N. 36 del 03.05.2002 – Legge 23.12.1996 N. 662. Intesa Istituzionale di Programma – Riparto risorse aree depresse 2002 – 2004. D.G.R.V. N. 3707 del 20.12.2002 – Importo € 3.356.969,85. Taglio di Po, li 24.03.2003
- Rif. 6 ENEL GEM AT-SRI/ING/SVL. "Centrale termoelettrica di Porto Tolle. Planimetria generale. Progetto di vivificazione della Sacca del Canarin." PO0CADASVL002. File: PO\_002\_0
- Rif. 7 D. Colombo, "Centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO). Monitoraggio termico della Sacca del Canarin. Campagna estiva 2008." Rapporto CESI/ISMES N° A8021441; 18 dicembre 2008
- Rif. 8 M.L. Meloni, "Centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO). Monitoraggio termico della Sacca del Canarin. Campagna estiva 2010." CESI/ISMES N° B0018425; 9 maggio 2011
- Rif. 9 T. Granata "Centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO). Rilievi morfobatimetrici dell'area prospiciente la darsena bettoline e tratti fluviali dell'area deltizia (Po di Venezia, Po di Levante, Busa di Tramontana e Busa di Scirocco)." Rilievi del 17-20 maggio 2005. Rapporto CESI/ISMES N° A5044770
- Rif. 10 T. Granata "Centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO). Rilievi morfobatimetrici di tratti fluviali e marini dell'area del Delta del fiume Po, Busa di Tramontana, area darsena bettoline, canali di presa e scarico a mare." Rilievi del 17-18 maggio 2006, 20-21 giugno 2006. Rapporto CESI/ISMES N° A6019452
- Rif. 11 Enel Produzione "Centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO). Rilievi morfobatimetrici e stima della quantità di materiale sedimentato nel canale di adduzione, nel canale di restituzione e nelle vasche di calma pompe a.c.." Relazione n° 212PT03693. Settembre 2001
- Rif. 12 CESI Area Tecnica Ambiente. Unità specialistica sistemi idrici. "Campagna batimetrica LAB-PC Ottobre 2009." Rilievi del giorno 7 ottobre 2009. File: PortoTollePunto1-batimetrie ottobre 2009.dwg
- Rif. 13 CESI Laboratorio di Piacenza. Rilievi batimetrici in Po del settembre 2001. File: SezioniMIIsura1.xls

- Rif. 14 Regione Veneto. Ing. Guido Selvi. Unità Periferica Genio Civile di Rovigo Ufficio Opere Marittime. Rilievo batimetrico del giugno 2008.
- Rif. 15 Consorzio di Bonifica Delta del Po. “*Gestione lagune del Delta del Po. Programmi interventi 2005. Decreto del dirigente regionale della direzione agro ambiente e servizi per l’agricoltura N. 480 del 14.11.2007. Progetto N. 2005-20 importo €3.500.000,00.*” Relazioni tecniche ed elaborati: “*Rilievi topografici con metodologia celerimetrica dell’argine e della difesa perimetrale della laguna del Canarin in comune di Porto Tolle (RO).*” e “*Rilievi topo batimetrici da eseguirsi nella laguna del Canarin al fine di calibrare e controllare gli interventi*”. Te.Ma snc Indagini Territoriali. Data rilievi: marzo-aprile 2010.
- Rif. 16 Consorzio di Bonifica Delta del Po. “*Laguna del Basson.*” Rilievi 2005
- Rif. 17 Terra Italy™. Ortho Digital Images. Immagini Digitali CD ROMs 1-1. Ordine n. 739220133 e n. 20100204-1265279417681138902. Copyright 1998-2010, BLOM CGR SpA.
- Rif. 18 Carta d’Italia. Scala 1:50000. Foglio N° 188 – 206 Porto Tolle
- Rif. 19 IGM Carta Nautica n° 38. “*Mare Adriatico. Italia. Dal Po di Goro a Punta Tagliamento.*” Scala 1:100.000.
- Rif. 20 ENEL CPCT Milano – Centrale di Porto Tolle. Planimetria generale. Domanda agli enti interessati per il prolungamento e il rinforzo argine di 2° linea ed argine verso Busa del Canarin. Disegno 712.166 rev.0 Scala 1:5000 (novembre 1974)
- Rif. 21 ENEL CPCT Milano – Centrale di Porto Tolle. Planimetria del Delta. Disegno 712.155 rev.5 Scala 1:5000 (aprile 1977)
- Rif. 22 ENEL CPCT Milano – Centrale di Porto Tolle. Profili tipo degli argini relativi al canale di presa. Disegno 712.269 rev.1 Scala 1:5000 (gennaio 1975)
- Rif. 23 AA.VV. – *Codice di calcolo TRIMDI ver. 4.0. Manuali di Utenza.*– Anno 2010. MTC/CFD\_Num/104.09°. b. c.
- Rif. 24 Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Vento. Area Tecnico-Scientifica. Osservatorio Acque di Transizione – “*A proposito di ... acque di transizione*” – ISBN 88-7504-085-0 (Ottobre 2004)
- Rif. 25 ENEL-DSR. Centro Ricerca Idraulica e Strutturale. “*Problematiche connesse alla costruzione della centrale di Porto Tolle. Studi a carattere sperimentale e teorico*” Relazione ENEL-DSR/CRIS n. 2328 (Febbraio 1973)
- Rif. 26 ENEL-DSR. Centro Ricerca Idraulica e Strutturale. “*Delta del Po. Sacca del Canarin. Risultati dei rilievi idrometrici eseguiti in concomitanza con le ricerche naturalistiche. Campagna giugno-luglio 1979*” Relazione ENEL-DSR/CRIS SI-519/80 (Aprile 1980)
- Rif. 27 Archivio cartografico CESI (Piacenza c/o Ing. T. Granata)
- Rif. 28 Artegiani, A., Bregant, D., Paschini, E., Pinardi, N., Raicich, F., and Russo, A., “*The Adriatic Sea general circulation. Part I: Air Sea interactions and water mass structure*”. J. Phys. Oceanogr., 27, 1492-1514, 1997a
- Rif. 29 Artegiani, A., Bregant, D., Paschini, E., Pinardi, N., Raicich, F., and Russo, A., “*The Adriatic Sea general circulation. Part II: Baroclinic circulation structure*”. J. Phys. Oceanogr., 27, 1515-1532, 1997b.
- Rif. 30 Poulain, P.M. “*Adriatic Sea surface circulation as derived from drifter data between 1990 and 1999*”. Journal of Marine Systems 29 (2001) 3–32

- Rif. 31 L. D'Alpaos, G. Matteotti. *“Progetto di conversione a carbone della centrale Enel di Porto Tolle. Valutazione degli aspetti legati alla navigazione ed all’impatto ambientale della soluzione individuata per la logistica funzionale al progetto di conversione della centrale.”* Maggio 2005
- Rif. 32 D. Colombo. *“Centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO). Monitoraggio termico della Sacca del Canarin. Campagna estiva 2008.”* Rapporto CESI N° A8021441. Dicembre 2008.
- Rif. 33 ENEL GEM AT-SV/PRO – *“Centrale termoelettrica di Porto Tolle. Progetto di conversione a carbone. Progetto preliminare. Relazione Tecnica”* – (maggio 2005)
- Rif. 34 V. Bogani, A. Di Monaco, G. Dinelli, A. Leoncini, *“Analisi Termo-Idrodinamica della dispersione di inquinanti in corpi idrici complessi : Applicazione alla foce del Tevere”*, Enel Rassegna Tecnica n.3, 1983
- Rif. 35 E.Ghisolfi, M.Miserocchi, P. Molinaro, *“Validation of a mathematical model for the simulation of the thermal impact of ENEL power plant on natural water bodies.”*, rapporto ENEL-DSR-CRIS n. 3872, presentato alla International Conference HYDROSOFT '90, 3-5 Aprile 1990, Lowell U.S.A.
- Rif. 36 A.Borella, M.Cambiaghi, P.Marri, R.Meloni,, M.Miserocchi, R.Nair, M.Tomasino, *“Gulf of La Spezia: An Analysis of the Mechanisms of Water Exchange between the Inner Gulf and the Open Sea”*, Proceedings of the Second International Conference Marina Technology, Southampton (UK), 31 March – 2 April, 1992.
- Rif. 37 Banca Dati: DATAPO contenente misure eseguite in Po da CISE (c/o Ing. T. Granata)
- Rif. 38 Dati forniti dalle misure eseguite dalla Piattaforma ISMAR-CNR in Alto Adriatico. Dati disponibili in rete all’indirizzo: <http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1715>
- Rif. 39 T. Granata, *“Centrale termoelettrica di Porto Tolle. Verifica del rispetto dei limiti di legge dello scarico a mare dell’acqua di raffreddamento dei condensatori della centrale funzionante nella configurazione fiume-fiume (gr. 1 e 2) e mare-mare (gr.3 e 4). 13 agosto 2003.”* Rapporto CESI A3/029574 (settembre 2003)
- Rif. 40 DLgs 152/06, *“Norme in materia ambientale”*, 3 aprile 2006 n.152 (Suppl. ordinario gazz. Uff. n. 88 del 14/04/2006)
- Rif. 41 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 – Dic. 1993
- Rif. 42 T. Granata, *“Centrale termoelettrica di Porto Tolle. Verifica del rispetto dei limiti di legge dello scarico del ramo di Pila del fiume Po dell’acqua di raffreddamento dei condensatori della centrale funzionante con una portata pompe AC pari a 40 mc/s.”* Rapporto CESI A3/026124 (luglio 2003)
- Rif. 43 Schede esercizio gruppi per il periodo 10-24 agosto 2003. Comunicazione da centrale.

### 3 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANALISI

#### 3.1 Considerazioni generali

La corretta riproduzione del campo di moto impone la simulazione contemporanea delle forzanti ambientali (vento, corrente, marea, ...) tipiche del sito, della topografia e della batimetria che caratterizzano la configurazione costiera su cui agiscono tali forzanti e della restituzione in mare e/o in fiume delle acque di raffreddamento della centrale. Si tratta dunque di un problema particolarmente complesso per il quale diviene essenziale la fase di analisi dei parametri meteomarini caratteristici e delle condizioni di scarico.

In particolare i dati necessari all'esecuzione dello studio fanno riferimento alle seguenti tipologie:

- a) dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico e di presa delle acque di raffreddamento;
- b) dati relativi alla configurazione dei corpi idrici di interesse (fiume Po e sue ramificazioni nel Delta, lagune e acque costiere nell'area in esame, e zona di mare circostante) e alla relativa batimetria per la ricostruzione schematizzata del fondale;
- c) dati di idrologia marina (temperatura, salinità, corrente ambientale e livello del mare) e fluviale (dati di portata e livello della rete idrografica presente);
- d) dati meteorologici, con riferimento particolare alla direzione ed intensità del vento;
- e) dati di esercizio della centrale, quali potenza e modalità di scarico dei circuiti di raffreddamento.

Per ciascuna tipologia di dati verranno nel seguito elencate le caratteristiche, la quantità ed il dettaglio delle informazioni raccolte, la valutazione sulla loro coerenza e completezza con l'indicazione della fonte di riferimento.

#### 3.2 Caratteristiche dell'impianto

##### 3.2.1 Localizzazione dell'impianto e assetto attuale

La centrale di Porto Tolle sorge su un'area prospiciente la sponda destra del Po della Pila (Figura 4) di fronte al paese di Pila, frazione di Polesine Camerini, e occupa una superficie complessiva di circa 2.350.000 m<sup>2</sup> di proprietà di Enel. La centrale è difesa lungo il suo perimetro da argini con sommità carreggiabile a quota +4.5 m s.l.m. che la proteggono sia dalle piene del fiume Po che dalle mareggiate dell'Adriatico. L'unica significativa infrastruttura stradale presente nell'area in questione è la S.S. n. 309 Romea, che dista circa 25 km in linea d'aria dalla centrale. La centrale inoltre è collegata alla Laguna di Venezia e al Mare Adriatico a mezzo del sistema idroviario del fiume Po.

La costruzione e l'esercizio delle quattro sezioni attualmente costituenti la centrale sono state autorizzate con decreto del 25 giugno 1973, e sono entrate in esercizio tra il 1980 ed il 1984. La potenza efficiente lorda di ciascuna sezione, che attualmente utilizza olio quale combustibile, è pari a 660 MW per una potenza elettrica lorda complessiva di 2640 MW.

Le acque di raffreddamento sono prelevate, attraverso un'apposita opera di presa, dal ramo del Delta denominato Po di Pila, e restituite più a valle nello stesso ramo. In alternativa a tale assetto di funzionamento, denominato *fiume-fiume*, la centrale può prelevare acqua per il circuito di raffreddamento direttamente dal mare attraverso un canale di presa collegato alla Sacca del Canarin e restituirla direttamente a mare attraverso un canale di restituzione che sbocca poco più a nord rispetto alla Bocca Nord con cui la Sacca del Canarin si collega al mare aperto. Tale assetto, denominato *mare-mare*, è di norma utilizzato per il raffreddamento di uno o più gruppi soprattutto quando le condizioni di magra del fiume Po non consentono il prelievo della portata necessaria al raffreddamento, autorizzata in 80 m<sup>3</sup>/s (vedi la nota 1). L'incremento termico all'uscita dei condensatori è pari a 8 °C.

La Figura 5 che segue mostra in maggiore dettaglio l'area di centrale ed il contesto in cui è inserita.

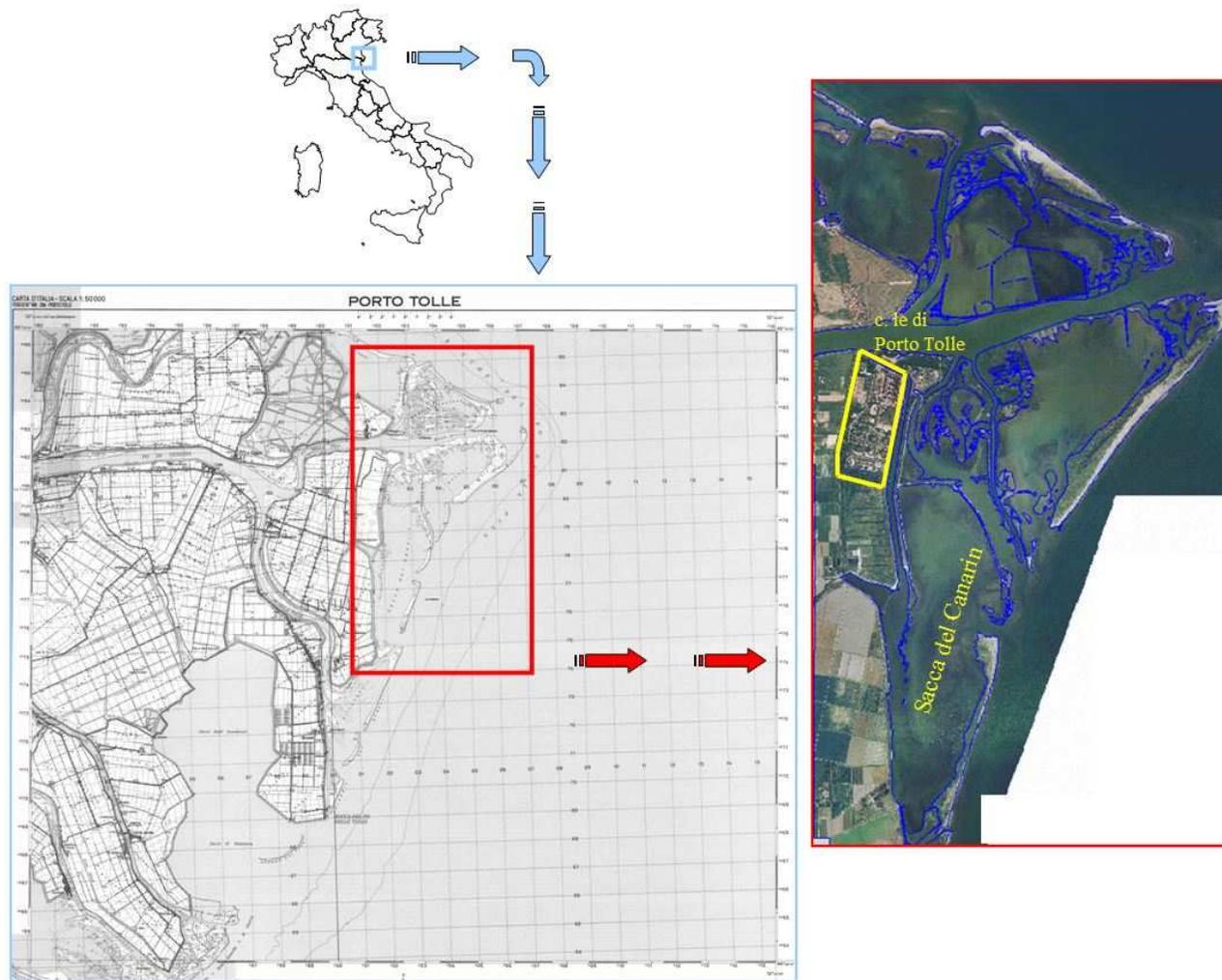


Figura 4 Corografia generale del Delta del Po in cui si inserisce l'impianto di Porto Tolle. In figura si possono osservare le diverse connessioni tra Sacca del Canarin e Mare Adriatico: nella cartografia (non recente, Rif. 18) a sinistra sono visibili due bocche di collegamento, mentre nelle più recenti ortofoto di destra (Rif. 17) è illustrata la situazione attuale che vede un'unica bocca aperta a Nord

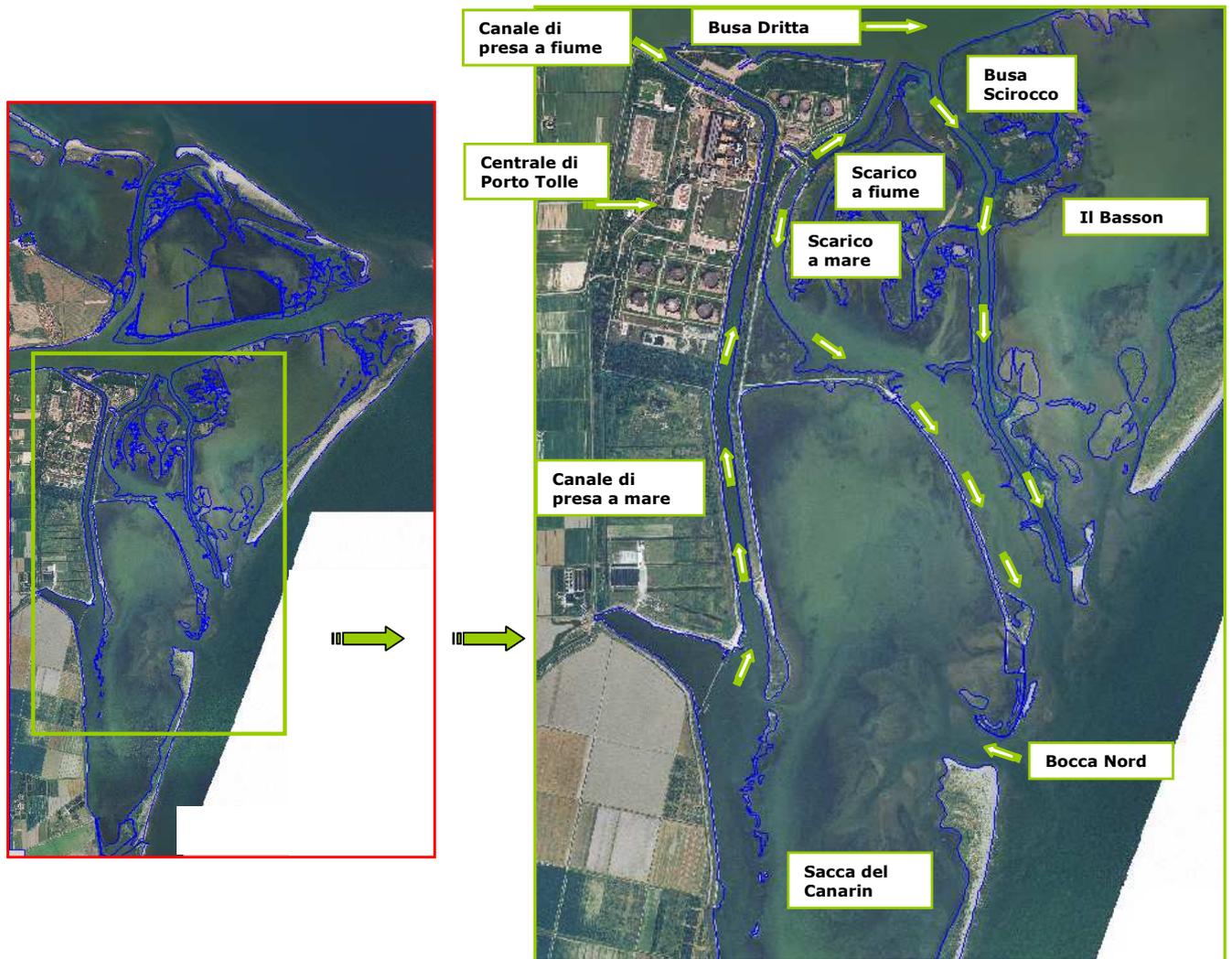


Figura 5 Corografia generale del Delta del Po con indicazione dell'area di centrale, dei canali di presa e di scarico a mare e a fiume, delle ramificazioni del Po di Pila (Busa Dritta e Busa di Scirocco) e delle acque di transizione confinate nei perimetri della Sacca del Canarin, collegata al mare attraverso la Bocca Nord, e de Il Basson (foto aeree da Rif. 17)

### 3.2.2 Assetto futuro dell'impianto

Nell'ambito dell'autorizzata trasformazione a carbone dell'impianto, la centrale opererà con un assetto a tre gruppi da 660 MW, per una potenza complessiva lorda nominale di 1980 MWe. L'insieme delle scelte progettuali, tra cui l'utilizzo di caldaie super ultracritiche ad elevato rendimento fa sì che, a fronte di una portata complessiva pari a  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  si ottenga un sopralzo termico allo scarico di  $7^\circ\text{C}$ , inferiore quindi di  $1^\circ\text{C}$  rispetto all'attuale assetto di esercizio.

Le opere di adduzione e restituzione delle acque di raffreddamento sono le stesse utilizzate nella configurazione attuale illustrate nelle figure seguenti (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

La risagomatura prevista per la darsena di alloggiamento delle bettoline utilizzate per il trasporto del carbone, illustrata in Figura 9, è stata anch'essa riprodotta nella simulazione dell'assetto futuro dell'impianto.



Figura 6 Dettaglio delle aree di presa e di scarico che rimarranno invariate nel futuro assetto a carbone (foto aeree da Rif. 17)



Figura 7 Dettaglio delle aree di presa (a sx: canale di presa a mare, ripreso dall'estremo che preleva in Sacca del Canarin; a dx: dettaglio del sistema di paratoie che regolano le prese all'imbocco in centrale)



Figura 8 Dettagli delle opere di scarico della centrale. *In alto*: vista dalla centrale con dettaglio delle paratoie che convogliano lo scarico verso il fiume Po (a sinistra) e verso il canale di scarico a mare (a destra). *In basso*: vista verso la centrale con indicazione della direzione di scarico a mare (freccia verde) e a fiume (freccia azzurra)

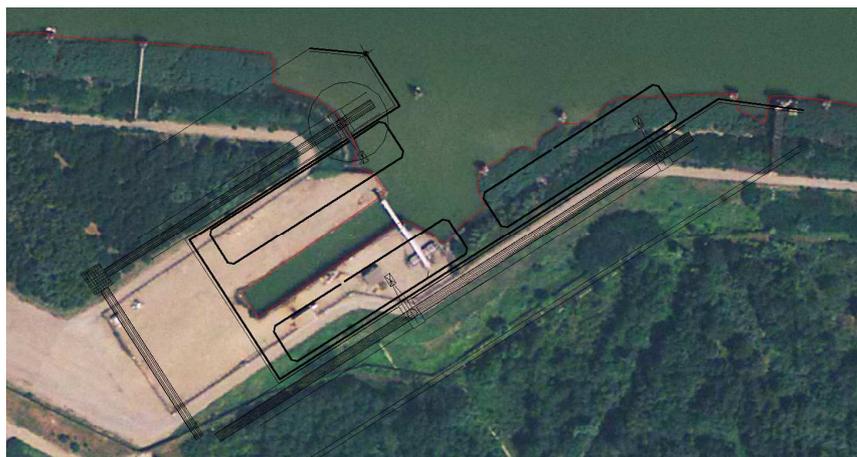


Figura 9 Nuovo layout della darsena di alloggiamento delle bettoline, in nero, sovrapposto alla configurazione attuale

### 3.3 Caratteristiche morfologiche della Sacca del Canarin

A forma di anello allungato, la Sacca del Canarin ha una profondità media inferiore al metro e presenta i suoi massimi fondali in corrispondenza dell'area in prossimità della Bocca Nord; le zone settentrionali e meridionali sono invece caratterizzate da profondità decisamente ridotte.

Le condizioni ambientali che la caratterizzano, come in generale avviene per le aree lagunari del Delta, sono fortemente soggette a modifiche morfologiche anche in tempi brevi a causa dell'azione delle correnti e della marea, oltre che per effetto dell'apporto di sedimenti ad opera del Po (Rif. 24). Queste modifiche portano spesso alla occlusione dei canali di collegamento con il mare aperto, con la conseguente creazione di zone di stagnazione in cui il ricambio delle acque avviene assai lentamente. Negli anni '70 la laguna della Sacca del Canarin presentava due aperture a mare, come si osserva in Figura 10 (Rif. 25), e una canalizzazione interna ben definita come risulta anche dalla Figura 11 in cui sono mostrate le sezioni delle bocche rilevate nel 1979 (Rif. 26).

L'evoluzione morfologica dell'area ha successivamente visto la progressiva chiusura della bocca Sud, avvenuta all'inizio degli anni '80 e chiaramente visibile in Figura 12 (Rif. 27). Conseguentemente tutta la parte Sud della laguna ha subito consistenti variazioni morfodinamiche: si è progressivamente ridotta la circolazione idrica e, non essendovi gli adeguati sfoghi, il bacino Sud ha iniziato a comportarsi quale "cassa di espansione" per la marea entrante dalla Bocca Nord. I fondali, una volta sabbiosi, si sono progressivamente coperti di uno strato di argilla fine e limo, innalzandosi e spopolandosi delle principali forme di vita bentonica.

La difficoltà di ricambio dell'acqua presente nella Sacca è causata prima di fenomeni di eutrofizzazione e scarsa ossigenazione delle acque in essa racchiuse, particolarmente per quanto riguarda la aree più lontane dalla attuale bocca a mare; queste condizioni, oltre a rappresentare un problema ambientale di qualità delle acque, rendono più difficile il possibile sfruttamento di aree più estese di quelle attuali per attività di acquacoltura.

E' in tale contesto che si inserisce il progetto di importanti opere di vivificazione della laguna, promosse dal Consorzio Delta del Po - Adige e finalizzate al mantenimento dei delicati equilibri ambientali ed alla creazione di condizioni di elevata biodiversità. Tra queste il "Progetto generale per la vivificazione della Sacca del Canarin" (Rif. 5) che, partendo dall'analisi delle condizioni idrodinamiche come conseguenza della circolazione indotta dall'alternarsi delle maree attraverso l'unica bocca esistente, ha individuato una serie di interventi in grado di migliorare la circolazione all'interno della Sacca con l'obiettivo di ottenere una qualità delle acque ottimale per l'insediamento di attività ittiche.

L'insieme degli interventi, illustrati schematicamente in Figura 3 si riassume sostanzialmente nei seguenti punti:

- scavo di una rete interna di canali, di profondità compresa tra i 2.5 m (per i canali più interni) e i 3.5 m (limitatamente ai due canali in ingresso alla Sacca attraverso le bocche Nord e Sud) rispetto al livello di medio mare per favorire la penetrazione dell'onda di marea e di acque più profonde; la larghezza alla base dei canali è compresa tra i 30 m e i 70 m rispettivamente;
- realizzazione ed ampliamento di alcune barene ad una altezza di 0.5 m sul livello di medio mare per indirizzare le correnti di marea verso le zone in tendenziale stagnazione;
- sistemazione e stabilizzazione della bocca a mare esistente (Bocca Nord);
- realizzazione di una nuova bocca collegante la Sacca al mare per alimentare direttamente la parte meridionale della Sacca (Bocca Sud);
- generali opere di stabilizzazione degli scanni a mare al fine di mantenere, per quanto possibile, una configurazione stabile del litorale e delle bocche.

Su questo scenario si innesta poi l'effetto della aspirazione delle acque di raffreddamento della centrale di Porto Tolle, che, come precedentemente illustrato, in condizioni di magra del fiume Po preleva le acque direttamente dalla Sacca del Canarin attraverso un apposito canale di presa. L'aspirazione delle acque di raffreddamento, nelle condizioni attuali, presenta l'effetto positivo di introdurre una circolazione di richiamo nella Sacca, anche se la restituzione direttamente a mare attraverso un canale di scarico situato più a nord provoca una diminuzione netta all'interno della stessa che deve essere compensata dal richiamo di acqua dal mare attraverso l'unica bocca esistente. Di fatto, però, le dimensioni attuali e la scarsa profondità della bocca sono tali da determinare significativi fenomeni dissipativi che attenuano apprezzabilmente l'ampiezza d'onda della marea all'interno della Sacca, con forti gradienti di livello solo in corrispondenza dell'unica bocca aperta.

L'effetto sulla circolazione previsto con la realizzazione delle opere in progetto, di cui Enel si è assunta l'onere, è volto al miglioramento della circolazione interna ma anche, ad esempio mediante il rinforzo degli scanni, al mantenimento di una configurazione del litorale e delle bocche per quanto possibile stabile.

Anche il contributo alla circolazione dato dall'aspirazione della centrale viene favorito dalla presenza dei canali dragati, dal rialzo delle barene e soprattutto dalla presenza della nuova Bocca Sud, elementi che di fatto convogliano direttamente le acque verso il canale di presa.

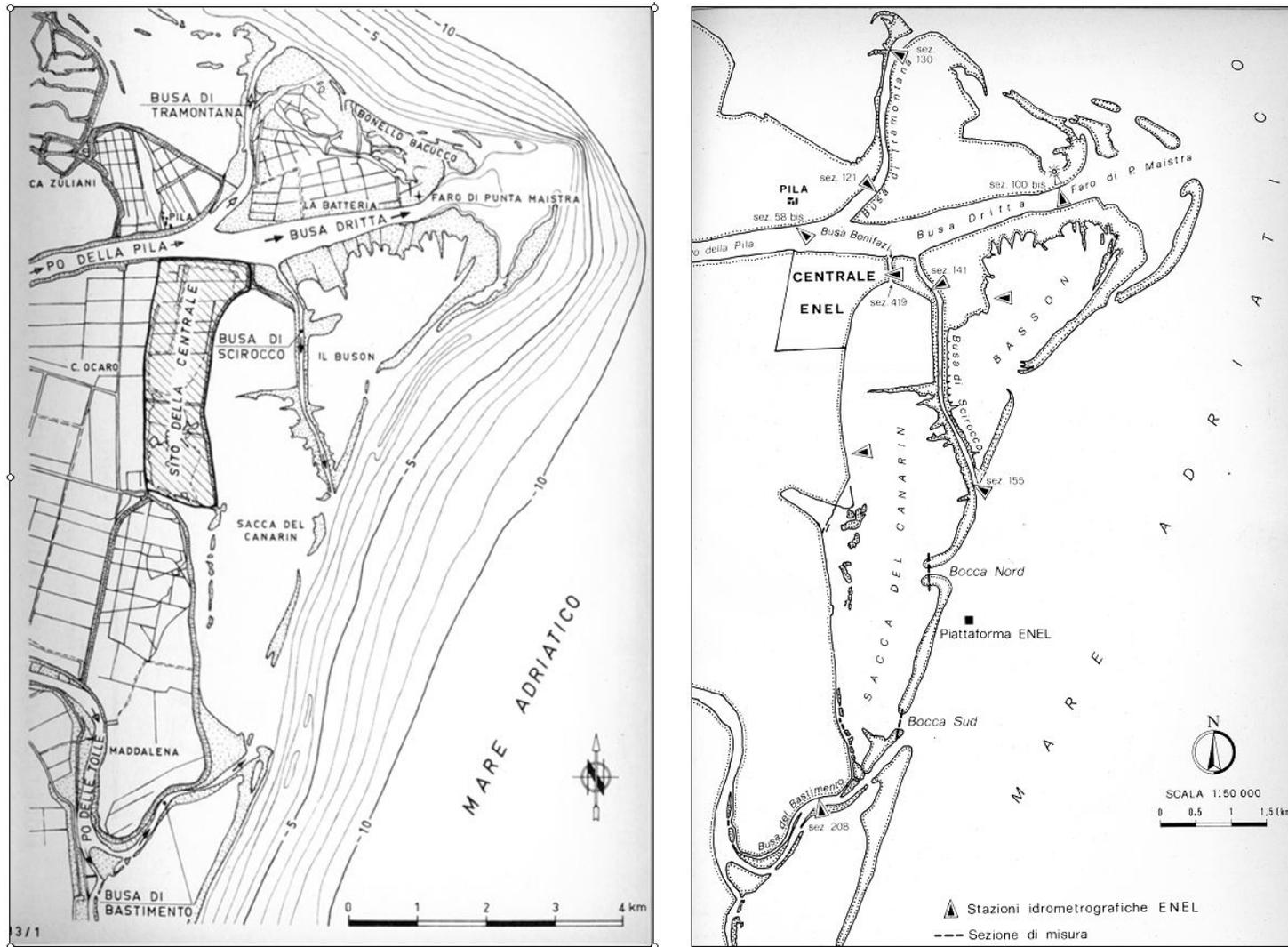


Figura 10 Morfologia del sito anteriore al 1970 (a sinistra) e tra il 1975 e il 1979 (a destra) (da Rif. 25)

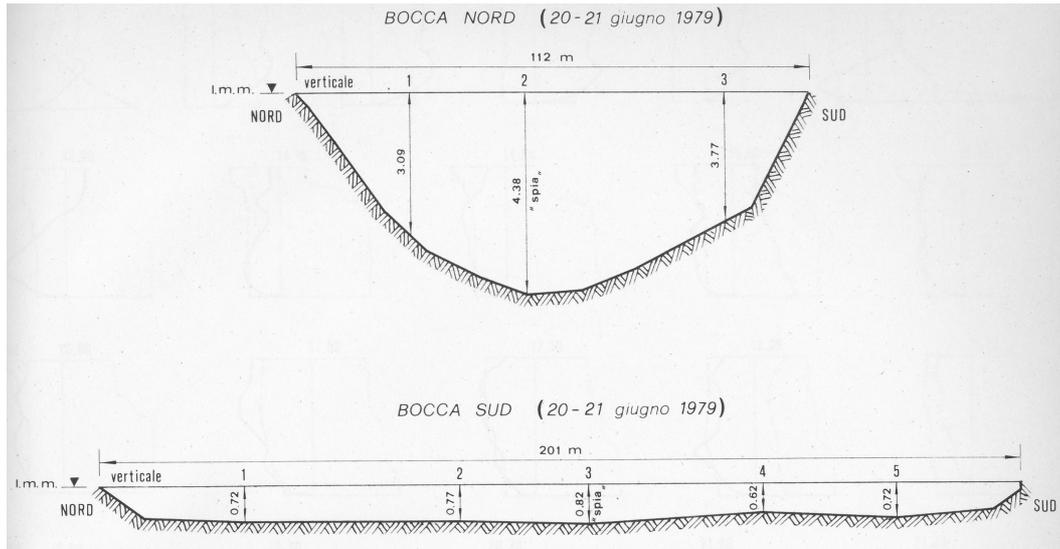


Figura 11 Sezione delle bocche Nord e Sud della Sacca del Canarin misurate da ENEL nel 1979 (da Rif. 26)



Figura 12 Morfologia del Delta e, in particolare, della Sacca del Canarin nell'anno 1991 (ortofotopiano del 25 settembre 1991)

### 3.4 Dati topografici e batimetrici

La raccolta dei dati topografici e batimetrici delle aree di interesse riveste una importanza fondamentale per la caratterizzazione tridimensionale delle stesse. In considerazione dello scopo finale dell'analisi, precedentemente illustrato, si è ritenuto necessario considerare un'estensione dell'area di studio (e, dunque, del dominio di calcolo) che includesse tutti i corpi idrici i cui apporti e le cui caratteristiche potessero in qualche modo influenzare la diffusione della perturbazione termica. L'estensione complessiva dell'area considerata è illustrata in Figura 13.

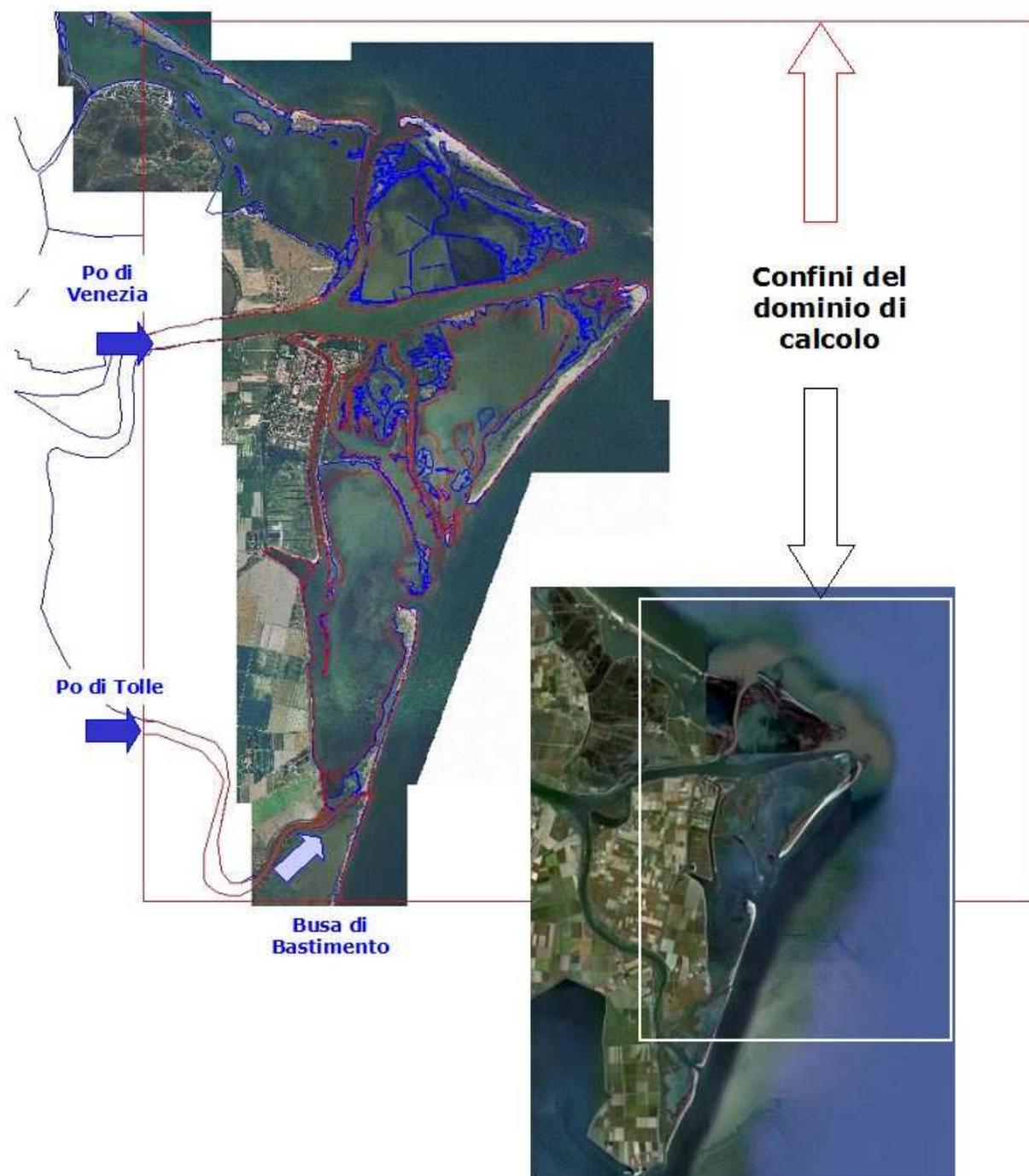


Figura 13 Delimitazione del dominio di calcolo adottato per lo studio in oggetto

La determinazione del 'dominio' inteso come caratterizzazione di terre emerse e sommerse, è inizialmente avvenuta attraverso la digitalizzazione dei profili ricavabili dalle ortofoto del volo 2006-2007 (Rif. 17). Il passo successivo per la caratterizzazione morfologica completa dei corpi idrici presenti è consistito nella definizione degli andamenti batimetrici.

Nella fattispecie le condizioni lagunari determinano una continua evoluzione dei fondali, dovuta sia agli effetti di erosione e sedimentazione provocati dalla circolazione marina, sia agli apporti solidi delle acque del Po nelle sue diverse ramificazioni. Gli andamenti batimetrici variano quindi continuamente nel corso degli anni e, talvolta, con scale temporali decisamente più limitate, come potrebbe ad esempio accadere a seguito di improvvise ed intense mareggiate capaci di produrre variazioni significative negli assetti degli scanni e degli argini che delimitano le aree lagunari; per questo si è cercato, specie nelle aree di maggiore importanza ai fini dello studio, di utilizzare dati provenienti da rilievi topo-batimetrici recenti. Fortunatamente l'area della Sacca del Canarin è stata recentemente oggetto di rilievi batimetrici specifici ad opera del Consorzio di Bonifica Delta del Po; tale circostanza conferisce un'oggettiva solidità alla base di dati e, dunque, al presente studio che, per gentile concessione, ha potuto utilizzarli.

Tenendo conto di tale aspetto, la batimetria dei diversi corpi idrici contenuti nel dominio di calcolo è stata così definita:

- **Sacca del Canarin:** sono stati utilizzati i recentissimi (marzo-aprile 2010) rilievi topografici e batimetrici eseguiti specificatamente per l'area lagunare dal Consorzio di Bonifica Delta del Po (Rif. 15, Figura 14; quote altimetriche riferite al Sistema Nazionale I.G.M.I.); alle batimetriche esistenti sono state successivamente sovrapposte quelle ricavabili dal Progetto di Vivificazione della Sacca precedentemente illustrato (Rif. 5 e Figura 3).
- **Laguna del Basson:** la laguna, che si trova a Nord della Sacca del Canarin, è stata descritta attraverso i rilievi batimetrici (aprile 2005) resi disponibili dal Consorzio di Bonifica Delta del Po (Rif. 16 e Figura 15).
- **Aree di mare aperto:** le aree di mare non lagunari, particolarmente estese come illustrato in Figura 13, sono state caratterizzate attraverso l'integrazione di rilievi batimetrici eseguiti in epoche diverse e per sottoaree, privilegiando, ove disponibili, quelli più recenti; una descrizione complessiva è inizialmente scaturita dal rilievo batimetrico eseguito dalla Regione Veneto nel giugno 2008 (Rif. 14) per l'intera fascia perimetrale in progressione dall'isobata zero (linea di terra) all'isobata dei 10 m verso il largo. Tale rilievo è stato parzialmente integrato in alcune aree attraverso rilievi più recenti o più dettagliati previa verifica di compatibilità. In particolare sono stati utilizzati i rilievi del Consorzio di Bonifica (di cui al Rif. 16 e illustrati nell'immagine di destra della Figura 15), parte dei rilievi CESI di cui al Rif. 10, Rif. 11 e Rif. 12. Quest'ultimo è servito, in particolare, alla verifica di validità delle isobate oltre i 10 m ricavate dalla cartografia nautica disponibile (Rif. 19). Anche in questo caso, per la simulazione della configurazione futura, risagomata in corrispondenza dell'esistente Bocca Nord e ridisegnata con l'apertura di una nuova bocca a Sud, si è proceduto a modificare le batimetrie in mare aperto congruentemente con quanto previsto dal progetto di vivificazione (Rif. 5 e Figura 3).
- **Canali di presa e scarico:** sono stati utilizzati i rilievi CESI di cui al Rif. 9, Rif. 10, Rif. 11 ed i dati di progetto estratti dalla documentazione fornita dagli archivi di centrale (Rif. 20, Rif. 21, Rif. 22).
- **Fiume Po e sue ramificazioni:** la caratterizzazione dei fondali degli alvei fluviali è avvenuta a partire dai rilievi CESI di cui al Rif. 9, Rif. 10, Rif. 11, Rif. 12 e Rif. 13, modificati, per la simulazione della configurazione futura, al fine di riprodurre i dragaggi previsti per il transito in Busa di Tramontana e in Po fino alla nuova darsena.

L'insieme delle informazioni batimetriche ha consentito di definire con accuratezza l'andamento dei fondali specialmente nelle aree lagunari della Sacca del Canarin attualmente interessate da una intensa attività di venericoltura.

