

**Cliente** ENEL S.p.A Divisione Generazione ed Energy Management

**Oggetto** Centrale termoelettrica di Porto Tolle.  
Analisi degli effetti ambientali indotti sugli equilibri fisici e biotici della Sacca del Canarin.

**Ordine** Accordo Quadro n. 6000010956- mail di Ing. Michelizzi del 19/09/2007

**Note** AG07ATM006

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

**N. pagine** 65 **N. pagine fuori testo** 0

**Data** 28/09/2007

**Elaborato** Colombo Daniela (CESI SID), Meloni Maria Laura (CESI SID)

**Verificato** Granata Tommaso (CESI SID)

**Approvato** Fiore Antonio (CESI AMB)

A7025404 11991 APP

## *Indice*

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
2.1	Scopo dello studio .....	4
2.2	Articolazione dell'attività .....	7
2.3	Documenti di riferimento .....	8
<b>3</b>	<b>STUDIO IDRODINAMICO DI MESSA A PUNTO DEL PROGETTO DI VIVIFICAZIONE10</b>	
3.1	Premessa.....	10
3.2	Principali risultati dello studio .....	10
3.2.1	Simulazione della situazione attuale .....	10
3.2.2	Simulazione della situazione di progetto (Stralcio).....	11
3.3	Considerazioni conclusive.....	11
<b>4</b>	<b>STUDIO IDRODINAMICO DI APPROFONDIMENTO SUGLI EFFETTI DEGLI INTERVENTI PREVISTI NELLA SACCA DEL CANARIN .....</b>	<b>16</b>
4.1	Premessa.....	16
4.2	Caratteristiche del codice SWEET-OMP 4.5.3.....	16
4.2.1	Caratteristiche generali.....	16
4.2.2	Considerazioni sul modello matematico .....	16
4.3	Analisi delle condizioni influenzanti la dispersione termica.....	19
4.3.1	Considerazioni generali .....	19
4.3.2	Assetto attuale dell'impianto.....	19
4.3.3	Assetto futuro a carbone dell'impianto .....	19
4.3.4	Evoluzione della morfologia della Sacca del Canarin e caratteristiche principali del progetto di vivificazione.....	20
4.3.5	Caratteristiche ambientali e del territorio utili allo studio di dispersione.....	24
4.4	Definizione della schematizzazione numerica del modello di simulazione .....	33
4.4.1	Considerazioni generali sul modello .....	33
4.4.2	Descrizione dello scenario di analisi .....	33
4.4.3	Definizione di un transitorio rappresentativo .....	34
4.5	Risultati del modello di simulazione .....	37
4.5.1	Analisi della simulazione in transitorio dell'effetto di marea .....	37
4.6	Considerazioni sulla frequenza degli impatti durante il periodo estivo .....	51
<b>5</b>	<b>ANALISI DEGLI EFFETTI SUGLI EQUILIBRI BIOTICI DELLA LAGUNA DEGLI INTERVENTI SULLA SACCA DEL CANARIN.....</b>	<b>59</b>
5.1	Aspetti biologici .....	60
5.2	Effetti ambientali indotti dagli interventi previsti sugli equilibri biotici.....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>63</b>
6.1	Premessa.....	63
6.2	Sintesi dei principali risultati.....	63
6.3	Considerazioni finali .....	65

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	28/09/2007	A7025404	Prima emissione

### 1 PREMESSA

Nell'ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale del progetto di *depowering* e conversione a carbone della centrale termoelettrica a olio combustibile di Porto Tolle (RO), ENEL ha adottato (con trasmissione in data 26 marzo 2007 al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare; N. Rif. EP/P2007001435; [1]) quale opera di compensazione il progetto "*Lavori di vivificazione della Sacca del Canarin in Comune di Porto Tolle (RO) e recupero di un'area lagunare ai fini dell'acquacoltura*" elaborato dal Consorzio di Bonifica Delta Po – Adige (24 marzo 2003, [2]).

In merito al suddetto progetto la Regione Veneto, considerato:

- *che nell'esecuzione dei lavori è previsto il completo riutilizzo in loco del materiale proveniente dal dragaggio della rete di canali sub - lagunari;*
- *che prima dell'appalto dovranno essere acquisiti tutti i necessari provvedimenti autorizzativi ed in particolare dovranno essere eseguite le analisi sul materiale dragato;*
- *che la suddivisione dell'intervento in più appalti è dovuta alle caratteristiche di urgenza di talune opere e al diverso flusso finanziario;*
- *che dal punto di vista paesaggistico ambientale il progetto cerca di ricostruire la precedente conformazione lagunare e di creare migliori condizioni ambientali;*
- *che in particolare consente anche il ripristino delle condizioni ambientali idonee ad allevamento della vongola con positive ripercussioni socio – economiche;*
- *che l'area ricade in zona SIC e pertanto è stata redatta la Valutazione di Incidenza ai sensi del D.P.R. n° 357 del 08.09.1997 e che da suddetta analisi è emersa la non significatività degli impatti;*
- *che pare opportuno recepire le indicazioni suggerite dal "Principio di Precauzione" della dichiarazione di Rio de Janeiro del 1992, inserito nel trattato costitutivo dell'Unione Europea (Trattato di Maastricht del 1992);*
- *che le aree di intervento sono demaniali e quindi non sono necessari espropri*

ha espresso con voto unanime della Commissione Tecnica Regionale (Decreto N. 121 del 21 maggio 2004 [3]) il parere "*che il progetto (...) redatto dal Consorzio di Bonifica Delta Po Adige è meritevole di approvazione in linea tecnica ed economica nell'importo complessivo di € 3.356.969,85 e a i sensi della L.R. 63/1994, subordinatamente alla osservanza di cui ai precedenti considerato.*"

Con Decreto N. 99 del 18 agosto 2003 la Regione Veneto ha inoltre decretato [4] "*l'esclusione del progetto (...) dalla procedura di VIA di cui al capo III della L.R. 10/99 e successive modifiche e integrazioni.*"

A valle delle osservazioni contenute nel parere espresso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (N. Rif. EP/A2007001460 del 23 agosto 2007 [5]), in merito al progetto di conversione a carbone della esistente centrale termoelettrica ENEL a olio combustibile di Porto Tolle (RO), ENEL ha incaricato CESI di predisporre uno "*studio relativo all'intervento previsto sulla Sacca del Canarin e relativa analisi degli effetti ambientali indotti sugli equilibri fisici e biotici della laguna.*"

La presente relazione illustra i risultati di tale studio.