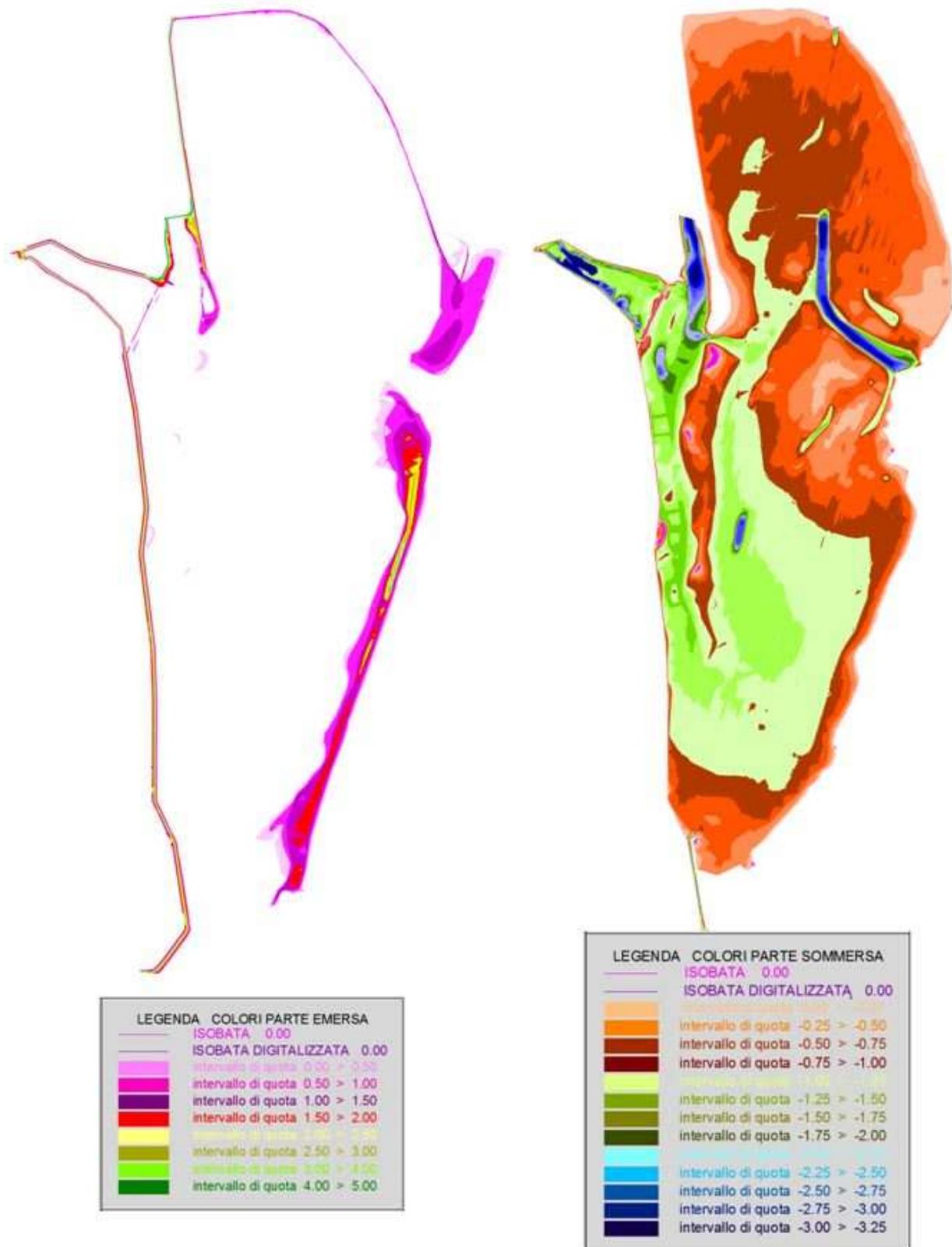


Figura 14 Rilievi topografici (a sx) e batimetrici (a dx) in Sacca del Canarin (Rif. 15)

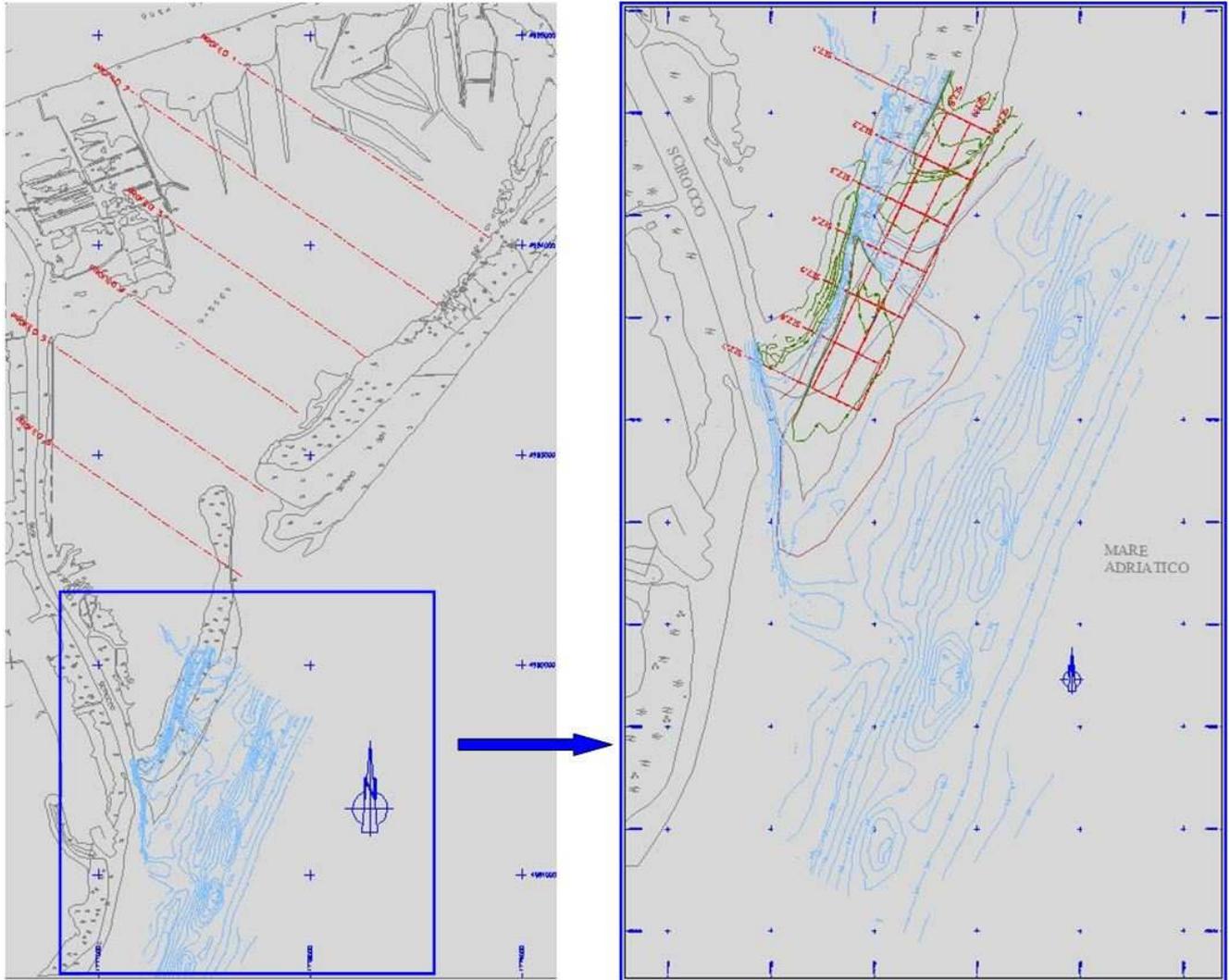


Figura 15 Rilievi topografici e batimetrici in Laguna Basson (a sinistra) e al largo della foce Busa di Scirocco (a destra) (Rif. 16)

L'insieme delle informazioni raccolte ha consentito di ricostruire con una buona approssimazione il fondale dei corpi idrici inclusi nell'intero dominio di calcolo facendo uso del modulo di pre-processamento di cui è dotato il codice utilizzato; la batimetria risultante dalla schematizzazione del codice per la futura configurazione della Sacca del Canarin (derivante dalla realizzazione del Progetto di Vivificazione) è riportata in Figura 16. Si osservi che l'area lagunare in sponda destra alla Busa di Tramontana è stata conservativamente considerata completamente emersa. L'assunzione deriva dal fatto che l'area, oltre ad essere caratterizzata da fondali limitati, è in gran parte fisicamente separata dal resto del dominio. Ciò la classifica come area di minore importanza per le fenomenologie in gioco, sia da un punto di vista dinamico che termico.

Analogamente è stata considerata come completamente emersa anche l'area in sponda sinistra alla Busa. In questo caso le profondità in gioco sono superiori, ma in considerazione dell'andamento delle correnti costiere nell'area a nord del dominio (di cui si parlerà nel seguito, ma che tendono a trascinare verso Sud Est l'eventuale perturbazione termica residua transitante alla foce della Busa di Tramontana), si è di fatto trascurata un'area non influenzata e non influenzante le fenomenologie in gioco.

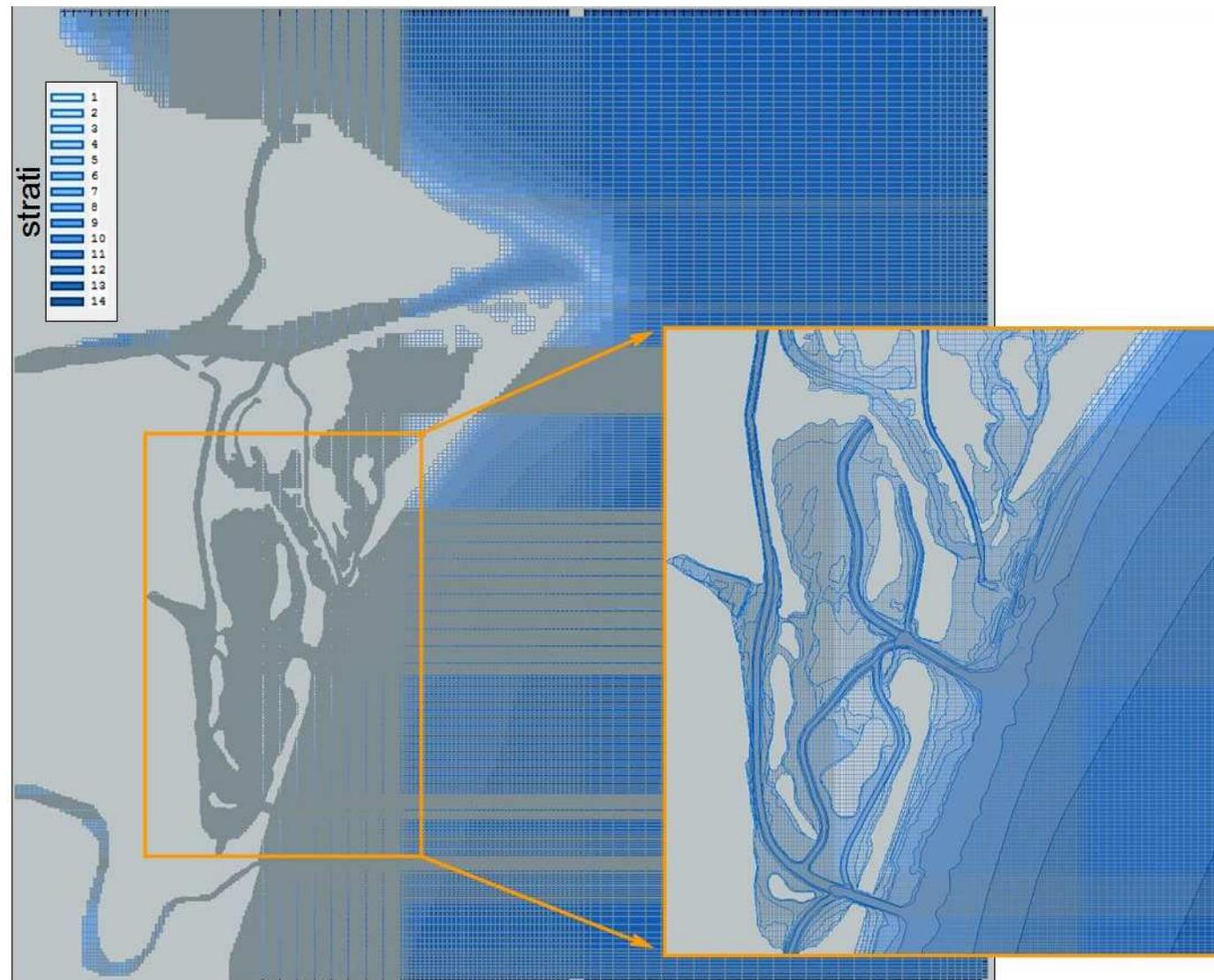


Figura 16 Batimetria generata dal pre-processore del codice di calcolo nella configurazione futura del *Progetto di Vivificazione*.

### 3.5 Dati meteo marini, idrologici e meteorologici

Dal punto di vista dell'insieme dei parametri ambientali che interessano lo studio in oggetto, unitamente alla caratterizzazione topo-batimetrica descritta al precedente capitolo sono stati presi in considerazione tutti gli aspetti in grado di influenzare la dispersione della perturbazione termica indotta dallo scarico delle acque di raffreddamento della centrale.

In particolare sono stati analizzati:

- i **dati meteo marini** necessari al modello per la definizione delle oscillazioni del livello marino nell'area, dell'intensità e direzione delle correnti, della temperatura e salinità del corpo idrico 'mare';
- i **dati idrologici e meteorologici** occorrenti al modello che fanno in particolare riferimento alle portate e, dunque, alle correnti fluviali che caratterizzano la rete idrografica, alle temperature ipotizzabili per i corpi idrici che la costituiscono, ma, anche, alle condizioni di temperatura e di vento nei bassi strati dell'atmosfera, per l'eventuale considerazione della dispersione termica in aria che si somma a quella, principale, che avviene in acqua.

I parametri ambientali di cui sopra sono stati ricavati a partire da misure di campo eseguite nel sito per diversi giorni consecutivi, ove disponibili, o, in mancanza di misure sito specifiche, a partire da misure in siti (e in periodi) compatibili con quello in esame; in alternativa si sono potuti utilizzare dati provenienti da altri studi che hanno interessato l'area in esame e dalla bibliografia disponibile in materia, previa verifica di compatibilità.

In particolare lo studio in oggetto ha visto la simulazione delle condizioni ambientali registrate nel periodo di otto giorni compreso tra le ore 13:00 del 15 luglio 2010 e le ore 12:30 del 23 luglio 2010, durante il quale il monitoraggio termico condotto nell'area (Rif. 8) ha fatto registrare le massime temperature, sia in mare sia in Po. Ciascuno dei parametri ambientali descritti nel seguito, reperiti per il periodo estivo indicato, sono stati riprodotti nel modello compatibilmente con le schematizzazioni imposte dal codice di calcolo adottato.

#### 3.5.1 Correnti marine e fluviali

Per quanto concerne gli aspetti correntometrici presenti nell'area di interesse, occorre in primo luogo considerare la circolazione generale dell'Adriatico, per la quale diversi autori (Rif. 28, Rif. 29, Rif. 30) mettono in evidenza l'esistenza di un campo di moto dominante da Nord, parallelo alla costa, e caratterizzato da velocità di corrente mediamente inferiori a 10 cm/s.

Occorre considerare che la circolazione generale rappresenta l'andamento tipico fino a qualche miglio dalla costa, mentre in prossimità del litorale si possono avere circolazioni locali opposte a quella generale; queste celle di circolazione litoranea (costiera) agiscono da cuscinetto di compensazione tra il profilo terrestre della costa e la circolazione marina generale, possono essere lunghe sino ad un centinaio di chilometri e possono girare sia in senso orario che antiorario, con possibili inversioni.

Ai fini della presente analisi, si è considerata una corrente marina diretta mediamente da nord a sud con intensità mediamente inferiore a 0.1 m/s, sovrapposta alla corrente indotta dalla marea con direzione trasversale dal largo verso costa. Di fatto, come si vedrà, poiché la marea costituisce la forzante ambientale predominante, sarà quest'ultima a prevalere.

Alle correnti marine si combinano quelle che caratterizzano la rete idrografica ricadente nell'area in studio (Figura 13) e precisamente:

- il Po di Venezia (ramo principale del Po che diviene Po di Pila in prossimità della centrale) che, in ingresso al dominio di calcolo da Ovest, si ramifica a valle del canale di scarico a fiume nella Busa di Scirocco, verso Sud Est, e nella Busa di Tramontana, che si dirama verso Nord Est

all'altezza della darsena di centrale; cambiando nuovamente il toponimo diviene Busa Dritta e prosegue in direzione Est sfociando in Adriatico;

- il Po di Tolle (ramo secondario del Po) anch'esso in ingresso all'area di studio da Ovest, segue un percorso verso Est per un breve tratto deviando poi verso Sud e nuovamente verso Nord Est con l'unica diramazione di interesse per l'area esaminata, qui simulata, vale a dire la Busa di Bastimento.

L'entità delle portate in ingresso è stata definita a partire dalla portata misurata a Pontelagoscuro<sup>3</sup> in maniera tale da riprodurre le condizioni di prelievo delle acque di raffreddamento dettate dai limiti della vigente concessione (si veda la nota 1), ripartita nei diversi rami secondo quanto adottato nel recente studio di cui al Rif. 31. Tale studio ha dato ampio spazio all'inquadramento idraulico e idrologico dei sistemi idrografici interessati dalla movimentazione dei materiali solidi necessari all'esercizio della centrale. L'area complessivamente esaminata in tal senso era, ovviamente, più estesa di quella coinvolta nella presente analisi; proprio per questo è stato possibile utilizzare alcuni dei dati in esso contenuti, derivanti da misure, bibliografie e da elaborazioni numeriche.

E' importante sottolineare che le correnti risultanti sottocosta nel segmento di litorale a Sud, indotte dalla corrente di marea, da quella ambientale, dalla portata fluente attraverso la foce della Busa Dritta e da quella della Busa di Scirocco tendono a sospingere il pennacchio caldo proveniente dal canale di scarico a mare verso l'area della Sacca del Canarin, in particolare verso la Bocca Nord.

### 3.5.2 *Temperature e salinità*

La valutazione delle condizioni di temperatura imperturbata dell'acqua dei corpi idrici coinvolti è fondamentale per consentire l'analisi della diffusione termica del pennacchio caldo proveniente dallo scarico della centrale. La temperatura dei corpi idrici ricettori, infatti, influenza il galleggiamento del pennacchio. Nella presente analisi tale parametro riveste un'importanza particolare perché viene fortemente a dipendere, oltre che dalle condizioni stagionali, anche dalla natura del bacino idrico in cui viene rilevato.

Per quanto concerne, infatti, **la temperatura del mare e delle aree lagunari** rilevata da APAT (Rif. 32) e da CESI (nei monitoraggi estivi degli anni 2008 e 2010, Rif. 32 e Rif. 8) è risultato che nella Sacca del Canarin, a causa dei bassi fondali e dello scarso ricambio d'acqua, la temperatura si mantiene mediamente superiore di circa due gradi a quella che si riscontra in mare aperto, fondamentalmente per effetto dell'irraggiamento; nel periodo estivo tale fenomeno è particolarmente evidente.

Si è inoltre osservato che la temperatura, sia internamente sia esternamente alla Sacca, oscilla tra un minimo ad un massimo giornalieri che si collocano rispettivamente in mattinata e nel tardo pomeriggio, risentendo probabilmente dell'azione di riscaldamento operata dall'irraggiamento solare in combinazione con i diversi battenti presenti in funzione dell'andamento della marea. In particolare, si è osservato che il minimo di temperatura dell'acqua si presenta in corrispondenza della fase di marea crescente (dal primo minimo giornaliero), mentre il massimo si verifica in prossimità del secondo minimo di marea (il minore, in valore assoluto, dei due minimi giornalieri) o poco prima in fase di marea decrescente.

L'analisi degli inviluppi delle massime temperature osservate in superficie ed al fondo in Sacca ha evidenziato che le prime sono maggiori delle seconde in serata (in corrispondenza del massimo giornaliero), mentre in mattinata (al minimo giornaliero) sono le temperature di fondo ad essere maggiori di quelle superficiali. Ciò appare ragionevole in considerazione della maggiore inerzia agli effetti dell'irraggiamento (e, dunque, al riscaldamento superficiale) e a quelli delle brezze notturne

---

<sup>3</sup> La sezione di Pontelagoscuro (FE) è la sezione di chiusura del bacino idrografico del Po, che si estende a monte per oltre 70000 km<sup>2</sup>. Tale sezione, che dista dallo sbocco del fiume in mare poco meno di 100 km, è ritenuta anche il punto oltre il quale, in condizioni di magra, non si risente degli effetti della marea. Proprio per questo motivo, la sezione di Pontelagoscuro è stata utilizzata fin dagli inizi del 1800 come sezione di misura dei livelli idrometrici del fiume. Attualmente a Pontelagoscuro sono registrati in continuo i livelli idrometrici del Po e si valutano le portate fluenti, utilizzando una scala delle portate periodicamente aggiornata (Rif. 31).

(responsabili del raffreddamento superficiale), offerta dalla massa d'acqua posta al fondo rispetto a quella in superficie.

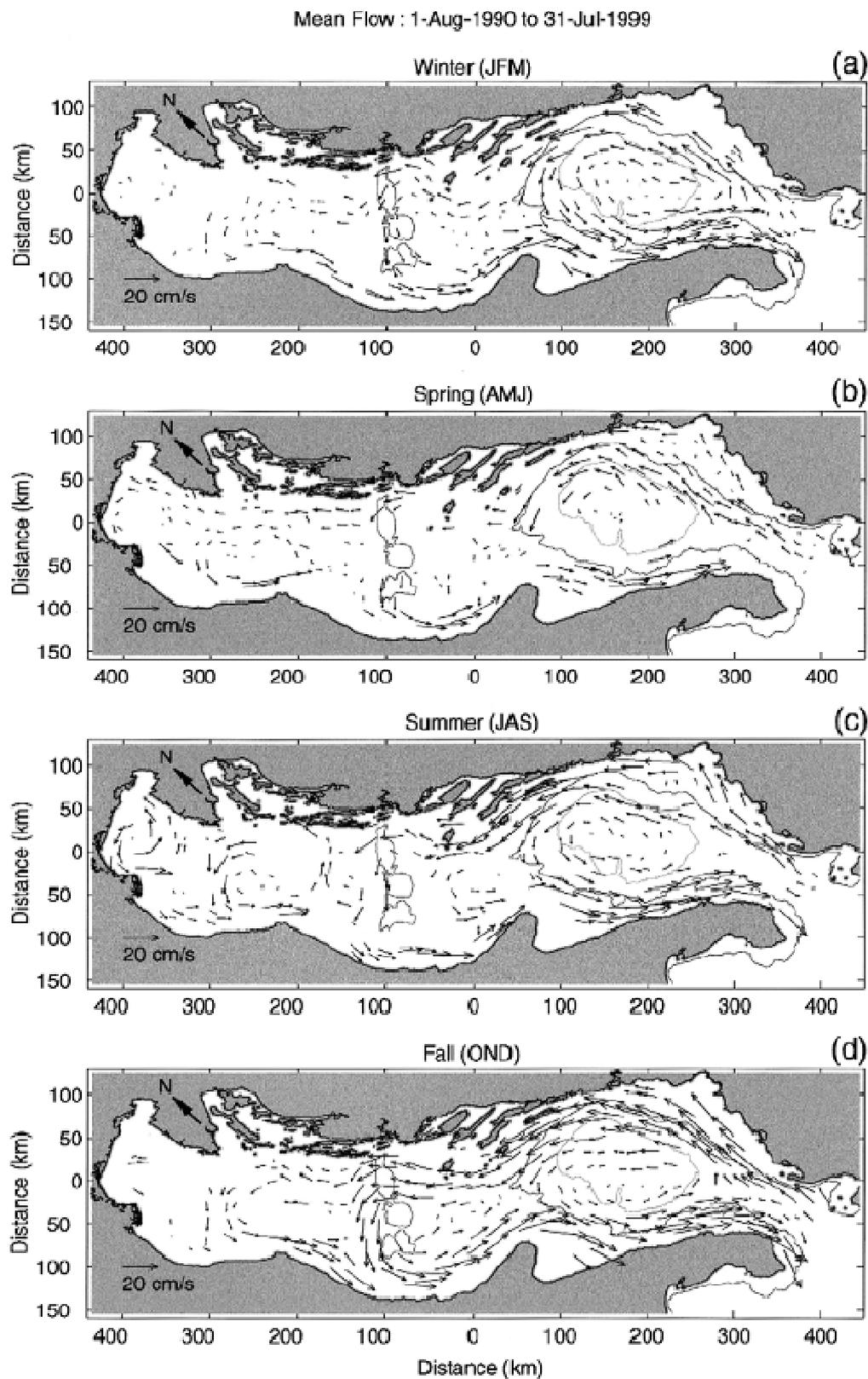


Figura 17 Circolazione media stagionale dell'Adriatico secondo Poulain (Rif. 30)

Il quadro termico ora descritto esistente nelle aree di mare aperto e lagunari in condizioni cosiddette 'indisturbate', vale a dire in assenza del riscaldamento prodotto localmente dal funzionamento della centrale, è stato riprodotto nelle simulazioni dinamiche compatibilmente con le schematizzazioni consentite dal codice utilizzato.

In particolare dal lato Nord del dominio illustrato in Figura 13 e in Figura 16 è stata simulata una corrente entrante caratterizzata da una temperatura variabile assunta pari alla media delle misure rese disponibili dai tre sensori (in superficie, intermedia e al fondo) collocati durante il monitoraggio termico alla stazione 'mare' di Figura 18, esterna alla sacca, eseguito nell'estate 2010. La direzione e l'intensità della corrente entrante sono state imposte in maniera tale che si venissero a creare le correnti litoranee prossime a quelle riscontrabili nel sito secondo quanto descritto al precedente paragrafo, vale a dire da NO verso SE nel tratto a Nord e da NE verso SO in quello a Sud con intensità comprese tra 5 e 10 cm/s.

Per quanto concerne invece la riproduzione delle **temperature in Po** per il medesimo periodo estivo si è fatto riferimento a quanto misurato dalla stazione 'fiume' collocata in Po nella posizione indicata in Figura 18. Anche in questo caso le temperature registrate con cadenza semioraria in superficie e al fondo della stazione di misura sono state mediate e attribuite alle portate in ingresso attraverso il ramo principale del Po di Venezia e quello secondario di Tolle.

Le oscillazioni termiche registrate in mare e in Po nel periodo di otto giorni simulato e fornite in input al modello sono illustrate in Figura 20. Si osservi come per la quasi totalità del periodo monitorato la temperatura media in fiume è risultata superiore a quella misurata in mare. Accanto all'andamento semiorario delle temperature è riportata, per ciascuna stazione, la retta rappresentativa della media del periodo risultata pari a 26.7 °C e a 28.9 °C per la stazione a mare e quella a fiume rispettivamente. La temperatura media a mare è stata fornita come temperatura iniziale a tutto il volume di acqua contenuto nel dominio di calcolo.

Per quanto riguarda, invece, le condizioni invernali si è fatto riferimento alle misure di temperatura eseguite in Po (Rif. 37) alla stazione di Sermide (MN), a monte di Pontelagoscuro, e a quelle eseguite in mare nella stazione ISMAR-CNR in Alto Adriatico (Rif. 38 e Figura 19). In entrambi i casi si è fatto riferimento al periodo compreso tra il 27 gennaio e il 3 febbraio, della durata di 8 giorni come per gli scenari estivi, considerando le temperature medie orarie per tutti gli anni di dati disponibili per quel periodo. Gli anni di monitoraggio disponibili per la stazione di Sermide vanno dal 1992 al 2000, mentre per la stazione in Alto Adriatico si sono considerati i valori medi relativi agli anni 2009 e 2010. La Figura 21 illustra gli andamenti delle temperature invernali medie orarie calcolate alle due stazioni per il suddetto periodo; è inoltre indicata la temperatura media a mare dell'intero periodo (9.72 °C) fornita a tutto il volume di acqua contenuto nel dominio di calcolo come valore iniziale dello scenario invernale.

Per quanto concerne la salinità associata alla corrente marina, entrante da Nord è stato assunto il valore di 38 g/l tipico di una situazione imperturbata, vale a dire non (ancora) influenzata dalla eventuale interferenza con le portate fluviali. Per queste ultime la salinità è stata assunta pari a zero trattandosi di acque dolci.



Figura 18 Posizione delle stazioni di misura durante il monitoraggio termico estivo dell'anno 2010 (Rif. 8)



Figura 19 Posizione della stazione di misura ISMAR-CNR in Alto Adriatico (Rif. 38)

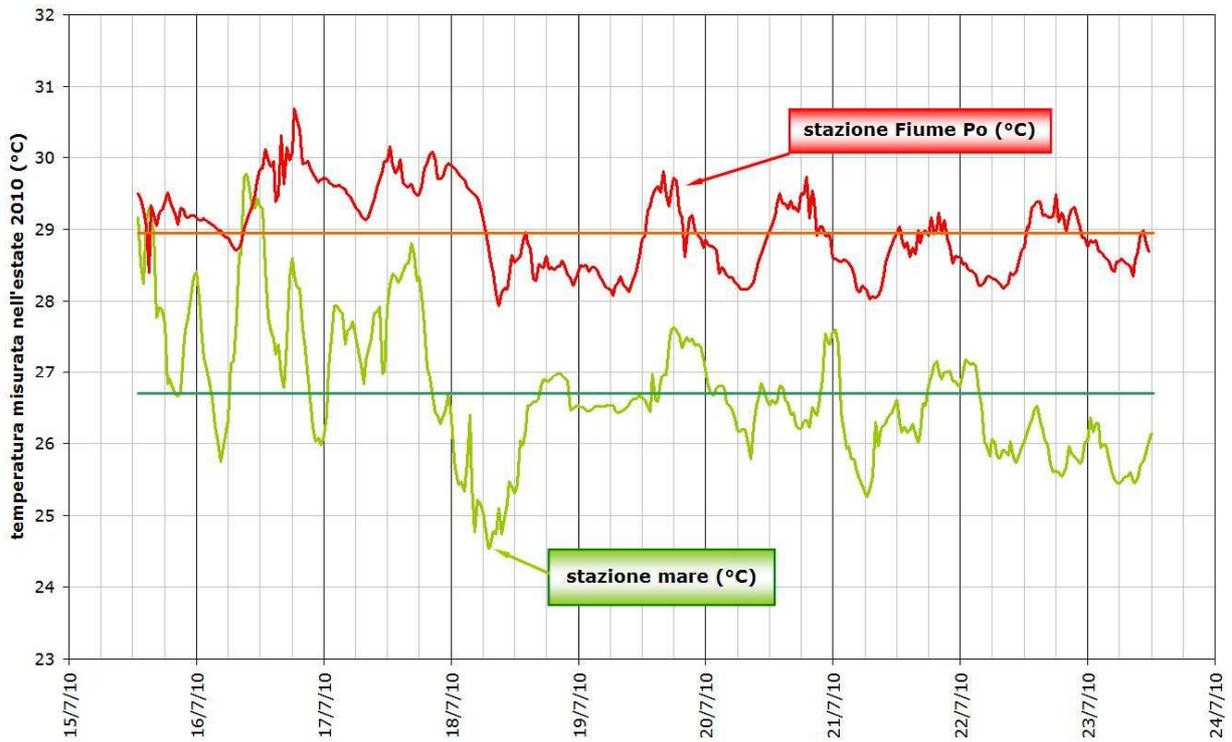


Figura 20 Temperature registrate nell'estate 2010 alla stazione 'mare' e 'fiume' (vedi Figura 18) fornite in input al modello numerico per gli scenari **estivi**

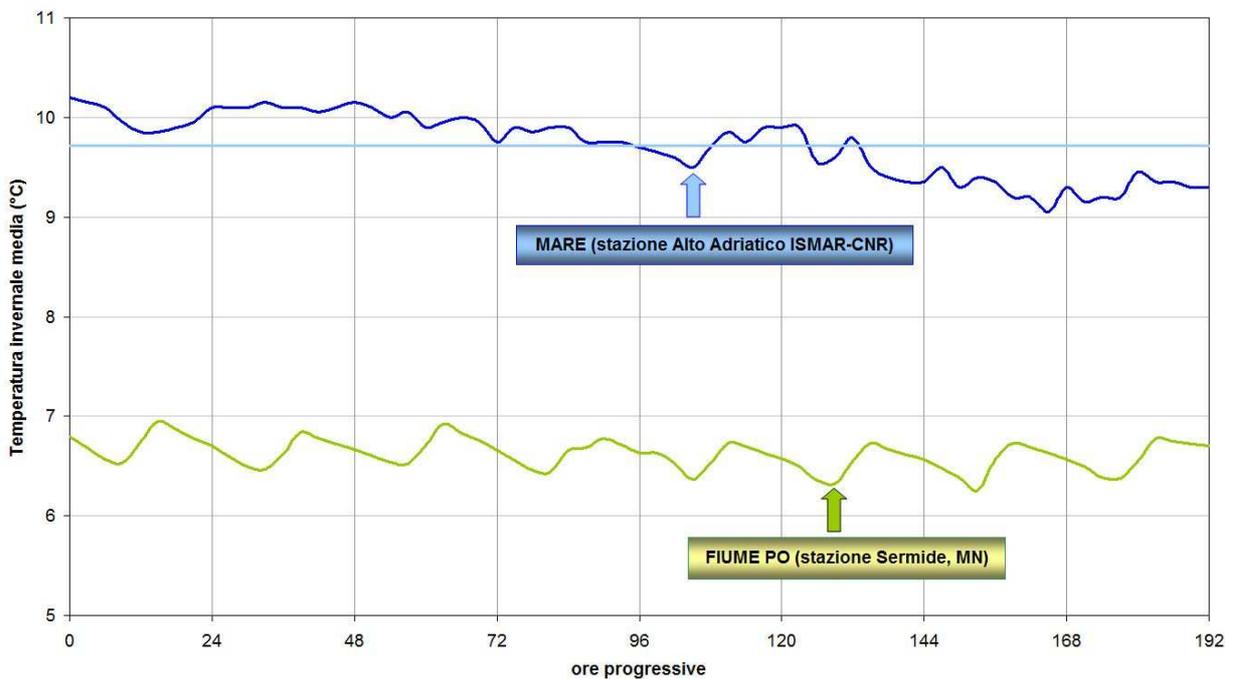


Figura 21 Temperature medie registrate in mare (da medie orarie periodo 27/01 – 03/02 anni 2009-2010) alla stazione ISMAR-CNR in Alto Adriatico (Rif. 38) e in Po (da medie orarie periodo 27/01 – 03/02 anni 1992-2000) alla stazione Sermide (Rif. 37) fornite in input al modello numerico per gli scenari **invernali**

### 3.5.3 Oscillazioni del livello marino

Il livello del mare è essenzialmente condizionato dall'andamento della marea astronomica generata dall'attrazione gravitazionale del sole e soprattutto della luna. Nel Mar Mediterraneo la marea è quasi ovunque di tipo semidiurno (periodicità di 12 ore e 25 minuti) con due massimi e due minimi (diversi) durante la giornata. L'ampiezza totale dell'oscillazione è normalmente compresa tra 20 e 40 cm eccetto per l'alto Adriatico dove per il concatenarsi di una serie di fenomeni può raggiungere valori decisamente più elevati.

Per lo studio in oggetto è stata predisposta la simulazione del transitorio di marea registrato, come detto precedentemente, durante gli otto giorni più caldi del periodo estivo monitorato nel 2010 (Rif. 8 e Figura 18 per la posizione del mareografo).

La simulazione di scenari stazionari (caratterizzati cioè da livelli di marea costanti rappresentativi, per esempio, della condizione di alta, media o bassa marea) non può infatti tenere conto degli effetti di "memoria" soprattutto per quanto riguarda il campo idrodinamico, per i quali la circolazione ad un dato istante risente comunque di quella degli istanti precedenti. A ciò si aggiunge la peculiarità del sito di Porto Tolle, con la Sacca del Canarin collegata al mare attraverso due bocche (con riferimento alla situazione futura del progetto di vivificazione), che modificano temporalmente il risentimento delle oscillazioni di marea all'interno della Sacca, proprio in funzione della conformazione della Sacca e delle bocche stesse.

La Figura 22 che segue contiene, in blu e in rosso nel grafico in basso, l'andamento delle oscillazioni di marea e quello della temperatura media della stazione a mare per l'intera durata del monitoraggio (circa un mese), mentre nel grafico in alto è ingrandito l'andamento della marea nei primi otto giorni del monitoraggio chiaramente risultati come i più caldi dell'intero mese.

Pur ribadendo che ogni calcolo transitorio è specifico del periodo cui si riferisce la sequenza di marea applicata, la scelta adottata nel presente studio è stata quella di riferirsi alle condizioni termicamente più critiche di un periodo, quello estivo, altrettanto critico per le tematiche in studio. A tutto ciò si è aggiunta la necessità di riferirsi a condizioni ambientali specifiche del sito (nel senso complessivo più volte richiamato) che fossero il più possibile conosciute. La disponibilità di rilievi batimetrici specifici e, soprattutto, recenti (primavera 2010) in un'area come quella lagunare e deltizia così rapidamente variabile dal punto di vista morfologico, ha reso tra l'altro inevitabile la collocazione temporale degli scenari di calcolo nell'estate del 2010.

Come accennato nella descrizione delle correnti, la marea misurata alla stazione denominata *Mareografo* in Figura 18 è stata applicata al lato Est del dominio di calcolo; in tal modo la corrente ad essa associata ha assunto una direzione dal largo verso riva e viceversa contribuendo in maniera fondamentale alla movimentazione dell'acqua attraverso le bocche della Sacca del Canarin nella sua configurazione futura.

Si fa infine presente che il transitorio di marea registrato nel sito durante la campagna estiva 2010 è stato riprodotto anche per lo scenario invernale. Si è cioè privilegiata l'utilità di un rilievo sito – specifico a discapito dell'effettiva stagionalità dello stesso, in ciò confortati, peraltro, dalla consapevolezza che i cicli delle alte e basse maree estive ed invernali presentano le medesime caratteristiche generali qui sopra descritte.

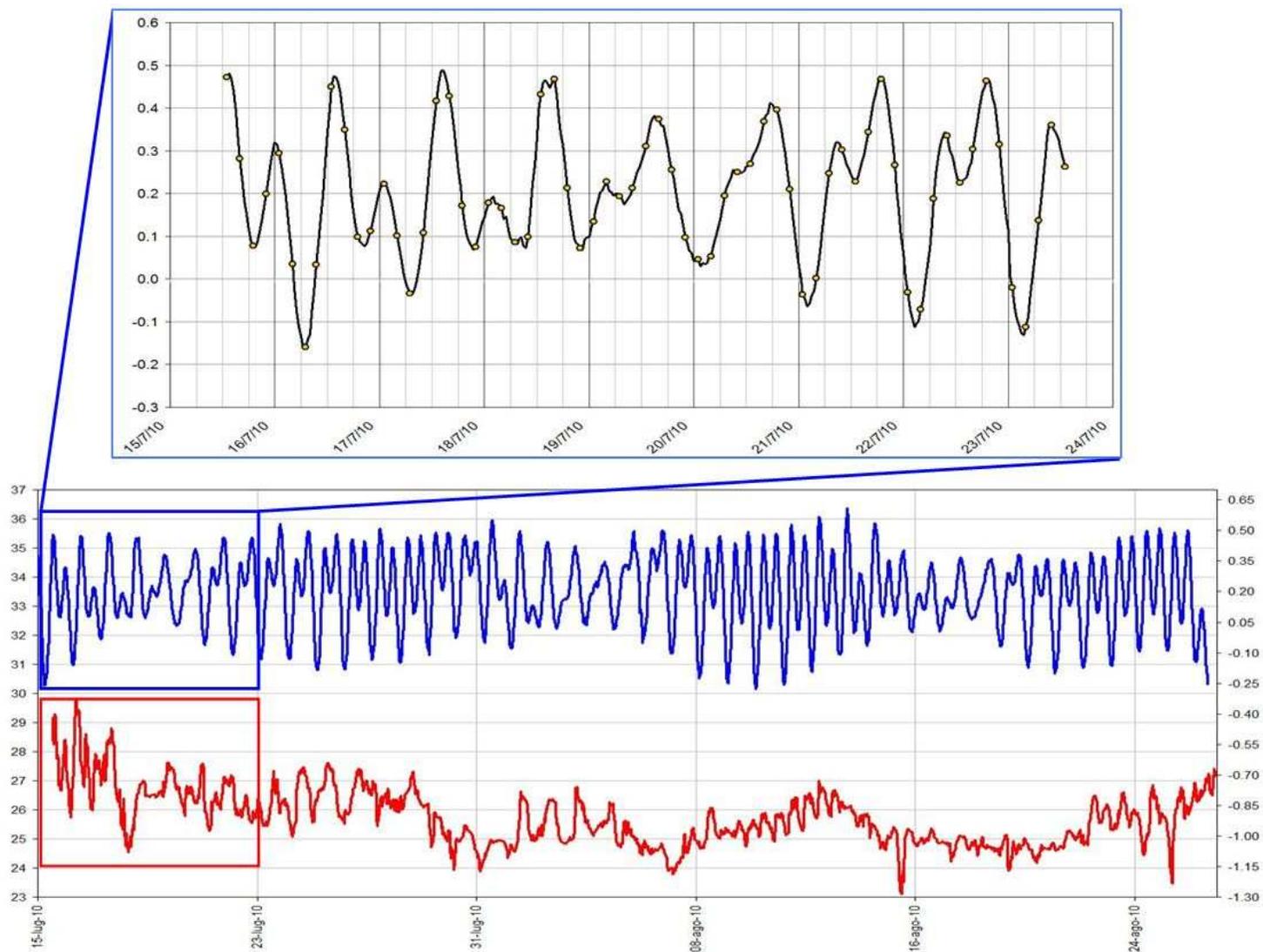


Figura 22 In basso: monitoraggio mensile della marea (in blu) e della temperatura media del mare (in rosso). In alto: marea simulata nel modello

### 3.5.4 Meteorologia

Negli studi che valutano la dispersione di scarichi in superficie viene solitamente imposta la velocità e la direzione di provenienza del vento prevalente al suolo. La meteorologia locale infatti influenza:

1. l'efficienza dello scambio termico con l'atmosfera e quindi l'entità del raffreddamento dovuto a questo effetto;
2. la presenza di uno sforzo superficiale indotto dal vento che potrebbe influire sulla dislocazione spaziale del pennacchio termico.

Il regime anemologico nell'area del Delta del Po è molto attivo e piuttosto complesso. Le rose dei venti stagionali al suolo relative al periodo compreso tra gennaio 1993 e marzo 2005, ricavate da Rif. 33 e illustrate in Figura 23 ci mostrano, in linea di massima, la predominanza in estate dei venti provenienti dai quadranti orientali (tra cui la bora e lo scirocco), compresi, in particolare, tra 90 e 135 °N.

Anche nella definizione di questo parametro ambientale, la scelta adottata nel presente studio è stata quella di riferirsi alle condizioni più critiche per le tematiche in esame. Si è dunque assunto di simulare la condizione di vento assente per tutti gli scenari di calcolo ipotizzati. Ciò significa trascurare il potenziale effetto di raffreddamento indotto dall'azione di un vento, anche se di minima intensità.

### 3.5.5 Moto ondoso

Scopo delle presenti verifiche è quello di analizzare la situazione in condizioni meteorologiche critiche per le fenomenologie in esame che si accompagnano, generalmente, a condizioni di pressione stabile.

Le condizioni più critiche dal punto di vista della dispersione, infatti, fanno riferimento a venti di intensità moderata o a situazioni di calme di vento, che corrispondono in generale ad un moto ondoso non particolarmente sviluppato.

Nel caso in cui si manifestassero localmente forti variazioni di pressione atmosferica di tipo depressionario ci si troverebbe in presenza di condizioni di burrasca (peraltro probabile anche nel periodo estivo); si verrebbero quindi a creare delle condizioni idrodinamiche estremamente turbolente negli strati superficiali del corpo idrico e, dunque, non riproducibili dai sistemi di equazioni sviluppati ed implementati in questo e in altri simili modelli di calcolo.

Tutto ciò premesso nel presente studio non viene considerata la presenza di moto ondoso, mentre gli effetti delle correnti generate dal moto ondoso in mare aperto sono inclusi nella simulazione della corrente costiera precedentemente descritta.

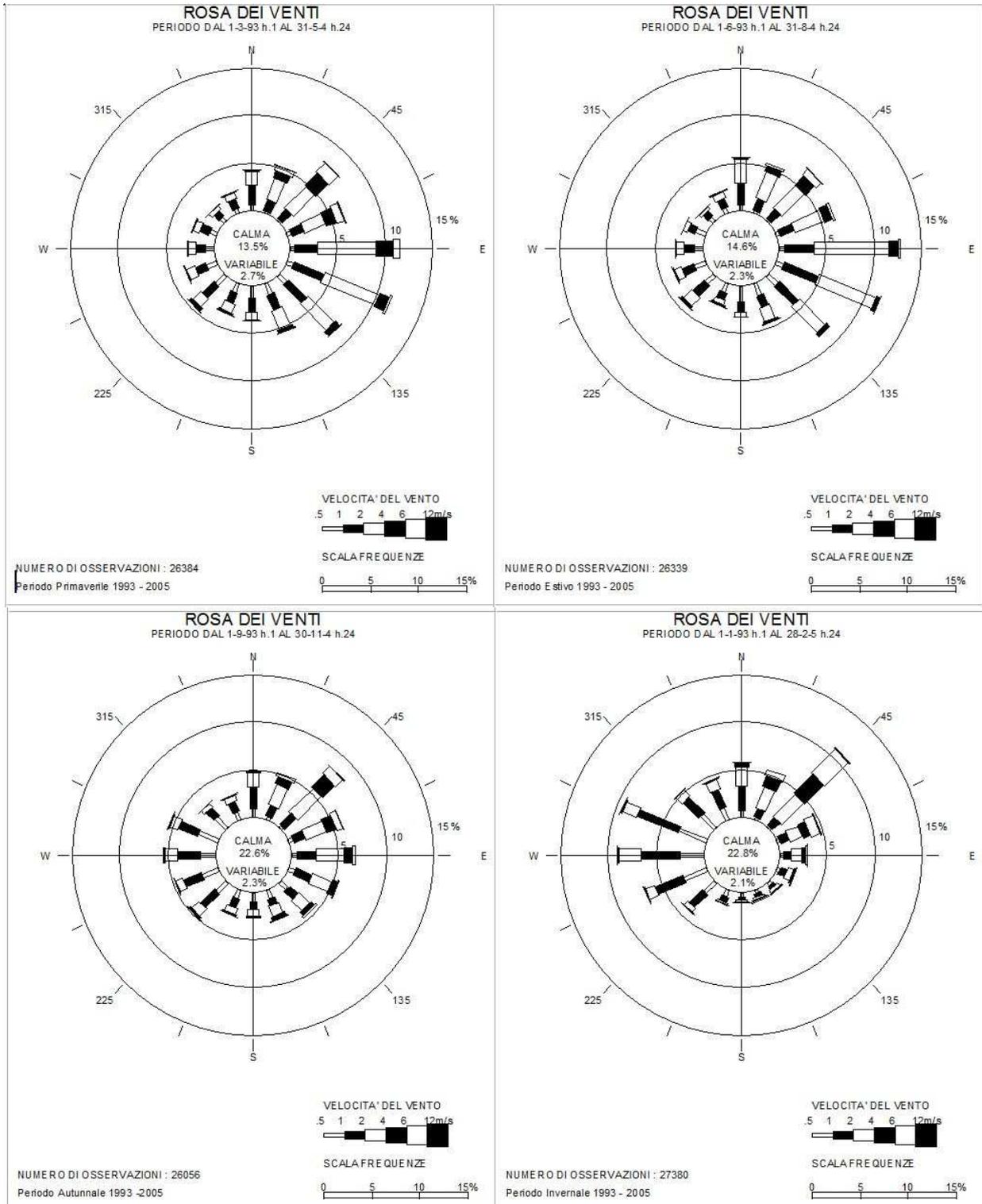


Figura 23 Rose dei venti stagionali al suolo dai rilievi alla stazione della centrale (Rif. 33)

## 4 MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE

Nei capitoli precedenti sono state raccolte e documentate tutte le informazioni utili a definire i parametri che possono influenzare la modellazione fluidodinamica e che costituiscono l'input del modello di simulazione numerica TRIMDI.

Nel presente capitolo, dopo alcuni cenni sugli algoritmi matematici utilizzati nel codice, sono descritte le caratteristiche del modello di simulazione numerica, gli scenari scelti per lo studio e le condizioni al contorno applicate.

### 4.1 Cenni sulle caratteristiche del codice TRIMDI ver. 4.0

Nel seguito si riassumono la teoria e i procedimenti numerici che sono alla base del codice di calcolo TRIMDI, nella recente versione 4.0 messa a punto proprio in occasione del presente studio, sorvolando per brevità su tutti i dettagli matematici per i quali si rimanda a Rif. 23. Il codice TRIMDI, che implementa il modello matematico tridimensionale utilizzato per la simulazione numerica, è adatto per simulare la dispersione del calore (o di inquinanti non reagenti) all'interno di corpi d'acqua a superficie libera (fiumi, laghi, mare, ..).

Le ipotesi di base del modello sono le seguenti:

- la distribuzione della pressione in direzione verticale segue la legge idrostatica;
- la densità del fluido ambiente è funzione della temperatura e della salinità. La temperatura è calcolata mediante l'equazione dell'energia interna e la salinità attraverso un'apposita equazione di trasporto. Tali variabili sono attive per il calcolo della componente verticale di velocità. Ai fini del moto nel piano orizzontale la densità è invece considerata costante (approssimazione di Boussinesq).

La componente verticale della velocità non è trascurata, sebbene sia supposta essere piccola rispetto a quelle orizzontali. Questo permette la simulazione della circolazione verticale dovuta al trascinamento orizzontale o ai gradienti di densità.

Le equazioni rappresentative del modello sono:

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

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

in cui si è indicato con  $\bar{\mathbf{u}}$  il vettore velocità;

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

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

dove  $\tau$  è il tensore degli sforzi di Reynolds,  $\rho_0$  la densità media dell'acqua (costante),  $p$  la pressione,  $\mathbf{I}$  la matrice identità e  $\bar{\mathbf{k}}$  il versore nella direzione verticale;

- per le ipotesi citate l'equazione di bilancio della quantità di moto nella direzione verticale  $z$  si riduce all'equazione dell'equilibrio idrostatico:

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

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

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

in cui si è indicata con  $\bar{\Phi}$  il vettore dei flussi turbolenti, con  $c_p$  il calore specifico a pressione costante e  $T$  è la temperatura dell'acqua.

Il tensore degli sforzi che compare nelle equazione vettoriale della quantità di moto orizzontale viene modellato con l'introduzione di termini viscosi turbolenti; in modo analogo vengono trattati i flussi di calore legati all'agitazione turbolenta che compaiono nell'equazione di bilancio termico.

$$\tau_{i,j} = \rho_0 \nu_e \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right); \quad \Phi_i = \rho_0 c_p \alpha_e \frac{\partial T}{\partial x_i}$$

dove  $\nu_e$  è la viscosità efficace (molecolare + turbolenta) e  $\alpha_e$  la diffusività efficace.

Un semplice modello di turbolenza, del quale si parlerà in seguito, lega la viscosità e la diffusività turbolente alla velocità locale. Viene inoltre introdotta l'equazione di stato del fluido che fa dipendere la densità dalla temperatura o dalla concentrazione della sostanza disciolta; questo consente di riprodurre i gradienti di densità caratteristici dei moti stratificati.

Le condizioni al contorno, tra cui quella sulla superficie libera rappresentata dalla ben nota condizione cinematica, completano la formulazione matematica. La condizione sulla superficie libera è così descritta:

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial \zeta}{\partial y}$$

in cui  $u$ ,  $v$  e  $w$  sono le tre componenti del vettore  $\bar{\mathbf{u}}$  e  $\zeta$  è l'elevazione della superficie libera.

Per la trattazione numerica delle equazioni, si suddivide la regione di interesse in strati orizzontali mediante piani paralleli al piano  $x, y$ . Tutti gli strati hanno spessore costante, indipendente da  $x, y$  e dal tempo  $t$ , con esclusione dello strato superficiale, che è delimitato superiormente dalla superficie libera. Una prima discretizzazione si ottiene integrando le equazioni di base sull'altezza dei singoli strati e sostituendo, alle variabili in esse contenute, i loro valori medi su tale altezza. Se dunque  $L$  è il numero degli strati, le incognite del sistema, funzioni di  $x, y$  e  $t$ , sono  $u_k, v_k, w_k$  (componenti della velocità),  $T_k$  (temperatura),  $p_k$  (pressione), per  $k = 1, \dots, L$  e la funzione  $\zeta(x, y, t)$  quota della superficie libera. Le variabili ausiliarie  $\rho$  (densità),  $\nu$  (viscosità turbolenta) e  $\alpha$  (diffusività turbolenta) si ottengono poi direttamente dalle variabili principali. Per la soluzione numerica delle equazioni viene adottato uno schema alle differenze finite, che utilizza un sistema di tre griglie nel piano orizzontale sfalsate tra loro (*staggered grid*).

Il metodo di integrazione temporale è del tipo Crank - Nickolson implicito. La non linearità delle equazioni di base conduce ad un sistema di equazioni algebriche non lineari, la cui soluzione rende necessario il ricorso ad un ciclo iterativo interno ad ogni passo temporale. In particolare, quello adottato nel codice TRIMDI 4.0 è una estensione del metodo SIMPLE (*Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation*).

Il modello di turbolenza si basa sul concetto di lunghezza di mescolamento che viene correlata con il passo spaziale locale del reticolo. I valori locali della viscosità e della diffusività, definiti dal modello di turbolenza, vengono poi ridotti in base al grado di stratificazione, misurato dal numero di Richardson locale, utilizzando le note relazioni semiempiriche.

Un ulteriore meccanismo riprodotto dal modello è lo scambio di calore con l'atmosfera attraverso la superficie libera dell'acqua. Questo fenomeno viene rappresentato, in forma linearizzata, per mezzo di un coefficiente di scambio il cui valore è stato oggetto di indagini sia teoriche che sperimentali.

Si precisa infine che il codice tiene conto dell'eventuale ricircolo alla presa dell'acqua di scarico: l'energia termica contenuta nell'acqua, prelevata alla sezione di presa in forma di sovrizzo termico rispetto alla

temperatura ambiente imperturbata, viene automaticamente aggiunta all'energia termica rilasciata dallo scarico associato alla presa stessa.

La procedura di simulazione numerica utilizzata nel presente studio è già stata ampiamente utilizzata allo scopo di analizzare problemi connessi a scarichi termici da impianti termoelettrici ed a problemi di idrodinamica complessa, anche in zone portuali. Tra le numerose utilizzazioni del codice si rimanda, in particolare, a quelle di cui al Rif. 34, Rif. 35 e Rif. 36 classificabili come pubblicazioni scientifiche di validazione del codice TRIMDI.

## 4.2 Schema di analisi

Per la simulazione numerica è stato utilizzato il codice di calcolo TRIMDI ver. 4.0, le cui principali caratteristiche sono state riassunte nel precedente paragrafo. I risultati ottenuti nelle diverse simulazioni numeriche eseguite sono poi stati esaminati e valutati attraverso strumenti di *post processing* allo scopo di visualizzare gli andamenti del campo termico e di quello idrodinamico.

### 4.2.1 Reticolo di calcolo

Il dominio di calcolo illustrato in Figura 24 e in Figura 25, rispettivamente per la simulazione del layout attuale e per quello futuro, ha un'estensione planimetrica di 13783 x 13677 m<sup>2</sup>, pari a 188.5 km<sup>2</sup>, per una profondità massima limitata a 15 m, in quanto la considerazione di profondità maggiori avrebbe aggravato i tempi di calcolo senza peraltro apportare alcun beneficio alla accuratezza dell'elaborazione poiché i fenomeni in gioco non intervengono a tali profondità. L'asse Y del dominio di calcolo è coincidente con il Nord; le prese e gli scarichi sono stati tutti schematizzati mediante profili paralleli all'asse Y o all'asse X.

Nella direzione verticale il dominio è stato discretizzato in 14 strati orizzontali sovrapposti le cui caratteristiche sono riportate nella Tabella 1 che illustra, per ciascuno strato, le quote e gli spessori. La tabella contrassegna anche gli strati in cui si collocano gli scarichi e le prese dell'impianto. La Figura 24 e la Figura 25 mostrano la situazione delle terre emerse nello strato superficiale. La Figura 24 evidenzia nell'area cerchiata alla foce del canale di scarico a mare, la riprofilatura ivi eseguita per la riproduzione delle condizioni batimetriche probabilmente esistenti all'epoca delle misure termiche in mare (anno 2003) qui utilizzate per la calibrazione del codice.

Tabella 1 Specifiche per i 14 strati verticali assunti nella discretizzazione del dominio di calcolo.

n. strato	spessore (m)	quote limite strato (rif. medio mare)	scarico a mare	scarico a fiume	presa a mare	presa a fiume
1	0.50	0.00 ÷ -0.50				
2	0.10	-0.50 ÷ -0.60	X	X	X	X
3	0.15	-0.60 ÷ -0.75	X	X	X	X
4	0.25	-0.75 ÷ -1.00	X	X	X	X
5	0.50	-1.00 ÷ -1.50	X	X	X	X
6	0.50	-1.50 ÷ -2.00	X	X	X	X
7	0.50	-2.00 ÷ -2.50	X	X	X	X
8	0.50	-2.50 ÷ -3.00	X	X	X	X
9	0.50	-3.00 ÷ -3.50			X	X
10	1.50	-3.50 ÷ -5.00				
11	2.00	-5.00 ÷ -7.00				
12	2.00	-7.00 ÷ -9.00				
13	3.00	-9.00 ÷ -12.00				
14	3.00	-12.00 ÷ -15.00				

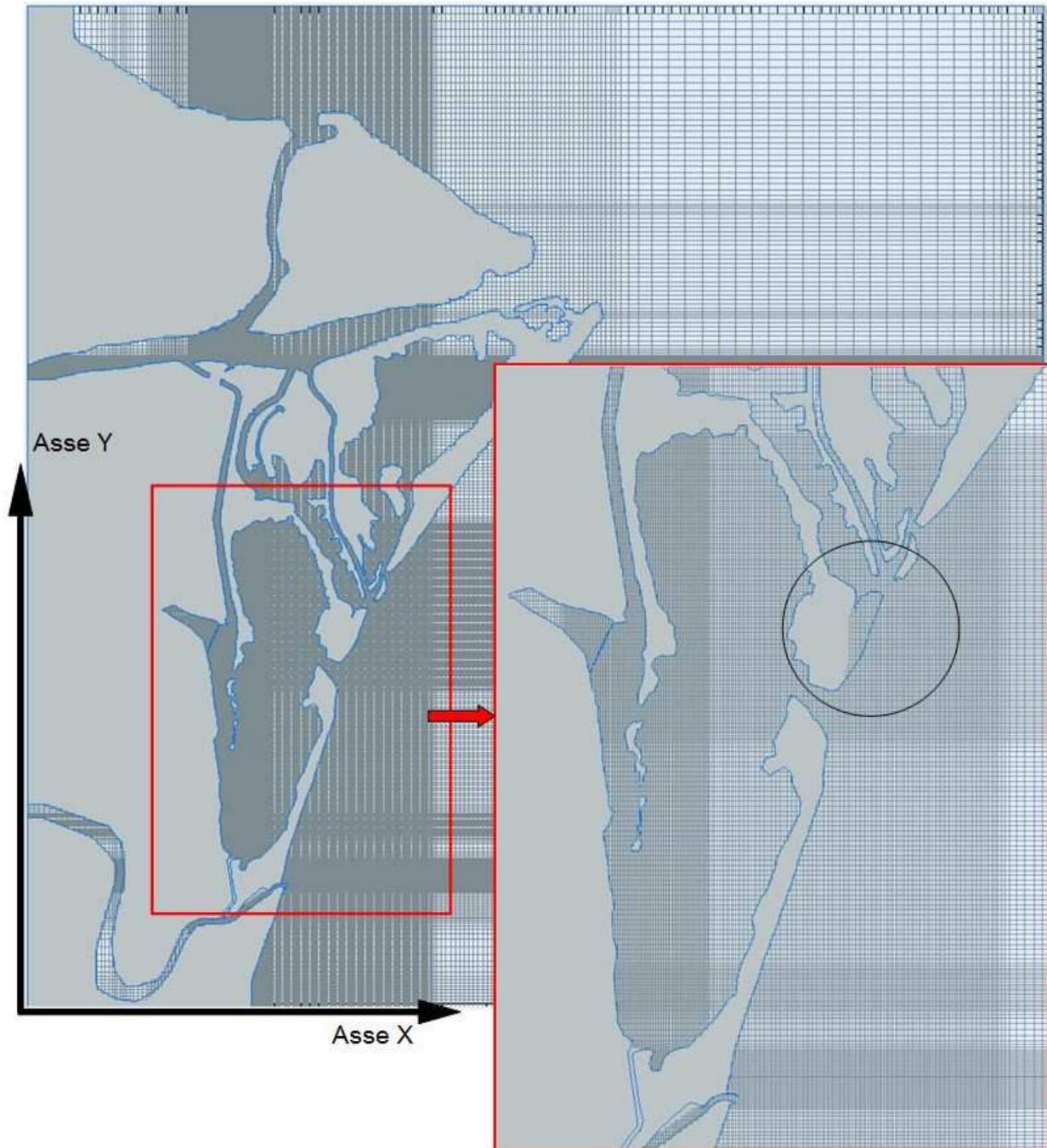


Figura 24 Visualizzazione del dominio di calcolo (generale e nel dettaglio della Sacca del Canarin) nella configurazione **attuale** nel riferimento XY adottato nelle simulazioni; nell'area cerchiata è evidenziata la riprofilatura eseguita in corrispondenza della foce del canale di scarico a mare.

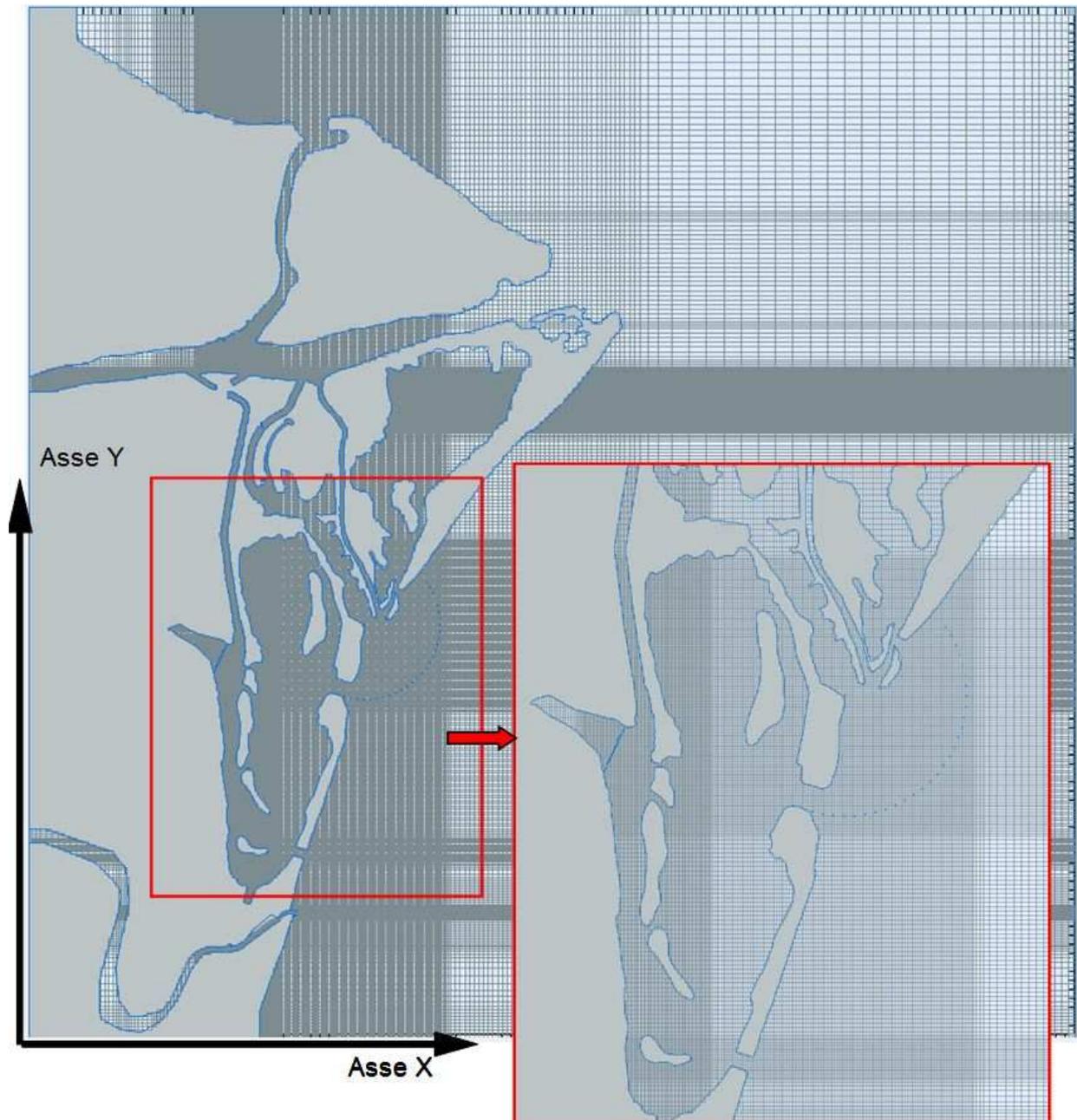


Figura 25 Visualizzazione del dominio di calcolo (generale e nel dettaglio della Sacca del Canarin) nella configurazione **futura** dell'impianto e della Sacca del Canarin nel riferimento XY adottato nelle simulazioni

La dimensione dei vari strati in cui viene suddiviso il dominio di calcolo in direzione verticale è il risultato di un compromesso che vede, da un lato, la necessità di limitarne il numero per non accrescere eccessivamente i tempi di calcolo, e, dall'altro, la necessità di ottemperare ai seguenti criteri:

- suddividere la zona superficiale in un numero di strati sufficiente a descrivere in dettaglio i maggiori gradienti termici che si verificano in prossimità degli scarichi e delle prese,
- definire ciascuno strato in modo tale da aumentare o diminuire gradualmente l'altezza degli strati adiacenti, cosicché non si presentino forti discontinuità spaziali durante l'elaborazione allo scopo di ottimizzare il calcolo delle variazioni di campo di moto.

Inoltre, nel caso specifico che vede la simulazione di condizioni cicliche di marea, è stato necessario calibrare opportunamente lo spessore dello strato superficiale, in maniera tale che non si incorresse nello svuotamento di alcuna cella superficiale del dominio, a seguito dell'azione combinata dell'aspirazione (che può produrre una depressione dello strato superficiale in prossimità delle celle di presa) e della marea (in particolar modo dei cavi di marea).

Infine, la necessità di dettagliare in maniera assai spinta gran parte del dominio allo scopo di cogliere tutti gli aspetti fenomenologici legati alla idrodinamica dell'area, con zone di stagnazione accanto a zone di elevato flusso idraulico, ha obbligato ad un numero assai elevato di elementi di calcolo. Conseguentemente l'area del dominio nella configurazione futura è stata suddivisa mediante 365 celle in direzione X e 456 celle in direzione Y. La griglia di calcolo tridimensionale messa a punto è dunque costituita complessivamente da più di due milioni di celle (2330160 celle). Il numero delle celle di calcolo del dominio tridimensionale messo a punto per la configurazione attuale è invece superiore (2391480 celle) poiché il numero delle celle in direzione Y è leggermente superiore al precedente (468 anziché 456). Nel conteggio sono incluse celle di terra e di acqua; il campo termico e di moto sono calcolati in corrispondenza delle sole celle di acqua.

Per i motivi anzidetti, le zone in prossimità degli scarichi, delle prese, dei canali naturali e artificiali di maggiore interesse, e, anche, delle bocche della Sacca del Canarin sono state discretizzate con celle di piccole dimensioni (fino ad un dettaglio, nel piano XY, pari a 10 m x 10 m).

#### 4.2.2 Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Come precedentemente osservato il dominio di calcolo è stato considerato sufficientemente esteso per consentire lo sviluppo del pennacchio nell'intorno dei punti di scarico coerentemente con le correnti ambientali naturalmente presenti. Le assunzioni al contorno del dominio sono quelle necessarie a far sì che il modello numerico riproduca al meglio le condizioni ambientali riscontrate nell'area più direttamente interessata dalla dispersione.

Nel caso specifico (Figura 26) con riferimento ai **contorni aperti perimetrali** del dominio di calcolo sono state applicate le seguenti condizioni:

- LATO NORD: dal lato Nord entra una corrente marina con velocità di 10 cm/s con direzione diversa sui segmenti di sinistra (da NO vs SE) e di destra (da NE vs SO) per ricreare, insieme alla corrente applicata al lato Sud, una corrente litoranea prossima a quella reale; la temperatura della corrente entrante oscilla nel tempo secondo quanto misurato nell'estate 2010 alla stazione 'mare' e illustrato in Figura 20; l'acqua entrante da Nord è, ovviamente, salata (salinità 38 p.p.m.).
- LATO SUD: dal segmento di sinistra del lato Sud esce una corrente marina con velocità di 10 cm/s e direzione da NE vs SO per ricreare, insieme alla corrente applicata al lato Nord, una corrente litoranea prossima a quella reale; la temperatura e la salinità della corrente uscente oscillano nel tempo secondo quanto calcolato dal modello stesso in quest'area (in considerazione del fatto che le celle del lato Sud sono tutte collocate a valle delle perturbazioni termiche indotte sia dagli scarichi della centrale sia dalle correnti ambientali). L'introduzione della corrente uscente dal lato Sud si è resa necessaria per la riproduzione di una corrente litoranea discendente e parallela a riva anche nel segmento inferiore di costa, altrimenti idrodinamicamente separato da

quello superiore per effetto della portata del Po transitante attraverso la foce della Busa Dritta capace di produrre, anche in condizioni estive, una corrente prevalente rispetto a quella marina residua proveniente da Nord.

- LATO OVEST: le celle di contorno aperto sul lato Ovest sono quelle necessarie a consentire l'ingresso delle correnti (portate) associate al Po di Venezia e al Po di Tolle, di cui è stata in realtà simulato il solo contributo del ramo di Bastimento (l'unico di possibile interesse per le fenomenologie in esame); le portate simulate sono state ricavate a partire da quella di riferimento di Pontelagoscuro (si veda quanto detto al riguardo al capitolo 3.5.1), mentre le velocità in ingresso sono state calcolate in base alle suddette portate ed alle sezioni dei rispettivi alvei fluviali. La temperatura della corrente entrante oscilla nel tempo secondo quanto misurato nell'estate 2010 alla stazione 'fiume' e illustrato in Figura 20; l'acqua entrante da Ovest è, ovviamente, dolce (salinità nulla).
- LATO EST: al lato Est del dominio è stata applicata l'oscillazione di marea illustrata in Figura 22 registrata nell'estate 2010; anche in questo caso la temperatura della corrente entrante oscilla nel tempo secondo quanto misurato nell'estate 2010 alla stazione 'mare' e illustrato in Figura 20; l'acqua entrante da Est è, ovviamente, salata (salinità 38 p.p.m.).

Sempre con riferimento alle condizioni di temperatura applicate ai contorni aperti del dominio di calcolo, la Figura 27 mostra la schematizzazione degli **scarichi e delle prese a fiume e a mare** operata nel modello di simulazione; le coppie di presa/scarico sono singolarmente o contemporaneamente operative a seconda dell'assetto di funzionamento della centrale; agli scarichi è stata imposta la temperatura dettata dalla condizione di esercizio simulata per l'impianto, vale a dire la temperatura calcolata alla presa incrementata del Delta termico di 7 °C o di 8 °C a seconda che ci si trovi nell'assetto a carbone (futuro) o in quello ad olio combustibile (attuale). Alle prese la temperatura è determinata dal bilancio termico dell'acqua aspirata. Il codice, infatti, tiene conto dell'eventuale ricircolo alla presa dell'acqua di scarico: l'energia termica contenuta nell'acqua, prelevata alla sezione di presa in forma di sovrizzo termico rispetto alla temperatura ambiente imperturbata, viene automaticamente aggiunta all'energia termica rilasciata dallo scarico associato alla presa stessa.

In particolare ciascuno scenario estivo simulato nello studio in oggetto ha visto la riproduzione delle condizioni termiche registrate nel periodo di otto giorni compreso tra le ore 13:00 del 15 luglio 2010 e le ore 12:30 del 23 luglio 2010, durante il quale il monitoraggio termico condotto nell'area ha fatto registrare le massime temperature, sia in mare sia in Po. Per quanto concerne invece lo scenario invernale si è fatto riferimento alle temperature medie orarie dei corpi idrici ricettori registrate nel periodo 27/01 – 03/02.

Ogni simulazione numerica dello studio è stata effettuata partendo da una **condizione iniziale di quiete** in tutte le celle del reticolo che, all'istante iniziale, sono dunque caratterizzate da velocità nulla; la **temperatura iniziale** per tutte le celle liquide del dominio è stata assunta pari alla media della temperatura a mare registrata nel periodo simulato. Tutte le celle liquide del dominio di calcolo sono state caratterizzate da una **salinità iniziale** pari a 38 p.p.m.. Per quanto concerne infine lo **stato iniziale della marea** si è assunta la condizione di marea nulla (condizione di medio mare) all'istante zero di ciascuno scenario.

Le suddette condizioni iniziali si sono ovviamente modificate nel corso della simulazione col progredire delle perturbazioni termiche e dinamiche applicate ai contorni aperti come descritto.

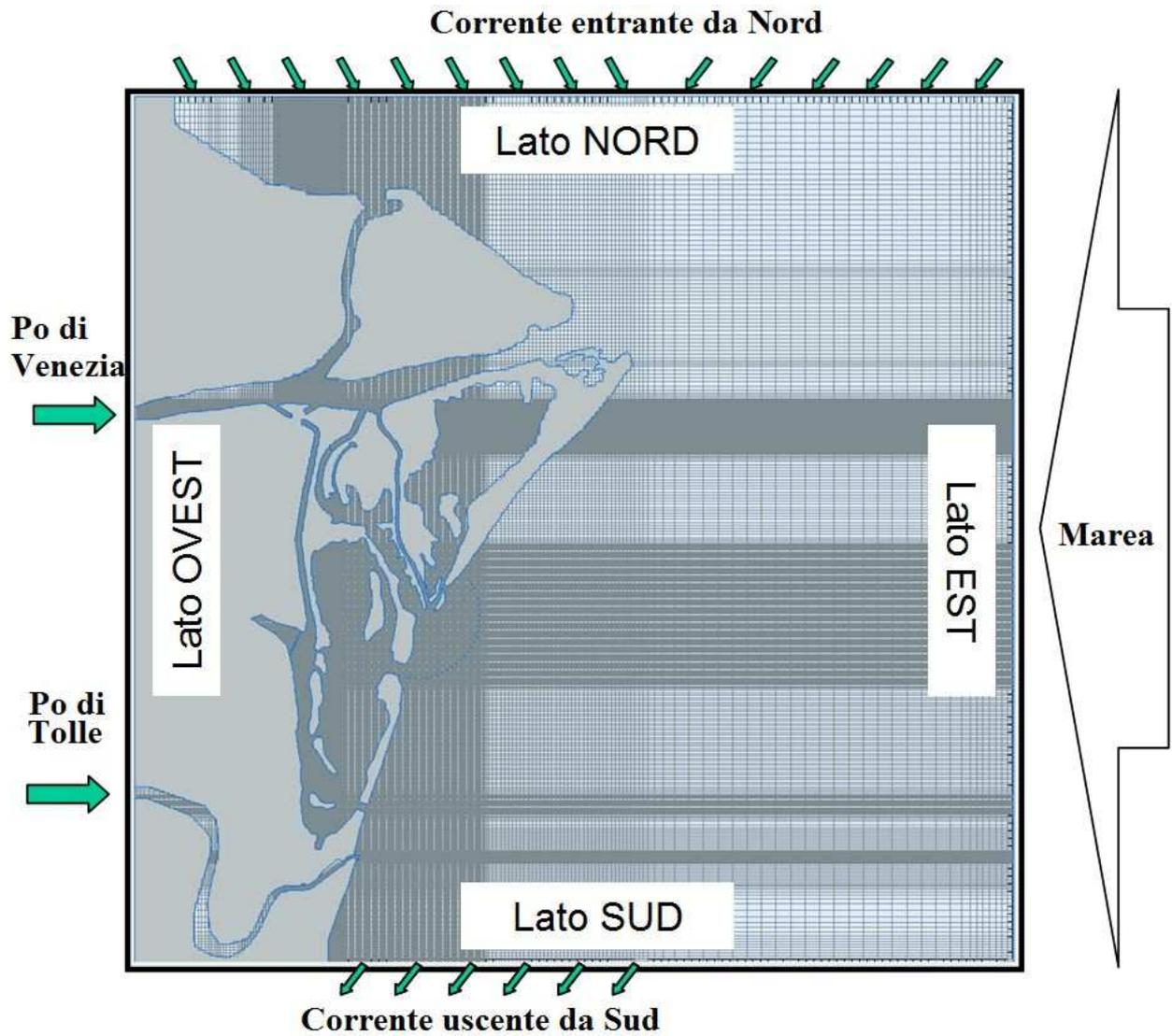


Figura 26 Schematizzazione delle principali condizioni applicate ai contorni aperti perimetrali del dominio di calcolo

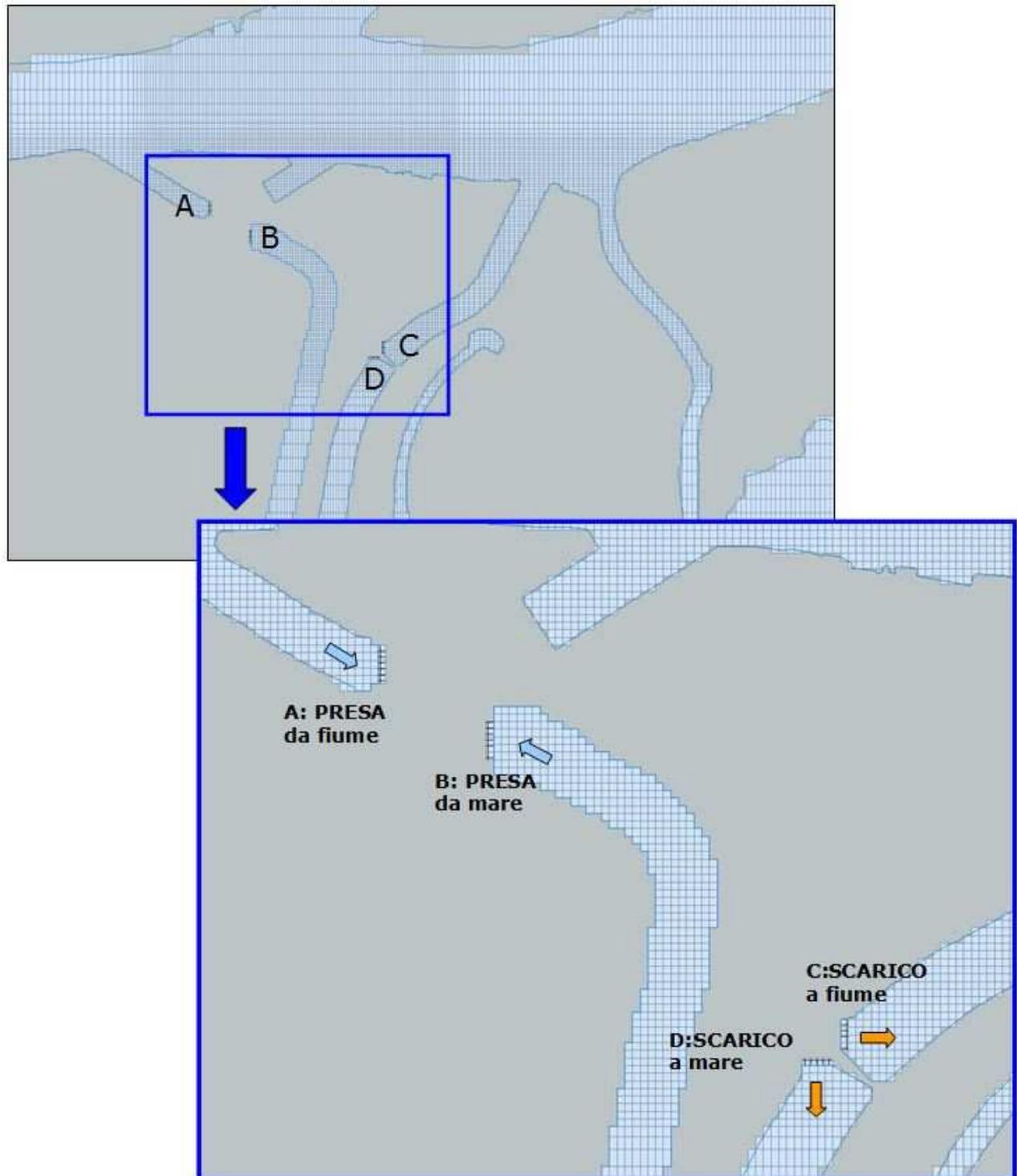


Figura 27 Schematizzazione delle prese e degli scarichi a mare e a fiume operata nel modello

## 4.3 Scenari di calcolo

### 4.3.1 Premessa

Come precedentemente osservato, per lo studio in oggetto è stata predisposta la simulazione del transitorio di marea registrato durante gli otto giorni più caldi del periodo estivo monitorato nel 2010.

La simulazione di scenari stazionari (caratterizzati cioè da livelli di marea costanti rappresentativi, per esempio, della sola condizione di alta, media o bassa marea) non può infatti tenere conto degli effetti di “memoria” per quanto riguarda il campo idrodinamico e termico, per i quali la situazione riscontrata ad un dato istante risente comunque di quella degli istanti precedenti, specie nelle aree lagunari che caratterizzano il Delta del Po. A ciò si aggiunge la peculiarità del sito di Porto Tolle, con la Sacca del Canarin collegata al mare attraverso due bocche (con riferimento alla situazione futura del progetto di vivificazione), che modificano temporalmente il risentimento delle oscillazioni di marea all'interno della Sacca, proprio in funzione della conformazione della Sacca e delle bocche stesse.

L'analisi condotta in presenza del transitorio dinamico di marea è stata ripetuta per tutti gli scenari simulati, a partire dalle **condizioni iniziali** di marea nulla, temperatura e salinità costanti secondo quanto illustrato al precedente paragrafo. Per quanto riguarda le **condizioni di esercizio**, ciascuna simulazione in configurazione futura fa riferimento alla centrale in assetto con tre gruppi a carbone avviata all'istante iniziale e che raggiunge il pieno carico, in termini di portata a presa e scarico e di soprizzo termico allo scarico, in due ore. Lo scenario di validazione fa invece riferimento alla situazione a pieno carico raggiunta, sempre dopo due ore, in assetto attuale con quattro gruppi funzionanti ad olio combustibile.

Le condizioni di analisi sopra ipotizzate consentono innanzitutto di verificare la fase di estensione e diffusione del pennacchio in mare e nella Sacca del Canarin in presenza del moto di flusso e riflusso di marea anziché in condizioni di diffusione stazionaria. Il transitorio dinamico simulato si può dividere in due distinte fasi:

1. transitorio di inizializzazione
2. transitorio ciclico a regime

Terminata la fase iniziale (transitorio di inizializzazione) in cui le perturbazioni dinamiche e termiche ‘ambientali’ applicate ai contorni aperti arrivano ad interessare tutte le celle liquide del dominio, il pennacchio si presenta dinamicamente stabile, ossia tende a riprodursi con estensione e forma mediamente invariate o comunque simili a parità di condizioni di marea durante diversi cicli successivi (transitorio ciclico a regime).

Il transitorio di inizializzazione dipende dalle dimensioni del dominio e dalle condizioni applicate ai contorni aperti; per gli scenari complessivamente simulati nel presente studio la durata media del transitorio di inizializzazione è risultata variabile tra 1 e 2 giorni.

Si sottolinea, infine, che la particolare complessità ed estensione del dominio di calcolo tridimensionale, e delle condizioni dinamiche e termiche di volta in volta riprodotte, hanno reso la simulazione di ciascuno scenario estremamente onerosa dal punto di vista dei tempi di calcolo. Per la simulazione di ciascuno degli otto giorni del periodo estivo prescelto sono stati mediamente necessari cinque giorni di tempo di calcolo, con un tempo complessivo medio superiore ad un mese di calcolo per la conclusione del singolo scenario. Conseguentemente anche la fase di *post – processing* è risultata particolarmente laboriosa ed onerosa in termini di tempi di calcolo.

Ai tempi di calcolo indispensabili per l'esecuzione del singolo scenario e per l'elaborazione dei risultati è inoltre necessario aggiungere la complessa fase di messa a punto iniziale del reticolo di calcolo che è stato ottimizzato per superare le instabilità numeriche (legate per esempio a punti singolari per topografia e/o batimetria) manifestatesi durante l'evolversi delle perturbazioni termiche e dinamiche indotte dall'applicazione delle condizioni al contorno. Particolarmente difficoltosa è stata la fase di messa a punto delle condizioni ai contorni Nord e Sud del dominio per la riproduzione della corrente marina ambientale.

#### 4.3.2 *Scenari di calcolo*

Gli scenari di calcolo adottati per il presente studio sono derivati dalla combinazione delle condizioni di esercizio e delle condizioni ambientali più critiche per le problematiche in oggetto, scelte tra quelle tipiche del sito come descritto ai capitoli precedenti.

In particolare sono state analizzate in dettaglio per la configurazione futura (assetto a carbone e Sacca del Canarin vivificata) tre possibili condizioni **estive** caratterizzate da funzionamenti mare – mare (*scenario 1*), misto (*scenario 2*) e fiume – fiume (*scenario 3*). Una verifica è stata condotta anche in condizioni **invernali** (*scenario 4*), quando la portata in Po alla stazione di riferimento di Pontelagoscuro è sufficiente a consentire il funzionamento della centrale in assetto fiume – fiume, come tipicamente si verifica in questo periodo dell'anno.

Si è inoltre proceduto all'esecuzione dello *scenario 0* (zero) di validazione i cui risultati sono stati posti a confronto con la campagna estiva condotta da CESI nell'anno 2003 (Rif. 39) secondo le modalità illustrate nel capitolo specifico.

La Tabella 2 che segue riassume gli scenari di calcolo complessivamente simulati per il presente studio riportando per ciascuno di essi i valori dei principali parametri ambientali, per i quali si rimanda comunque a quanto specificatamente descritto ai precedenti capitoli.

Tabella 2 Scenari di calcolo simulati e valori assegnati ai principali parametri ambientali

Configurazione attuale									Scenario di validazione in configurazione attuale							
potenza efficiente lorda complessiva (4 sezioni 660 MW olio combustibile) = 2640 MW ___ DT = 8°C									Dati ambientali							
Dati idrologici		Assetto centrale			Q fiume Po				scenario	stagione	Vento (m/s)	Corrente costiera nel segmento inferiore del dominio (cm/s)	Marea (m Imm)	Temperatura (°C)		
Q Po a Pontelagoscuro (mc/s)	Funzionam. gruppi (M = mare, F = fiume)	Q derivata (mc/s)	da	DT (°C)	Po a Pontelagoscuro (mc/s)	Po di Venezia (mc/s)	(Po di Tolle) Busa di Bastimento (mc/s)	Iniziale						del Po	corrente da Nord	
Q2 > = 420 (< 460)	2 GR M-M + 2 GR F-F	40 + 40	mare + fiume	8	440	242.4	18.5	<b>0</b>	estate	calma di vento	da NE vs SO (5-10 )	presente <b>(1)</b>	estive da registrazioni 2010: T iniz = cost <b>(2)</b> T Po = variab <b>(3)</b> T mare (corrente da N) = variab <b>(4)</b>			

Configurazione futura									Scenari previsionali in configurazione futura							
potenza efficiente lorda complessiva (3 sezioni 660 MW a carbone) = 1980 MW ___ DT = 7°C									Dati ambientali							
Dati idrologici		Assetto centrale			Q fiume Po				scenario	stagione	Vento (m/s)	Corrente costiera nel segmento inferiore del dominio (cm/s)	Marea (m Imm)	Temperatura (°C)		
Q Po a Pontelagoscuro (mc/s)	Funzionam. gruppi (M = mare, F = fiume)	Q derivata (mc/s)	da	DT (°C)	Po a Pontelagoscuro (mc/s)	Po di Venezia (mc/s)	(Po di Tolle) Busa di Bastimento (mc/s)	Iniziale						del Po	corrente da Nord	
Q1 < o = 380	3 GR M-M	75	mare	7	380	209.3	16	<b>1</b>	estate	calma di vento	da NE vs SO (5-10 )	presente <b>(1)</b>	estive da registrazioni 2010:  T iniz = cost <b>(2)</b> T Po = variab <b>(3)</b> T mare (corrente da N) = variab <b>(4)</b>			
Q2 > = 420 (< 460)	2 GR M-M + 1 GR F-F	50 + 25	mare + fiume	7	440	242.4	18.5	<b>2</b>		calma di vento	da NE vs SO (5-10)	presente <b>(1)</b>				
Q3 > = 460	3 GR F-F	75	fiume	7	460	253.4	19.3	<b>3</b>		calma di vento	da NE vs SO (5-10)	presente <b>(1)</b>				
Q3 > = 460	3 GR F-F	75	fiume	7	460	253.4	19.3	<b>4</b>	inverno	calma di vento	da NE vs SO (5-10)	presente <b>(1)</b>	invernali da registrazioni reperite in prossimità del sito <b>(5), (6)</b>			

- (1) registrazione estate 2010
- (2) media registr. stazione 'mare' (su periodo simulato)
- (3) registr. T in Po alla stazione 'fiume'
- (4) registrazione T nella stazione 'mare'
- (5) registrazioni invernali T fiume PO alla stazione di Sermide (1992-2000)
- (6) registrazioni invernali T mare alla piattaforma CNR Alto Adriatico (2009-2010)

## 5 ANALISI DEI RISULTATI

### 5.1 Considerazioni generali

I risultati relativi a ciascuno degli scenari considerati nello studio sono stati analizzati sia graficamente sia mediante elaborazioni analitiche per estrarre l'insieme delle informazioni atte a caratterizzare esaurientemente le condizioni di diffusione termica nei corpi idrici interessati dagli scarichi delle acque di raffreddamento della centrale di Porto Tolle.