## 2 INTRODUZIONE

### 2.1 Scopo dello studio

La centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO) 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 della prevista trasformazione a carbone dell'impianto, la centrale opererà con un assetto a tre gruppi ultra supercritici da 660 MW, per una potenza complessiva di 1980 MW.

Secondo il parere espresso dalla Commissione per la Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare [5], il progetto di *depowering* e conversione a carbone della centrale necessita di ulteriori approfondimenti, in particolar modo per quanto concerne il tema dell'uso della risorsa idrica e degli scarichi anche in considerazione del progetto di vivificazione della Sacca del Canarin, presentato dal Consorzio Bonifica Delta Po – Adige [2], approvato dalla Regione Veneto [3, 4] ed adottato da ENEL [1] come opera di compensazione del progetto complessivo.

In condizioni normali la centrale opera prelevando e scaricando l'acqua di raffreddamento dal fiume Po in corrispondenza del ramo di Pila, ma in caso di riduzione della portata del fiume l'aspirazione e la restituzione delle acque di raffreddamento avvengono direttamente a mare; più in particolare, l'opera di presa è collegata tramite un canale di aspirazione alla Sacca del Canarin, un'area del delta del Po collegata direttamente al mare aperto attraverso una bocca naturale posta a Nord della Sacca (vedi fig. 2.1). E' in tale contesto che si inserisce il progetto di vivificazione (vedi fig. 2.2) che prevede una serie di modifiche dell'assetto dell'area interessata, con particolare riferimento alla creazione di una seconda bocca in collegamento con il mare aperto, alla modifica della batimetria di alcune aree per la creazione di una rete di canali sub - lagunari e alla creazione di barene artificiali, con lo scopo di migliorare la circolazione e quindi l'ossigenazione della Sacca stessa al fine di rendere possibile l'impianto di allevamenti intensivi di mitili.

In particolare, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, per quanto riguarda l'uso della risorsa idrica, pur rilevando che, secondo il progetto del proponente, nulla cambierà in merito al regime di concessione attualmente in essere, ritiene che *“debbono essere considerati gli effetti sia dell'attuale trend di riduzione della portata idrica del Po sia dell'accertata risalita del cuneo salino”* poiché potrebbero *“comportare una potenziale situazione di criticità per l'ambiente idrico della Sacca del Canarin, in cui è ubicato il canale di adduzione dell'acqua.”*

Con riferimento allo scenario sopra descritto, si è quindi ritenuto opportuno effettuare uno studio che, mediante simulazione numerica, si propone di determinare le condizioni di scarico e di presa a mare delle acque di raffreddamento nel futuro assetto a carbone della centrale ed in presenza delle modifiche introdotte dal progetto di vivificazione della Sacca del Canarin, con particolare attenzione agli effetti della condizione idrodinamica risultante sugli equilibri fisici e biotici della laguna. 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, data la tipologia dello scarico e la natura del problema, con il codice bidimensionale idrostatico SWEETOMP, usualmente impiegato per analisi di questo tipo. La tipologia dello scarico e della presa, unitamente alla topografia della costa ed alla conformazione delle opere a mare esistenti ed in progetto, sono stati considerati con un dettaglio adeguato agli scopi dello studio.

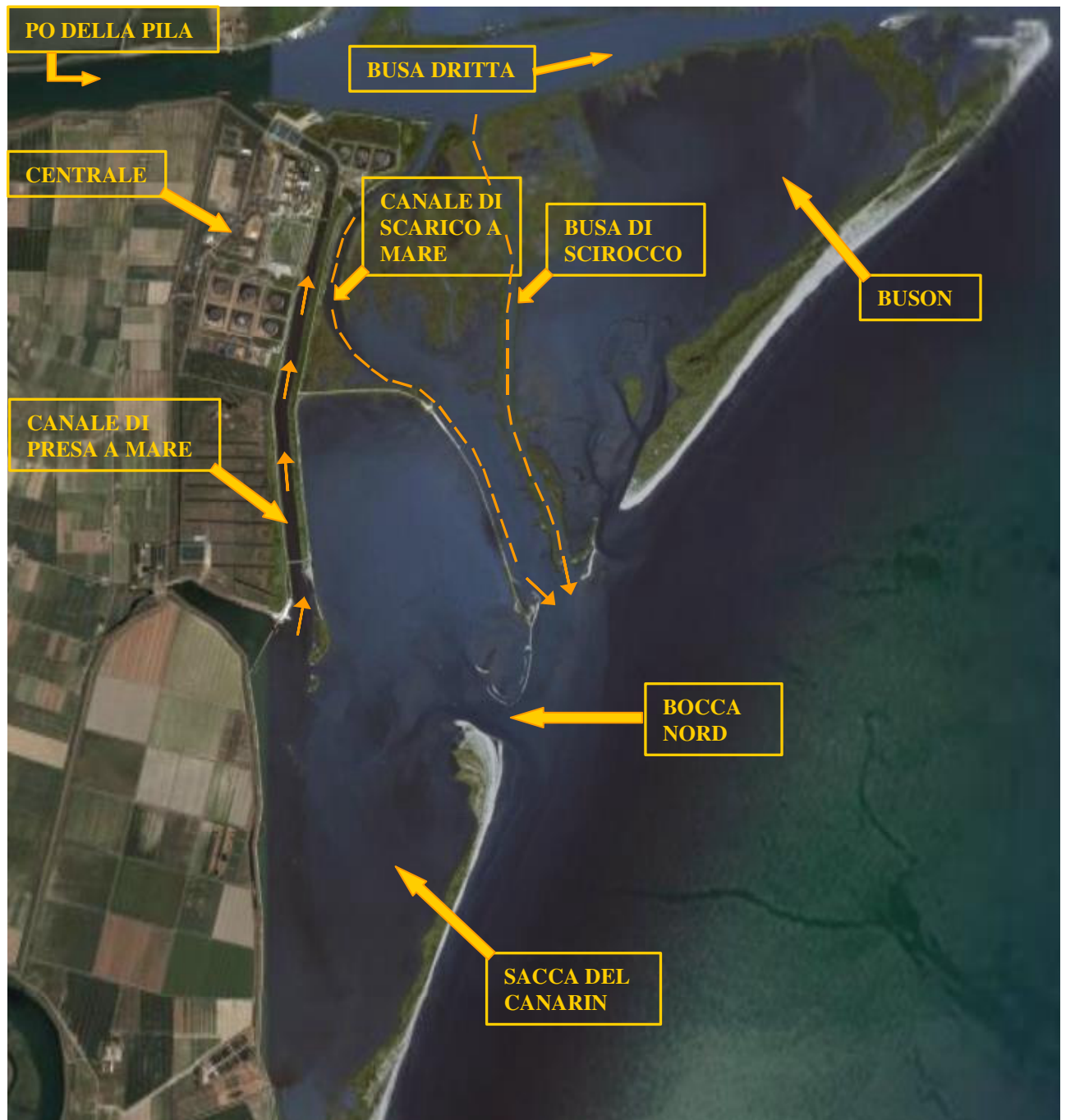


fig. 2.1 – Vista da satellite [6] dell'area oggetto di studio con indicazione del circuito delle acque di raffreddamento della centrale in assetto mare - mare

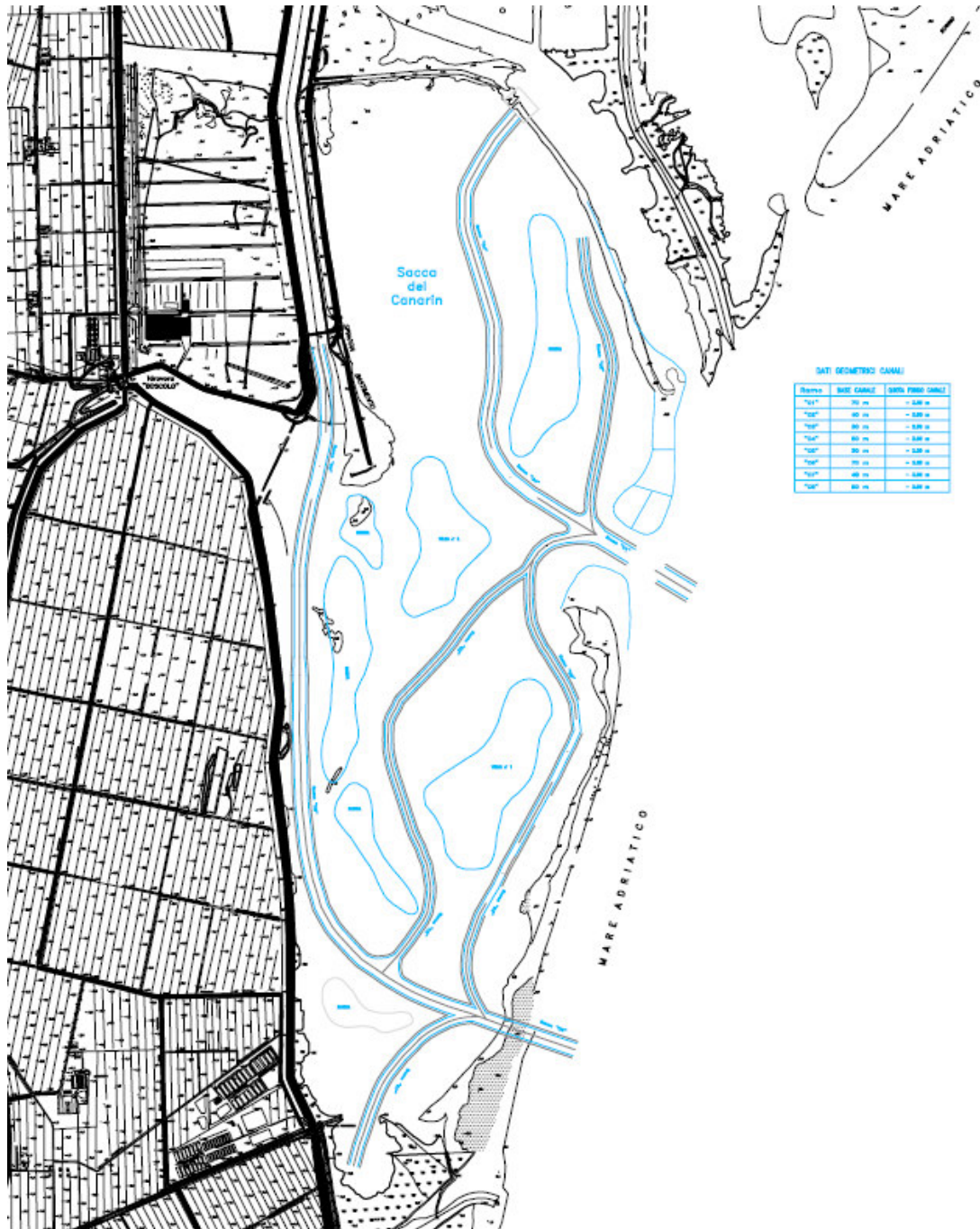


fig. 2.2 – Progetto di vivificazione del Consorzio di Bonifica (estratto da [7])

## 2.2 Articolazione dell'attività

La presente valutazione estende i risultati dello studio idrodinamico a suo tempo condotto dal Consorzio di Bonifica Delta Po Adige per la predisposizione del progetto di vivificazione [2]. In particolare si prende in considerazione l'analisi, nelle condizioni meteomarine tipiche del sito, della dispersione del pennacchio termico dovuto allo scarico delle acque di raffreddamento della centrale e dei suoi effetti sugli equilibri fisici e biotici della Sacca del Canarin. L'assetto del circuito di raffreddamento considerato è quello mare-mare derivante dall'impossibilità di attingere alle acque del fiume Po.

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

1. *Raccolta di informazioni, rilievo dei dati e valutazione dei parametri significativi per la caratterizzazione dello scarico e del territorio*, che sostanzialmente si è incentrata nei punti:
  - a) raccolta ed analisi dei dati relativi alle opere di scarico e presa della centrale;
  - b) definizione dei dati di esercizio della centrale nel previsto assetto a carbone;
  - c) raccolta ed analisi dei dati caratterizzanti i corpi idrici considerati, in termini di valori di portata, livello e batimetrie, per le aree di interesse; in particolare si sono considerati gli esiti di analisi recentemente condotte relativamente all'idrologia del fiume Po;
  - d) definizione delle condizioni di marea, temperatura e salinità del tratto di mare interessato dalla dispersione termica;
  - e) raccolta ed analisi delle condizioni meteorologiche tipiche della zona.
2. *Definizione dei modelli di calcolo numerico*, che si è incentrata nei seguenti punti:
  - a) definizione della batimetria dei tratti di canale e del fiume Po e della zona di mare interessati dallo studio a partire dai rilievi sperimentali delle sezioni e dei fondali e dai dati topografici;
  - b) definizione del dominio di calcolo. In particolare, la tipologia dello scarico e della presa, la conformazione del fondale dei diversi corpi idrici e la presenza delle sacche sono stati considerati con un dettaglio sufficiente agli scopi dello studio;
  - c) realizzazione del reticolo di calcolo per la simulazione numerica. Il modello utilizzato dal codice SWEETOMP è stato generato a partire dal dominio di calcolo, e prevede la suddivisione del dominio stesso in elementi finiti parabolici triangolari, le cui dimensioni sono ottimizzate per poter analizzare con accuratezza le aree interessate dalla diffusione termica e le zone di laguna caratterizzate da bruschi cambiamenti di batimetria.
3. *Esecuzione delle simulazioni numeriche*, condotte nelle condizioni ambientali ritenute più critiche, con il previsto assetto a carbone della centrale ed in presenza delle modifiche introdotte dal progetto di vivificazione della Sacca del Canarin.
4. *Analisi dei risultati*, con particolare riferimento alla definizione del campo dinamico e di temperatura ed alla influenza sull'ambiente biotico della Sacca del Canarin.