Poiché lo scopo è analizzare il fenomeno con riferimento sia alla necessità di preservare condizioni ambientali tali da consentire il mantenimento dell'esistente attività di venericoltura, ferma restando la possibilità di esercire l'impianto specie nei più critici periodi estivi, vengono analizzate con particolare dettaglio:

- l'area della Sacca del Canarin, ove si sviluppa principalmente l'attività di venericoltura,
- le aree in Po e in mare ove viene tipicamente verificato il rispetto dei vigenti limiti di legge, da cui dipende, in sostanza, il funzionamento dell'impianto.

I paragrafi che seguono contengono la disamina dei risultati di calcolo relativi a ciascuno scenario in termini di:

- andamento dei campi termici,
- valutazione del sovrizzo termico a 1000 m dal punto di scarico a mare in ottemperanza ai requisiti di legge vigenti per gli scarichi a mare,
- valutazione del sovrizzo termico in Po a valle del punto di scarico in fiume in ottemperanza ai requisiti di legge vigenti per gli scarichi in fiume,
- eventuale sovrizzo termico alla presa.

L'esposizione dei risultati è preceduta da una breve analisi delle metodologie di legge utilizzate per il calcolo degli incrementi termici, in mare e in fiume.

### 5.2 Valutazione dei sovrizzi termici secondo la vigente normativa

#### 5.2.1 Scarichi in mare

La normativa di legge vigente ai fini del rispetto dei limiti termici di immissione in mare (Rif. 40) prevede un limite massimo di  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  di sovrizzo termico rispetto alla temperatura ambientale valutato su un arco di raggio 1000 m a partire dal punto di scarico, oltre al limite assoluto di  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  nel punto di scarico stesso. Il regolamento attuativo di cui al Rif. 41 prevede che tale limite sia verificato in una serie di punti di misura lungo l'arco, a distanza di  $5^{\circ}$  l'uno dall'altro, effettuando la media pesata delle misure di temperatura sulla colonna d'acqua di profondità 3 m alle quote di - 0.1, - 1.5 e - 3 m. Il valore di sovrizzo termico viene stabilito per differenza tra tale temperatura media nel punto più caldo e la temperatura di una porzione di corpo idrico non influenzata dallo scarico.

La normativa prevede che, qualora non sia possibile definire un punto esterno all'arco e rappresentativo delle condizioni non perturbate, è possibile assumere quale temperatura di riferimento la media delle temperature, espressa come valore medio delle 3 misure alle quote - 0.1, - 1.5 e - 3 m, nei tre punti più freddi del predetto arco, sempre aumentata del doppio della deviazione standard; tale procedura è stata applicata nel caso della centrale di Porto Tolle stante l'impossibilità di definire un punto non perturbato entro la zona di scarico a causa delle complesse condizioni dinamiche che vi si vengono a creare per effetto dell'azione combinata delle correnti ambientali, di quelle indotte dallo scarico stesso, e, soprattutto, per effetto delle correnti cicliche di flusso e riflusso provocate dalla marea.

Con questa metodologia, la misura dell'incremento termico sull'arco a 1000 m viene effettuata nelle stazioni illustrate in Figura 28. La figura localizza sia i punti sull'arco, sia il punto B2 in corrispondenza del quale viene controllata la temperatura assoluta dei 35 °C. Nel riquadro in basso a destra, dove viene mostrato il dettaglio della schematizzazione adottata nel codice di calcolo, è chiaramente visibile la riprofilatura della foce del canale di scarico a mare adottata sia per gli scenari in configurazione futura per riprodurre le sagome previste dal Progetto di Vivificazione, sia per quello di validazione che riproduce le condizioni topo-batimetriche presumibilmente esistenti o, almeno, prossime a quelle dell'anno 2003 durante il quale sono state eseguite le misure.

Allo scopo di valutare il rispetto di tali limiti nelle situazioni di analisi considerate nello studio, si è calcolato l'andamento del sovrizzo termico sull'arco a 1000 m dallo scarico alle stazioni di misura caratterizzate da almeno 3 m di fondale partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione di ciascuno dei casi considerati a vari istanti di calcolo.

### 5.2.2 Scarichi in fiume

La legislazione vigente (Rif. 40 e Rif. 41) richiede che la verifica dei limiti di legge avvenga misurando l'incremento termico tra una qualsiasi sezione a monte e a valle del punto di immissione dello scarico. In particolare 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.

Per le verifiche di legge in Po si è dunque adottata la metodologia di seguito descritta.

In una qualunque sezione fluviale a valle dello scarico a fiume della centrale, nota la distribuzione della temperatura in funzione delle coordinate x e y (profondità e distanza dalla riva), è possibile calcolare la temperatura media secondo la seguente formula:

$$T_{media} = \frac{1}{A} \int T(x, y) dx dy$$

dove A è l'area della sezione e T(x,y) è la funzione di distribuzione spaziale della temperatura (campo termico). In pratica la funzione T(x,y) è nota solo in un numero discreto di punti della sezione in esame (quelli in cui viene eseguito il calcolo, se si sta utilizzando un modello, o la misura, se si stanno eseguendo dei rilievi) e l'espressione precedente viene ad assumere la seguente forma approssimata:

$$T_{media} = \frac{\sum T_i A_i}{\sum A_i}$$

essendo T<sub>i</sub> i valori di temperatura rilevati ai vertici del reticolo di misura e A<sub>i</sub> l'area della superficie elementare all'interno della quale si può ritenere costante la temperatura

Poiché la legislazione vigente richiede che la verifica dei limiti di legge avvenga misurando l'incremento termico tra una qualsiasi sezione a monte e una qualunque sezione a valle del punto di immissione dello scarico, cautelativamente sono state scelte 2 sezioni fluviali a valle dello scarico e una a monte in cui eseguire rilievi di temperatura perturbata e imperturbata, rispettivamente; le sezioni assunte sono le medesime utilizzate per le verifiche periodiche in campo e sono:

- una sezione a monte dell'incile del canale di presa a fiume della centrale (sezione di riferimento, denominata "58 bis")
- una sezione circa 500 m a valle del canale di scarico (denominata "92")
- una sezione circa 2000 m a valle del canale di scarico (denominata "100 bis").

L'ubicazione delle sezioni è evidenziata nella planimetria del sito riportata in Figura 29. Gli incrementi termici medi sull'intera sezione sono infine calcolati come semplice differenza tra i valori medi di temperatura nella sezione a valle dello scarico e la contemporanea temperatura media indisturbata rilevata nella sezione a monte.

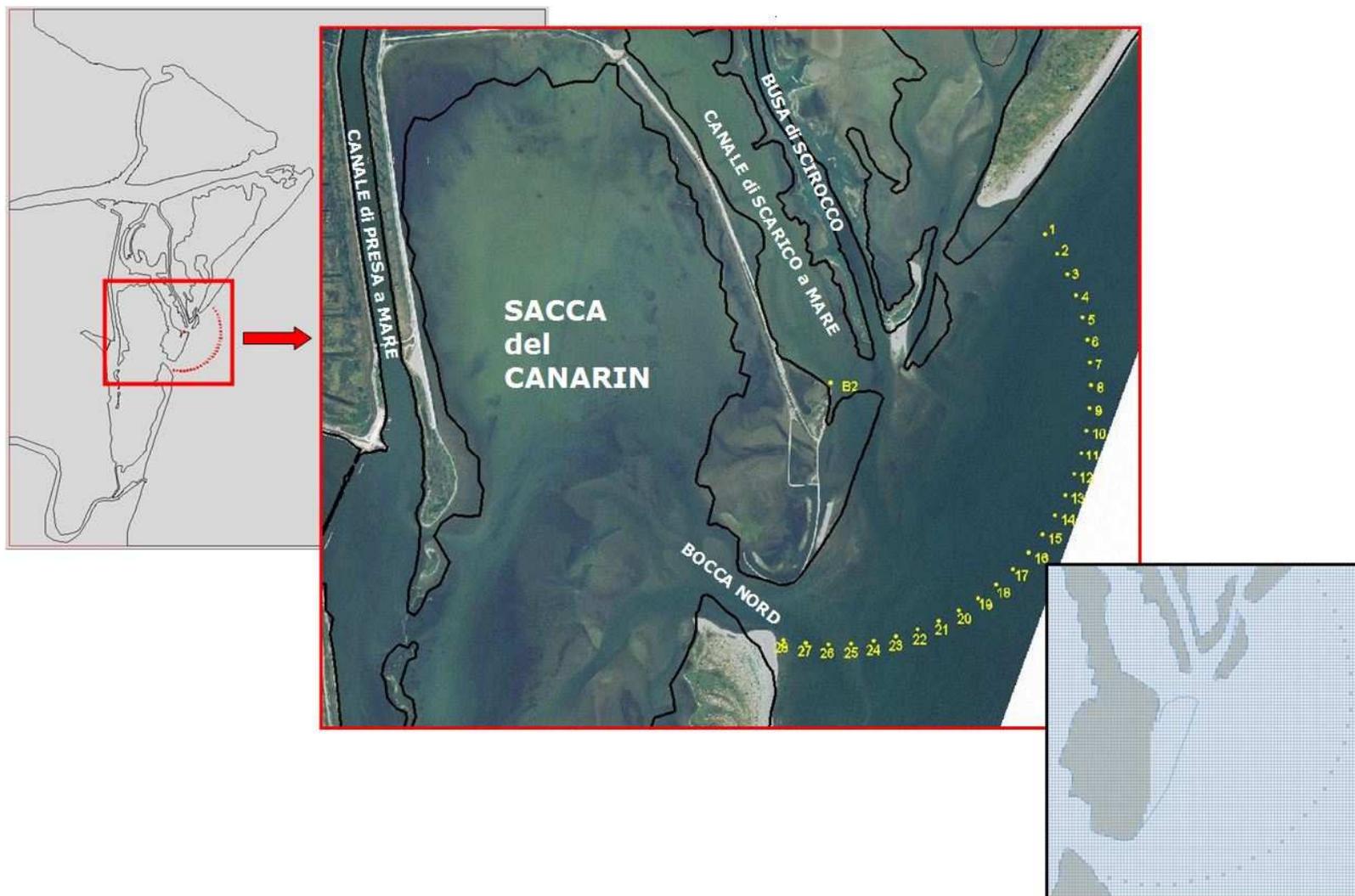


Figura 28 Localizzazione dei punti di controllo dell'arco a 1000 m dello scarico a mare e schematizzazione operata nel codice

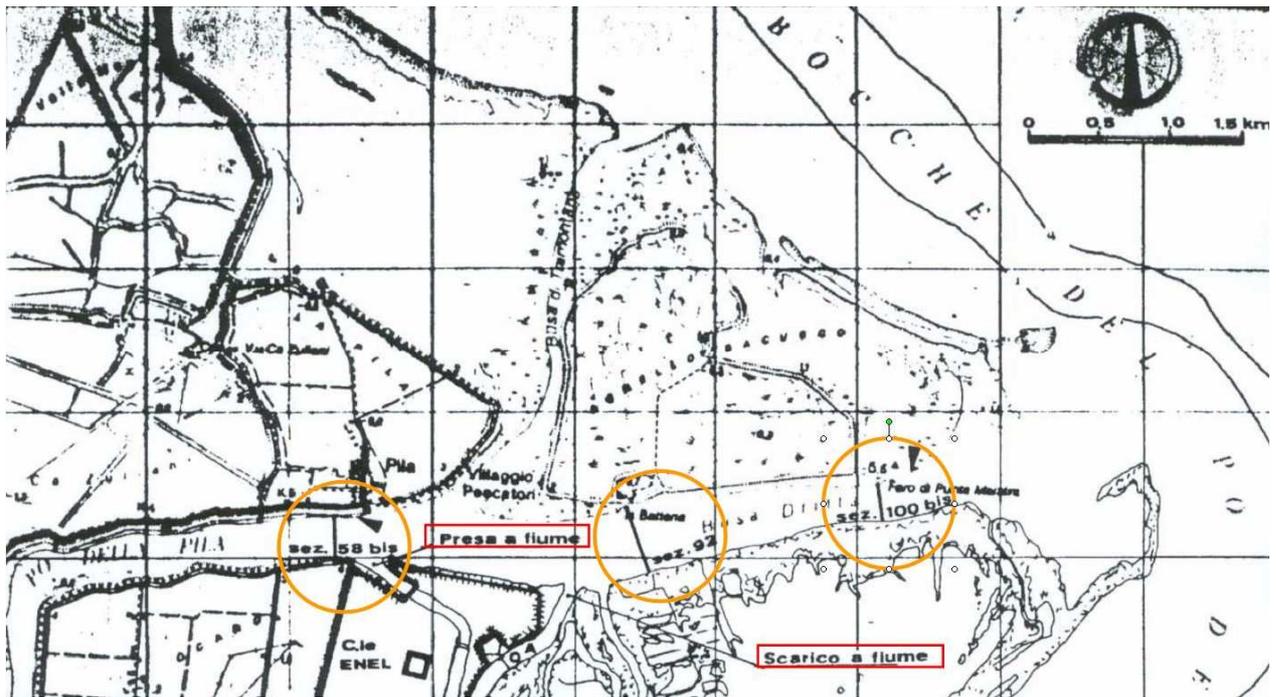


Figura 29 Ubicazione delle sezioni di controllo tipicamente adottate per le verifiche di sovrarzo termico in Po

### 5.3 Scenario di validazione

Lo scenario utilizzato per la validazione del modello numerico fa riferimento alle condizioni ambientali e di esercizio del 13 agosto 2003, tra le ore 11:00 e le ore 13:00, in concomitanza con la verifica dell'incremento termico sull'arco a 1000 m dallo scarico; l'insieme delle misure eseguite quel giorno (tra le ore 11:00 am e le ore 12:00 am) unitamente alle metodologie di misura e alle informazioni relative alle condizioni di esercizio sono riportati in Rif. 42; qui di seguito si riassumono alcune delle informazioni relative alla campagna con riferimento alle:

- **condizioni di esercizio:**
  - \_ 4 gruppi in servizio con un carico complessivo medio pari a 1225 MWe
  - \_ portata acqua di raffreddamento condensatori pari a 80 mc/s, di cui 40 mc/s per i gruppi 1 e 2 nella configurazione impiantistica fiume-fiume e 40 mc/s per i gruppi 3 e 4 nella configurazione impiantistica mare-mare
- **condizioni ambientali:**
  - \_ livello di marea in crescita durante l'intervallo delle misure (fase di marea crescente massima)
  - \_ condizioni di assoluta calma di vento
  - \_ portata del fiume Po all'idrometro di Pontelagoscuro pari a 357 mc/s

Per quanto concerne, invece, le caratteristiche della corrente ambientale esistente durante i rilievi l'analisi delle misure eseguite sui punti dell'arco sia superficialmente sia ad 1.5 m di profondità indica chiaramente che, diversamente da quanto si verifica mediamente in quell'area, la corrente risalisse da SO verso NE.

Come illustrato nel capitolo 5.2.2 le misure che si eseguono in mare per le verifiche di legge sono, necessariamente, puntuali, sia dal punto di vista della localizzazione fisica (le misure sono eseguite in un numero discreto di punti) sia per quanto riguarda l'estensione temporale delle stesse (a meno delle ripetizioni richieste nei punti caldi, infatti, si esegue una sola misura per ciascuna postazione prefissata superficiale e/o sommersa). Se a ciò si aggiunge la mancanza di informazioni dettagliate sulle batimetrie presenti nell'area<sup>4</sup> nell'agosto 2003, è ovvio concludere che la riproduzione per via numerica di uno scenario reale quale quello esaminato comporta l'inevitabile introduzione di alcune semplificazioni, ferma restando la necessità di verificare che la simulazione numerica, per quanto approssimata per sua natura e semplificata per quanto appena sottolineato, riproduca con sufficiente accuratezza i valori misurati sull'arco a 1000 m. Peraltro la campagna di misura dell'anno 2003, condotta con funzionamento dell'impianto in assetto a pieno carico (si tratta di una condizione di funzionamento decisamente rara per l'impianto in oggetto che, almeno nell'ultimo decennio, è rimasto praticamente inattivo o comunque ha funzionato a carico ridotto), in un'estate riconosciuta tra le più calde dell'ultimo decennio, costituisce una base di dati perfettamente aderente alle verifiche in oggetto.

Nel caso del presente studio, inoltre, ci si è dovuti scontrare con la particolare complessità del reticolo di calcolo (derivante dalla estensione e complessità dell'area da modellare, l'intero delta del Po) che ha prolungato in maniera sostanziale sia la fase iniziale di messa a punto (del reticolo e delle condizioni ambientali al contorno), sia quella di esecuzione delle simulazioni vere e proprie. Ciò premesso, al fine di ridurre, almeno in parte, le tempistiche richieste dalla messa a punto delle condizioni al contorno, lo scenario iniziale di validazione è stato di fatto utilizzato per la messa a punto delle condizioni da utilizzare successivamente per gli scenari previsionali. Con particolare riferimento alla corrente ambientale, si è dunque deciso di riprodurre anche nello scenario di validazione una corrente discendente, salvo procedere ad un opportuno 'ribaltamento' dei punti di misura nel successivo confronto tra i valori calcolati e quelli misurati sull'arco.

---

<sup>4</sup> Nel caso del rilievo dell'agosto 2003, nelle condizioni di marea crescente che garantivano fondali adeguati alla verifica in un numero maggiore di punti, i 3 m di fondale erano presenti solo per i punti compresi tra il n° 3 ed il n° 21 compresi.

Tutto ciò premesso le caratteristiche dello scenario di validazione, riportate nella prima riga della precedente Tabella 2 (*scenario 0*), sono qui di seguito riassunte relativamente a:

1. *configurazione della Sacca del Canarin:*

- attuale, vale a dire non vivificata (come detto, non essendo disponibile un rilievo batimetrico di dettaglio per l'anno 2003, si è adottato quello più recente secondo quanto descritto al capitolo 3.4 avendo però l'accortezza di riprofilare la conformazione della foce del canale di scarico a mare secondo quanto indicato in Figura 28; è stato cioè eliminato il deposito di materiale chiaramente visibile nel contorno emerso identificato dal profilo nero in figura che non risulta invece presente nella sottostante ortofoto del volo 2006)

2. *assetto d'impianto:*

- funzionamento a pieno carico dei quattro gruppi (nell'assetto ad olio combustibile) con portata  $Q_{AC}$  pari a 80 mc/s,
- assetto MISTO: 2 gruppi MM (mare-mare) + 2 gruppi FF (fiume-fiume) con  $Q_{AC}$  pari a 40 mc/s per ciascuna coppia,
- $\Delta$  termico agli scarichi pari a 8 °C.

3. *parametri ambientali:*

- $T_{indisturbata} = 26.7$  °C assunta come temperatura iniziale costante sull'intero dominio; con le dovute approssimazioni, tale temperatura iniziale è praticamente identica alla temperatura media di 26.6 °C (praticamente costante) misurata a 3 m di profondità nei punti dell'arco;
- corrente marina da NE verso SO, con temperatura variabile nel tempo; corrente fluviale indotta da una portata del Po a Pontelagoscuro pari a 440 mc/s anch'essa con temperatura variabile nel tempo (si vedano i capitoli 3.5.1, 3.5.2 e 4.2)
- oscillazioni di marea secondo quanto registrato nell'estate 2010 (si veda il capitolo 3.5.3)
- condizione estiva caratterizzata da calma di vento (si veda il capitolo 3.5.4).

La simulazione dello *scenario 0* è durata per 8 giorni consecutivi comprensivi della fase iniziale (transitorio di inizializzazione) in cui le perturbazioni dinamiche e termiche 'ambientali' applicate ai contorni aperti si sono estese a tutte le celle liquide del dominio, e della successiva fase in cui il pennacchio si presenta dinamicamente stabile, ossia tende a riprodursi con estensione e forma mediamente invariate o comunque simili a parità di condizioni di marea durante diversi cicli successivi (transitorio ciclico a regime).

Il confronto tra le misure puntuali delle temperature sull'arco della campagna estiva 2003 e i valori calcolati nei medesimi punti durante le 192 ore complessivamente simulate (8 giorni) è avvenuto prendendo in considerazione solo i valori calcolati in corrispondenza delle fasi di marea prossime a quelle massime presenti durante la campagna di misura. Durante il transitorio ciclico a regime sono stati individuati complessivamente 4 istanti riconducibili a condizioni di marea prossima a quella presente al momento delle misure. I valori calcolati in corrispondenza di tali istanti sono stati mediati ed il risultato, mostrato in Figura 30 è stato successivamente confrontato con le misure di campo.

La Figura 30 raccoglie in una tabella i valori medi complessivamente calcolati nella quattro fasi di alta marea ed include i valori calcolati sull'arco, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1, F2 e F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi  $T_m$  e della sua deviazione standard (2SF) e riporta l'incremento termico calcolato sull'intero arco risultato pari a 0.66 °C. Il grafico nella parte sottostante della figura illustra poi l'andamento delle temperature nei punti dell'arco a 1000 m alle tre profondità di legge (- 0.1, - 1.5 e - 3 m dal l.m.m.) oltre al valore medio.

Incrementi termici calcolati a 1000 m dallo scarico a mare						
N. punto	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media 3 punti	punti C-F	repliche caldi
						Staz. C (Tj) 28.625
						2SC (*) 0.0000
3	29.07	27.29	26.94	27.77	F1	Staz. F 1 27.769
4	29.29	27.33	26.90	27.84	F2	Staz. F 2 27.840
5	29.45	27.35	26.89	27.90	F3	Staz. F 3 27.899
6	29.63	27.40	26.91	27.98		T m 27.836
7	29.77	27.45	26.93	28.05		2SF 0.1301
8	30.01	27.52	26.94	28.16		TR=Tm+2SF 27.97
9	30.15	27.59	26.95	28.23		Incr. term. 0.66
10	30.32	27.64	26.96	28.31		Incr.Term. = DTj=(Tj-2SC)-TR
11	30.38	27.68	26.97	28.35		
12	30.48	27.73	26.99	28.40		
13	30.57	27.76	27.00	28.45		
14	30.60	27.80	27.02	28.48		
15	30.74	27.83	27.04	28.53		
16	30.83	27.84	27.06	28.58		
17	30.94	27.85	27.08	28.62		
18	30.90	27.83	27.11	28.62		
19	30.85	27.85	27.13	28.61		
20	30.83	27.89	27.16	28.63	C	
21	30.54	27.93	27.21	28.56		

(\*) lo scarto è valutato su un solo valore: quello calcolato

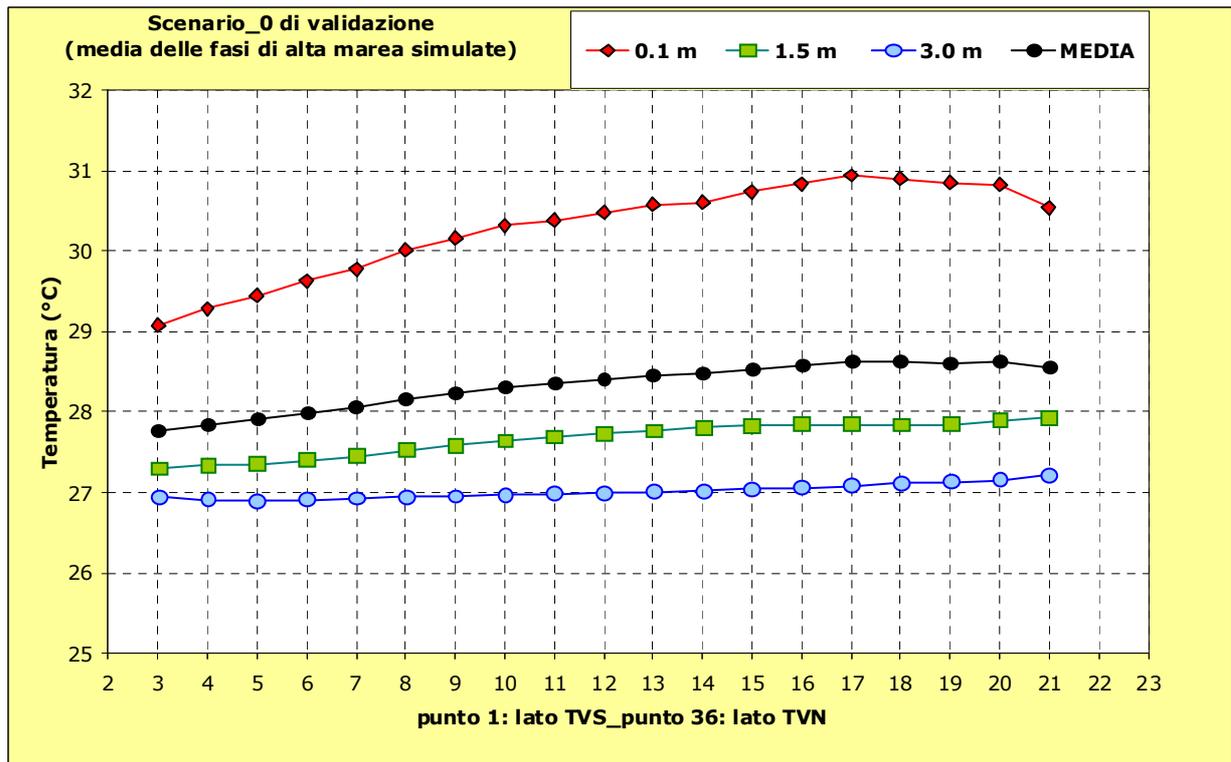


Figura 30 Scenario\_0\_Temperature calcolate nei punti sull'arco a 1000 m dallo scarico a mare delle acque di raffreddamento e calcolo del sovrizzo termico secondo la metodologia di legge

Un primo confronto con quanto riportato in Rif. 42 in merito all'esito delle verifiche di legge eseguite nell'agosto 2003 riguarda direttamente alcuni valori sintetici a suo tempo ricavati e riassunti nella Tabella 3 che segue. Come si osserverà i valori delle temperature medie nei punti caldi e freddi ed i rispettivi scarti quadratici medi sono quasi perfettamente sovrapponibili a quelli ricavati nella simulazione numerica contenuti nella tabella della precedente Figura 30. Analoga considerazione per quanto riguarda l'incremento termico massimo a 1000 m risultato pari a 0.56 °C e a 0.66 °C, rispettivamente in base alle misure di campo ed ai calcoli eseguiti nel presente scenario.

Si fa tra l'altro osservare che durante l'estate dell'anno 2003, a tutt'oggi tra le più calde mai registrate, i limiti di legge furono incrementati secondo quanto stabilito al Decreto Legge 158/03: *“Disposizioni urgenti per garantire la continuità delle forniture di energia elettrica in condizioni di sicurezza.”*. Il Decreto predisponne che *“per il mare e per le zone di foce di corsi d'acqua non significativi la temperatura dello scarico non deve superare i 37 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3.5 °C oltre i mille metri di distanza dal punto di immissione”*. In sostanza il limite dei 3 °C veniva innalzato a 3.5 °C; peraltro, la situazione riscontrata all'atto delle misure e qui riprodotta hanno prodotto un incremento termico alla distanza di legge ampiamente inferiore al limite di legge.

Tabella 3 Misure in condizioni di marea crescente-massima (ore 11.00-12.00 del 13 agosto 2003)

T <sub>media</sub> della stazione più calda dell'arco (°C)	Scarto quadratico medio associato alle 10 repliche sulla stazione più calda (°C)	T <sub>media</sub> delle tre stazioni più fredde dell'arco (°C)	Scarto quadratico medio associato alle 3 stazioni più fredde dell'arco (°C)	DT <sub>massimo</sub> a 1000 m dal punto di scarico (°C)	Limite di legge (DL 158/03) (°C)
28.60	0.04	27.83	0.07	<b>0.56</b>	<b>3.5</b>

La Figura 31 che segue mostra infine il confronto tra le temperature calcolate nello scenario di validazione e quelle misurate nell'agosto 2003 in corrispondenza dei punti sull'arco a 1000 m dallo scarico a mare. Le linee più marcate si riferiscono ai valori calcolati, mentre i colori identificano le diverse profondità a cui sono riferite le temperature. Si sottolinea che, per i motivi anzidetti, le temperature misurate contenute in figura con riferimento ai punti dal numero 3 al numero 21 (si rimanda alla Figura 28 per l'ubicazione dei punti e si ricorda che si tratta degli unici punti che presentavano un fondale di almeno 3 m, utili quindi all'applicazione della metodologia di legge) sono state simmetricamente scambiate per consentire un confronto diretto a parità di direzione della corrente costiera.

L'analisi della figura mostra un'ottima corrispondenza tra gli andamenti termici misurati e calcolati, a meno della maggiore discontinuità delle misure, peraltro attesa e difficilmente riproducibile nelle schematizzazioni e semplificazioni numeriche. I valori assoluti delle temperature calcolate si mantengono mediamente, ma limitatamente, più elevati nelle stazioni a 1.5 m e a 3.0 m di profondità. Viceversa, le temperature calcolate in superficie appaiono leggermente più fredde nelle postazioni più lontane dalla zona di maggiore risentimento del pennacchio caldo. Tali differenze si compensano nella temperatura media ricavata dai valori alle tre profondità come indicato dalla buona corrispondenza delle due linee in nero. La temperatura media calcolata (linea nera più marcata) si mantiene comunque leggermente superiore rispetto a quella misurata e, poiché è proprio sulle temperature medie della colonna d'acqua dei 3 m che si sviluppa il calcolo del delta termico, ciò si traduce nell'incremento di circa il 20% riscontrato tra il DT calcolato (0.66 °C) e quello misurato (0.56 °C).

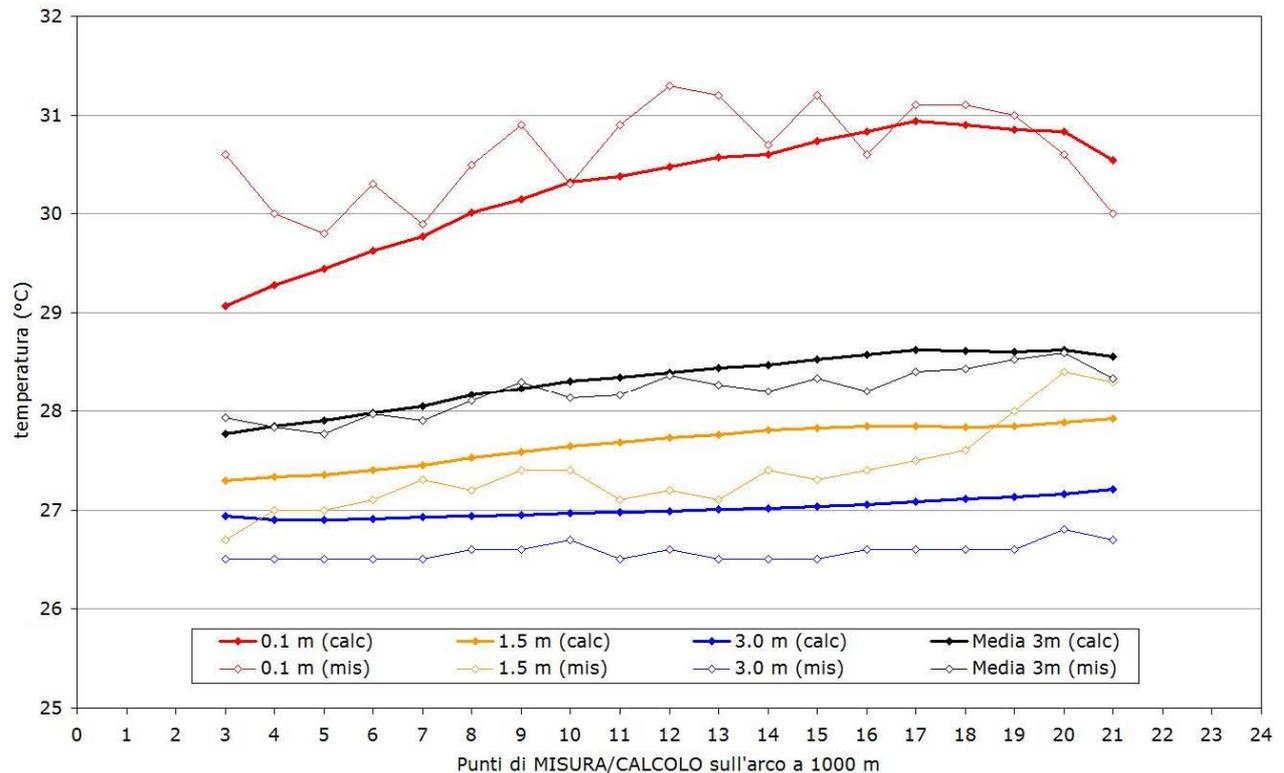


Figura 31 Confronto tra le temperature calcolate nello scenario di validazione e quelle misurate nell'agosto 2003 a 1000 m dallo scarico a mare delle acque di raffreddamento

Quanto esposto fino ad ora consente di concludere che il modello riproduce le misure in campo con un livello di accuratezza adeguato allo scopo del presente studio.

Un'ulteriore verifica riguardo l'effettiva capacità del modello di riprodurre adeguatamente le fenomenologie in gioco è stata fatta con riferimento ai valori di ricircolo calcolati e misurati alle prese a mare. Il confronto è avvenuto con riferimento ai valori di temperatura dell'acqua condensatrice (Rif. 43) misurati ai gruppi 3 e 4, in assetto mare-mare nell'agosto 2003, mediamente pari a 30.2 °C. Assumendo come temperatura indisturbata quella di 26.6 °C misurata in mare a 3 m di profondità (ove si mantiene praticamente costante come mostra anche il grafico in Figura 31) all'esterno della Sacca ma in posizione antistante la Bocca Nord, e supponendo che le temperature all'interno della Sacca (da cui viene aspirata l'acqua che arriverà ai condensatori) siano mediamente superiori di 2-2.5 °C rispetto a quelle esterne, si ricava un valore di ricircolo di poco superiore ad 1 °C. L'entità del ricircolo calcolata dal modello nelle fasi di alta marea utilizzate per il confronto è risultata mediamente pari a circa 1 °C ragionevolmente prossimo al valore ricavato.

Verificata l'accuratezza del modello nella riproduzione delle principali fenomenologie in gioco, si è quindi proceduto alla simulazione degli scenari previsionali illustrati qui di seguito.

## 5.4 Scenari previsionali

Tutti gli scenari previsionali descritti nel seguito sono proseguiti per 8 giorni consecutivi comprensivi della fase iniziale (transitorio di inizializzazione) in cui le perturbazioni dinamiche e termiche ‘ambientali’ applicate ai contorni aperti si sono estese a tutte le celle liquide del dominio, e della successiva fase in cui il pennacchio si presenta dinamicamente stabile, ossia tende a riprodursi con estensione e forma mediamente invariate o comunque simili a parità di condizioni di marea durante diversi cicli successivi (transitorio ciclico a regime).

Le condizioni ambientali applicate durante gli otto giorni di simulazione sono state registrate nel periodo compreso tra le ore 13:00 del 15 luglio 2010 e le ore 12:30 del 23 luglio 2010, durante il quale il monitoraggio termico condotto nell’area ha fatto registrare le massime temperature, sia in mare sia in Po.

I risultati verranno presentati, nel loro complesso e singolarmente, mediante la descrizione della dislocazione della perturbazione termica indotta dallo scarico delle acque di raffreddamento nelle aree di maggiore interesse. Si fornirà inoltre l’esito della verifica del rispetto della legislazione ambientale vigente in materia di scarichi termici immessi in corpi idrici in maniera da fornire indicazioni riguardo l’effettiva possibilità di esercire l’impianto negli assetti di funzionamento singolarmente simulati, specie con riferimento ai più critici periodi estivi.

### 5.4.1 Analisi complessiva

L’analisi complessiva degli scenari simulati consente di trarre alcune considerazioni in merito agli aspetti su menzionati. In particolare:

1. la **durata del transitorio di inizializzazione** è mediamente risultata compresa tra le 24 e le 48 ore, in funzione delle condizioni ambientali e di portata delle acque di circolazione della centrale di volta in volta simulate. Ciò significa che, nella schematizzazione adottata nello studio, sono necessari al massimo due giorni affinché le perturbazioni termiche indotte dagli scarichi, unitamente a tutte quelle naturalmente presenti (escursioni termiche indotte dai cicli giorno/notte nei due principali corpi idrici coinvolti, mare e fiume Po nelle sue diverse ramificazioni, ma, anche, oscillazioni cicliche di livello dovute alla marea), raggiungano tutte le aree di interesse riprodotte nel calcolo, inclusa quella di maggiore interesse interna alla Sacca del Canarin. Tale periodo di tempo, legato alla velocità di propagazione numerica della perturbazione e, dunque, alle schematizzazioni adottate e alla discretizzazione del calcolo, è probabilmente più lungo di quello effettivamente necessario nella realtà; peraltro, si tratta comunque di un’indicazione utile specie nella caratterizzazione della successione delle varie fasi di dislocazione del pennacchio prima in mare aperto e poi nella Sacca del Canarin;
2. la dislocazione del pennacchio nell’area di scarico a mare e all’interno della Sacca del Canarin durante il **transitorio ciclico a regime** assume connotazioni simili in corrispondenza delle **fasi di alta marea**. Le diversità riscontrabili, imputabili alla fase di marea precedente che si riproduce simile ma non uguale né in valore né in periodo durante gli otto giorni simulati, sono comunque minime. Il pennacchio mantiene infatti una forma media caratteristica fondamentalmente dovuta alla spinta esercitata nel semiperiodo precedente dalla marea montante dal largo verso terra, mentre nella fase di alta marea vera e propria la velocità del flusso attraverso le bocche è pressoché nulla; la forma del pennacchio risente inoltre della particolare morfologia del progetto di vivificazione. In particolare si osserva che:
  - la forma del pennacchio, soprattutto all’interno della Sacca, risente del flusso alternativamente entrante ed uscente dalle bocche, specialmente della Bocca Nord più vicina alla foce del canale di scarico a mare; la forma è inoltre influenzata dalla nuova rete di canali sub-lagunari che produce una circolazione interna elevata;
  - la nuova Bocca Sud risulta meno interessata dal pennacchio caldo, ed è quindi favorito l’ingresso attraverso di essa di acqua mediamente più fredda durante la fase di marea

crescente; l'ingresso attraverso la Bocca Sud è inoltre fortemente favorito dall'aspirazione operata dalla centrale attraverso il canale di presa a mare; complessivamente si osserva una minore temperatura media nell'area meridionale della Sacca, mentre l'area settentrionale risulta mediamente più calda;

- i valori di picco della temperatura all'interno della Sacca si osservano in aree prossime alla Bocca Nord e tali aree, pur mantenendosi limitate, raggiungono la loro massima estensione in corrispondenza dei massimi giornalieri di marea quando è massimo l'effetto di spinta prodotto dalla precedente fase di marea crescente; la condizione di massima estensione si mantiene mediamente per la durata del picco di marea (2-3 ore).
3. la dislocazione del pennacchio nell'area di scarico a mare e all'interno della Sacca del Canarin durante il **transitorio ciclico a regime** assume connotazioni simili anche in corrispondenza delle **fasi di bassa marea**. Le diversità riscontrabili, imputabili alla fase di marea precedente che si riproduce simile ma non uguale né in valore né in periodo durante gli otto giorni simulati, sono comunque minime. Il pennacchio mantiene infatti una forma media caratteristica fondamentalmente dovuta al richiamo esercitato nel semiperiodo precedente dalla marea calante da terra verso il largo, mentre nella fase di bassa marea vera e propria la velocità del flusso attraverso le bocche è pressoché nulla; inoltre, anche nelle fasi di bassa marea, la forma del pennacchio risente della particolare morfologia del progetto di vivificazione. In particolare si osserva che:
- la forma del pennacchio, soprattutto all'interno della Sacca, risente del flusso alternativamente entrante ed uscente dalle bocche, specialmente della Bocca Nord più vicina alla foce del canale di scarico a mare; la forma è inoltre influenzata dalla nuova rete di canali sub-lagunari che produce una circolazione interna elevata;
  - la nuova Bocca Sud risulta ancora meno interessata dal pennacchio caldo rispetto alla condizione di massimo di marea, ed è quindi favorito l'ingresso attraverso di essa di acqua mediamente più fredda anche durante la fase di marea decrescente. Ciò è imputabile alla presenza di due condizioni contrastanti: la prima, che vede prevalere nell'area della Bocca Nord il flusso di richiamo verso il mare (tra l'altro concorde, in direzione, con quello dello scarico a mare); la seconda, in prossimità della Bocca Sud, vede invece gli effetti del prevalente flusso entrante dovuto al pompaggio della centrale ('frenato' dal richiamo dovuto alla precedente fase di marea decrescente). Anche in questo caso, quindi, si ha una minore temperatura media nell'area meridionale della Sacca stessa, mentre viceversa l'area settentrionale risulta mediamente più calda anche perché l'acqua calda presente nella Sacca (a seguito dei precedenti cicli di marea) tende ad essere richiamata attraverso la Bocca Nord;
  - i valori di picco della temperatura all'interno della Sacca appaiono inferiori rispetto a quelli registrati nella fase di alta marea; le aree in cui si sono calcolati i valori di picco si mantengono prossime alla Bocca Nord e tali aree, pur limitate, raggiungono la loro massima estensione in corrispondenza dei minimi giornalieri di marea quando è massimo l'effetto di richiamo prodotto dalla precedente fase di marea decrescente; la condizione di massima estensione si mantiene mediamente per la durata del minimo di marea (2-3 ore).

Si riporta nel seguito una analisi dettagliata dei risultati dei quattro scenari complessivamente simulati. L'analisi riguarderà le caratteristiche termiche e idrodinamiche dei flussi presenti nelle zone di maggiore interesse e negli istanti tipici dei diversi cicli di marea nel transitorio a regime, e sarà preceduta dalla descrizione del transitorio di inializzazione mediante la sequenza delle principali mappe termiche che illustrano la situazione termica superficiale dello scenario in studio.

#### 5.4.2 Scenario n° 1: estivo in assetto mare - mare

Le caratteristiche dello *scenario 1*, riportate nella precedente Tabella 2, sono qui di seguito riassunte relativamente a:

1. *configurazione della Sacca del Canarin:*

- futura, vale a dire vivificata
2. *assetto d'impianto:*
- funzionamento a pieno carico dei tre gruppi nell'assetto a carbone con portata  $Q_{AC}$  pari a 75 mc/s,
  - assetto mare - mare: 3 gruppi MM (mare-mare) con  $Q_{AC} = 75$  mc/s,
  - $\Delta$  termico agli scarichi pari a 7 °C.
3. *parametri ambientali:*
- $T_{indisturbata} = 26.7$  °C assunta come temperatura iniziale costante sull'intero dominio (si veda il capitolo 3.5.2);
  - corrente marina da NE verso SO, con temperatura variabile nel tempo; corrente fluviale indotta da una portata del Po a Pontelagoscuro pari a 380 mc/s anch'essa caratterizzata da una temperatura variabile nel tempo (si vedano i capitoli 3.5.1, 3.5.2 e 4.2)
  - oscillazioni di marea secondo quanto registrato nell'estate 2010 (si veda il capitolo 3.5.3)
  - condizione estiva caratterizzata da calma di vento (si veda il capitolo 3.5.4).

La Figura 32 mostra l'evolversi della dislocazione del pennacchio caldo durante il transitorio di inizializzazione. Le immagini sono relative a sei istanti con cadenza di otto ore a partire dall'inizio della simulazione; in alto è riportata la fase della marea di ciascuno dei sei istanti. Il transitorio di inizializzazione è da considerarsi esaurito prima delle 48 ore come mostrano le dislocazioni della perturbazione in Sacca.

L'analisi della perturbazione termica durante il transitorio ciclico a regime è illustrata nel seguito con riferimento alle quattro principali condizioni di marea che ne influenzano pesantemente la dislocazione, e precisamente:

- a) fase di alta marea: tra tutte quelle simulate si illustrerà quella durante la quale si è osservata in Sacca la condizione termica più critica dell'intera simulazione, vale a dire la condizione di massima estensione raggiunta in Sacca dalla temperatura di 31 °C indicata come critica per la coltivazione della vongola verace filippina (Rif. 4); per il presente scenario tale condizione si è verificata alla 74° ora della simulazione;
- b) fasi di marea decrescente, minima e crescente: si illustreranno le tre fasi in successione nel medesimo ciclo completo di marea; si farà riferimento, in particolare, all'ultimo ciclo di marea tra gli otto simulati in maniera tale da considerare anche l'eventuale 'effetto di memoria complessivo' cioè l'eventuale 'accumulo' di temperatura in Sacca dovuto al succedersi dei diversi giorni di funzionamento a pieno carico simulati.

La Figura 33 mostra la condizione termica più critica calcolata in Sacca durante la totalità delle 192 ore di simulazione. Tale situazione è stata raggiunta in corrispondenza della fase di alta marea alla 74 ° ora di simulazione. Le due immagini mostrano rispettivamente la situazione alla sola bocca Nord (a sx) e quella in corrispondenza di entrambe le aperture (a dx). Nelle figure è inoltre illustrato il campo di moto calcolato dal codice in alcuni punti del dominio; il vettore di riferimento (1 m/s) per le velocità è raffigurato nell'angolo in alto a destra di ciascuna figura.

La situazione di alta marea determina un flusso limitato in corrispondenza della bocca Nord; ciò è ragionevolmente prevedibile poiché la condizione di alta marea corrisponde in realtà ad un punto di inversione del moto, ponendosi tra la fase di crescita della marea, che l'ha preceduta con spinta dal largo verso le bocche, e quella di decrescita, che la seguirà con il richiamo di massa d'acqua nuovamente verso il largo. Diversa appare invece la situazione dinamica in corrispondenza della bocca Sud, dove è chiaramente visibile l'effetto di richiamo dovuto alla presa a mare.

Per quanto concerne la condizione termica si osservi come la dislocazione delle isoterme segua chiaramente l'impronta dei canali lagunari scavati, delle barene emerse e delle velme sommerse, costituenti il progetto di vivificazione (illustrato in Figura 3), che insieme all'azione della marea contribuiscono a fornire una maggiore idrodinamicità all'interno della Sacca e tra questa ed il mare.

La dislocazione dell'isoterma dei 31 °C appare interessare maggiormente la parte Nord della Sacca, mentre risultano meno coinvolte le aree in cui si trovano attualmente posizionati la maggior parte degli orti di semina, posti a Sud del canale in ingresso attraverso la Bocca Nord. Peraltro, si sottolinea che tale condizione di livello di marea e, conseguentemente, di diffusione del pennacchio caldo, si mantiene per la durata complessiva della fase di alta marea, variabile tra le 2 e le 3 ore.

Le tre successive figure (Figura 34, Figura 35 e Figura 36) evidenziano la situazione rispettivamente calcolata nelle fasi di marea decrescente, di minimo e di marea crescente dell'ultimo degli otto giorni di simulazione. Si osservi l'assenza di superamento dei 31 °C in Sacca nelle prime due fasi di marea decrescente e di minimo di marea, mentre il superamento si ripresenta nella fase successiva di crescita della marea. Come precedentemente osservato, però, l'estensione dell'area interessata da tale superamento si mantiene decisamente inferiore a quella, massima sugli otto giorni, illustrata in precedenza. Si sottolinea nuovamente che, anche in questo caso, l'isoterma dei 31 °C (e in generale tutte le isoterme) assume una conformazione chiaramente influenzata dai fenomeni convettivi riconducibili alle maggiori velocità della corrente in corrispondenza del canale di ingresso alla bocca Nord e alle sue due diramazioni verso Nord e verso Sud.

Per quanto riguarda i campi di moto alla bocca Nord, la condizione di scarsa velocità calcolata al minimo di marea (Figura 35) ricalca, coerentemente, quanto già osservato al massimo di marea. La corrente si fa invece decisamente più elevata nelle altre due condizioni: ben visibile è la corrente uscente associata alla marea decrescente di Figura 34 e quella entrante prodotta dalla marea crescente di Figura 36.

Diversa è la situazione in corrispondenza della bocca Sud, dove si riscontra la situazione seguente:

- una corrente uscente, in marea decrescente poiché l'aspirazione della centrale non è sufficiente a vincere quella di richiamo verso il largo imposta dalla marea (Figura 34); la centrale richiama l'acqua più calda stagnante nella parte Ovest della Sacca, mentre la corrente uscente di marea richiama quella della parte Est;
- una corrente nuovamente entrante, dopo sole cinque ore, al raggiungimento del minimo di marea (Figura 35); tale corrente è generata esclusivamente dall'aspirazione della centrale attraverso il canale di presa a mare, che trascina nuovamente l'acqua più calda e praticamente ferma presente nell'area Sud della Sacca (si osservi l'isoterma dei 29 °C che aggira su entrambi i lati la velma sommersa presente in quel punto);
- dopo altre tre ore, una nuova corrente attraversa la bocca in entrata con particolare intensità poiché frutto della sovrapposizione dell'aspirazione della centrale e della spinta imposta dalla marea crescente (Figura 36); nonostante l'intensità della corrente la durata limitata della fase di marea evita che si possa intensificare il 'pescaggio' dall'esterno dell'acqua più calda proveniente dallo scarico a Nord segnalato dal richiamo verso la Bocca Sud dell'isoterma dei 28 °C.

La Figura 37 e la Figura 38 mostrano infine l'andamento della salinità superficiale per le due fasi di marea crescente e decrescente appena descritte dal punto di vista termico. La situazione è quella calcolata in prossimità delle foci del canale di scarico a mare e della Busa di Scirocco. La salinità è, insieme alla temperatura e a numerosi altri parametri ambientali, uno dei fattori indicati dalla bibliografia specifica (Rif. 4) come particolarmente critici per l'attività di venericoltura. La suddetta bibliografia segnala come limiti vitali 13-50 ppm e come limiti ottimali 25-35 ppm. Le figure mostrano l'effetto di contenimento del flusso di acqua dolce, naturalmente in uscita dalla Busa, ad opera della corrente dello scarico a mare, che in entrambe le condizioni di marea impedisce all'acqua dolce di raggiungere la bocca Nord.

Si segnala, inoltre, che l'incremento termico medio sull'arco a 1000 m dal punto di scarico a mare calcolato con riferimento all'intera durata della simulazione è risultato pari a 2.4 °C dunque inferiore ai vigenti limiti. La simulazione, infine, ha evidenziato valori di ricircolo alla presa a mare minimi compatibili con il vigente limite dei 35 °C al punto di scarico a mare ( $T_{\text{massima}}$  alla presa a mare = 28.4 °C).

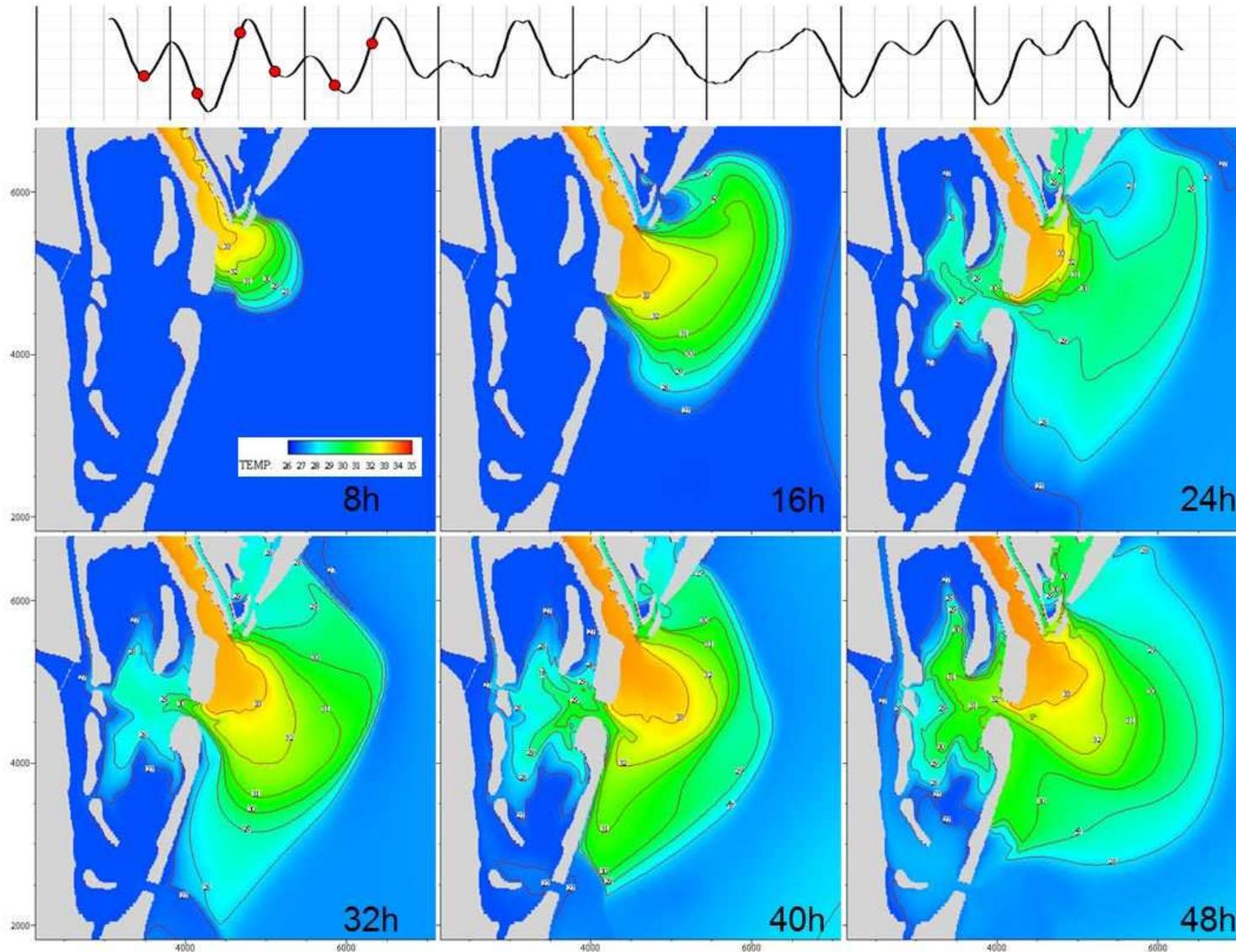


Figura 32 Scenario\_1 (estivo assetto MM)\_Transitorio di inizializzazione. Dislocazione superficiale durante le prime 48 ore

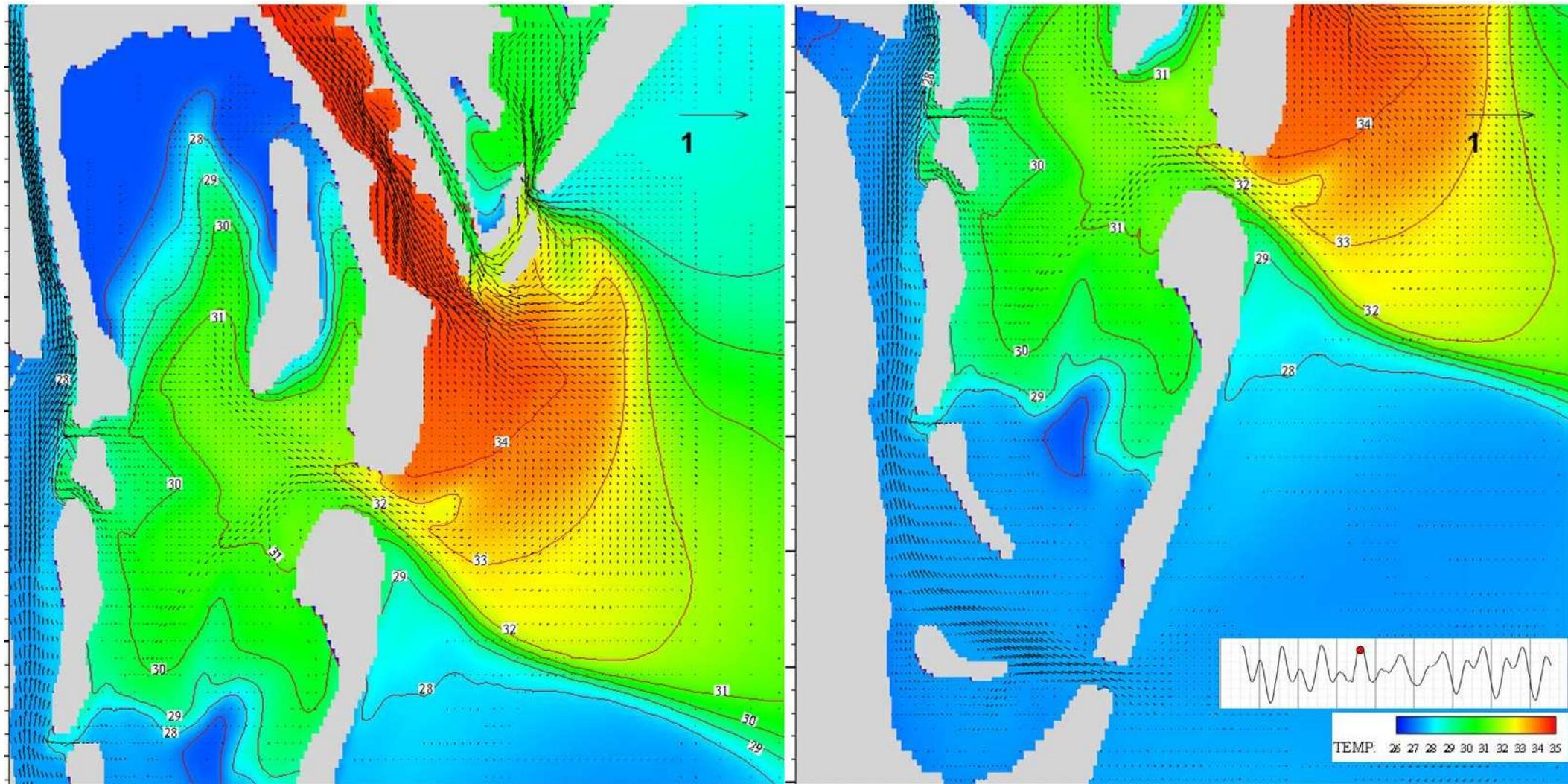


Figura 33 Scenario\_1 (estivo assetto MM)\_Transitorio ciclico a regime. Situazione di alta marea. Condizione di massima perturbazione termica superficiale (rispetto all'intera durata della simulazione) calcolata in Sacca del Canarin (74° ora). Bocca Nord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

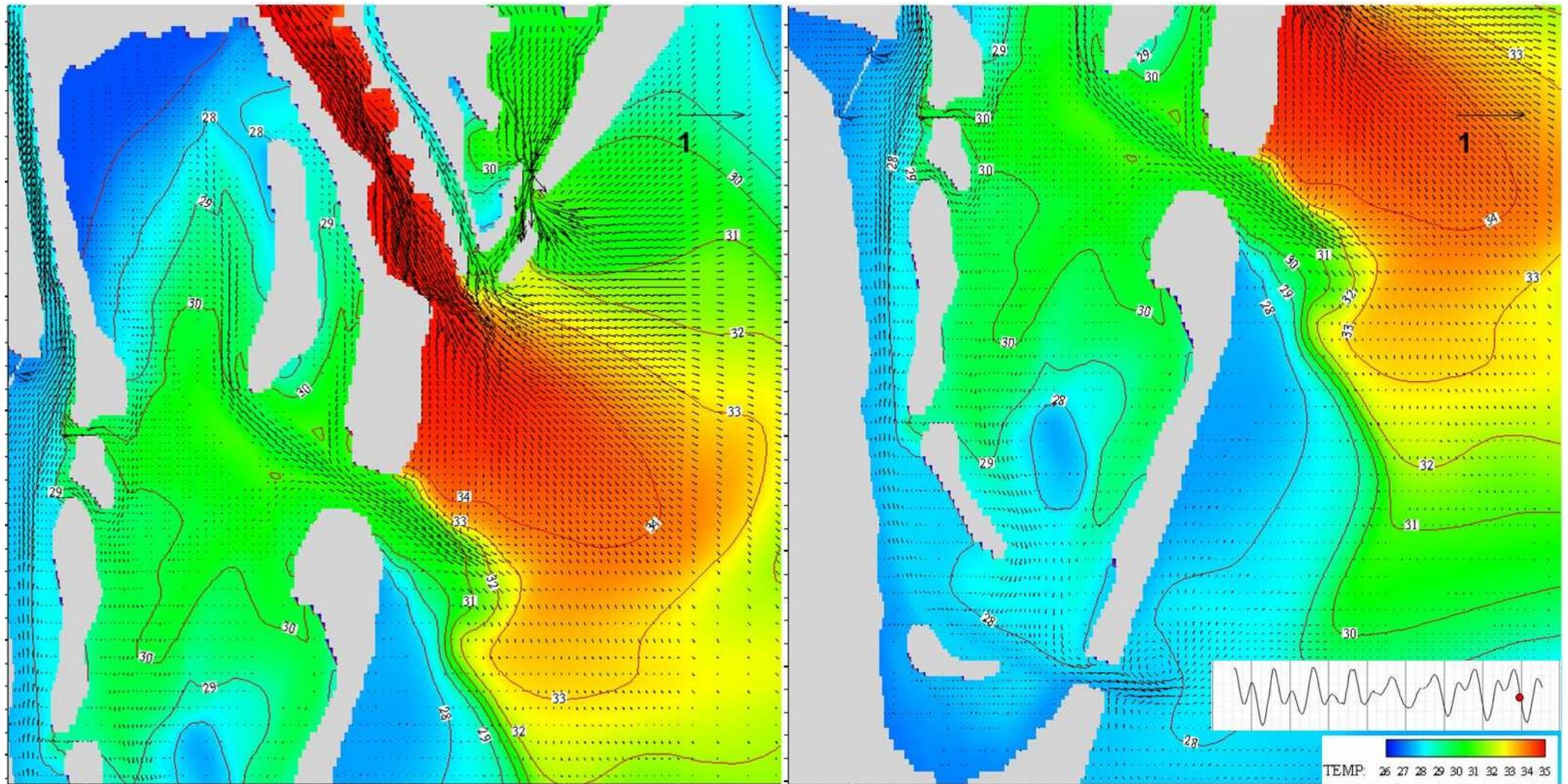


Figura 34 Scenario\_1 (estivo assetto MM)\_Transitorio ciclico a regime. Condizioni di perturbazione termica calcolata in Sacca del Canarin in situazione di marea decrescente (178°ora). Bocca N ord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

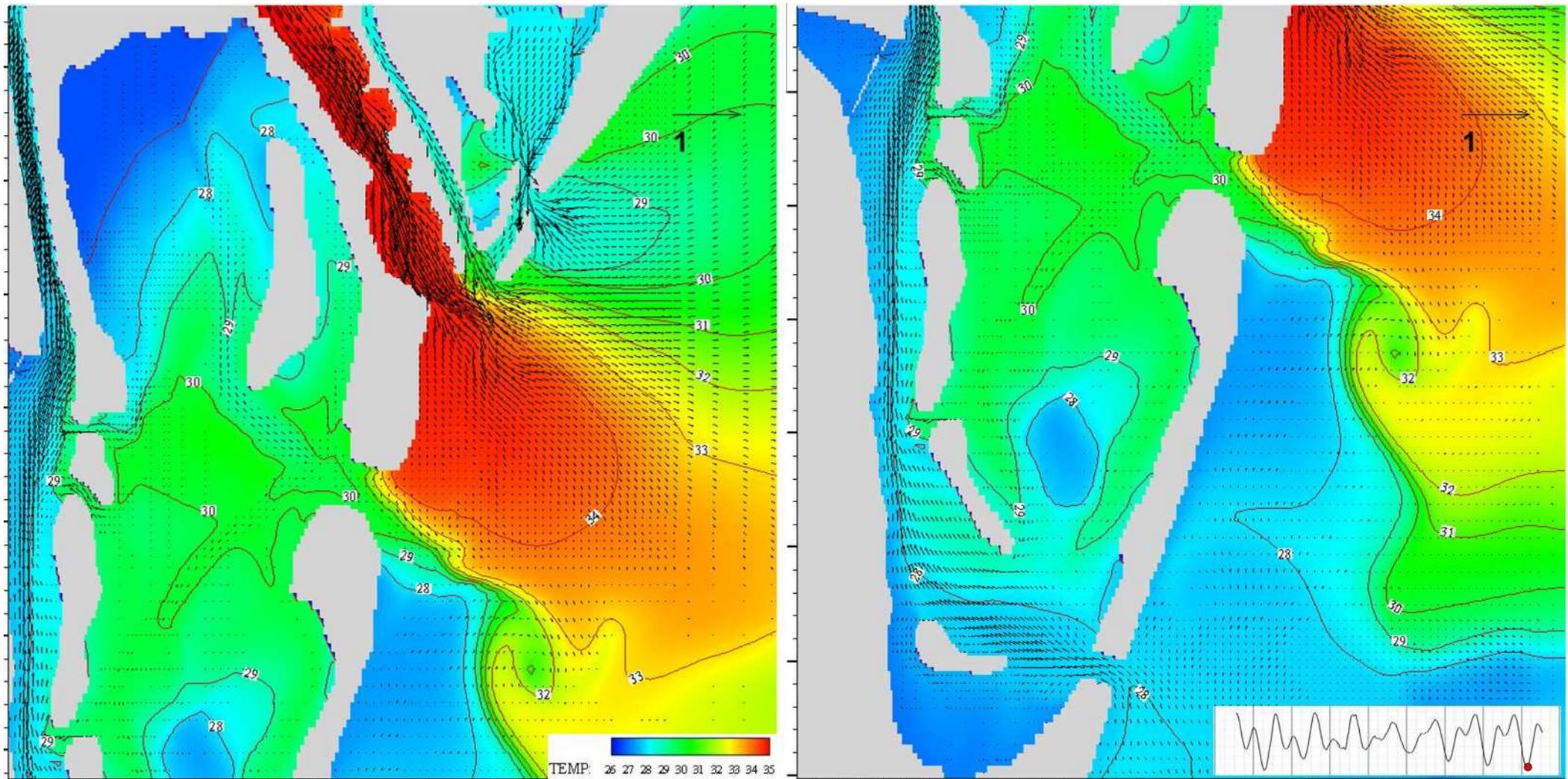


Figura 35 Scenario\_1 (estivo assetto MM)\_Transitorio ciclico a regime. Condizione di perturbazione termica calcolata in Sacca del Canarin in situazione di marea minima (183° ora). Bocca Nord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

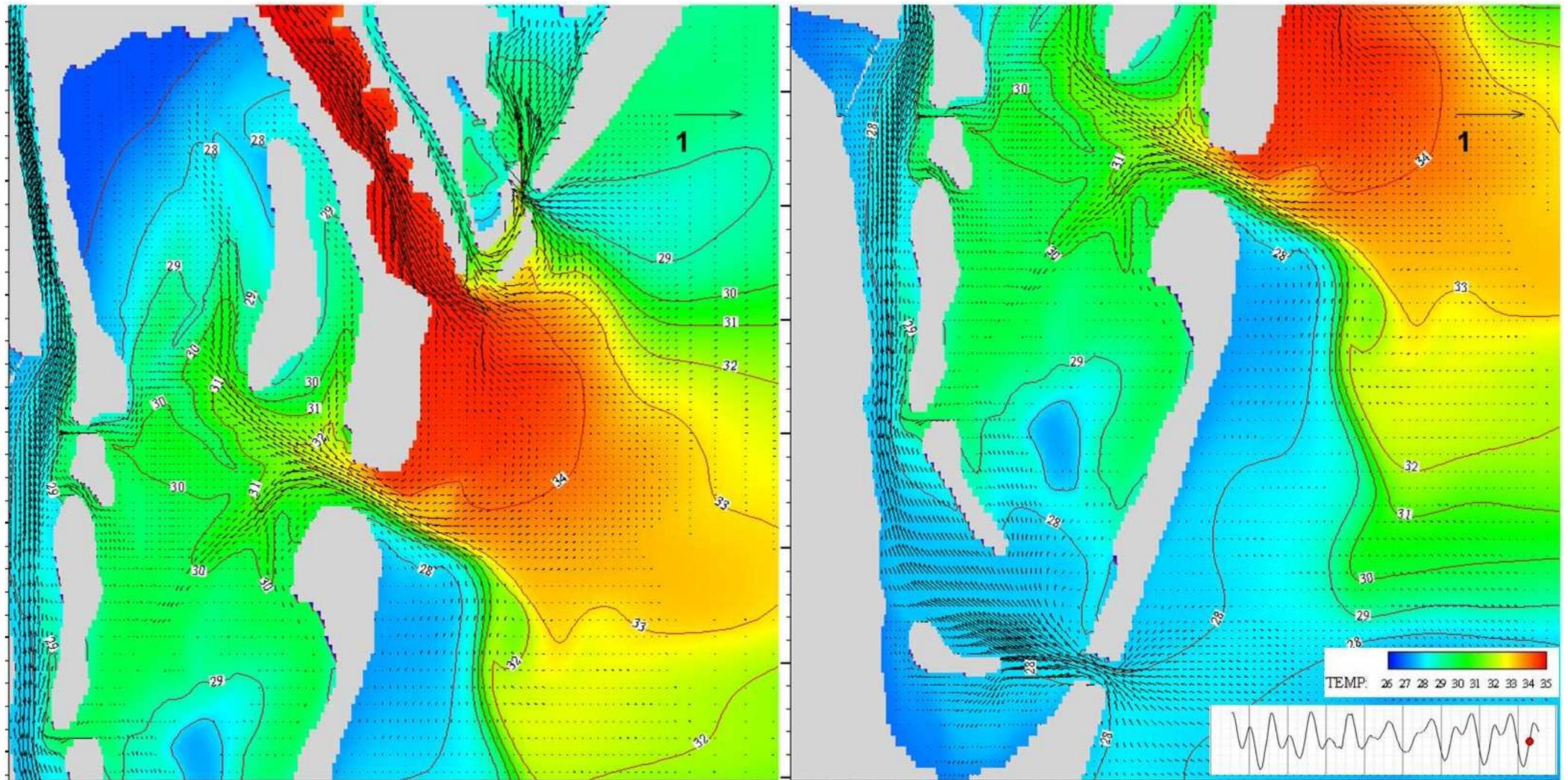


Figura 36 Scenario\_1 (estivo assetto MM)\_Transitorio ciclico a regime. Condizioni di perturbazione termica calcolata in Sacca del Canarin in situazione di marea crescente (186° ora). Bocca Nord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

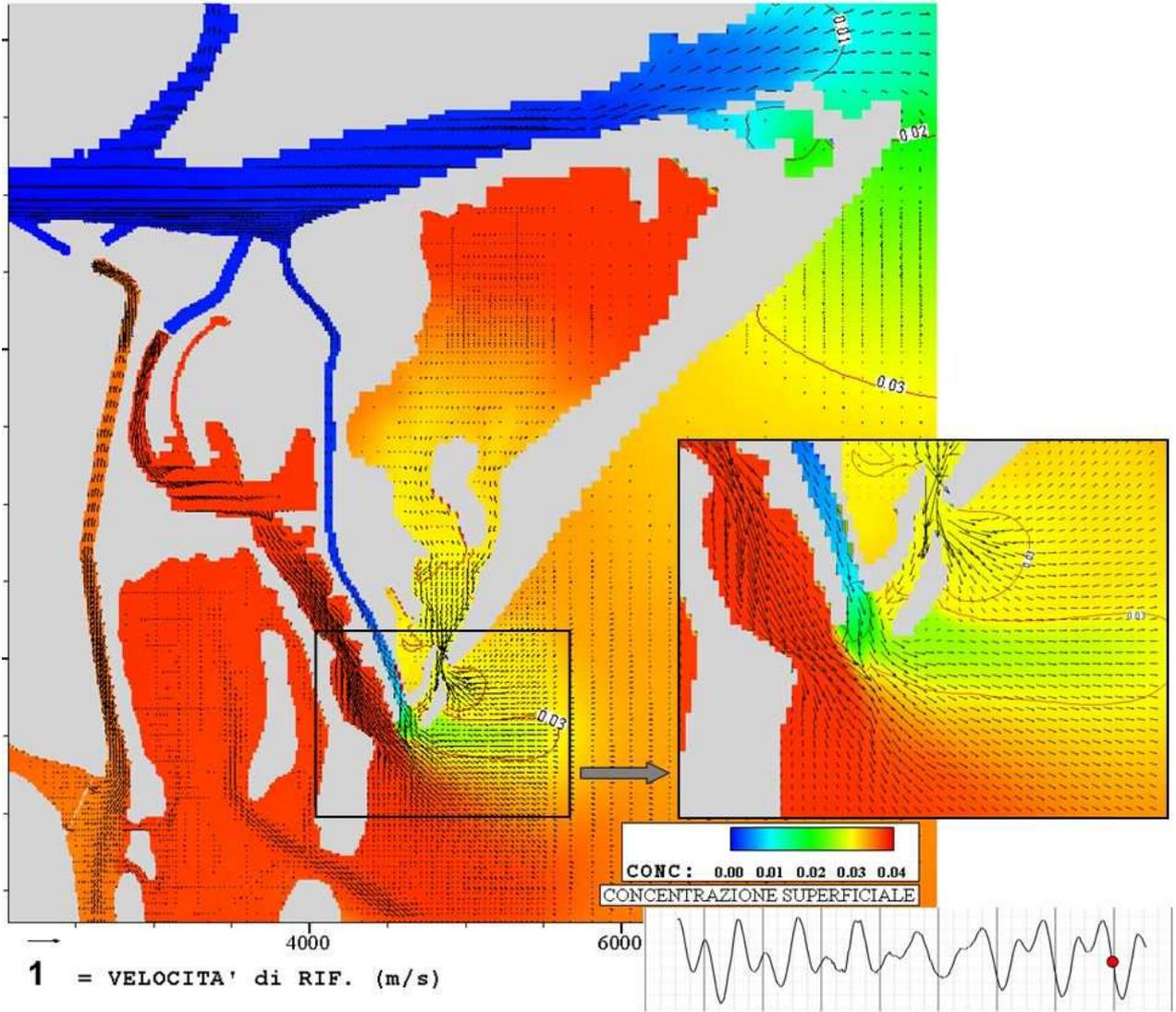


Figura 37 Scenario\_1 (estivo assetto MM)\_Transitorio ciclico a regime. Campo di moto e della concentrazione superficiale calcolati in condizione di marea decrescente (178° ora). In dettaglio, l'interferenza tra i flussi in uscita dallo scarico a mare (acqua salata, colore rosso) e dalla Busa di Scirocco (acqua dolce, colore variabile blu-verde).

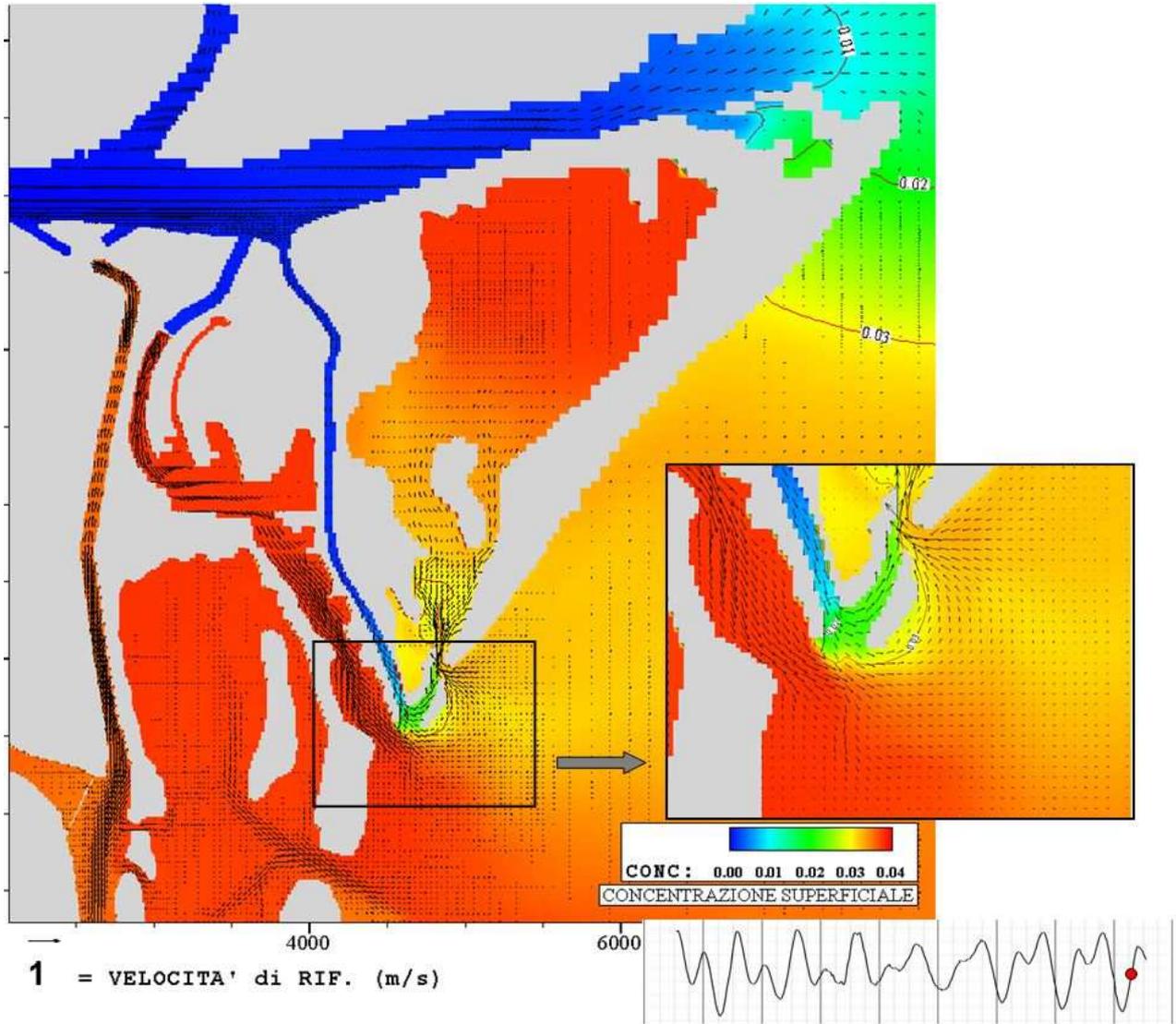


Figura 38 Scenario\_1 (estivo assetto MM)\_Transitorio ciclico a regime. Campo di moto e della concentrazione superficiale calcolati in condizione di marea crescente (186° ora). In dettaglio, l'interferenza tra i flussi in uscita dallo scarico a mare (acqua salata, colore rosso) e dalla Busa di Scirocco (acqua dolce, colore variabile blu-verde).

### 5.4.3 Scenario n° 2: estivo in assetto misto

Le caratteristiche dello scenario 2, riportate nella precedente Tabella 2, sono qui di seguito riassunte relativamente a:

1. *configurazione della Sacca del Canarin:*
  - futura, vale a dire vivificata
2. *assetto d'impianto:*
  - funzionamento a pieno carico dei tre gruppi nell'assetto a carbone con portata  $Q_{AC}$  pari a 75 mc/s,
  - assetto mare - mare: 2 gruppi MM (mare-mare) con  $Q_{AC} = 50$  mc/s, 1 gruppo FF (fiume-fiume) con  $Q_{AC} = 25$  mc/s,
  - $\Delta$  termico agli scarichi pari a 7 °C.
3. *parametri ambientali:*
  - $T_{indisturbata} = 26.7$  °C assunta come temperatura iniziale costante sull'intero dominio (si veda il capitolo 3.5.2);
  - corrente marina da NE verso SO, con temperatura variabile nel tempo; corrente fluviale indotta da una portata del Po a Pontelagoscuro pari a 440 mc/s anch'essa caratterizzata da una temperatura variabile nel tempo (si vedano i capitoli 3.5.1, 3.5.2 e 4.2)
  - oscillazioni di marea secondo quanto registrato nell'estate 2010 (si veda il capitolo 3.5.3)
  - condizione estiva caratterizzata da calma di vento (si veda il capitolo 3.5.4).

La Figura 39 mostra l'evolversi della dislocazione del pennacchio caldo durante il transitorio di inizializzazione. Le immagini sono relative a sei istanti con cadenza di otto ore a partire dall'inizio della simulazione; in alto è riportata la fase della marea di ciascuno dei sei istanti. Il transitorio di inizializzazione è da considerarsi esaurito prima delle 48 ore come mostrano le dislocazioni della perturbazione in Sacca. Il confronto con la corrispondente figura dello scenario 1 mostra chiaramente la diminuzione della perturbazione termica per ciascuno degli istanti, conseguente alla diminuzione della portata e, dunque, della velocità dello scarico a mare. La riduzione è osservabile sia in corrispondenza della foce del canale di scarico a mare sia all'interno della Sacca del Canarin.

Anche per il presente scenario l'analisi della perturbazione termica durante il transitorio ciclico a regime è illustrata con riferimento alle quattro principali condizioni di marea che ne influenzano pesantemente la dislocazione, e precisamente:

- c) fase di alta marea: tra tutte quelle simulate si illustrerà quella durante la quale si è osservata in Sacca la condizione termica più critica dell'intera simulazione, vale a dire la condizione di massima estensione raggiunta in Sacca dalla temperatura di 31 °C indicata come critica per la coltivazione della vongola verace filippina (Rif. 4); per il presente scenario tale condizione si è verificata alla 150° ora della simulazione;
- d) fasi di marea decrescente, minima e crescente: si illustreranno le tre fasi in successione nel medesimo ciclo completo di marea; si farà riferimento, in particolare, all'ultimo ciclo di marea tra gli otto simulati in maniera tale da considerare anche l'eventuale 'effetto di memoria complessivo' cioè l'eventuale 'accumulo' di temperatura in Sacca dovuto al succedersi dei diversi giorni di funzionamento a pieno carico simulati.

La Figura 40 mostra la condizione termica più critica calcolata in Sacca durante la totalità delle 192 ore di simulazione. Tale situazione è stata raggiunta in corrispondenza della fase di alta marea alla 150° ora di simulazione. Le due immagini mostrano rispettivamente la situazione alla sola bocca Nord (a sx) e quella in corrispondenza di entrambe le aperture (a dx). Nelle figure è inoltre illustrato il campo di moto calcolato

dal codice in alcuni punti del dominio; il vettore di riferimento (1 m/s) per le velocità è raffigurato nell'angolo in alto a destra di ciascuna figura.

Come precedentemente illustrato, la situazione di alta marea determina un flusso limitato in corrispondenza della bocca Nord; ciò è ragionevolmente prevedibile poiché la condizione di alta marea corrisponde in realtà ad un punto di inversione del moto, ponendosi tra la fase di crescita della marea, che l'ha preceduta con spinta dal largo verso le bocche, e quella di decrescita, che la seguirà con il richiamo di massa d'acqua nuovamente verso il largo. Diversa appare invece la situazione dinamica in corrispondenza della bocca Sud, dove è chiaramente visibile l'effetto di richiamo dovuto alla presa a mare.

Per quanto concerne la condizione termica si osserva nuovamente che la dislocazione delle isoterme segue chiaramente l'impronta dei canali lagunari scavati, delle barene emerse e delle velme sommerse, costituenti il progetto di vivificazione (illustrato in Figura 3), che insieme all'azione della marea contribuiscono a fornire una maggiore idrodinamicità all'interno della Sacca e tra questa ed il mare.

L'area (massima, come detto, sull'intera simulazione) interessata in Sacca dall'isoterma dei 31 °C appare decisamente ridotta (della metà circa) rispetto a quella massima riscontrata nell'assetto mare – mare del precedente scenario; la quasi totalità dell'area interessata è peraltro collocata in corrispondenza del canale dragato in ingresso alla Sacca attraverso la Bocca Nord (canale denominato C1 nel progetto di vivificazione che riprende quello già esistente, in corrispondenza del quale non sono presenti orti di semina) ove si mantengono velocità tali da produrre l'ingresso dell'acqua più calda in uscita dal canale di scarico. La perturbazione si prolunga poi lungo i tratti iniziali delle due diramazioni del canale principale dragate immediatamente a Nord (canale denominato C5) e a Sud (canale che si dividerà a sua volta nei due rami denominati C2 e C3) dell'ingresso in Sacca. In tali direzioni sono attualmente posizionati alcuni orti che, peraltro, potrebbero essere ricollocati a seguito del dragaggio delle suddette due diramazioni. La penetrazione appare, peraltro, estremamente limitata oltre che caratterizzata da una durata massima dell'ordine di 2-3 ore vale a dire per una durata pari a quella della fase di alta marea.

Le tre successive figure (Figura 41, Figura 42 e Figura 43), direttamente confrontabili con le corrispondenti dello scenario 1, evidenziano la situazione rispettivamente calcolata nelle fasi di marea decrescente, di minimo e di marea crescente dell'ultimo degli otto giorni di simulazione. Analogamente a quanto riscontrato per lo scenario 1, si osserva l'assenza di superamento dei 31 °C in Sacca nelle prime due fasi di marea decrescente e di minimo di marea, mentre il superamento si ripresenta nella fase successiva di crescita della marea anche se limitatamente ai tratti iniziali dei canali dragati denominati C1 e C5 che, come precedentemente sottolineato, non sono attualmente sedi di orti (C1) o potrebbero non esserlo più (C5) a seguito del dragaggio dei fondali. Si sottolinea nuovamente che, anche in questo caso, tutte le isoterme assumono una conformazione chiaramente influenzata dai fenomeni convettivi riconducibili alle maggiori velocità della corrente in corrispondenza del canale di ingresso alla bocca Nord e alle sue due diramazioni verso Nord e verso Sud.

Per quanto riguarda i campi di moto alla bocca Nord, la condizione di scarsa velocità calcolata al minimo di marea (Figura 42) ricalca, coerentemente, quanto già osservato al massimo di marea. La corrente si fa invece decisamente più elevata nelle altre due condizioni: ben visibile è la corrente uscente associata alla marea decrescente di Figura 41 e quella entrante prodotta dalla marea crescente di Figura 43.

Diversa è la situazione in corrispondenza della bocca Sud, dove si riscontra la situazione seguente:

- una corrente uscente in marea decrescente (Figura 41), poiché l'aspirazione della centrale non è sufficiente a vincere quella di richiamo verso il largo imposta dalla marea capace, invece, di richiamare l'acqua più calda stagnante nella Sacca; la corrente indotta dalla presa della centrale, ridotta rispetto allo scenario precedente (si è passati dall'aspirazione di tutti i tre gruppi per una portata totale di 75 m<sup>3</sup>/s, a quella di soli due gruppi per un totale di 50 m<sup>3</sup>/s) non risulta più in grado di richiamare a sua volta acqua calda dalla Sacca, come si era osservato in precedenza per lo scenario 1; il richiamo di acqua calda dalla Sacca al canale di presa a mare è comunque presente (anche se ridotto rispetto allo scenario 1) ai canali esistenti tra le nuove barene dell'area Ovest della Sacca (che di fatto prolungano la sponda Est del canale di presa a mare).

- una corrente nuovamente entrante, dopo sole cinque ore, al raggiungimento del minimo di marea (Figura 42); tale corrente è generata esclusivamente dall'aspirazione della centrale attraverso il canale di presa a mare, che trascina l'acqua più calda e praticamente ferma presente nell'area Sud della Sacca; si osservi che nel presente scenario è l'isoterma dei 28 °C. e non quella dei 29 °C come nello scenario 1, che aggira su entrambi i lati la velma sommersa presente in quel punto;
- dopo altre tre ore, una nuova corrente attraversa la bocca in entrata con particolare intensità poiché frutto della sovrapposizione dell'aspirazione della centrale e della spinta imposta dalla marea crescente (Figura 43); l'intensità della corrente non è comunque tale da richiamare all'interno della Sacca l'acqua più calda proveniente dallo scarico a Nord che si allarga ad una distanza dalla Bocca Sud superiore a quella che ne potrebbe produrre l'aspirazione.

La Figura 44 e la Figura 45 mostrano infine l'andamento della salinità superficiale per le due fasi di marea crescente e decrescente appena descritte dal punto di vista termico. La situazione è quella calcolata in prossimità delle foci del canale di scarico a mare e della Busa di Scirocco. La salinità è, insieme alla temperatura e a numerosi altri parametri ambientali, uno dei fattori indicati dalla bibliografia specifica (Rif. 4) come particolarmente critici per l'attività di venericoltura. La suddetta bibliografia segnala come limiti vitali 13-50 ppm e come limiti ottimali 25-35 ppm. Le figure mostrano l'effetto di contenimento del flusso di acqua dolce, naturalmente in uscita dalla Busa, ad opera della corrente dello scarico a mare, che in entrambe le condizioni di marea impedisce all'acqua dolce di raggiungere la bocca Nord anche nell'assetto misto della centrale simulato nel presente scenario.

Si segnala, infine, che l'incremento termico medio sull'arco a 1000 m dal punto di scarico a mare calcolato con riferimento all'intera durata della simulazione è risultato pari a 2.3 °C dunque inferiore ai vigenti limiti (secondo quanto descritto al paragrafo 5.2.1). La simulazione, inoltre, ha evidenziato valori nulli di ricircolo alla presa a mare.

Anche le verifiche eseguite in fiume (come descritto al paragrafo 5.2.2) con riferimento alla vigente legislazione hanno avuto esito positivo: per l'intera simulazione il confronto tra le temperature a monte e a valle dello scarico caldo ha mostrato incrementi termici ampiamente inferiori ai limiti di 3 °C e di 1 °C, rispettivamente vigenti per l'intera sezione e per la semisezione, con riferimento alle sezioni di verifica precedentemente indicate.