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

## 2.3 Documenti di riferimento

- [1] ENEL, Roma 26 marzo 2007 N. Rif. EP/P2007001435. Comunicazione a Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare avente per OGGETTO: *“Progetto di trasformazione a carbone della centrale termoelettrica di Porto Tolle (RO). Procedimento unico di autorizzazione ai sensi del decreto legge 7 febbraio 2002, n. 7, come convertito nella legge 9 aprile 2002, n. 55 – Rilascio dell'autorizzazione integrata ambientale, ai sensi dell'articolo 5 del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59 – Procedura VIA statale ai sensi dell'articolo 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349. Trasmissione documentazione.”*
- [2] 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
- [3] Regione del Veneto, Decreto N. 121 del 21 maggio 2004. Prot. N. 4619/1 Categ. IV Classe II, avente per OGGETTO: *“Delibera CIPE n. 36 del 03/05/02. Legge 23.12.1996 n. 662. Intese istituzionali di programma tra Regione Veneto e Governo. Atto Integrativo all'Accordo di programma Quadro 3: Difesa del suolo - Difesa della costa – Sicurezza Idraulica. Consorzio di Bonifica Delta Po Adige. Lavori di vivificazione della Sacca del Canarin in Comune di Porto Tolle e recupero di un'area lagunare ai fini dell'acquacoltura. Importo finanziato: € 2.606.969,85. Importo di cofinanziamento: € 750.000,00. Approvazione del progetto esecutivo”*
- [4] Regione del Veneto, Decreto N. 99 del 18 agosto 2003. Prot. N. 6478/1 Categ. IV, Classe II, avente per OGGETTO: *“. Consorzio di Bonifica Delta Po Adige. Lavori di vivificazione della Sacca del Canarin in Comune di Porto Tolle e recupero di un'area lagunare ai fini dell'acquacoltura. Comune di Porto Tolle (RO). Legge Regionale 26 marzo 1999, n. 10 'Disciplina dei contenuti e delle procedure di valutazione di impatto Ambientale.' Art. 7 Procedura di verifica. Esclusione del progetto dalla procedura di VIA.”*
- [5] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. N. Rif. EP/A2007001460 del 23 agosto 2007. Comunicazione a ENEL, Ministero per i beni e le attività culturali, Ministero dello sviluppo economico, Regione Veneto, Regione Emilia Romagna, avente per OGGETTO: *“Procedura di valutazione di Impatto Ambientale, ai sensi dell'art. 6 della legge 08/07/1986, n. 349, relativa al progetto della Società ENEL Produzione SPA di conversione a carbone della esistente centrale termoelettrica a olio combustibile localizzata in Comune di Porto Tolle (RO) – località Polesine Camerini.”*
- [6] Google Earth: A 3D interface to the planet - <http://earth.google.com>
- [7] 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.
- [8] R. Guandalini – *“SweetOmp: 2D Environment Fluid Dynamics. Installation and User's Manual”* – WorkNote 031/7 (November 2005)
- [9] UGS Corp. - *“Femap: a Windows-based engineering simulation tool for finite element analysis (FEA)”* – [www.ugs.com](http://www.ugs.com)
- [10] Autodesk Inc. *“Autocad: a CAD tool for design”* – [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)
- [11] 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)
- [12] 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)



- [13] 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)
- [14] L. D’Alpaos, G. Matteotti – *Valutazione degli aspetti legati alla navigazione ed all’impatto ambientale della soluzione individuata per la logistica funzionale al progetto di conversione della centrale*. Allegato 3.2.3.4-I al progetto per la conversione a carbone della centrale di Porto Tolle (maggio 2005)
- [15] ENEL CPCT Milano – *Centrale di Porto Tolle. Planimetria generale. Domanda agli enti interessati per il prolungamento del rinforzo argine di 2° linea ed argine verso Busa del Canarin*. Disegno 712.166 rev.0 Scala 1:5000 (novembre 1974)
- [16] ENEL CPCT Milano – *Centrale di Porto Tolle. Planimetria del Delta*. Disegno 712.155 rev.5 Scala 1:5000 (aprile 1977)
- [17] 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)
- [18] Istituto Idrografico della Marina. Carta nautica n. 38 “*Dal Po di Goro a Punta Tagliamento*”. Scala 1:100000
- [19] ENEL-DSR/CRIS – “*Rilievi idrografici nella parte terminale del Delta del Po. Decennio 1970-1979*” – Rapporto SI-536/80 (ottobre 1980)
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Poulain, P.M. “*Adriatic Sea surface circulation as derived from drifter data between 1990 and 1999*”. Journal of Marine Systems 29 (2001) 3–32
- [23] 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)
- [24] M. Hopper – *The WXTide32 version 4.2 Program* – [www.wxtide32.com](http://www.wxtide32.com) (2005)
- [25] Dati della Rete Ondametrica Nazionale per il sito di Punta della Maestra, da [www.telemisura.it](http://www.telemisura.it) (a cura di APAT)

### 3 STUDIO IDRODINAMICO DI MESSA A PUNTO DEL PROGETTO DI VIVIFICAZIONE

#### 3.1 Premessa

Al fine di verificare la congruità dei dimensionamenti e gli effetti degli interventi previsti nella Sacca del Canarin per il citato progetto di vivificazione [2], è stato messo a punto dal Consorzio di Bonifica Delta Po – Adige un modello matematico bidimensionale della laguna.

Esso ha inoltre consentito l'esame delle condizioni idrodinamiche che si determinano all'interno della Sacca come conseguenza della eventuale sovrapposizione ai fenomeni di circolazione naturale indotti dall'alternarsi delle maree, di correnti prodotte dall'esercizio della centrale.

I principali risultati dell'indagine condotta con l'ausilio del suddetto modello sono riportati nel seguito insieme alle ipotesi assunte per lo studio. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla relazione idraulica, Allegato 2 al progetto [2].