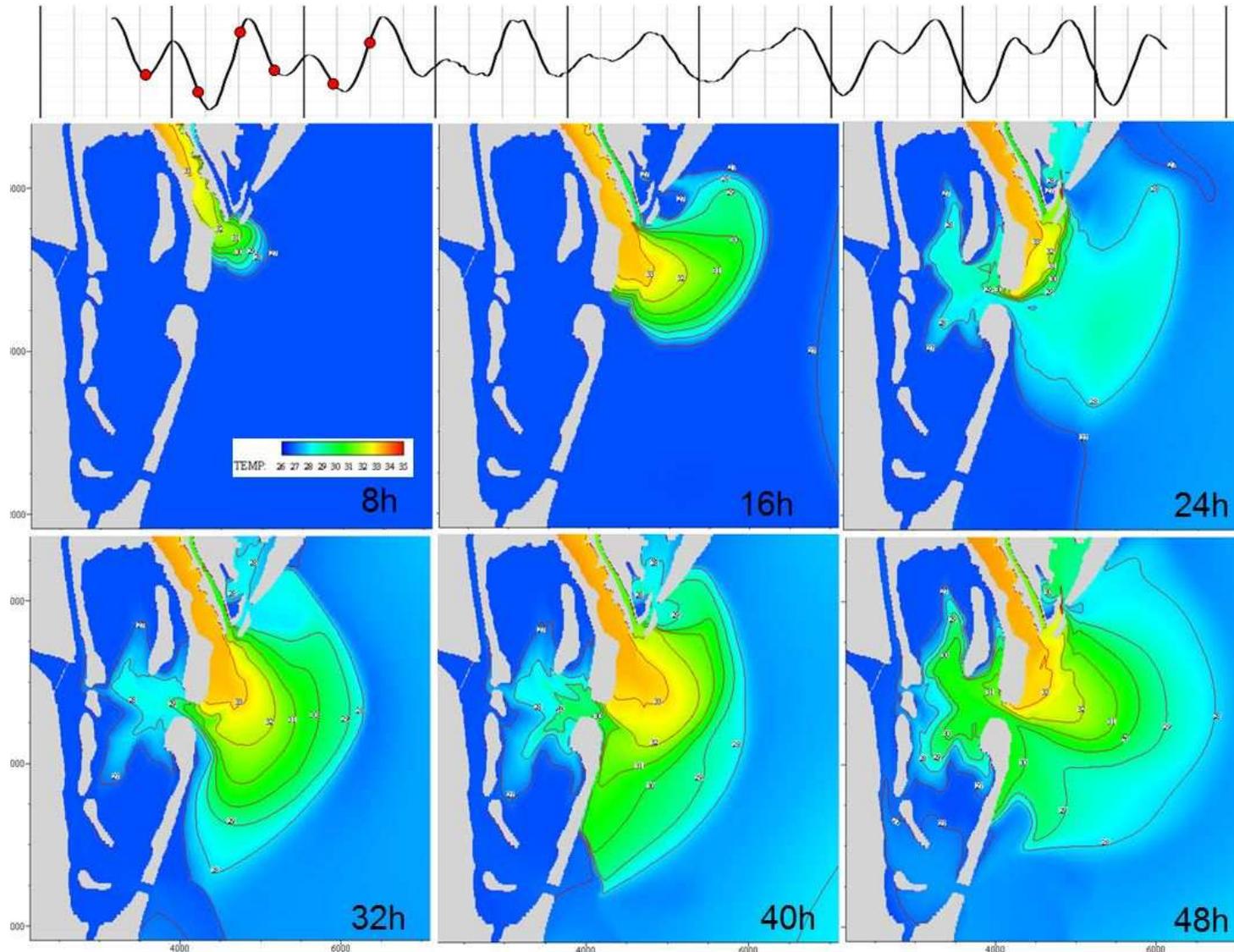


Figura 39 Scenario\_2 (estivo assetto MISTO)\_Transitorio di inizializzazione. Dislocazione superficiale durante le prime 48 ore

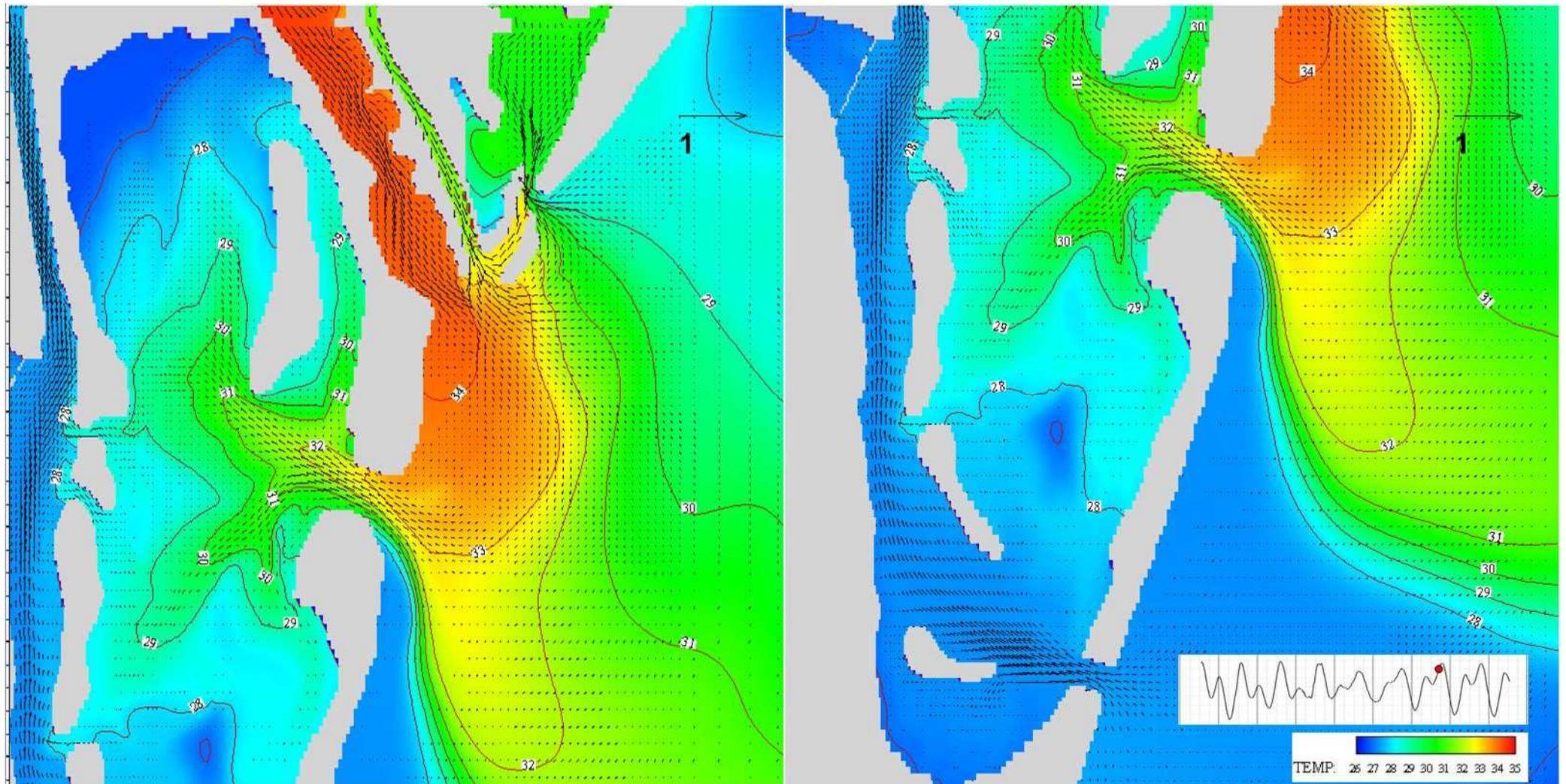


Figura 40 Scenario\_2 (estivo assetto MISTO)\_Transitorio ciclico a regime. Situazione di alta marea. Condizione di massima perturbazione termica superficiale (rispetto all'intera durata della simulazione) calcolata in Sacca del Canarin (150° ora). Bocca Nord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

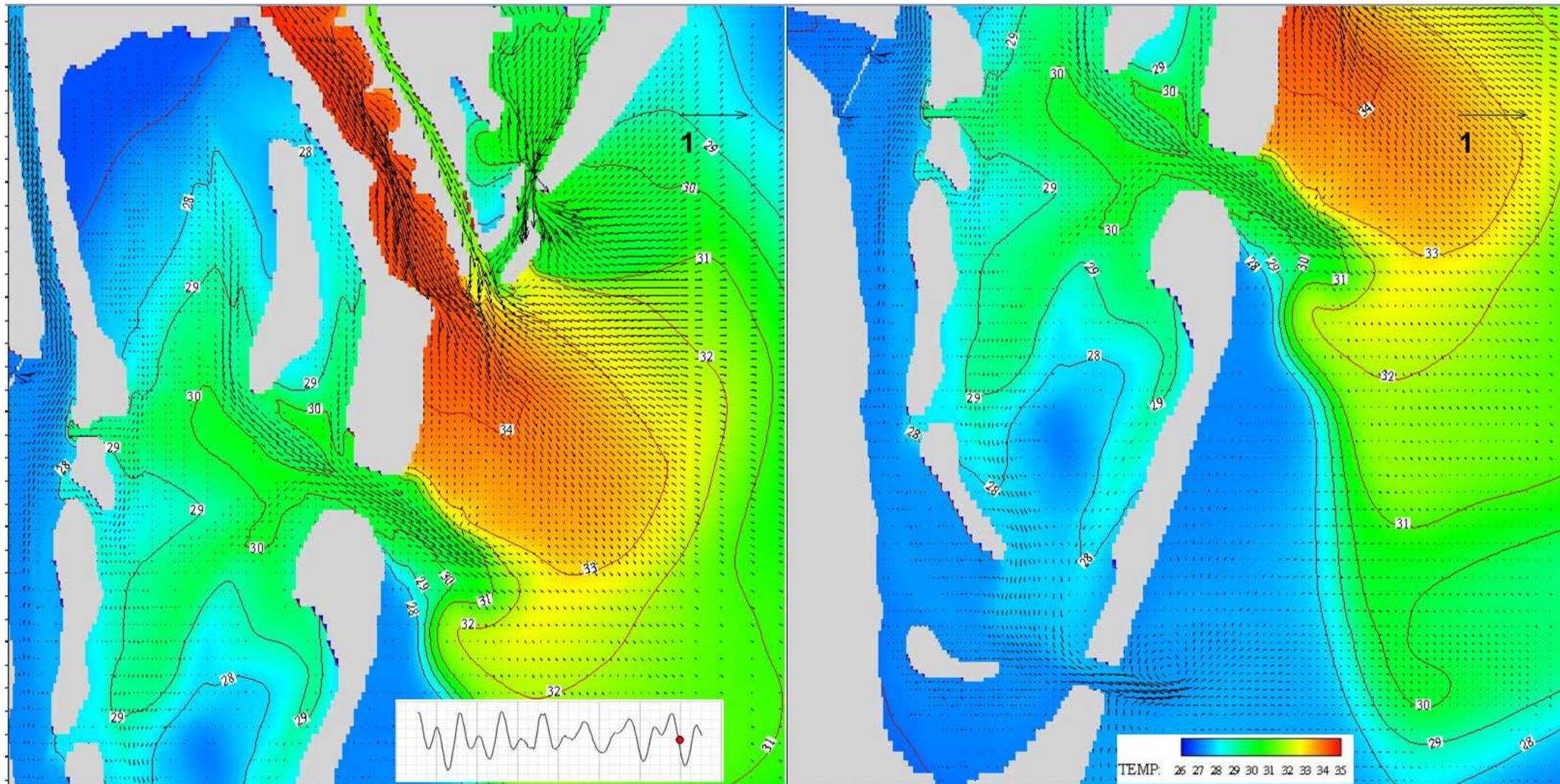


Figura 41 Scenario\_2 (estivo assetto MISTO)\_Transitorio ciclico a regime. Condizioni di perturbazione termica calcolata in Sacca del Canarin in situazione di marea decrescente (178° ora). Bocca Nord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

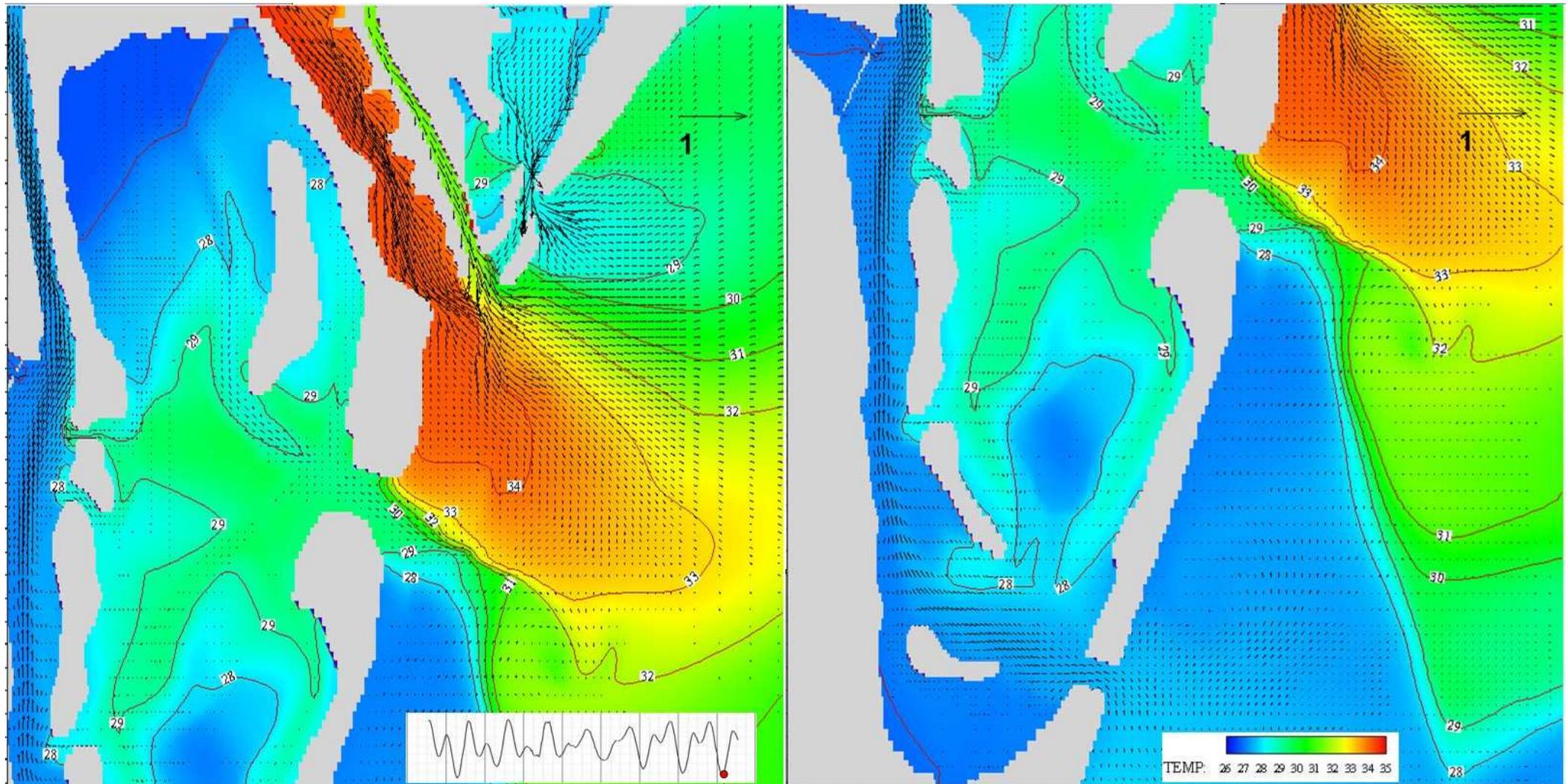


Figura 42 Scenario\_2 (estivo assetto MISTO)\_Transitorio ciclico a regime. Condizione di perturbazione termica calcolata in Sacca del Canarin in situazione di marea minima (183°ora). Bocca Nord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

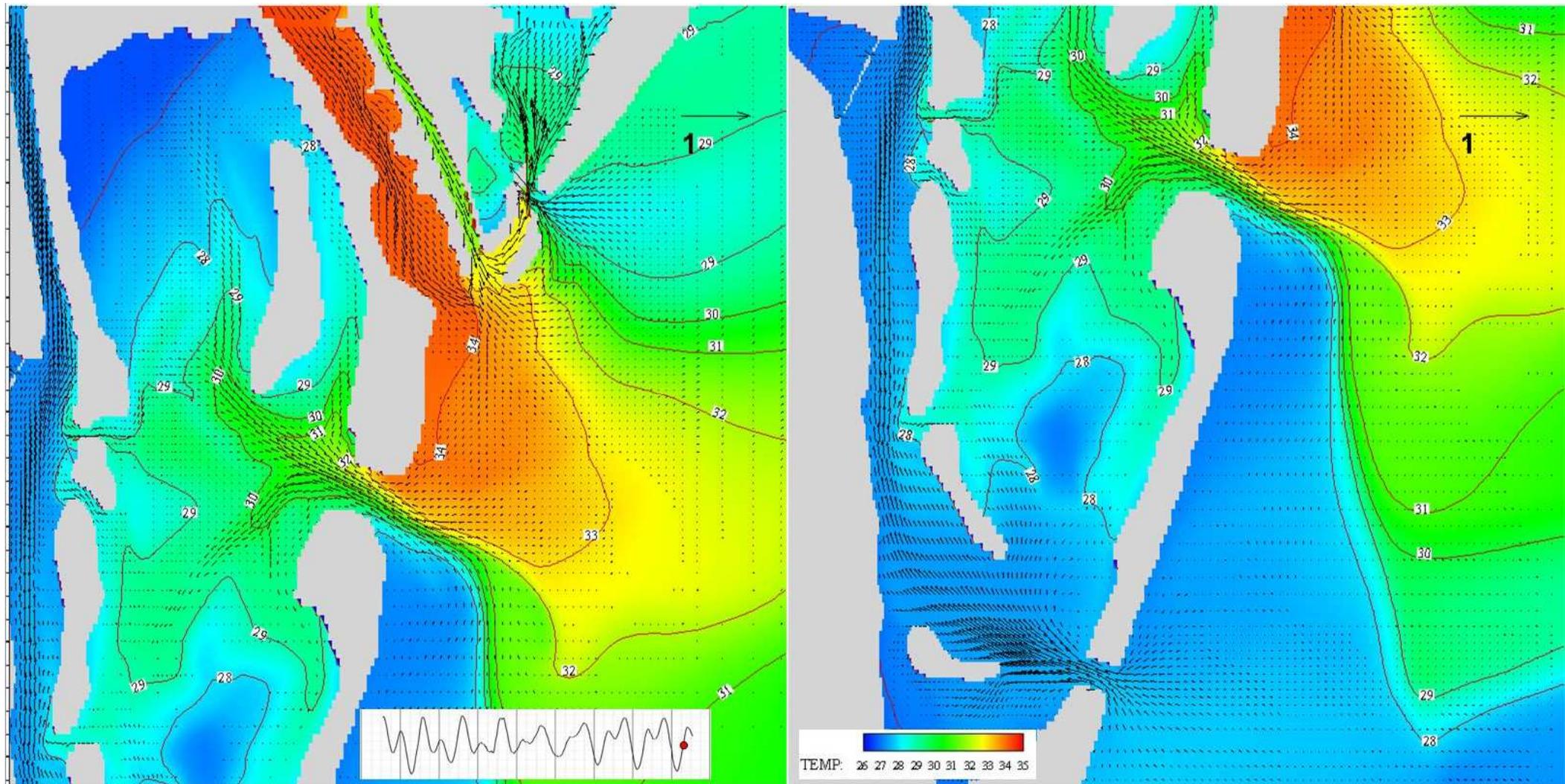


Figura 43 Scenario\_2 (estivo assetto MISTO)\_Transitorio ciclico a regime. Condizioni di perturbazione termica calcolata in Sacca del Canarin in situazione di marea crescente (186° ora). Bocca Nord a sx e Bocche Nord e Sud a dx.

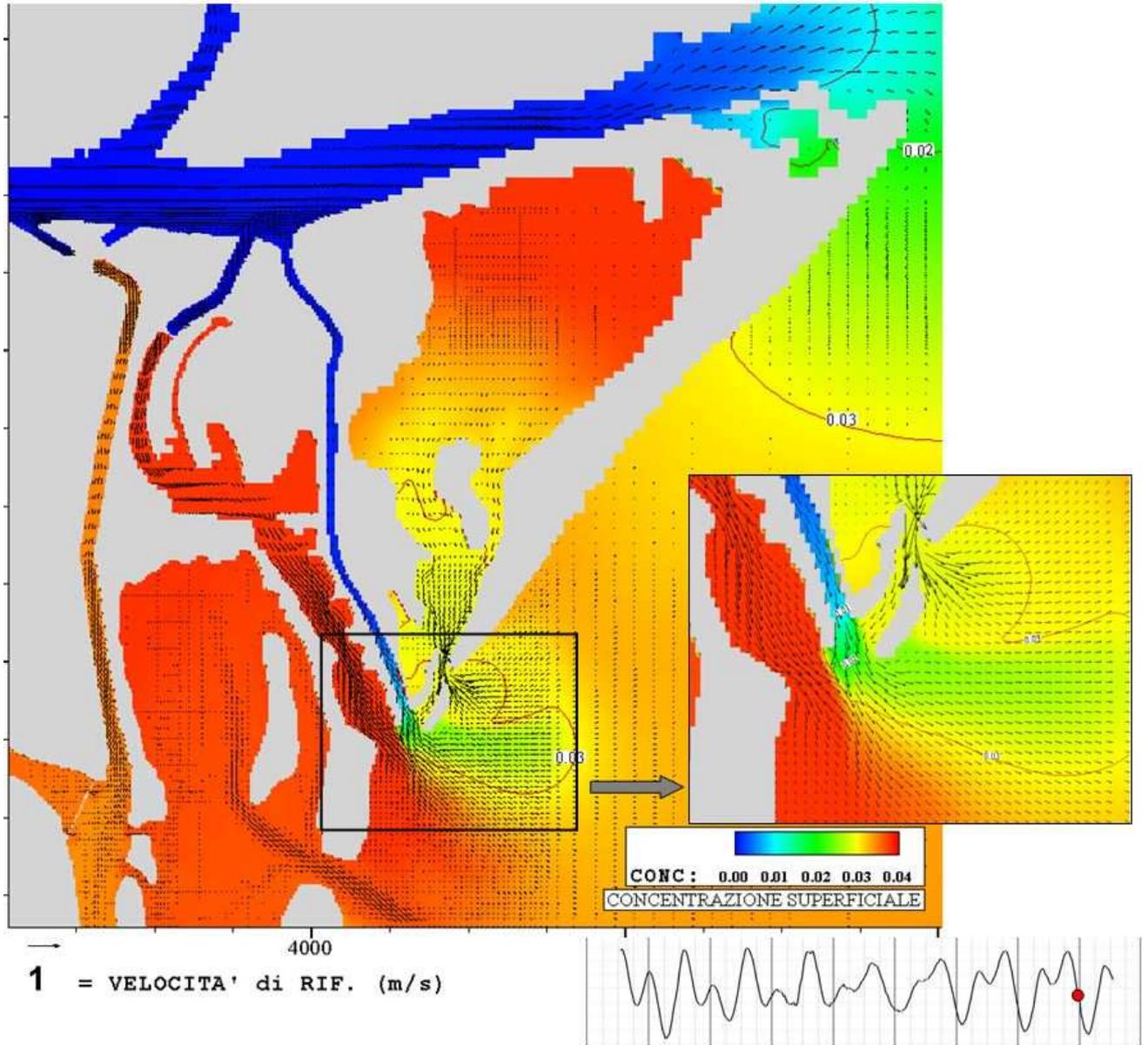


Figura 44 Scenario\_2 (estivo assetto MISTO)\_Transitorio ciclico a regime. Campo di moto e della concentrazione superficiale calcolati in condizione di marea decrescente (178° ora). In dettaglio, l'interferenza tra i flussi in uscita dallo scarico a mare (acqua salata, colore rosso) e dalla Busa di Scirocco (acqua dolce, colore variabile blu-verde).

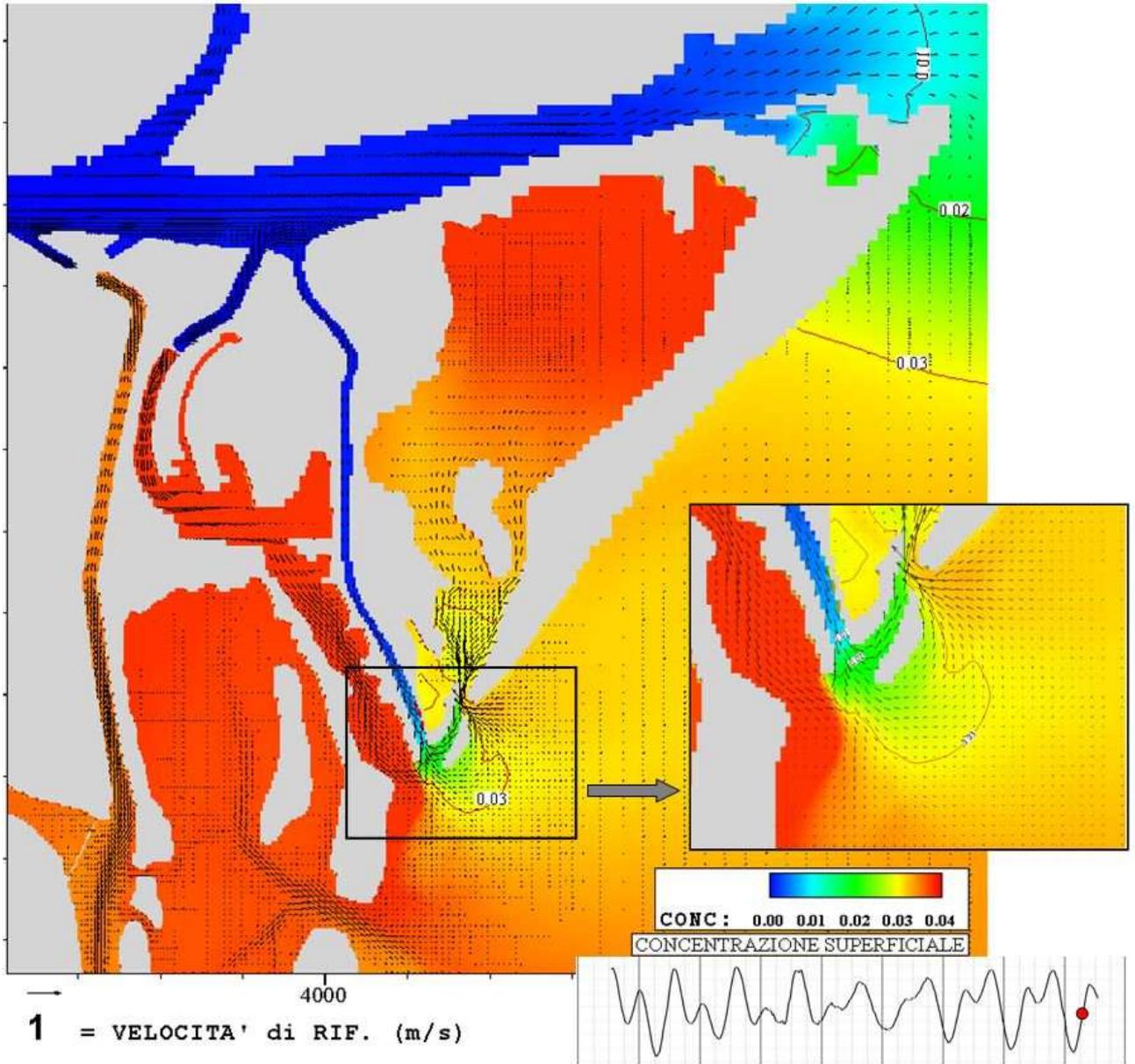


Figura 45 Scenario\_2 (estivo assetto MISTO)\_Transitorio ciclico a regime. Campo di moto e della concentrazione superficiale calcolati in condizione di marea crescente (186°ora). In dettaglio, l'interferenza tra i flussi in uscita dallo scarico a mare (acqua salata, colore rosso) e dalla Busa di Scirocco (acqua dolce, colore variabile blu-verde).

#### 5.4.4 Scenario n° 3: estivo in assetto fiume - fiume

Le caratteristiche dello *scenario 3*, riportate nella precedente Tabella 2, sono qui di seguito riassunte relativamente a:

1. *configurazione della Sacca del Canarin:*
  - futura, vale a dire vivificata
2. *assetto d'impianto:*
  - funzionamento a pieno carico dei 3 gruppi nell'assetto a carbone,
  - assetto fiume - fiume: 3 gruppi FF (fiume-fiume) con  $Q_{AC} = 75$  mc/s,
  - $\Delta$  termico agli scarichi pari a 7 °C.
3. *parametri ambientali:*
  - $T_{indisturbata} = 26.7$  °C assunta come temperatura iniziale costante sull'intero dominio (si veda il capitolo 3.5.2);
  - corrente marina da NE verso SO, con temperatura variabile nel tempo; corrente fluviale indotta da una portata del Po a Pontelagoscuro pari a 460 mc/s anch'essa caratterizzata da una temperatura variabile nel tempo (si vedano i capitoli 3.5.1, 3.5.2 e 4.2)
  - oscillazioni di marea secondo quanto registrato nell'estate 2010 (si veda il capitolo 3.5.3)
  - condizione estiva caratterizzata da calma di vento (si veda il capitolo 3.5.4).

La condizione simulata nel presente scenario riproduce un assetto, quello fiume – fiume, che potrebbe perturbare termicamente l'area della Sacca del Canarin solo a seguito del potenziale ricircolo di acqua calda proveniente dalla foce della Busa di Scirocco. La portata di raffreddamento necessaria alla centrale, infatti, viene aspirata per intero dal fiume Po in sponda destra e ad esso restituita ad una distanza di circa 1500 m dal punto di presa, sempre in sponda destra.

La Figura 46 mostra l'evolversi della dislocazione del pennacchio caldo durante il transitorio di inizializzazione nei medesimi sei istanti temporali utilizzati per i precedenti scenari. Il transitorio di inizializzazione è da considerarsi esaurito entro le 48 ore come mostrano le dislocazioni della perturbazione in Sacca. Il confronto con le corrispondenti figure degli scenari 1 e 2 evidenzia la forte riduzione della perturbazione in assetto fiume – fiume, vale a dire in totale assenza di scarico a mare.

La successiva Figura 47 illustra in particolare la dislocazione della perturbazione termica alla 48° ora allargando l'area visualizzata. La fotografia della situazione termica (e dinamica per il solo zoom in corrispondenza della Sacca di Canarin contenuto nell'immagine più a destra) illustrata nella figura evidenzia la condizione quasi al termine di una fase di marea crescente; si osservi, in particolare, come lo scarico caldo restituito al fiume è mantenuto adiacente alla sponda destra di rilascio dalla esistente corrente ambientale. Nel percorso in Po è poi parzialmente deviato in Busa di Scirocco alla cui foce è chiaramente visibile la spinta esercitata dalla marea crescente a livello superficiale. Peraltro l'intrusione di acqua salata più fresca sospinta dalla corrente di marea verso la costa è riscontrabile a tutti i livelli (Figura 48) ed appare in crescita avvicinandosi al fondo del canale, dove la corrente primaria in discesa dal Po di Pila, rallentata dal fondale stesso è vinta da quella entrante di marea. La medesima corrente di marea è anche responsabile della deviazione dello scarico caldo ai lati della foce, verso l'interno del canale di scarico a mare e verso la laguna di Basson, rispettivamente in sponda destra e sinistra alla Busa di Scirocco.

La massima perturbazione calcolata in Sacca ha interessato esclusivamente l'imbocco del canale dragato alla Bocca Nord ed è risultata compresa tra i 28 e i 29 °C. La Figura 49 mostra l'evoluzione di crescita della marea compresa tra la 67 e la 71° ora che ha portato alla massima penetrazione dell'isoterma dei 28 C osservata in Sacca durante l'intera simulazione. Si segnala, infine, che le verifiche eseguite in fiume (come descritto al paragrafo 5.2.2) con riferimento alla vigente legislazione hanno avuto esito positivo: per l'intera simulazione il confronto tra le temperature a monte e a valle dello scarico caldo ha mostrato incrementi termici ampiamente inferiori ai limiti di 3 °C e di 1 °C, rispettivamente vigenti per l'intera sezione e per la semisezione, con riferimento alle sezioni di verifica precedentemente indicate.

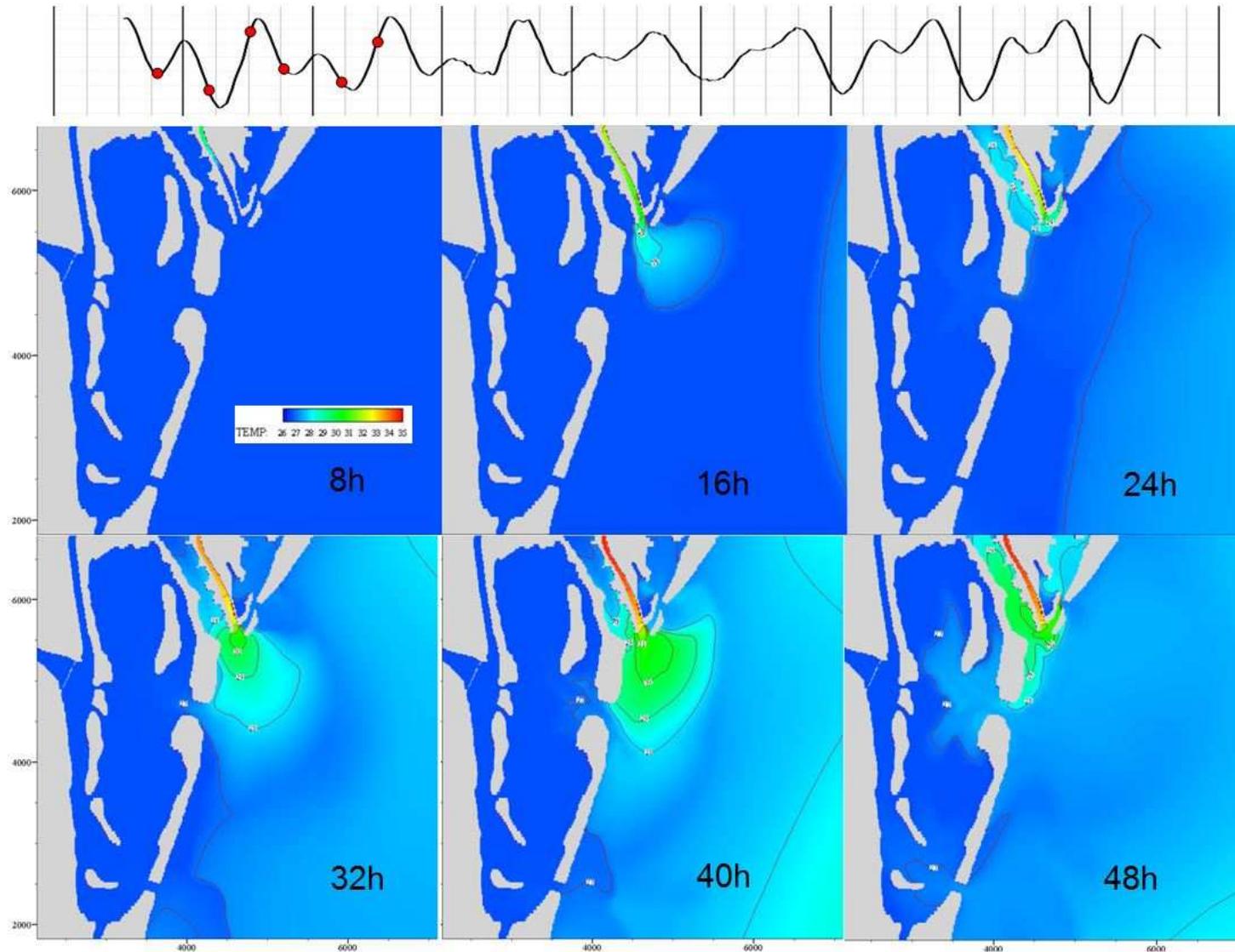


Figura 46 Scenario\_3 (estivo assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio di inizializzazione. Dislocazione superficiale durante le prime 48 ore

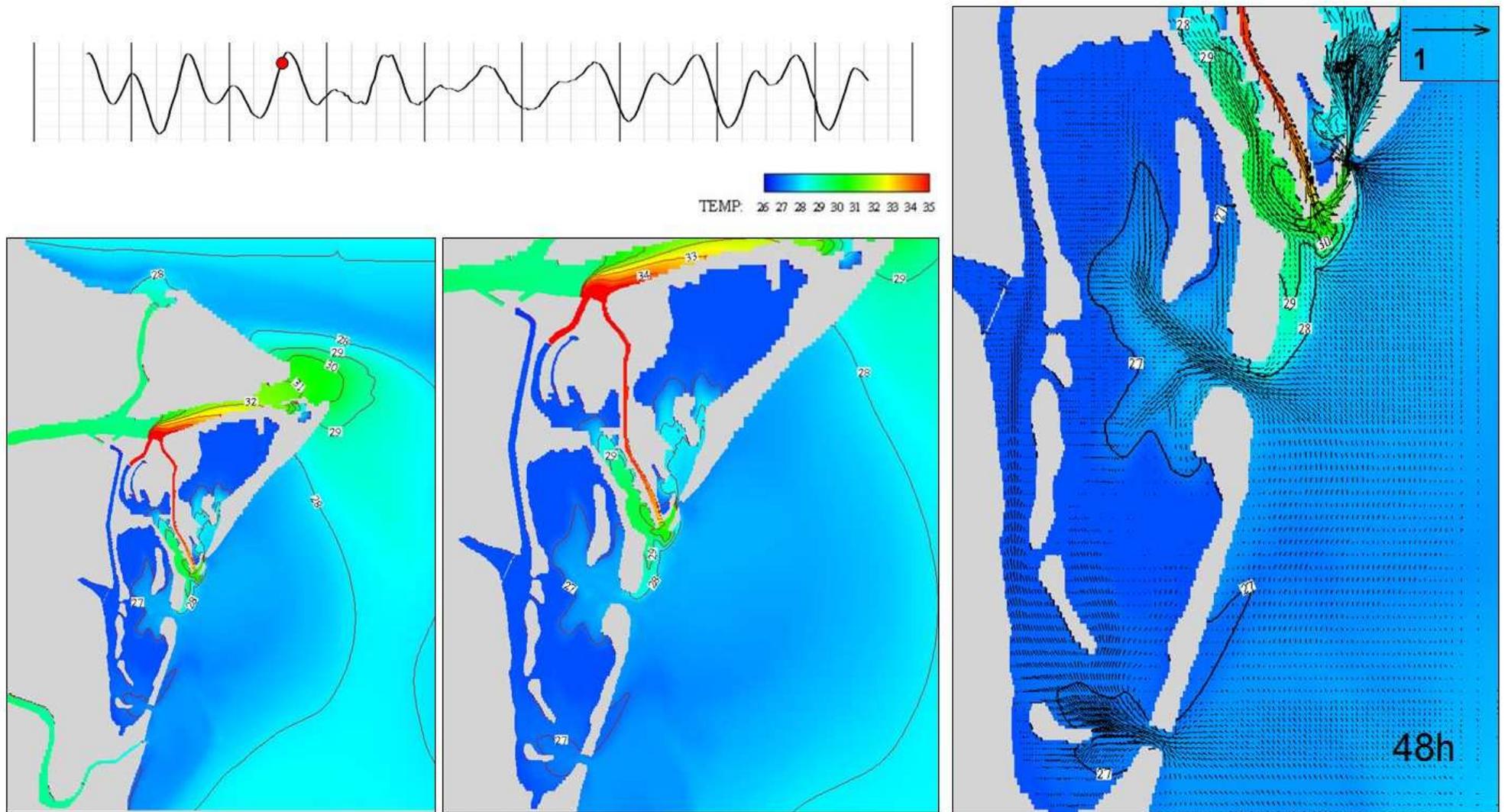


Figura 47 Scenario\_3 (estivo assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio di inizializzazione. Dislocazione superficiale alla 48\_esima ora.

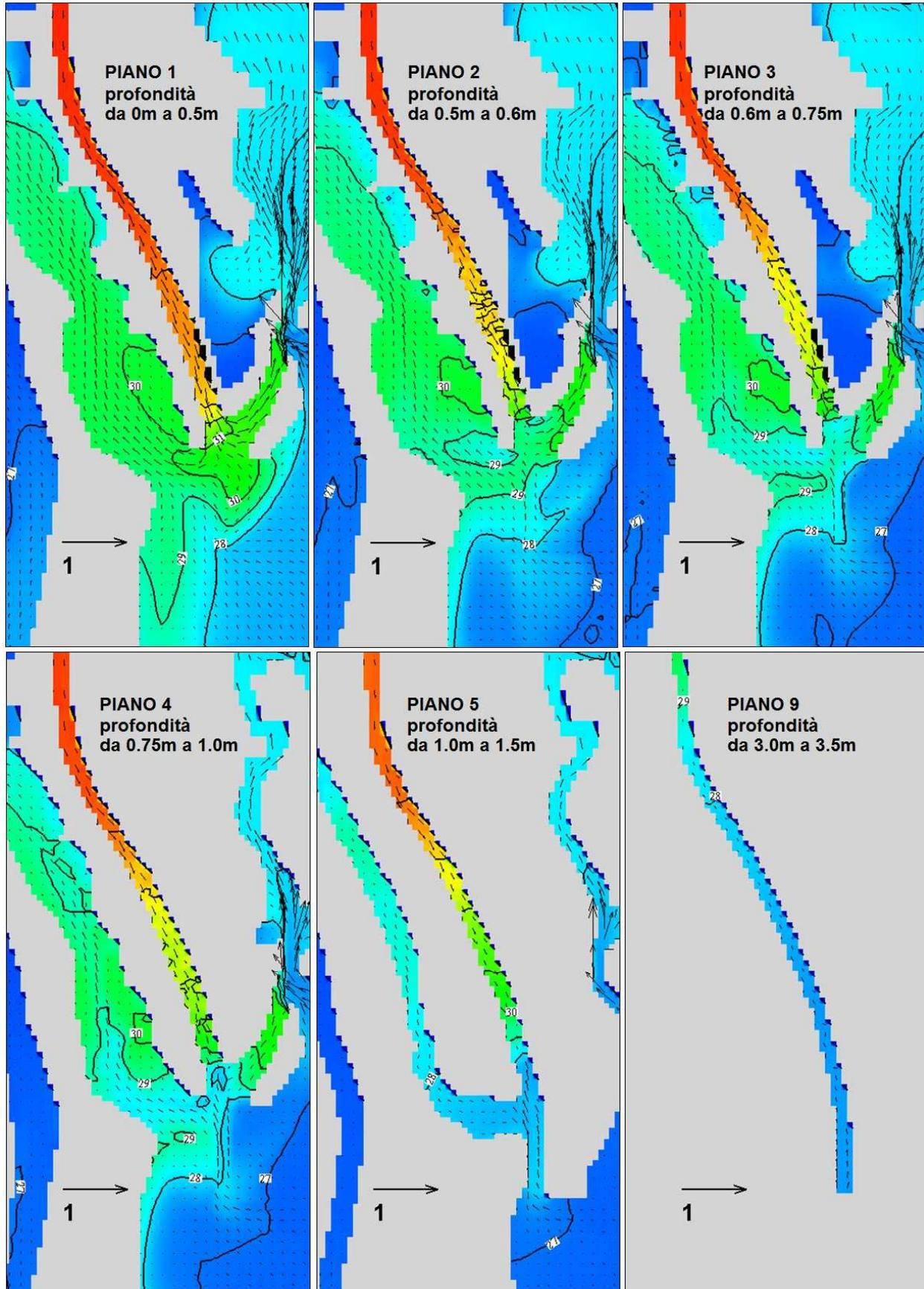


Figura 48 Scenario\_3 (estivo assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio di inizializzazione (48° ora). Campi termici e dinamici in superficie e in profondità in corrispondenza della foce della Busa di Scirocco

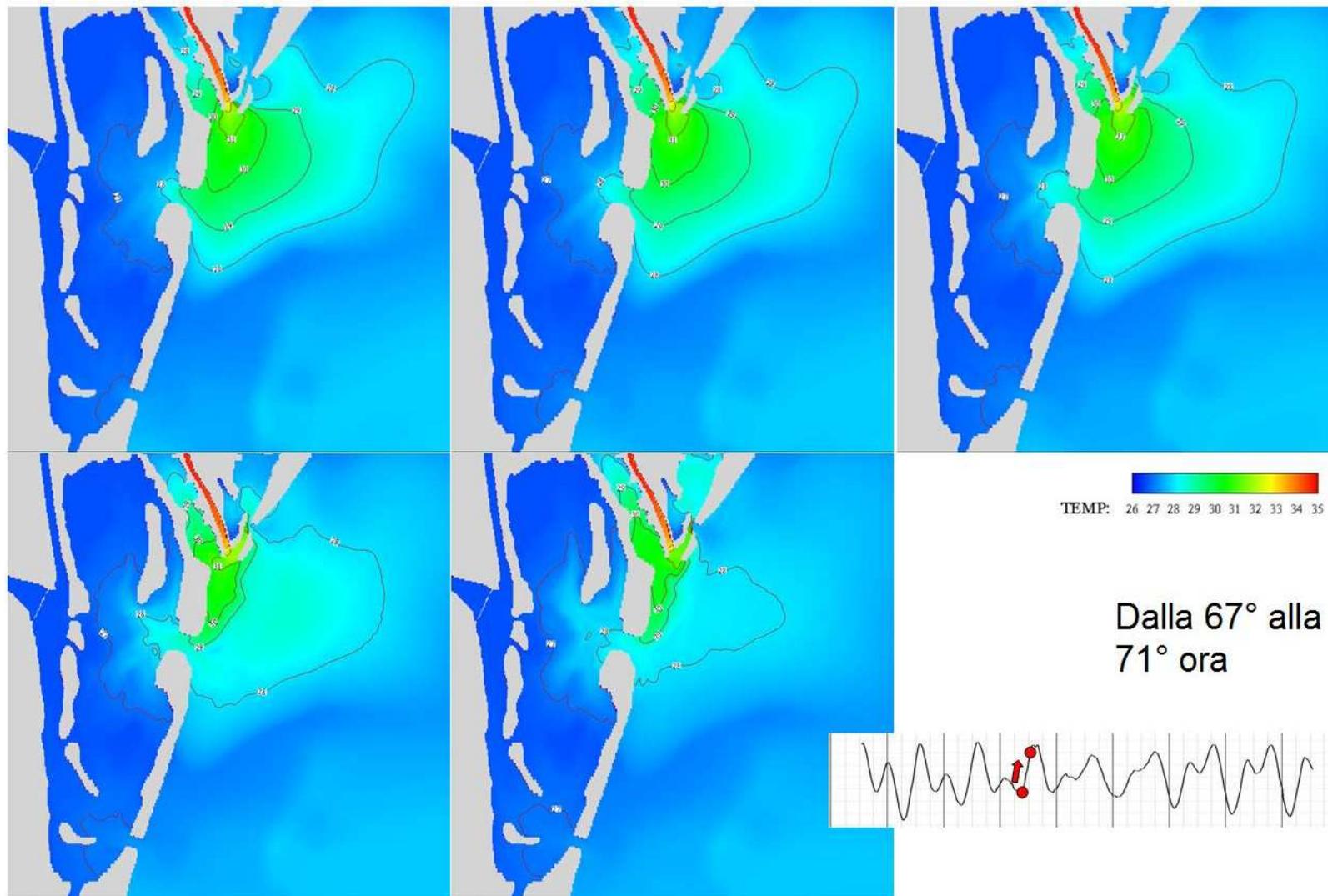


Figura 49 Scenario\_3 (estivo assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio ciclico a regime. Dislocazione superficiale tra la 67° e la 71° ora (massima perturbazione rilevata in Sacca durante l'intera simulazione).

#### 5.4.5 Scenario n° 4: invernale in assetto fiume - fiume

Le caratteristiche dello scenario 4, riportate nella precedente Tabella 2, sono qui di seguito riassunte relativamente a:

1. *configurazione della Sacca del Canarin:*
  - futura, vale a dire vivificata
2. *assetto d'impianto:*
  - funzionamento a pieno carico dei tre gruppi nell'assetto a carbone,
  - assetto fiume - fiume: 3 gruppi FF (fiume-fiume) con  $Q_{AC} = 75$  mc/s,
  - $\Delta$  termico agli scarichi pari a 7 °C.
3. *parametri ambientali:*
  - $T_{indisturbata} = 9.72$  °C assunta come temperatura iniziale costante sull'intero dominio (si veda il capitolo 3.5.2);
  - corrente marina da NE verso SO, con temperatura variabile nel tempo; corrente fluviale indotta da una portata del Po a Pontelagoscuro pari a 460 mc/s anch'essa caratterizzata da una temperatura variabile nel tempo (si vedano i capitoli 3.5.1, 3.5.2 e 4.2)
  - oscillazioni di marea secondo quanto registrato nell'estate 2010<sup>5</sup> (si veda il capitolo 3.5.3)
  - condizione invernale caratterizzata da calma di vento (si veda il capitolo 3.5.4).

La portate invernali in Po garantiscono generalmente la possibilità di esercire l'impianto nell'assetto fiume – fiume. A meno delle temperature ambientali, il presente scenario ricalca dunque quello precedente e simula una condizione di funzionamento che potrebbe perturbare termicamente l'area della Sacca del Canarin solo a seguito del potenziale ricircolo di acqua calda proveniente dalla foce della Busa di Scirocco. La portata di raffreddamento necessaria alla centrale viene aspirata per intero dal fiume Po in sponda destra e ad esso restituita ad una distanza di circa 1500 m dal punto di presa, sempre in sponda destra.

La Figura 50 mostra l'evolversi della dislocazione del pennacchio caldo durante il transitorio di inizializzazione nei medesimi sei istanti temporali utilizzati per i precedenti scenari. Il transitorio di inizializzazione è da considerarsi esaurito entro le 48 ore come mostrano le dislocazioni della perturbazione in Sacca. Il confronto con le corrispondenti figure degli scenari 1 e 2 evidenzia, come per lo scenario 3, la forte riduzione della perturbazione in assetto invernale fiume – fiume, vale a dire in totale assenza di scarico a mare. A parità di assetto, lo scenario invernale mostra un incremento termico massimo in Sacca di circa 1 °C rispetto alla temperatura media indisturbata (9.72 °C), a fronte di un sovrizzo termico massimo di circa 2 °C riscontrato per lo scenario estivo (n. 3). Anche per il presente scenario si conferma che l'incremento termico interessa principalmente le aree dei canali dragati in prossimità della bocca Nord e si manifesta durante le fasi di crescita della marea.

La successiva Figura 51 illustra in particolare la dislocazione della perturbazione termica alla 48° ora allargando l'area visualizzata. La fotografia della situazione termica (e dinamica per il solo zoom in corrispondenza della Sacca di Canarin contenuto nell'immagine più a destra) illustrata nella figura evidenzia la condizione quasi al termine di una fase di marea crescente; si osserva nuovamente che lo scarico caldo restituito al fiume, mantenuto adiacente alla sponda destra di rilascio dalla esistente corrente ambientale, è poi parzialmente deviato in Busa di Scirocco alla cui foce è chiaramente visibile la spinta esercitata dalla marea crescente a livello superficiale. Come nel precedente scenario l'intrusione di acqua salata più fresca sospinta dalla corrente di marea verso la costa è riscontrabile a tutti i livelli (Figura 52) ed appare in crescita avvicinandosi al fondo del canale, dove la corrente primaria in discesa dal Po di Pila,

<sup>5</sup> Come precedentemente sottolineato il transitorio di marea registrato nel sito durante la campagna estiva 2010 è stato riprodotto anche per lo scenario invernale. Si è cioè privilegiata l'utilità di un rilievo sito – specifico a discapito dell'effettiva stagionalità dello stesso, in ciò confortati, peraltro, dalla consapevolezza che i cicli delle alte e basse maree estive ed invernali presentano le medesime caratteristiche generali illustrate nel capitolo dedicato (3.5.3)

rallentata dal fondale stesso è vinta da quella entrante di marea. La medesima corrente di marea è anche responsabile della deviazione dello scarico caldo ai lati della foce, verso l'interno del canale di scarico a mare e verso la laguna di Basson, rispettivamente in sponda destra e sinistra alla Busa di Scirocco.

La massima perturbazione calcolata in Sacca ha interessato principalmente i rami della rete di canali dragati che si innestano su quello in ingresso attraverso la Bocca Nord ed è risultata compresa tra i 10 e gli 11 °C. La Figura 53 mostra l'evoluzione di crescita della marea compresa tra la 68 e la 73° ora che ha portato alla massima penetrazione dell'isoterma dei 10 C osservata in Sacca durante l'intera simulazione. Analoghe estensioni hanno comunque caratterizzato altre fasi di marea crescente tra le diverse simulate, durante le quali non si è peraltro mai osservata la penetrazione in Sacca dell'isoterma degli 11 °C, che è arrivata solo a lambire la costa immediatamente a Nord della Bocca come illustrato in Figura 53.

Così come per il precedente scenario la Bocca Sud aperta per il progetto di vivificazione non è mai interessata dall'ingresso di acqua più calda proveniente dal ricircolo in Busa di Scirocco dello scarico a fiume della centrale.

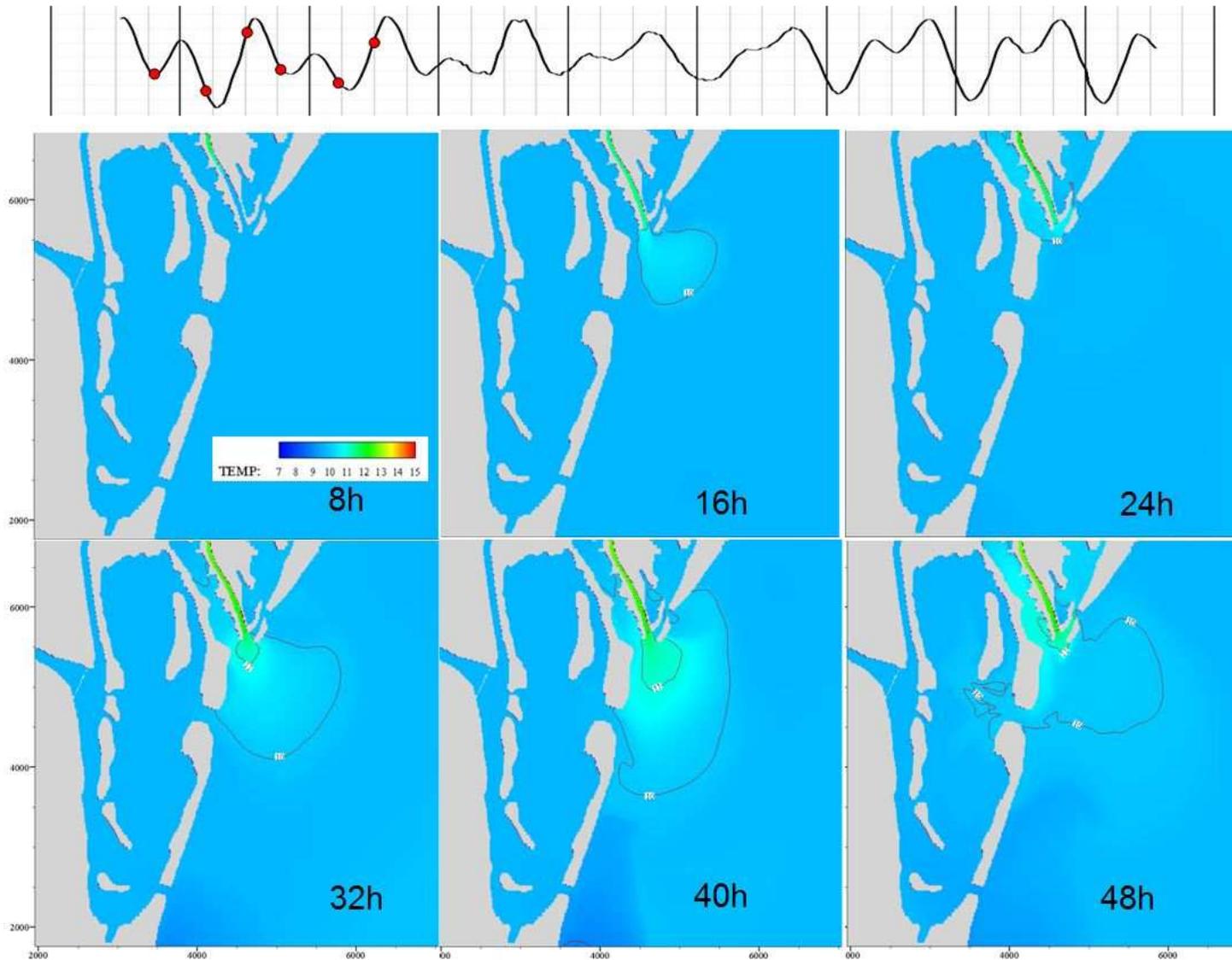


Figura 50 Scenario\_4 (invernale assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio di inizializzazione. Dislocazione superficiale durante le prime 48 ore

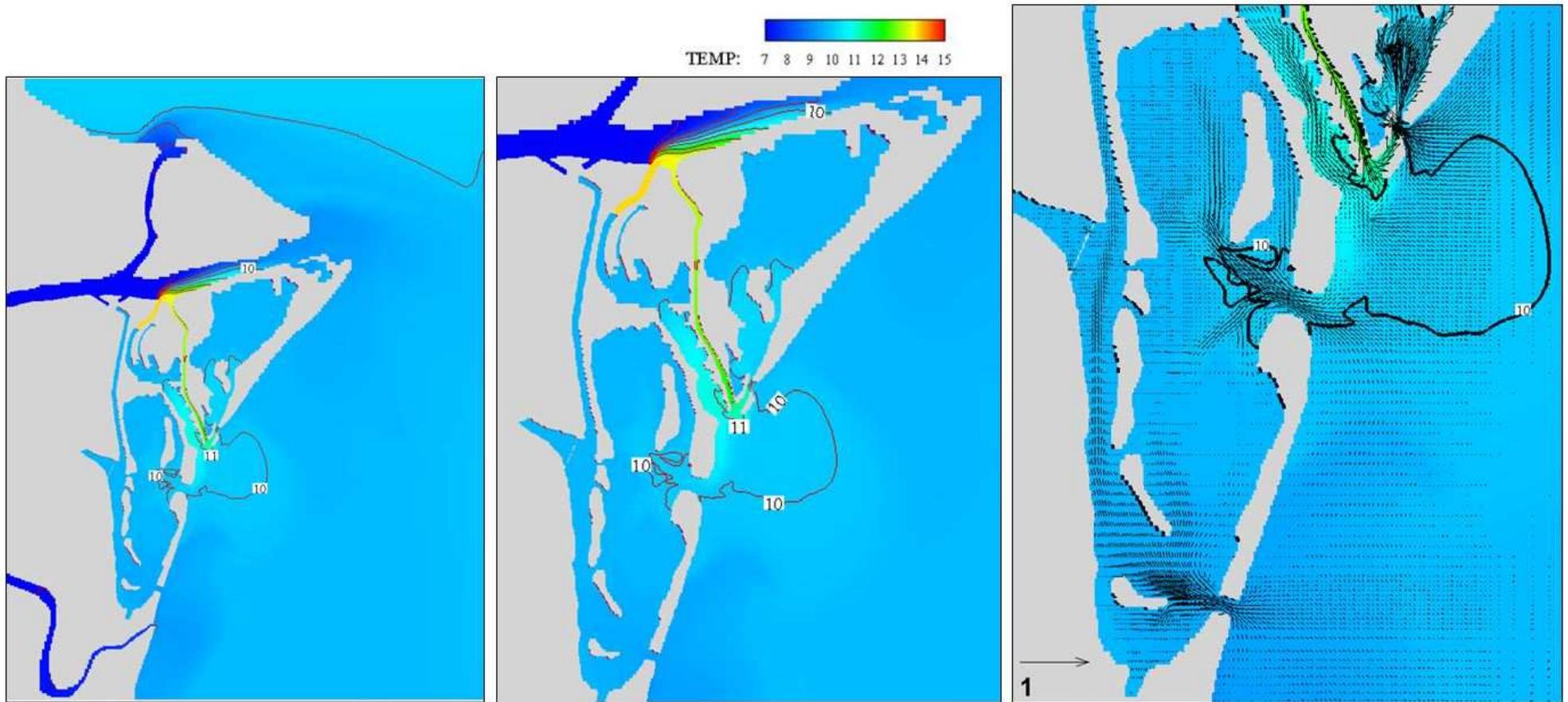
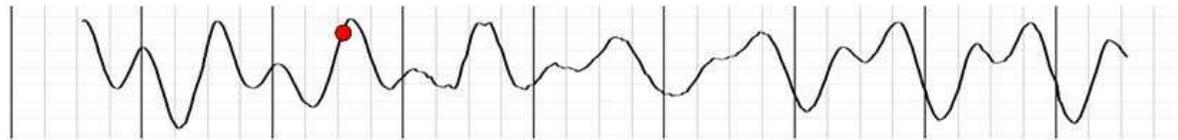


Figura 51 Scenario\_4 (invernale assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio di inizializzazione. Dislocazione superficiale alla 48\_esima ora.

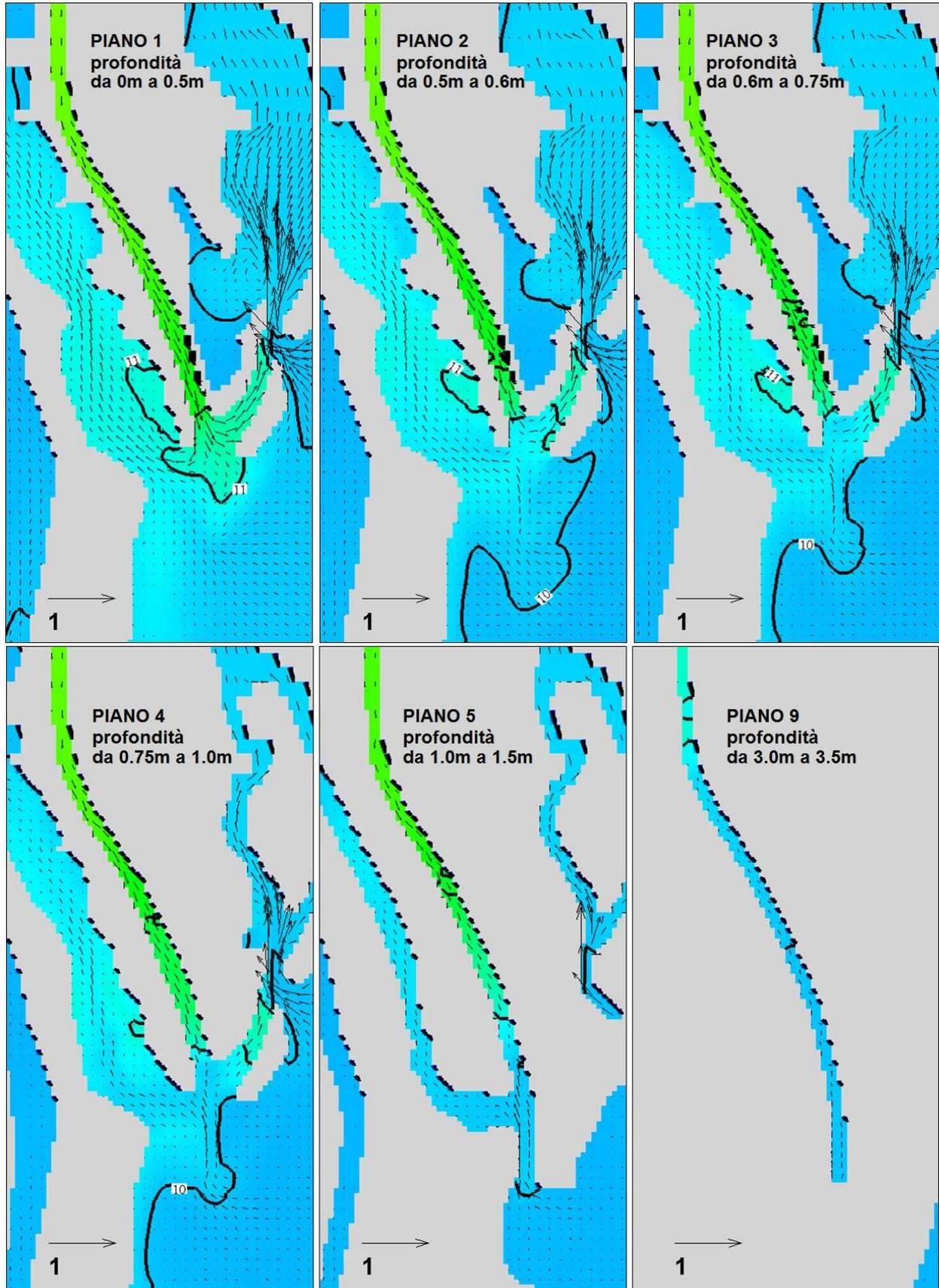


Figura 52 Scenario\_4 (invernale assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio di inizializzazione (48° ora). Campi termici e dinamici in superficie e in profondità in corrispondenza della foce della Busa di Scirocco

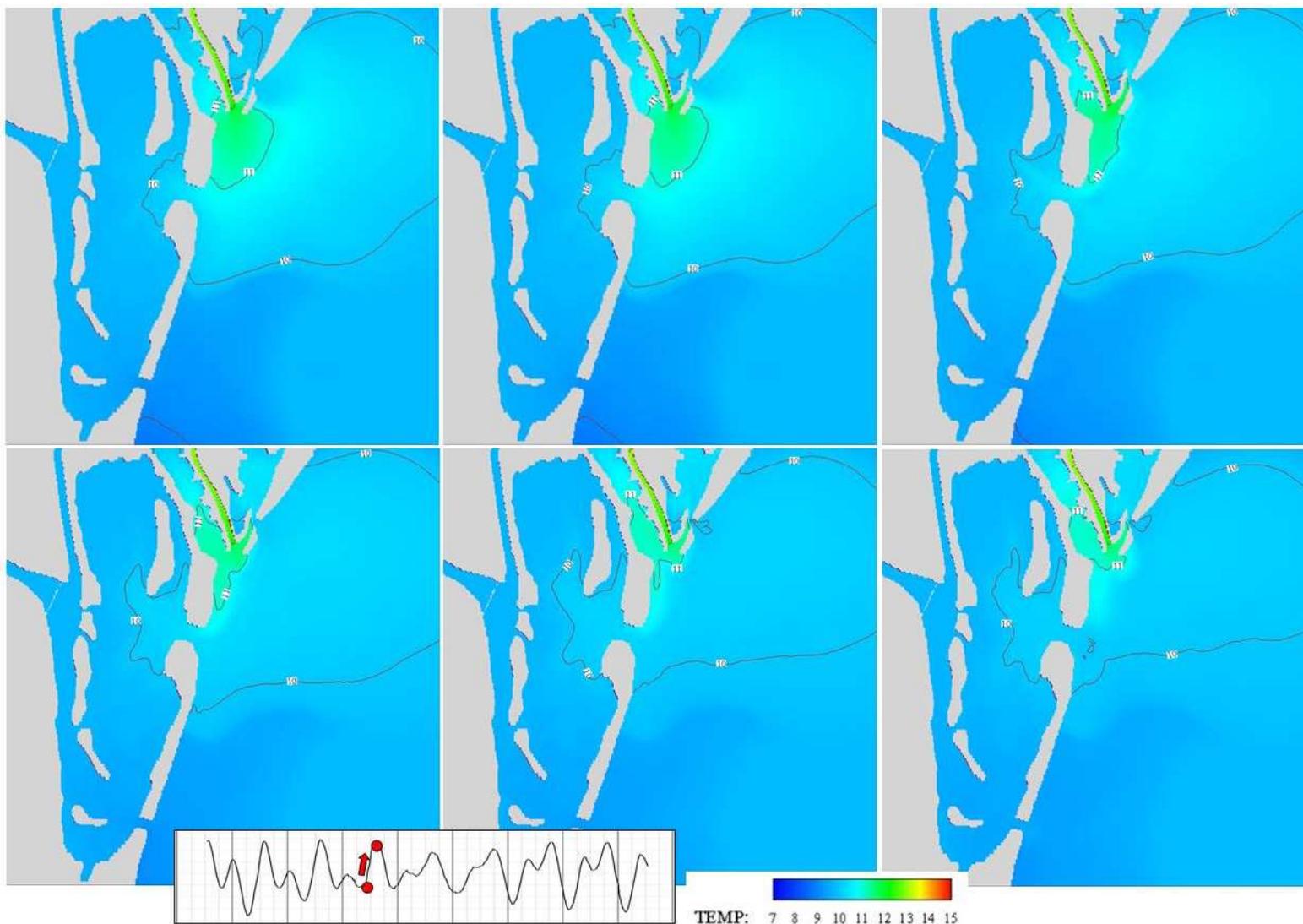


Figura 53 Scenario\_4 (invernale assetto FIUME-FIUME)\_Transitorio ciclico a regime. Dislocazione superficiale tra la 68° e la 73° ora (massima perturbazione rilevata in Sacca durante l'intera simulazione).

#### 5.4.6 *Influenza del funzionamento della centrale sull'attività di venericoltura*

##### 5.4.6.1 *Premessa*

Nell'ambito della verifica delle temperature massime raggiunte in Sacca del Canarin con riguardo all'impatto sugli orti di vongole, si è fatto riferimento alla diffusione in Sacca di acqua di raffreddamento a temperatura pari o superiore a quella ritenuta critica per l'attività di venericoltura. Stando a quanto contenuto in Rif. 4, la temperatura di 31 °C è da considerare quale "limite vitale" per la coltivazione della vongola verace filippina.

La procedura seguita per la suddetta verifica è consistita:

1. nella iniziale selezione delle ipotetiche future aree dedicabili all'attività di venericoltura nel nuovo assetto topo-batimetrico che assumerà la Sacca del Canarin a valle della realizzazione del progetto di vivificazione della stessa;
2. nella analisi, puntuale e continuata per l'intera durata della simulazione, delle temperature massime raggiunte in corrispondenza di tali aree.

La procedura è stata applicata al più critico degli scenari precedentemente descritti, vale a dire lo scenario n° 1 che riproduce il funzionamento a pieno carico della centrale in assetto mare – mare in condizioni estive.

##### 5.4.6.2 *Influenza sugli orti di vongole ipotizzabili in Sacca nella futura configurazione vivificata*

L'attuale dislocazione in Sacca delle aree di ingrasso delle vongole è riportata nella seguente Figura 54; complessivamente l'area attualmente interessata dall'attività è pari a circa 92 ha. La stima deriva dalle indicazioni fornite dal documento di cui al Rif. 3.

La realizzazione del progetto di vivificazione (Figura 3) che prevede, come precedentemente descritto, il ripristino di una bocca a Sud, il dragaggio di canali interni e il rialzo di barene e velme, implicherà necessariamente la parziale ricollocazione degli orti di vongole.

Al fine di individuare una ipotetica futura collocazione degli orti che, oltre ad adattarsi al nuovo assetto topo-batimetrico in Sacca, fosse anche tale da consentire un confronto con la situazione attuale, ci si è attenuti a due semplici criteri: da un lato che l'area complessivamente dedicata alla coltivazione si mantenesse, a Nord e a Sud, entro i limiti degli attuali orti; dall'altro che, all'interno di tali confini, la coltivazione avvenisse esclusivamente nelle aree caratterizzate da fondali compresi tra 0.5 m e 1 m di profondità. Il primo limite di 0.5 m scaturisce dalla necessità di non considerare le aree che potrebbero scoprirsi troppo frequentemente a causa della marea (secondo quanto riportato in Rif. 4, il tempo di permanenza fuori dall'acqua in rapporto alla marea è una delle variabili da considerare per la valutazione di un sito da adibire a venericoltura), mentre il limite di 1 m deriva dalla semplice considerazione di limitare la profondità massima ad un valore che consenta ai pescatori di lavorare con una certa comodità<sup>6</sup>.

Individuati, dunque, i limiti Nord e Sud degli orti attuali, all'andamento batimetrico rilevato in Sacca si è sovrapposta la futura batimetria prevista dal progetto di vivificazione. La Figura 55 illustra il risultato della sovrapposizione e mostra, in giallo, le aree che, secondo le ipotesi qui sopra descritte, potrebbero essere dedicate in futuro alla venericoltura. E' chiaro che i criteri di scelta sono stati tali da consentire di classificare come 'coltivabile' solo una parte della Sacca, come reso evidente dall'immagine in alto a destra della figura.

---

<sup>6</sup> La profondità di circa 1 m come limite massimo deriva anche da comunicazioni informali con i pescatori avvenute durante i periodici monitoraggi termici eseguiti in sacca da CESI

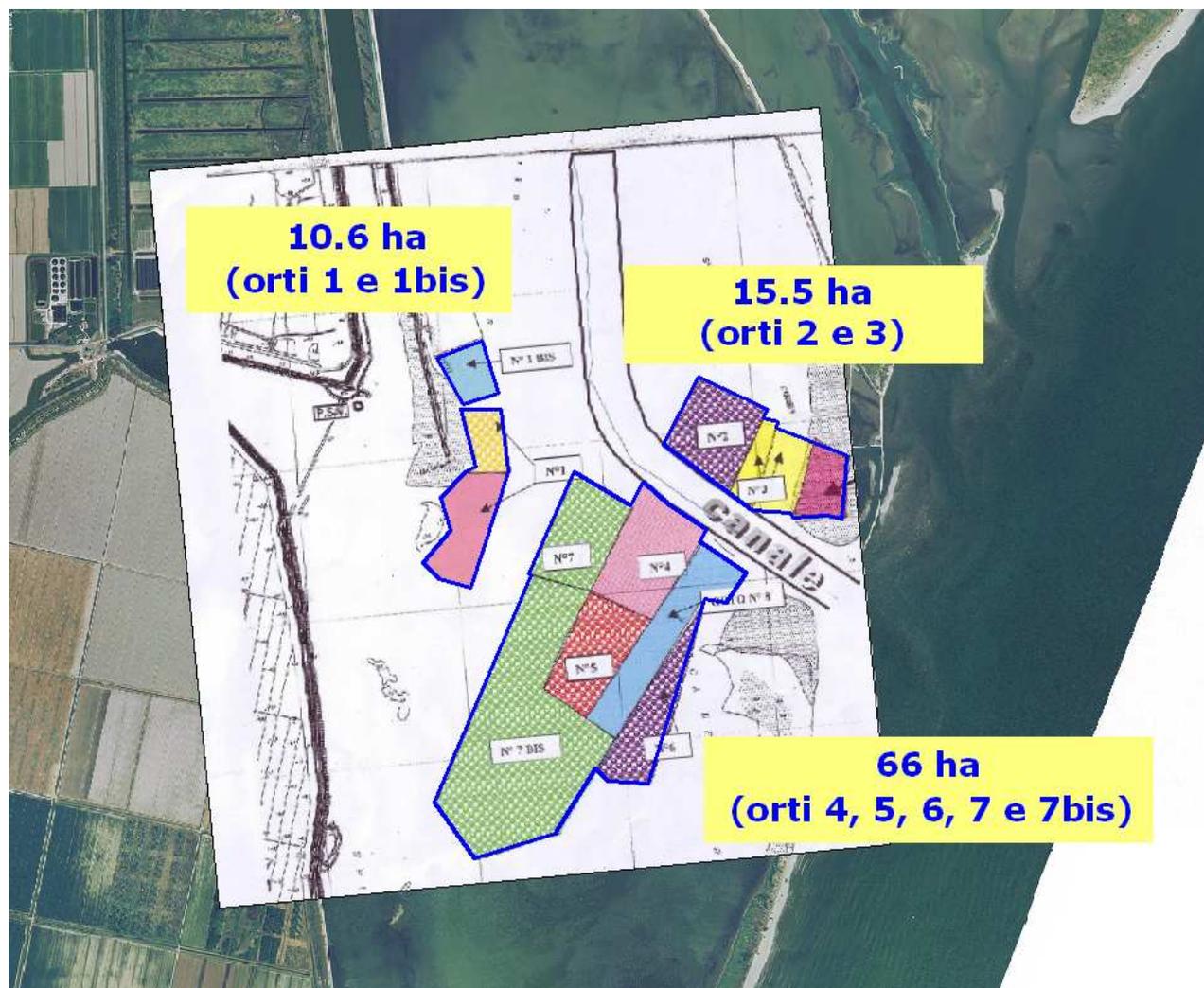


Figura 54 Dislocazione ed ampiezza delle aree di venericoltura attualmente ubicate in Sacca del Canarin (aggiornamento 10/11/2008 secondo le indicazioni contenute in Rif. 3 e Rif. 4)

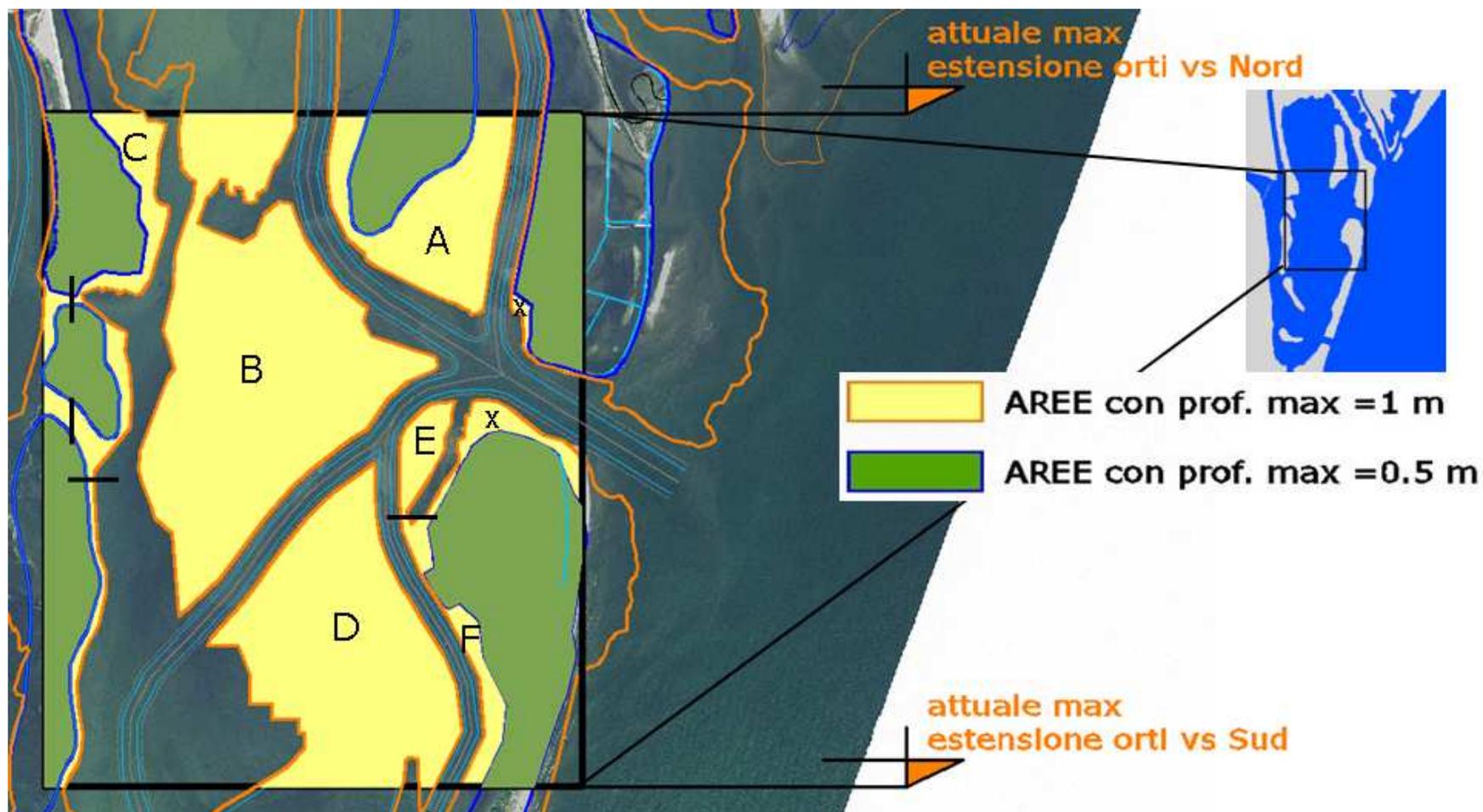


Figura 55 Ipotetica dislocazione delle aree di venericoltura in Sacca del Canarin nella futura configurazione vivificata (in giallo gli orti futuri ipotizzati)

Le aree parziali e totali degli orti 'futuri', identificati con le lettere da A ad F in Figura 55, sono contenute nella Tabella 4 che segue. L'area totale appare leggermente superiore (+8% circa) rispetto ai 92 ha circa attualmente disponibili; la differenza è comunque tale da mantenere la possibilità di un confronto tra la situazione attuale e quella futura.

Tabella 4 Dimensioni degli ipotetici orti futuri

ID area orti	Aree coltivabili future (*)
	[ha]
A	12.1
B	44.2
C	7.6
D	29.5
E	2.3
F	3.4
<b>tot</b>	<b>99.0</b>

(\*) secondo i criteri illustrati nel presente capitolo

Ciascuna delle aree future ora identificate è stata monitorata durante l'intero periodo della simulazione; in sostanza, per ogni ora di simulazione, si è proceduto ad evidenziare gli eventuali superamenti della soglia critica (31 °C) in un insieme di punti (nodi del reticolo di calcolo) adagiati al fondo delle aree stesse, vale a dire in prossimità delle zone occupate dalle vongole. La Figura 56 che segue mostra la distribuzione dei punti di monitoraggio negli orti futuri.

Come già evidenziato nelle precedenti descrizioni il superamento dei 31 °C si verifica principalmente nelle fasi di marea crescente (flusso entrante attraverso la Bocca Nord) ed interessa i punti più vicini ai canali che si diramano dalla bocca Nord, prossima alla foce del canale di scarico a mare. L'interazione tra la corrente entrante attraverso la Bocca Nord dovuta alla marea crescente e l'accresciuta idrodinamica che caratterizza i nuovi canali che dalla Bocca Nord hanno origine produce, infatti, una maggiore penetrazione della perturbazione termica residua in uscita dalla foce del canale di scarico a mare.

La massima penetrazione della perturbazione termica critica osservata in Sacca al fondo delle aree degli orti futuri si è verificata in corrispondenza della 75° ora di simulazione, al picco di marea, come illustrato in Figura 58 (la figura mostra, come spiegato, i superamenti dei 31 °C 'critici'; si precisa, peraltro, che in nessun punto si è osservato il superamento di 32 °C; la massima temperatura calcolata ha raggiunto infatti il valore di 31.7 °C in corrispondenza dei punti più a Sud dell'area denominata A, vale a dire quelli collocati più vicino alla Bocca Nord). Tale condizione, raggiunta al termine di una fase di marea crescente iniziata circa 7 ore prima, si mantiene per la durata di un'ora; a partire dall'ora successiva, vale a dire all'inizio della fase di marea decrescente, l'area del superamento diminuisce fino al quasi annullamento in corrispondenza dell'84° ora.

La Figura 57 e la Figura 59 mostrano proprio le situazioni dei superamenti riscontrabili rispettivamente 7 ore prima (68° ora), in corrispondenza dell'inizio della fase crescente di marea, e 8 ore dopo (83° ora), al termine della fase di marea decrescente. In quest'ultimo caso è chiaramente visibile la permanenza di una limitata area calda all'interno dell'orto denominato B, in parziale corrispondenza della velma n° 1 del progetto di vivificazione illustrato in Figura 3. Nell'area (già caratterizzata da bassi fondali come mostrato in Figura 14) è infatti previsto un rialzo del fondale che, con l'esclusione di particolari condizioni di marea (basse maree di sizigia), si dovrebbe mantenere normalmente sommerso. La particolare conformazione assunta dal fondale in quest'area contribuisce a mantenere condizioni di flusso meno marcate di quelle riscontrabili ai suoi contorni diminuendo l'effetto delle alterne correnti di flusso e riflusso di marea. Da qui la maggiore inerzia al risentimento delle correnti più 'fresche' transitanti attraverso la rete di canali dragati che lambisce il perimetro dell'area a bassi fondali.