#### 3.2 Principali risultati dello studio

Rimandando alla relazione tecnica per quanto concerne le caratteristiche delle opere, la relazione idraulica allegata al progetto di vivificazione [2] pone l'accento sul fatto che le nuove opere portano ad un generico miglioramento della circolazione idrodinamica all'interno della Sacca.

Si evidenzia inoltre che il regime naturale delle correnti di marea nella Sacca può essere sensibilmente influenzato dall'esercizio della centrale termoelettrica di Porto Tolle.

Tale circostanza si osserva in particolari condizioni di magra del Po, quando, secondo le concessioni attualmente vigenti, la centrale può utilizzare acque di raffreddamento (fino ad un massimo di 80 m<sup>3</sup>/s) attingendole direttamente dalla laguna, e scaricandole a mare attraverso un canale che si sviluppa tra la laguna stessa e la Busa di Scirocco (vedi fig. 2.1).

La modellazione ha riguardato sia l'area interna della laguna sia la fascia di mare antistante in modo da evidenziare il campo di velocità delle correnti in avvicinamento durante l'evolversi della marea. Tutte le simulazioni numeriche sono state condotte considerando una marea sinusoidale di periodo 12 ore e di ampiezza complessiva di 0.80 m con oscillazioni di  $\pm 0.40$  m attorno al livello di medio mare. Con riferimento alle portate derivate dal canale di presa a mare della centrale sono state ipotizzate tre possibili condizioni: portata nulla (funzionamento fiume – fiume della centrale, vale a dire con presa/scarico da/in Po), e portata pari a 40 e a 80 m<sup>3</sup>/s (funzionamento mare – mare della centrale).

A parità di condizioni al contorno per i livelli di marea e per portate utilizzate, la situazione attuale è stata confrontata con la situazione conseguente allo Stralcio (vedi fig. 3.2) dei lavori previsti per il progetto di vivificazione, con il quale si prevede di realizzare solo una parte degli interventi complessivamente previsti nel progetto (ed illustrati nei capitoli successivi).

In particolare, i risultati cui giunge lo studio sono di seguito riassunti.

##### 3.2.1 Simulazione della situazione attuale

La fig. 3.1 mostra, per l'attuale assetto della Sacca, il campo delle velocità residue in un ciclo completo di marea nell'ipotesi di assenza di attingimento in Sacca delle acque di raffreddamento per l'esercizio della centrale (in alto) confrontandolo con quello ottenuto simulando un attingimento di 40 m<sup>3</sup>/s e di 80 m<sup>3</sup>/s. E' evidente che le correnti residue che si determinano in assenza di portata da parte della centrale termoelettrica sono di ben scarso rilievo e non modificano in alcun modo le condizioni di ricambio nelle zone periferiche della laguna.

Nella situazione attuale sensibili benefici sui tempi di ricambio delle acque si ottengono se sulla circolazione naturale indotta dalle correnti di marea si sovrappongono gli effetti della circolazione

‘forzata’ prodotta dalla derivazione delle acque di raffreddamento da parte della centrale termoelettrica. Sono evidenti i forti incrementi che subiscono le velocità delle correnti residue.

Nel loro insieme questi risultati mettono in luce la possibilità concreta, attraverso un’opportuna gestione del sistema che conduce acque di raffreddamento alla centrale, di intervenire sull’idrodinamica lagunare, attivando i fenomeni che favoriscono il ricambio delle zone periferiche della laguna. Il beneficio che ne consegue è evidente soprattutto se con questa gestione controllata dell’idrodinamica lagunare si vogliono contrastare i fenomeni di eutrofizzazione delle acque che si riscontrano nella Sacca anche a causa di un difficoltoso ricambio di una parte dello specchio liquido.

### 3.2.2 Simulazione della situazione di progetto (Stralcio)

La fig. 3.3 mostra, per l’assetto della Sacca previsto nello Stralcio del progetto di vivificazione, il campo delle velocità residue in un ciclo completo di marea nell’ipotesi di assenza di attingimento in Sacca delle acque di raffreddamento per l’esercizio della centrale (in alto) confrontandolo con quello ottenuto simulando un attingimento di 40 m<sup>3</sup>/s e di 80 m<sup>3</sup>/s.

Gli interventi previsti nel suddetto Stralcio (fig. 3.2) consistono essenzialmente nella stabilizzazione della bocca e degli scanni a mare, nello scavo di alcuni canali interni e nella realizzazione di due aree produttive destinate alla coltivazione dei molluschi (velma n. 1 e velma n. 2 in fig. 2.2).

Con riferimento alla situazione di portata nulla di attingimento, se si confrontano i risultati della presente simulazione con quelli ottenuti per la situazione attuale si osserva che, nonostante la riduzione della larghezza della bocca, l’onda di marea si propaga all’interno della laguna con modalità del tutto simili a quelle attuali. In particolare si incrementano, anche se in misura appena apprezzabile, le velocità lungo i bordi delle aree produttive come conseguenza soprattutto della presenza dei canali che, formando delle vie preferenziali alla propagazione, tendono a concentrare il flusso e quindi a sostenere localmente la velocità. Restano peraltro modeste le correnti residue che si generano in laguna per il naturale alternarsi dei cicli di marea.

Derivando 40 e 80 m<sup>3</sup>/s si confermano, con modesti scostamenti, i risultati già osservati al punto precedente. Resta in particolare confermata la possibilità di attivare in modo cospicuo la circolazione, e quindi il ricambio, nelle zone periferiche della laguna mediante una opportuna gestione del sistema di derivazione dalla Sacca delle acque necessarie al raffreddamento dei condensatori in centrale.

## 3.3 Considerazioni conclusive

L’esame condotto con l’ausilio di un modello matematico bidimensionale sul comportamento idrodinamico della Sacca del Canarin ha consentito di evidenziare i seguenti aspetti principali del regime delle correnti di marea, che si instaurano nella laguna.

In particolare, nella situazione attuale:

- se si escludono gli specchi liquidi posti in prossimità della bocca, il ricambio delle acque legato al solo trasporto convettivo è di scarso rilievo e verosimilmente non è in grado di contrastare, nelle parti periferiche della laguna, eventuali processi di eutrofizzazione;
- se, sulla circolazione naturale in laguna, si sovrappone quella prodotta dal prelievo di consistenti portate da parte del sistema di raffreddamento della centrale termoelettrica, si produce l’attivazione del trasporto convettivo e, soprattutto, si induce all’interno della laguna una circolazione secondaria di un certo rilievo che estende sensibilmente le aree nelle quali il ricambio risulta efficacemente sostenuto dalle correnti di marea.