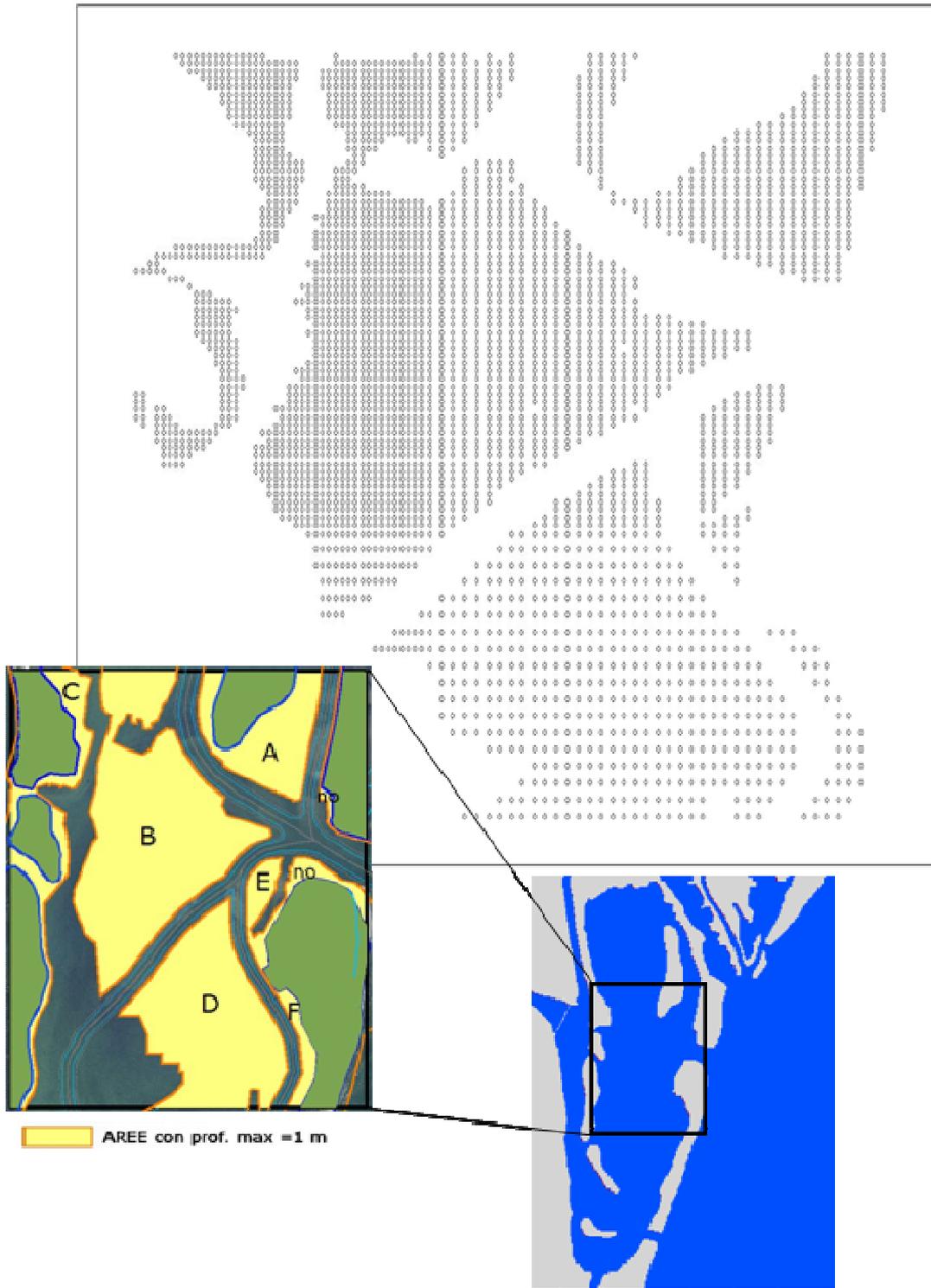
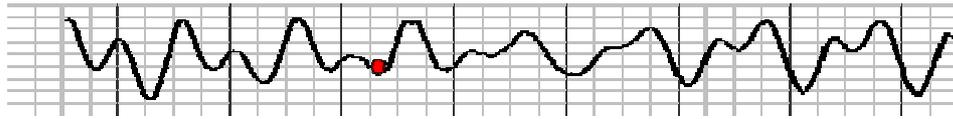


Figura 56 Punti di monitoraggio all'interno delle future aree (in giallo nell'immagine in basso a sx) ipotizzate come coltivabili nella futura configurazione vivificata (limitatamente al riquadro indicato nell'immagine in basso a dx)



68° ora

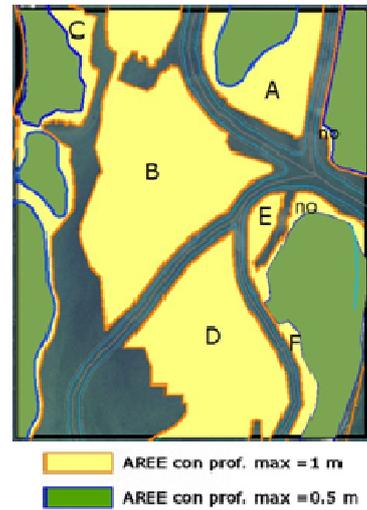
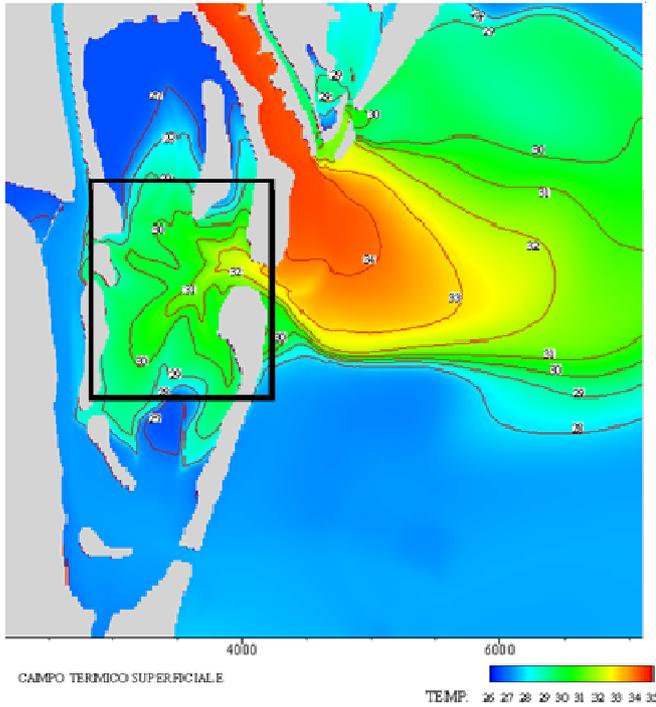
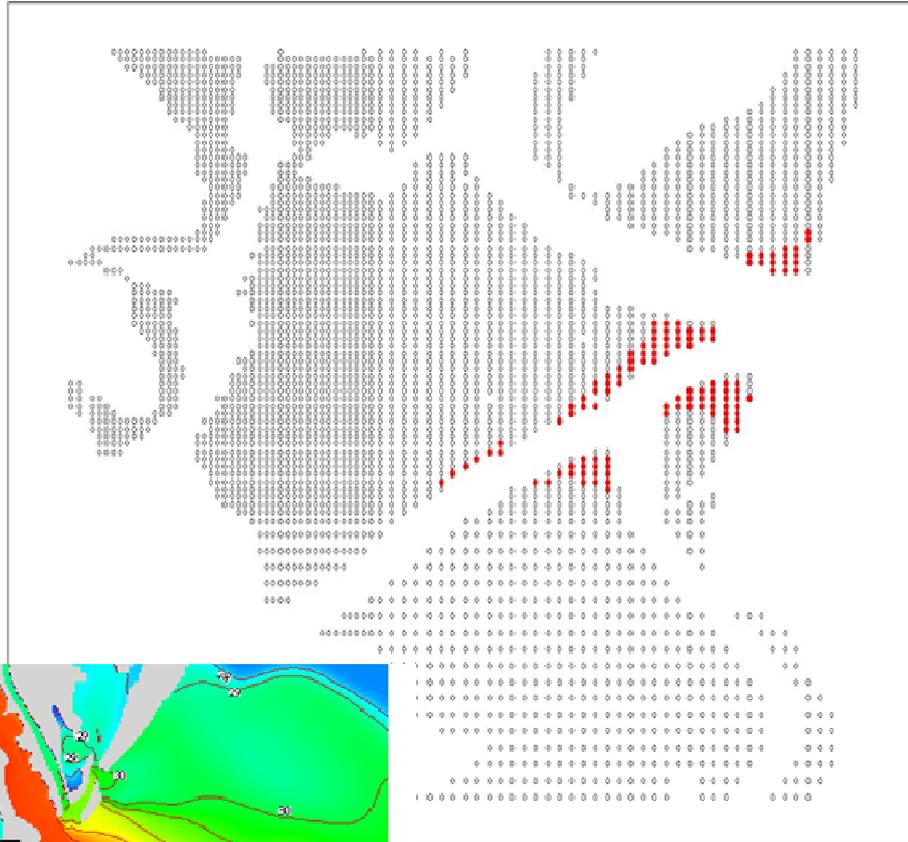
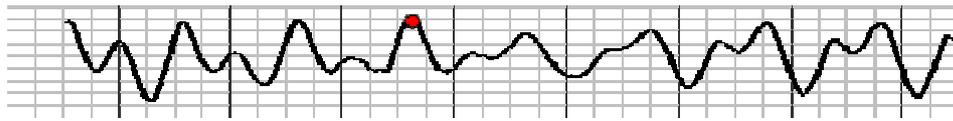


Figura 57 Minimo di marea: 68° ora di simulazione. Mappa termica superficiale (in basso a sx) e indicazione dei superamenti dei 31° al fondo delle aree degli i potetici futuri orti (in rosso nella mappa centrale)



75° ora

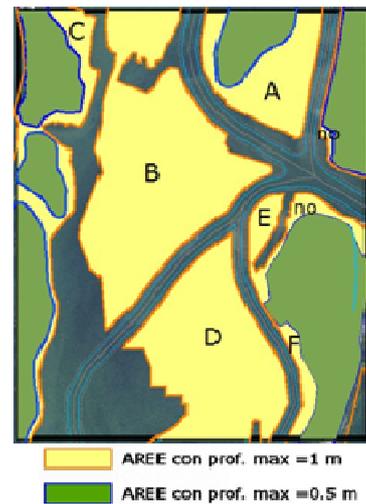
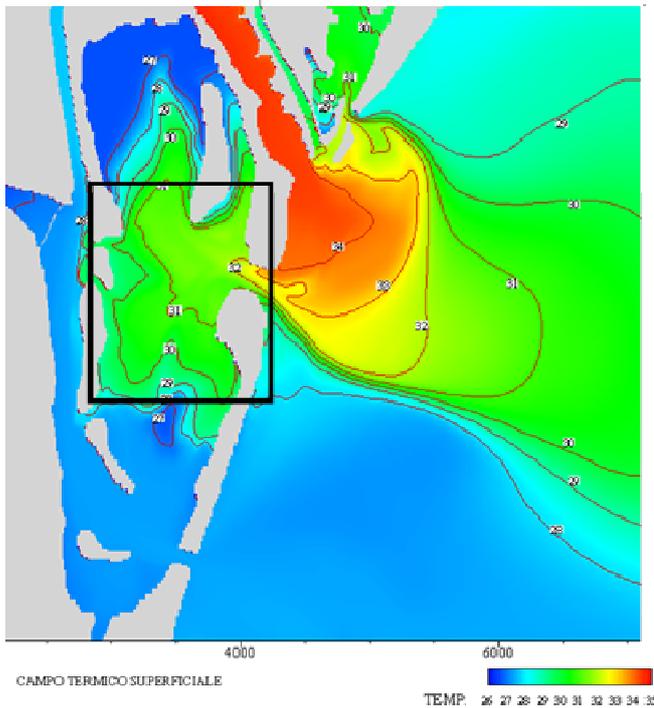
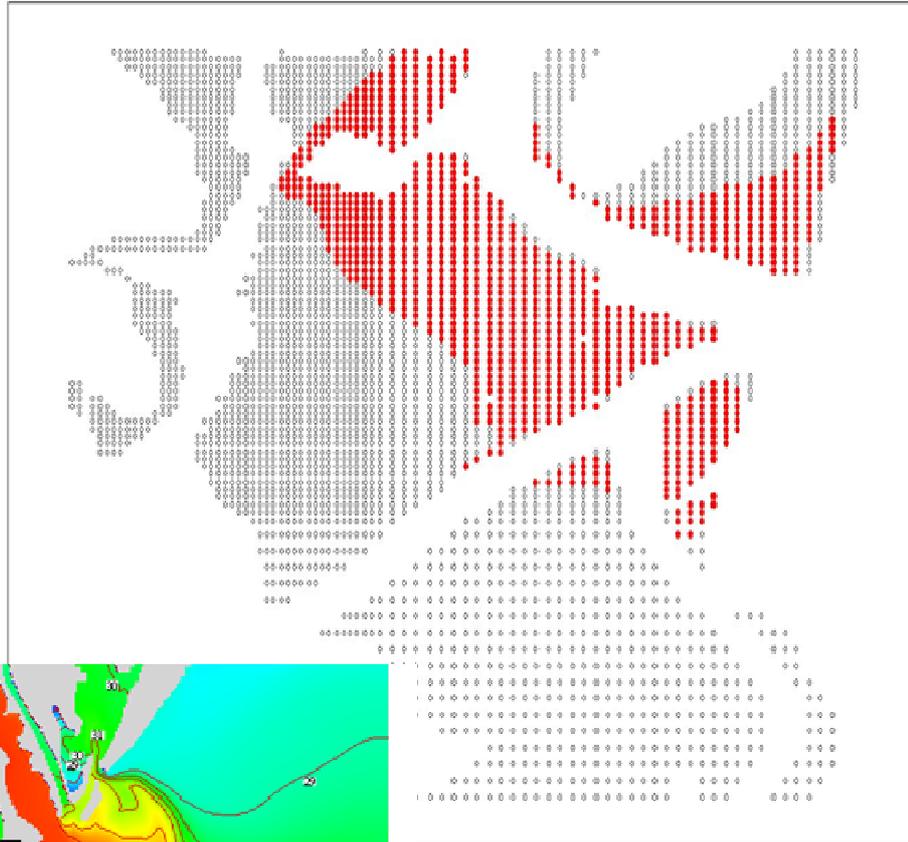
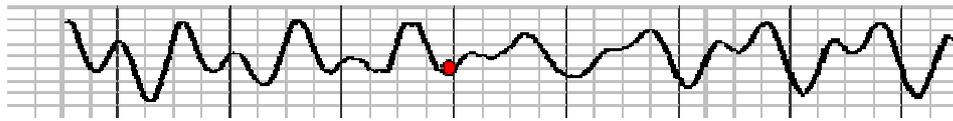


Figura 58 Massimo di marea: 75°ora di simulazione . Mappa termica superficiale (in basso a sx) e indicazione dei superamenti dei 31°al fondo delle aree degli i potetici futuri orti (in rosso nella mappa centrale). Massima perturbazione termica osservata durante le 192 ore di simulazione.



83° ora

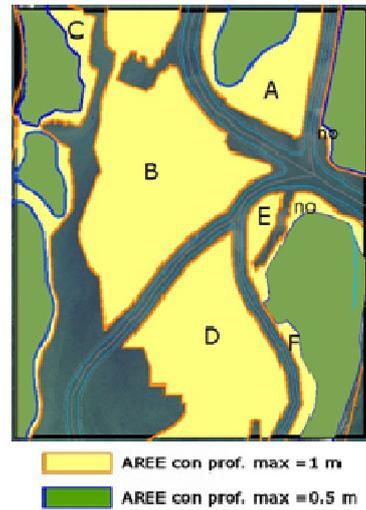
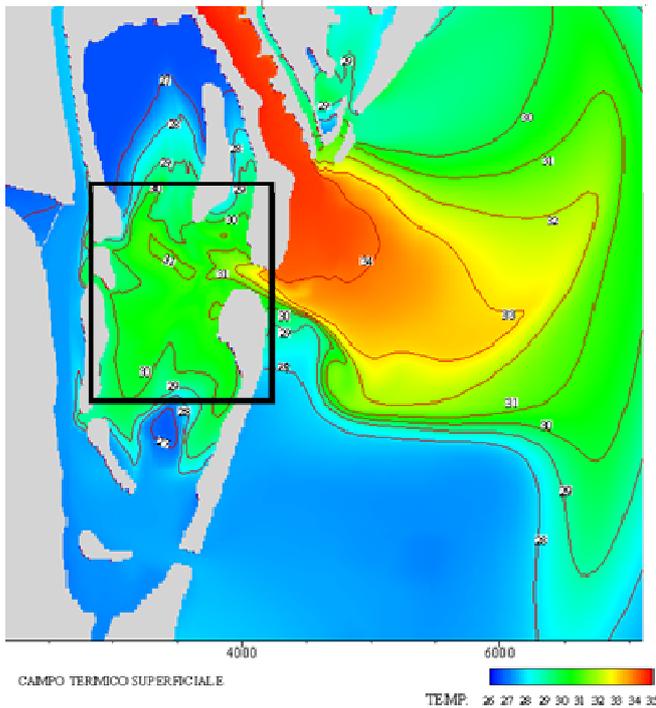
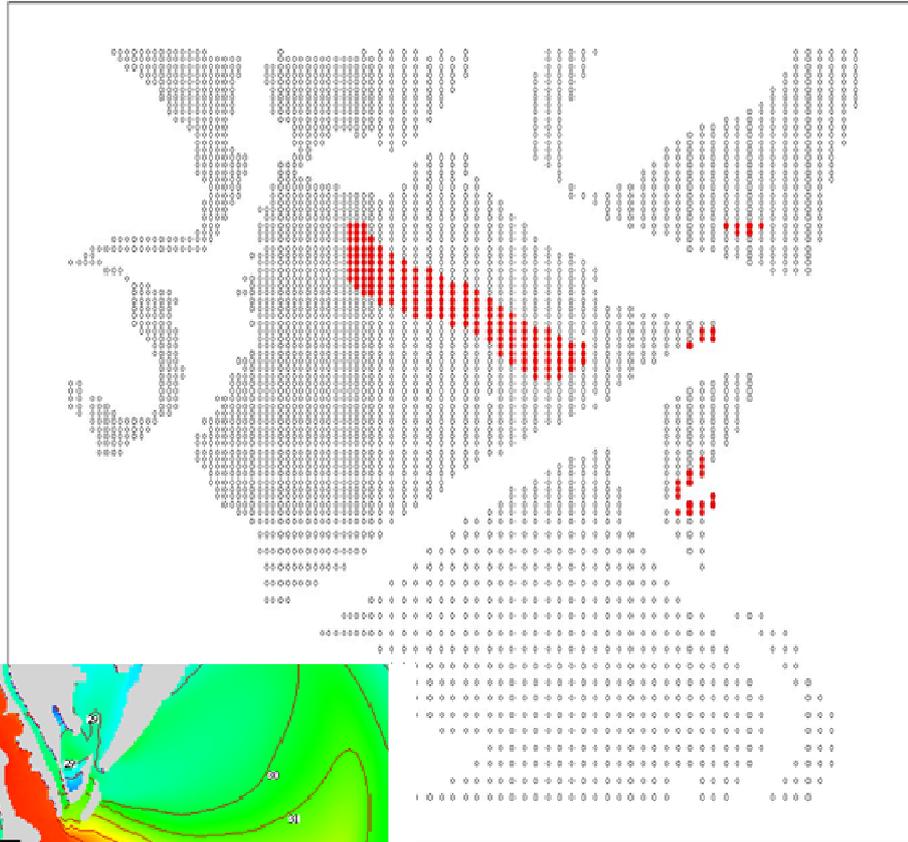
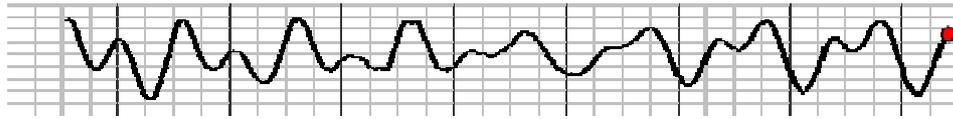


Figura 59 Minimo di marea: 83° ora di simulazione. Mappa termica superficiale (in basso a sx) e indicazione dei superamenti dei 31° al fondo delle aree degli i potetici futuri orti (in rosso nella mappa centrale)



190° ora

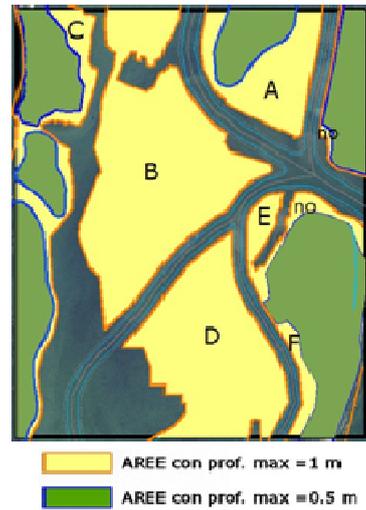
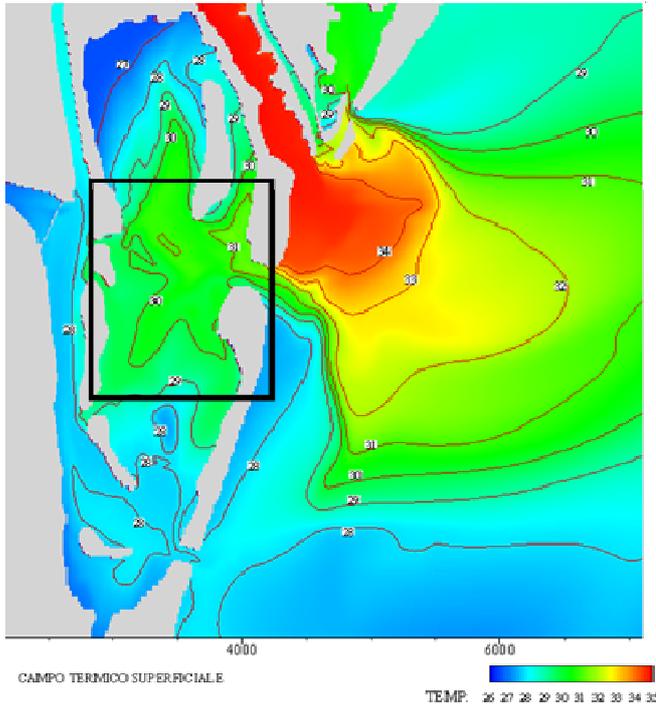
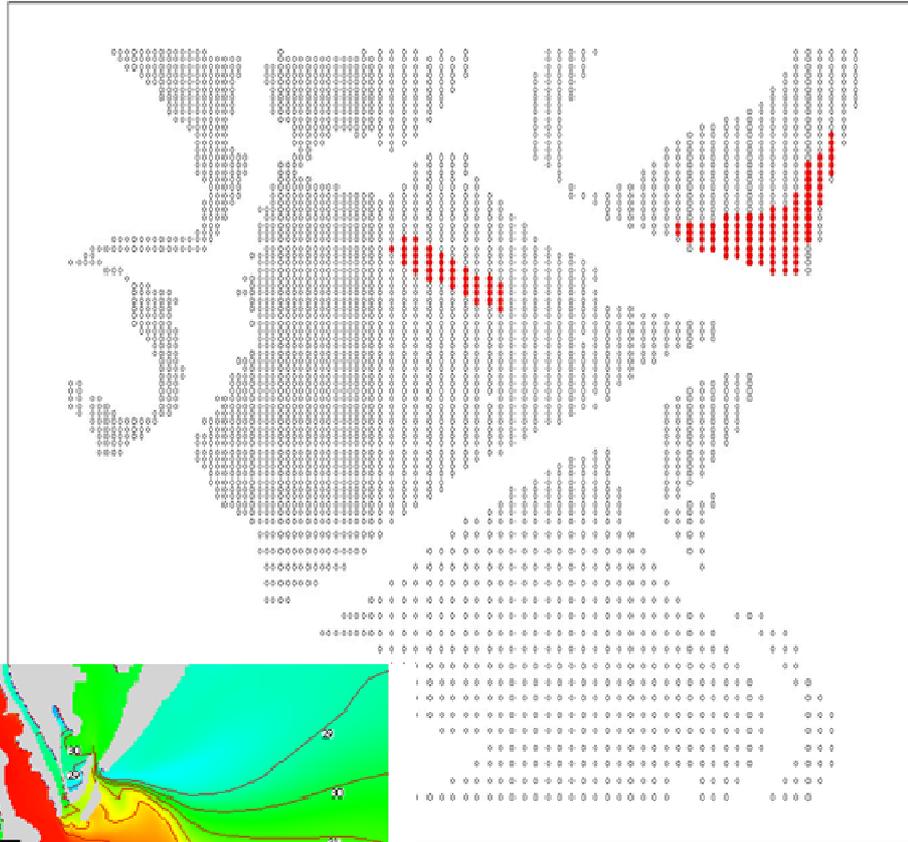


Figura 60 Ultimo massimo di marea: 190° ora di simulazione. Mappa termica superficiale (in basso a sx) e indicazione dei superamenti dei 31° al fondo delle aree degli ipotetici futuri orti (in rosso nella mappa centrale).

Peraltro, l'alternarsi delle correnti di marea in ingresso ed in uscita dalla Sacca si mantiene comunque capace di evitare la formazione di vere e proprie zone di 'accumulo' di calore in Sacca eventualmente attese a seguito del succedersi di diversi giorni di funzionamento continuo a pieno carico. Ciò è chiaramente dimostrato dalla situazione dei superamenti riscontrata in corrispondenza dell'ultimo picco di marea simulato. Anche in questa fase critica (doppiamente critica, sia perché di picco sia perché finale di una serie ripetuta di cicli di marea), illustrata in Figura 60, non si è osservato alcun superamento dei 32 °C: la temperatura massima calcolata è risultata pari a 31.4 °C sempre in corrispondenza dei punti dell'area A più vicini alla Bocca Nord.

Come è infatti logico attendersi le aree che si affacciano sui tratti iniziali dei canali in ingresso attraverso la Bocca Nord risultano essere quelle maggiormente interessate dal ricircolo in Sacca del Canarin della perturbazione termica indotta dallo scarico a mare della centrale. Peraltro, anche per tali aree, durante l'intera simulazione e, in particolare, durante il transitorio ciclico a regime (cioè superata la fase transitoria di inizializzazione) non si è mai osservato il permanere di condizioni di superamento della temperatura critica per periodi di tempo superiori alla durata consecutiva delle fasi di marea crescente e di picco di marea (6 – 10 ore massimo).

Come più volte detto, il ricircolo in Sacca del Canarin, dettato dalle fasi di marea, assume una connotazione fortemente periodica. Se, quindi, alla 75° ora di simulazione (picco di marea) si è raggiunta la massima estensione delle aree con superamento della temperatura critica dei 31 °C pari a circa il 27% dell'area totale ipotizzata per l'orto futuro, solamente 7 ore prima la percentuale interessata era inferiore all'1% e 8 ore dopo era scesa a meno del 3%.

A ciò si aggiunge un'ulteriore constatazione, scaturita dai diversi anni di monitoraggio termico in Sacca del Canarin ad opera di ARPAV (per diversi anni ma in un solo punto) e, più recentemente, di CESI (in diversi punti ma per sole due stagioni estive; Figura 61) nella sua attuale configurazione non vivificata, riguardo la capacità di adattamento delle vongole alla temperatura dei 31 °C assunta come critica nella presente analisi.

In particolare l'analisi delle serie storiche delle temperature misurate da ARPAV all'interno della Sacca a partire dall'anno 2003 ha mostrato evidenti superamenti della temperatura cosiddetta 'letale' di 31 °C (fino anche a 2 °C oltre tale soglia). Analoghi risultati hanno caratterizzato i rilievi delle recenti campagne condotte da CESI come mostrano le statistiche di superamento contenute in Tabella 5.

Poiché a tali ripetuti superamenti non si sono sempre accompagnate perdite significative della produttività di vongole è ragionevole supporre che le condizioni di criticità dipendano non solo dal valore assoluto della temperatura massima raggiunta, ma anche dalle frequenze e dalle durate di tali accadimenti (numero di superamenti, durata complessiva e consecutiva sopra soglia, ecc.), oltre che all'eventuale deteriorarsi di altri parametri ambientali indicati come significativi per l'attività di venericoltura in Rif. 4 (la disponibilità di alimento, l'altezza delle onde, la salinità, il tempo di permanenza fuori acqua in rapporto alla marea, i sedimenti in sospensione, la velocità della corrente, il tipo di substrato, la pendenza del fondale, il pH ed infine l'assenza di malattie, di competitori e di predatori).



Campagna 2008



Campagna 2010

Figura 61 Posizione dei sensori operativi<sup>7</sup> installati da CESI nelle campagne 2008 e 2010

<sup>7</sup> I sensori operativi sono in numero inferiore a quelli originariamente installati a causa di perdite e danneggiamenti imputabili ad atti di vandalismo

Tabella 5 Statistiche di superamento di soglie di temperatura ricavate dai rilievi termici CESI (2008 e 2010, Rif. 8) nell'area della Sacca del Canarin (in configurazione attuale, non vivificata)

Intervallo totale di monitoraggio: 790 ore															
STAZIONE	SENSORE	T >= 27°C		T >= 28°C		T >= 29°C		T >= 30°C		T >= 31°C		T >= 32°C		T >= 33°C	
		Totale ore	Max ore consecutive												
2	Superficie	420	108	291	37	145	14	60.5	7.5	13	3.5	0	0	0	0
	Fondo	422.5	108.5	294	38.5	138	16	56	7	6.5	4	0	0	0	0
5	Superficie	442.5	119.5	309	37.5	153	16	68	7.5	20	5	1	0.5	0	0
	Fondo	467.5	119.5	318	37	168	19.5	82.5	10	12	4.5	0	0	0	0
4	Superficie	428	64.5	270.5	20	130.5	15	62	7	12	4	0	0	0	0
	Fondo	424.5	84	254.5	20	116.5	14	59.5	7	12	4	2	2	0	0
11	Superficie	479.5	189	347	91.5	210	19	121	13	48	7.5	6	3	0	0
	Fondo	459	328	267	93	134	27	38.5	12.5	4.5	2.5	0	0	0	0
3	Superficie	431.5	119	280	38.5	131.5	9.5	56.5	7.5	16.5	4.5	0	0	0	0
	Fondo	402	118	265	38	99.5	14	24	5.5	0.5	0.5	0	0	0	0
6	Superficie	435	85.5	291.5	27	140.5	11	68	7.5	19.5	5	0	0	0	0
	Fondo	406.5	143	231.5	47	96.5	15.5	21.5	8	0	0	0	0	0	0
1	Superficie	459.5	122.5	334.5	113	172	15.5	78.5	10	30.5	4.5	0	0	0	0
	Fondo	322	119.5	233.5	68.5	103.5	17	14.5	8.5	1	0.5	0	0	0	0
7	Superficie	392	113	285.5	64	158	20	78.5	9.5	24.5	5.5	0	0	0	0
	Fondo	414.5	118.5	234.5	64	82	15.5	4.5	2	0	0	0	0	0	0
8	Superficie	447.5	117.5	305	48	149.5	11.5	77.5	8	23	5.5	2	1	0	0
	Fondo	424.5	117	247	37	113.5	13	44	8	5.5	3.5	0	0	0	0
SCIROCCO	Superficie	394	210	246	84	112	18.5	33	6.5	0.5	0.5	0	0	0	0
	Fondo	356.5	114	188.5	76.5	67	10.5	13.5	2	0.5	0.5	0	0	0	0

ANNO 2008

Intervallo totale di monitoraggio: 1480 ore															
STAZIONE	SENSORE	T >= 27°C		T >= 28°C		T >= 29°C		T >= 30°C		T >= 31°C		T >= 32°C		T >= 33°C	
		Totale ore	Max ore consecutive												
10	Superficie	511.5	208.5	321.5	127	196.5	46.5	103	18	51.5	11	18.5	5	1	0.5
	Fondo	490	250.5	263	79.5	123	46	41.5	37	19.5	12	2	2	0	0
11	Superficie	561	192	394.5	148	240.5	45.5	150.5	18.5	81.5	13	23.5	7.5	3	3
	Fondo	462.5	212.5	268.5	93	142	43.5	50	36.5	14	14	1	1	0	0
13	Superficie	523	184.5	331	120	204	45.5	129.5	20.5	51	14	9	7.5	0	0
	Fondo	452	90.5	219.5	68	79.5	39.5	20.5	19	5.5	5.5	0	0	0	0
14	Superficie	524	197	350	122	211.5	46	119.5	21	52.5	14	11	6	0.5	0.5
	Fondo	465.5	75	273.5	58	107.5	44.5	35	21	8	7	0	0	0	0
4	Superficie	487	67.5	305.5	63.5	184.5	43	108	19	46	11	7.5	5	2.5	2.5
	Fondo	488.5	67.5	329.5	49	189	43	113	17	42.5	11	8	6.5	1	1
5	Superficie	500.5	97	315.5	65.5	166	42	89	15.5	38.5	9.5	10.5	3.5	0	0
	Fondo	396	64	144.5	46.5	50	39.5	23.5	14	4.5	4.5	0	0	0	0
7	Superficie	533	196.5	348	66	215	43	113.5	25.5	36.5	8	10	4	1	1
	Fondo	426.5	98.5	187.5	47	56.5	42	19	14.5	0	0	0	0	0	0
FIUME	Superficie	432.5	356	315	158.5	128	46	8	3	0	0	0	0	0	0
	Fondo	419	355	301.5	96	98.5	45	3.5	1.5	0	0	0	0	0	0
SCIROCCO	Superficie	434.5	372.5	316.5	189.5	135.5	46.5	25	8.5	3.5	1.5	0	0	0	0
	Fondo	423.5	338	311.5	189.5	118.5	46	16	6	1.5	1	0	0	0	0
BOCCA NORD	Superficie	502	63.5	304	40.5	147.5	15	74.5	13.5	27.5	9	9.5	3	3	2.5
	Intermedia	470	63.5	258	23	126.5	14.5	57.5	12.5	24.5	8	9	3	2.5	2
MARE	Fondo	436	45.5	228.5	14.5	109	13.5	42	9.5	17.5	7	7.5	2.5	2	2
	Superficie	231	40	79.5	9.5	31.5	5	5.5	2.5	2	1	0	0	0	0
MARE	Intermedia	88.5	8.5	20.5	7	6.5	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fondo	35.5	7.5	8	5	2	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0

ANNO 2010

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

### 6.1 Premessa

Facendo seguito all'istanza, avanzata da Enel Produzione in data 30 maggio 2005, per l'autorizzazione alla conversione da olio combustibile a carbone dell'esistente centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO), le Autorità competenti hanno avviato in data 28 giugno 2005 il relativo procedimento autorizzativo recentemente sfociato nella emanazione del decreto N° 55/01/2011 con cui, *“visti gli esiti istruttori, in particolare il favorevole pronunciamento di compatibilità ambientale, l'intesa della Regione Veneto nonché le risultanze dei lavori della Conferenza di Servizi (Rif. 1)”*, si autorizza la società Enel Produzione alla realizzazione delle opere.

Al documento di cui al Rif. 1, con cui si trasmette il decreto di Autorizzazione Unica N° 55/01/2011, è allegato l'elenco delle prescrizioni ritenute necessarie alla realizzazione del progetto e all'adozione del provvedimento di autorizzazione unica ai sensi della legge n. 55/2002 e s.m.i..

Il presente documento riferisce dei risultati dello studio commissionato da Enel SpA a CESI SpA al fine di rispondere alla prescrizione A. 42) di cui al suddetto elenco e qui di seguito richiamata:

*“Prima dell'inizio dei lavori, il Proponente dovrà trasmettere alla Regione Veneto, all'ARPA Veneto ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare uno studio di modellistica tridimensionale relativamente allo scarico delle acque di raffreddamento sia in termini di innalzamento termico che di dispersione di eventuali inquinanti con particolare riferimento all'impatto che essi possono avere sulla qualità delle acque”.*

La risposta alla prescrizione è basata sull'analisi del fenomeno della diffusione della perturbazione termica indotta dallo scarico delle acque di raffreddamento della centrale con particolare riferimento:

- alla necessità di preservare condizioni ambientali tali da consentire il mantenimento dell'esistente attività di venericoltura,
- all'efficienza di funzionamento della centrale specie nei più critici periodi estivi.

In considerazione, infatti, del non utilizzo di ipoclorito e dell'esigua quantità di reflui ITAR rispetto alla portata delle acque di circolazione, la perturbazione termica indotta dallo scarico delle acque di raffreddamento rimane l'unica potenzialmente capace di alterare la qualità delle acque, intesa come *habitat* dell'attività di venericoltura prevalente nelle aree in oggetto.

Lo studio in oggetto ha analizzato la dispersione termica della centrale nelle condizioni meteomarine e di ventosità caratteristiche del sito e ritenute più a rischio, ed è stato condotto con il codice di calcolo TRIMDI 4.0, con cui è stato possibile caratterizzare con un dettaglio tridimensionale l'idro-termodinamica dell'area coinvolta. Tutti gli scenari previsionali simulati sono proseguiti per 8 giorni consecutivi comprensivi della fase iniziale (transitorio di inzializzazione) e di quella successiva in cui il pennacchio si presenta dinamicamente stabile, ossia tende a riprodursi con estensione e forma mediamente invariate o comunque simili a parità di condizioni di marea durante diversi cicli successivi (transitorio ciclico a regime). In particolare ciascuno scenario estivo ha visto la riproduzione delle condizioni termiche registrate nel periodo di otto giorni compreso tra le ore 13:00 del 15 luglio 2010 e le ore 12:30 del 23 luglio 2010, durante il quale il monitoraggio termico condotto nell'area ha fatto registrare le massime temperature, sia in mare sia in Po.

Premettendo che le simulazioni dinamiche di marea eseguite sono strettamente dipendenti dalla legge di variazione e quindi dal periodo simulato, e tenendo anche presente che esiste un'ulteriore componente atmosferica dipendente dal vento e dalla pressione non prevedibile in questo contesto, è possibile trarre alcune considerazioni riguardo gli effetti prodotti dai diversi scenari di esercizio della centrale ipotizzata funzionante a pieno carico, nella futura configurazione a carbone e con assetto variabile (mare-mare, misto, fiume-fiume). Rimandando ai paragrafi precedenti per i necessari approfondimenti è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive.

## 6.2 Sintesi dei principali risultati

Nei limiti di affidabilità del modello matematico tridimensionale usato, che è comunque da ritenersi tra i più accurati attualmente disponibili, e sulla base dei risultati ottenuti dalla simulazione dei diversi scenari analizzati, si possono trarre alcune considerazioni conclusive in merito ai seguenti aspetti principali.

### 1. Analisi generale della diffusione della perturbazione termica in mare.

L'analisi complessiva degli scenari simulati consente di trarre alcune considerazioni di carattere generale, riguardo ai seguenti aspetti:

- **durata del transitorio di inizializzazione:** nella schematizzazione adottata nello studio, sono necessari al massimo due giorni affinché le perturbazioni termiche indotte dagli scarichi, unitamente a tutte quelle naturalmente presenti (escursioni termiche indotte dai cicli giorno/notte nei due principali corpi idrici coinvolti, mare e fiume Po nelle sue diverse ramificazioni, ma, anche, oscillazioni cicliche di livello dovute alla marea), raggiungano tutte le aree di interesse riprodotte nel calcolo, inclusa quella di maggiore interesse interna alla Sacca del Canarin. Tale periodo di tempo, legato alla velocità di propagazione numerica della perturbazione e, dunque, alle schematizzazioni adottate e alla discretizzazione del calcolo, è probabilmente più lungo di quello effettivamente necessario nella realtà; peraltro, si tratta comunque di un'indicazione utile specie nella caratterizzazione della successione delle varie fasi di dislocazione del pennacchio prima in mare aperto e poi nella Sacca del Canarin;
- la dislocazione del pennacchio nell'area di scarico a mare e all'interno della Sacca del Canarin durante il **transitorio ciclico a regime** assume connotazioni simili in corrispondenza delle **fasi di alta marea** e delle **fasi di bassa marea**. Le diversità riscontrabili, imputabili alla fase di marea precedente che si riproduce simile ma non uguale né in valore né in periodo durante gli otto giorni simulati, sono comunque minime. Il pennacchio mantiene infatti una forma media caratteristica fondamentalmente dovuta alla spinta/richiamo esercitati nel semiperiodo precedente dalla marea montante/calante. Nelle fasi di alta/bassa marea vere e proprie la velocità del flusso attraverso le bocche è pressoché nulla, trattandosi in entrambi i casi di punti di inversione del moto; la forma del pennacchio risente inoltre della particolare morfologia del progetto di vivificazione. In particolare si osserva che:
  - ✓ la forma del pennacchio, soprattutto all'interno della Sacca, risente del flusso alternativamente entrante ed uscente dalle bocche, specialmente della Bocca Nord più vicina alla foce del canale di scarico a mare; la forma è inoltre influenzata dalla nuova rete di canali sub-lagunari che produce una circolazione interna elevata
  - ✓ durante la fase di **marea crescente** la nuova Bocca Sud risulta meno interessata dal pennacchio caldo, ed è quindi favorito l'ingresso attraverso di essa di acqua mediamente più fredda; l'ingresso attraverso la Bocca Sud è inoltre fortemente favorito dall'aspirazione operata dalla centrale attraverso il canale di presa a mare; complessivamente si osserva una minore temperatura media nell'area meridionale della Sacca, mentre l'area settentrionale risulta mediamente più calda
  - ✓ durante la fase di **marea decrescente** la nuova Bocca Sud risulta ancora meno interessata dal pennacchio caldo rispetto alla condizione di massimo di marea. Ciò è imputabile alla presenza di due condizioni contrastanti: la prima, che vede prevalere nell'area della Bocca Nord il flusso di richiamo verso il mare (tra l'altro concorde, in direzione, con quello dello scarico a mare); la seconda, in prossimità della Bocca Sud, vede invece gli effetti del prevalente flusso entrante dovuto al pompaggio della centrale ('frenato' dal richiamo dovuto alla precedente fase di marea decrescente). Anche in

questo caso, quindi, si ha una minore temperatura media nell'area meridionale della Sacca stessa, mentre viceversa l'area settentrionale risulta mediamente più calda anche perché l'acqua calda presente nella Sacca (a seguito dei precedenti cicli di marea) tende ad essere richiamata attraverso la Bocca Nord

- ✓ durante le fasi di **alta marea** i valori di picco della temperatura all'interno della Sacca si osservano in aree prossime alla Bocca Nord e tali aree, pur mantenendosi limitate, raggiungono la loro massima estensione in corrispondenza dei massimi giornalieri di marea quando è massimo l'effetto di spinta prodotto dalla precedente fase di marea crescente; la condizione di massima estensione si mantiene mediamente per la durata del picco di marea (2-3 ore)
- ✓ i valori di picco della temperatura all'interno della Sacca durante le fasi di **bassa marea** appaiono inferiori rispetto a quelli registrati nella fase di alta marea e si mantengono in aree prossime alla Bocca Nord.

## 2. Analisi dell'influenza sugli orti di vongole ipotizzabili in Sacca del Canarin nella futura configurazione vivificata.

Nell'ambito della verifica delle temperature massime raggiunte in Sacca del Canarin con riguardo all'impatto sugli orti di vongole, si è fatto riferimento alla diffusione in Sacca di acqua di raffreddamento a temperatura pari o superiore a quella ritenuta critica per l'attività di venericoltura. Stando a quanto contenuto in Rif. 4, la temperatura di 31 °C è da considerare quale "limite vitale" per la coltivazione della vongola verace filippina.

La realizzazione del progetto di vivificazione, che prevede il ripristino di una bocca a Sud, il dragaggio di canali interni e il rialzo di barene e velme, implicherà necessariamente la parziale ricollocazione degli orti di vongole. Al fine di individuare una ipotetica futura collocazione degli orti che, oltre ad adattarsi al nuovo assetto topo-batimetrico in Sacca, fosse anche tale da consentire un confronto con la situazione attuale, ci si è attenuti a due semplici criteri: da un lato che l'area complessivamente dedicata alla coltivazione si mantenesse, a Nord e a Sud, entro i limiti degli attuali orti; dall'altro che, all'interno di tali confini, la coltivazione avvenisse esclusivamente nelle aree caratterizzate da fondali compresi tra 0.5 m e 1 m di profondità. Il primo limite scaturisce dalla necessità di non considerare le aree che potrebbero scoprirsi troppo frequentemente a causa della marea, mentre il secondo limite deriva dalla semplice considerazione di limitare la profondità massima ad un valore che consenta ai pescatori di lavorare con una certa comodità. E' chiaro che secondo questi criteri si è classificata come 'coltivabile' solo una parte della Sacca.

Ciascuna delle aree future identificate è stata monitorata durante l'intero periodo della simulazione; in sostanza, per ogni ora di simulazione, si è proceduto ad evidenziare gli eventuali superamenti della soglia critica in un insieme di punti adagiati al fondo delle aree stesse, vale a dire in prossimità delle zone effettivamente occupate dalle vongole.

Coerentemente con quanto descritto al punto precedente, il superamento dei 31 °C si verifica principalmente nelle fasi di marea crescente (flusso entrante attraverso la Bocca Nord) ed interessa i punti più vicini ai canali che si diramano dalla bocca Nord, prossima alla foce del canale di scarico a mare. L'interazione tra la corrente entrante attraverso la Bocca Nord dovuta alla marea crescente e l'accresciuta idrodinamica che caratterizza i nuovi canali che dalla Bocca Nord hanno origine produce, infatti, una maggiore penetrazione della perturbazione termica residua in uscita dalla foce del canale di scarico a mare.

Il ricircolo in Sacca del Canarin, dettato dalle fasi di marea, assume una connotazione fortemente periodica. Se, quindi, alla 75° ora di simulazione (picco di marea) si è raggiunta la massima estensione delle aree con superamento della temperatura critica dei 31 °C pari a circa il 27% dell'area totale ipotizzata per l'orto futuro, solamente 7 ore prima la percentuale interessata era inferiore all'1% e 8 ore dopo era scesa a meno del 3%.

Tali risultati, ottenuti per uno scenario critico estivo con funzionamento della centrale per diversi giorni consecutivi in assetto mare – mare a pieno carico, consentono di considerare come possibile (e addirittura auspicabile, nella misura in cui si possono sviluppare sinergie secondo quanto descritto nel seguito) la convivenza delle due attività in gioco: produzione di energia e coltivazione di vongole.

A ciò si aggiunge un'ulteriore constatazione, scaturita dai diversi anni di monitoraggio termico in Sacca del Canarin (nella sua attuale configurazione non vivificata) ad opera di ARPAV e, più recentemente, di CESI, riguardo la capacità di adattamento delle vongole alla temperatura dei 31 °C assunta come critica nella presente analisi.

In particolare l'analisi delle serie storiche delle temperature misurate da ARPAV all'interno della Sacca a partire dall'anno 2003 ha mostrato evidenti superamenti della temperatura cosiddetta 'letale' di 31 °C (fino anche a 2 °C oltre tale soglia). Analoghi risultati hanno caratterizzato i rilievi delle recenti campagne condotte da CESI.

Poiché a tali ripetuti superamenti non si sono sempre accompagnate perdite significative della produttività di vongole è ragionevole supporre che le condizioni di criticità dipendano non solo dal valore assoluto della temperatura massima raggiunta, ma anche dalle frequenze e dalle durate di tali accadimenti (numero di superamenti, durata complessiva e consecutiva sopra soglia, ecc.), oltre che all'eventuale deteriorarsi di altri parametri ambientali indicati come significativi per l'attività di venericoltura (la disponibilità di alimento, l'altezza delle onde, la salinità, il tempo di permanenza fuori acqua in rapporto alla marea, i sedimenti in sospensione, la velocità della corrente, il tipo di substrato, la pendenza del fondale, il pH ed infine l'assenza di malattie, di competitori e di predatori).

### **3. Efficienza di funzionamento della centrale: rispetto dei vincoli di legge e ricircolo alla presa**

L'incremento termico medio sull'arco a 1000 m dal punto di scarico a mare calcolato con riferimento all'intera durata della simulazione è risultato sempre inferiore ai vigenti limiti di legge. Analogamente le simulazioni hanno evidenziato valori minimi di ricircolo alla presa a mare compatibili con il vigente limite dei 35 °C al punto di scarico a mare.

In definitiva, la concomitanza del nuovo assetto a carbone (con riduzione di 1 °C del delta termico allo scarico delle acque di raffreddamento rispetto all'attuale assetto ad olio combustibile) e della configurazione vivificata della Sacca del Canarin, consentono alla centrale di operare con efficienza e nel rispetto dei vincoli legislativi.

#### 4. Possibili sinergie tra l'attività di venericoltura e il funzionamento della centrale

La considerazione del progetto di vivificazione della Sacca del Canarin, così come presentato dal consorzio Delta Po - Adige, nella condizione di trasformazione a carbone della centrale, evidenzia la possibilità di evidenti sinergie utili, da un lato, a migliorare l'efficienza di esercizio della centrale e, dall'altro, a favorire gli scopi per cui il progetto di vivificazione è nato.

Dal punto di vista delle condizioni di aspirazione alla presa, infatti, il dragaggio della bocca esistente, la riapertura a Sud della antica bocca e, soprattutto, la presenza dei canali di vivificazione entro la Sacca sono tutti fattori che favoriscono l'afflusso di acqua più fredda dal mare aperto, con una tempistica dettata sia dai cicli di marea sia dalla circolazione forzata indotta dalla aspirazione stessa. Il rialzo delle barene esistenti poi, migliora ulteriormente le condizioni di aspirazione riducendo il valore del ricircolo termico in quanto l'acqua più calda del pennacchio termico che diffonde anche nella Sacca attraverso le bocche viene ulteriormente raffreddata dal più ampio percorso di aggiramento delle barene stesse, cui è costretta anche con alti livelli di marea.

Viceversa, gli scopi del progetto di vivificazione, che essenzialmente si possono riassumere nella realizzazione di condizioni di circolazione nella Sacca del Canarin, per la sua intera estensione, tali da garantire una qualità delle acque atta anche ad uno sfruttamento ittico della stessa e comunque al mantenimento di condizioni non degradate quali quelle attuali, possono a loro volta essere favoriti da un esercizio continuativo della centrale. Infatti, l'aspirazione di una quantità abbastanza rilevante di acqua dalla Sacca favorisce la circolazione interna ed attraverso le aperture a mare, mentre d'altro canto la presenza di acqua moderatamente calda proveniente dalla diffusione termica del pennacchio favorisce il mantenimento di condizioni favorevoli all'allevamento ittico, soprattutto nei periodi più freddi. Tali concetti sono stati anche richiamati nell'intervento dell'Ing. Lino Tosini, direttore del Consorzio di bonifica Delta Po Adige alla Conferenza Provinciale sulla Pesca presso la Provincia di Rovigo il 28 marzo 2002:

*“L'adeguamento della bocca principale e la conformazione della nuova bocca favorirà la generazione di flussi convergenti in uscita, dal fiume e dalla Sacca, con un effetto di allontanamento delle barre di foce verso il largo.*

*Va vista positivamente la possibile riattivazione del canale di adduzione che pone in comunicazione la centrale elettrica di Polesine Camerini con la laguna di Canarin. Tale riattivazione, posta in concomitanza con i flussi di marea, consentirà di aumentare ulteriormente la portata dovuta alla marea stessa. Va quindi valutata l'opportunità di trovare un accordo con l'ENEL per il prelievo dalla Sacca del Canarin (..) dell'acqua di raffreddamento dei gruppi termici dell'impianto (...)*

*A questo riguardo, se si riusciranno a superare i vincoli imposti dall'attuale normativa, non va sottovalutata l'idea che una parte delle acque di raffreddamento della centrale, a temperatura più elevata, possano essere introdotte in specchi limitati della laguna, per favorire durante i mesi invernali la piscicoltura.”*