Per quanto concerne la situazione di progetto:

- l’attuazione di un primo stralcio di lavori del progetto di vivificazione migliora taluni aspetti della circolazione lagunare con particolare riferimento alle aree adiacenti alle aree produttive previste;

- si estendono, rispetto alla situazione attuale, gli specchi liquidi interessati da velocità sostenute, che si mantengono su valori apprezzabili lungo tutto il perimetro delle aree produttive previste;
- nuovamente rilevante è l'effetto della derivazione di portata da parte della centrale termoelettrica; la presenza dei canali seppure in misura contenuta, genera una migliore distribuzione della circolazione residua all'interno della laguna e favorisce di conseguenza un più efficiente ricambio delle acque.

Lo studio sottolinea inoltre come l'attuazione di tutti gli interventi previsti dal progetto di vivificazione (in particolare l'apertura della Bocca Sud), indipendentemente dalla derivazione o meno di portata per gli usi della centrale, sarebbero in grado di migliorare la circolazione ed il ricambio in tutto lo specchio lagunare.

Le conclusioni di tale studio costituiscono il punto di partenza del successivo approfondimento, principale oggetto della presente relazione, commissionato a CESI da ENEL a valle delle osservazioni formulate nel parere [5] espresso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in merito alla procedura di VIA della conversione a carbone della centrale di Porto Tolle.

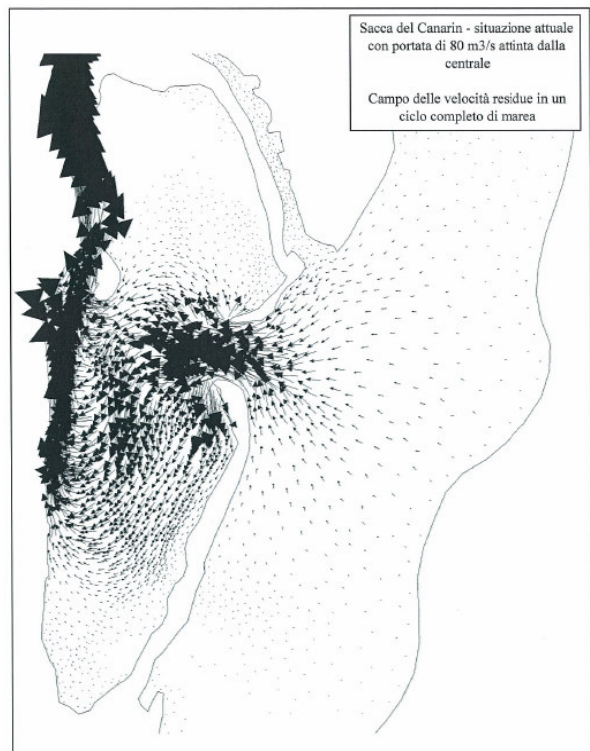
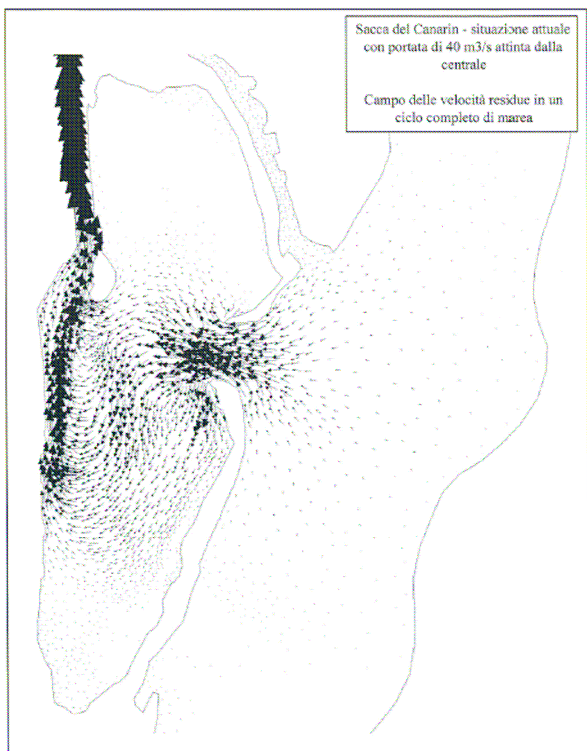
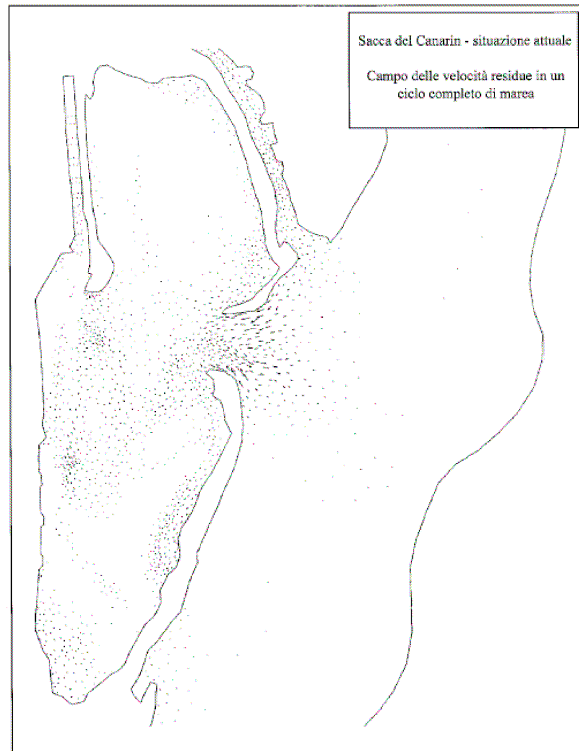


fig. 3.1 – Situazione attuale. Campo delle velocità residue in un ciclo completo di marea in assenza di attingimento in Sacca delle acque di raffreddamento per l'esercizio della centrale (in alto) e con attingimento di 40 m<sup>3</sup>/s (in basso a sx) e di 80 m<sup>3</sup>/s (in basso a dx) (dalla Relazione Idraulica, All. 2 a [2])

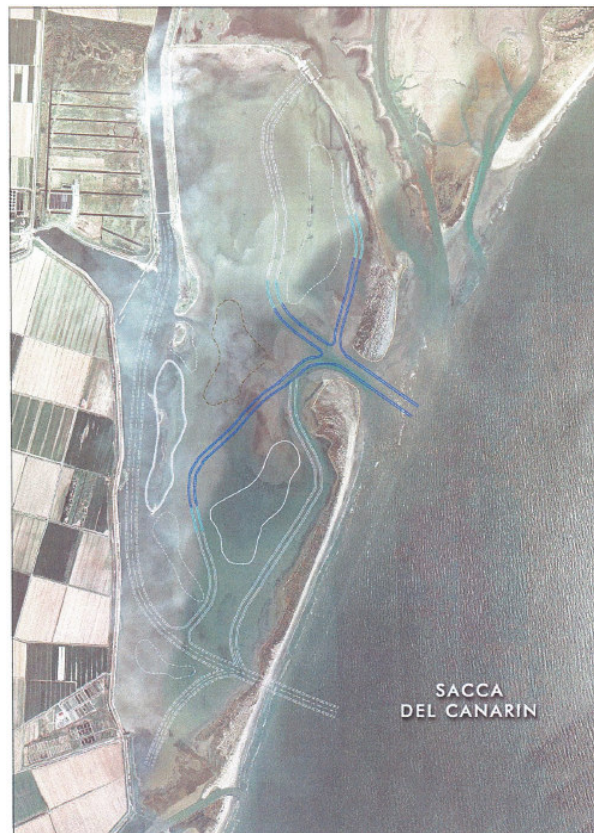


fig. 3.2 – Progetto di vivificazione (dalla Relazione Idraulica, All. 2 a [2]). In alto è illustrato lo Stralcio delle opere simulate nello studio idrodinamico del Consorzio di Bonifica Delta Po - Adige

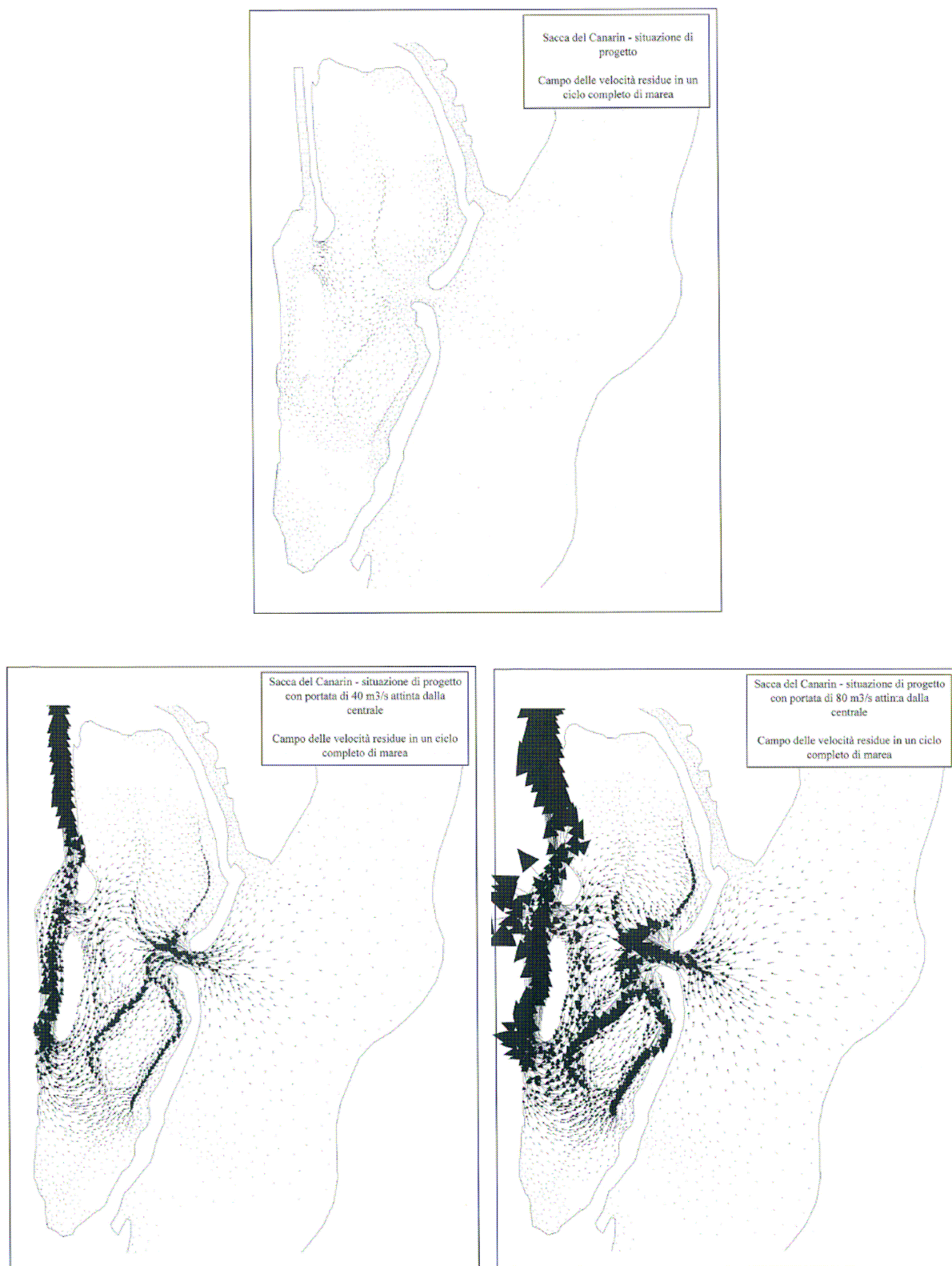


fig. 3.3 – Situazione di progetto. Campo delle velocità residue in un ciclo completo di marea in assenza di attingimento in Sacca delle acque di raffreddamento per l'esercizio della centrale (in alto) e con attingimento di 40 m<sup>3</sup>/s (in basso a sx) e di 80 m<sup>3</sup>/s (in basso a dx) (dalla Relazione Idraulica, All. 2 a [2])

## 4 STUDIO IDRODINAMICO DI APPROFONDIMENTO SUGLI EFFETTI DEGLI INTERVENTI PREVISTI NELLA SACCA DEL CANARIN

### 4.1 Premessa

Il presente studio si colloca a valle delle osservazioni contenute nel parere espresso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare [5], in merito al progetto di conversione a carbone della esistente centrale termoelettrica ENEL a olio combustibile di Porto Tolle (RO), e scaturisce dalla necessità, sollevata nel suddetto parere, di predisporre uno “studio relativo all'intervento previsto sulla Sacca del Canarin e relativa analisi degli effetti ambientali indotti sugli equilibri fisici e biotici della laguna.”

Come precedentemente sottolineato, per quanto riguarda l'uso della risorsa idrica, il Ministero pur rilevando che, secondo il progetto del proponente, nulla cambierà in merito al regime di concessione attualmente in essere, ritiene che “debbano essere considerati gli effetti sia dell'attuale trend di riduzione della portata idrica del Po sia dell'accertata risalita del cuneo salino” poiché potrebbero “comportare una potenziale situazione di criticità per l'ambiente idrico della Sacca del Canarin, in cui è ubicato il canale di adduzione dell'acqua.”

Inoltre, il Ministero “ritiene necessario che venga chiarita la prevista evoluzione naturale della Sacca e che vengano valutati gli effetti ambientali degli interventi necessari ad evitare, in linea con la pianificazione territoriale, il progressivo interrimento e la formazione di scanni.”

I capitoli che seguono approfondiscono i suddetti aspetti a partire dai risultati del precedente studio idrodinamico (descritto al capitolo 3) e considerando la stretta connessione esistente tra gli interventi previsti nella Sacca del Canarin e l'intero assetto del ciclo di presa e scarico.

### 4.2 Caratteristiche del codice SWEET-OMP 4.5.3

#### 4.2.1 Caratteristiche generali

Il codice di calcolo SWEET-OMP [8] è un simulatore 2D agli elementi finiti in grado di calcolare il campo idrodinamico e termico a partire dalle condizioni iniziali ed al contorno, tenendo conto degli eventuali effetti del vento. SWEET-OMP è stato sviluppato negli anni 90 presso l'ENEL dal Polo Idraulico e Strutturale, confluito poi in CESI, ed è stato usato per una serie di analisi idrodinamiche anche nell'ambito di progetti europei; la versione 4.5.3 usata per il presente studio è derivata dalla versione di produzione 4.5.1, disponibile per sistemi Unix, Linux e Windows 9x/NT/2000/XP.

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

#### 4.2.2 Considerazioni sul modello matematico

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

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

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



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

dove:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda la discretizzazione temporale delle equazioni della portata specifica e dell’elevazione della superficie libera, si fa uso del metodo dei passi frazionari a tre passi. In particolare, il primo passo isola il termine convettivo, che viene risolto mediante il metodo delle caratteristiche, il secondo passo fa uso di un metodo ad un passo implicito in cui le forze di attrito del fondo sono trattate in modo parzialmente implicito, valutando la portata specifica e l’elevazione della superficie libera al passo precedente, ed infine il terzo passo in cui si applica un metodo implicito in cui i coefficienti delle derivate spaziali e temporali sono valutati con le grandezze note al passo precedente. La discretizzazione temporale delle equazioni di turbolenza e del campo termico sono condotte con una tecnica simile a due soli passi, in cui il primo isola il termine convettivo risolvendolo col metodo delle caratteristiche, mentre il secondo considera il termine diffusivo ed i termini di sorgente .

Per lo studio in oggetto, tuttavia, la formulazione storica del passo convettivo è risultata inadeguata a causa della concomitante presenza di aree a bassa profondità e soprattutto a bassa velocità di scambio (aree lagunari) ed aree viceversa caratterizzate da alte velocità (canali di scarico e presa) o da profondità elevate (zona di mare aperto), tutte contemporaneamente presenti nel medesimo reticolo di calcolo. Si è quindi reso necessario un affinamento dell’algoritmo convettivo che tiene conto della differente tipologia di discretizzazione e della diversa idrodinamica nelle diverse regioni del reticolo; questo ha consentito di raggiungere soddisfacenti livelli di affidabilità dei risultati nelle condizioni peculiari sopra descritte.

Tutte le equazioni sono discretizzate col metodo degli elementi finiti utilizzando elementi triangolari P1, definiti da tre nodi e con funzioni di forma lineari, ed elementi di tipo P2, definiti da sei nodi e con funzioni di forma paraboliche. La griglia di base è costituita da triangoli di tipo P1, in quanto i triangoli di tipo P2 sono automaticamente creati dagli elementi P1, aggiungendo un nodo a metà di ciascun lato. Tali elementi hanno perciò funzioni di forma paraboliche ma lati rettilinei. Tale discretizzazione, di cui in fig. 4.1 è riportato un esempio, è effettuata direttamente in fase di creazione del reticolo di calcolo.

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

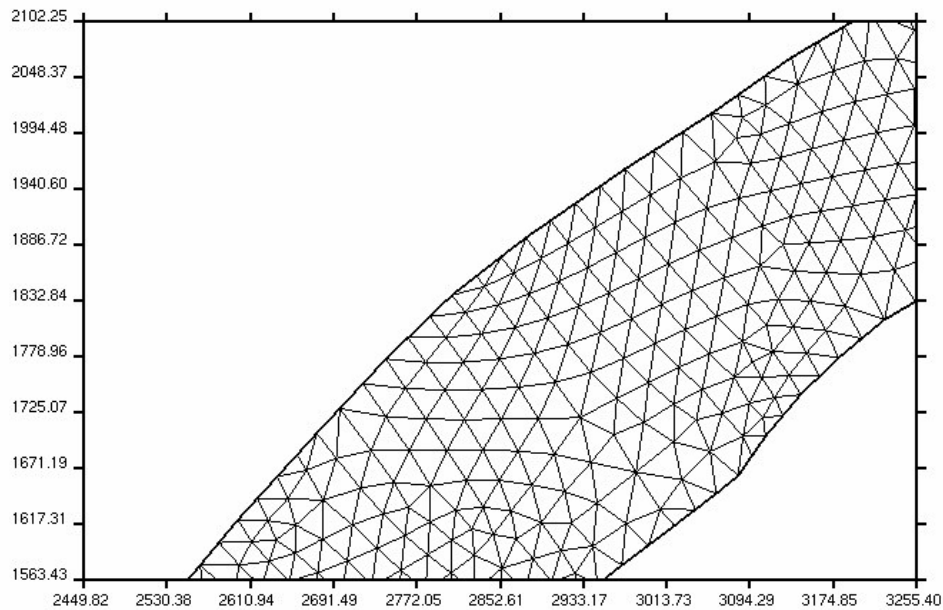


fig. 4.1 – Esempio di reticolo per il modello di simulazione numerica di SWEETOMP

### 4.3 Analisi delle condizioni influenzanti la dispersione termica

#### 4.3.1 Considerazioni generali

La restituzione da parte di centrali termoelettriche dell'acqua calda proveniente dai circuiti di raffreddamento mediante scarichi a cielo aperto direttamente in corpi fluviali, o indirettamente tramite canali artificiali, è tipicamente condizionata dalla conformazione e dalle condizioni idrauliche degli stessi nonché dalle condizioni di esercizio degli impianti.

Pertanto, la raccolta e l'analisi dei dati fa riferimento a:

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

#### 4.3.2 Assetto attuale dell'impianto

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 necessarie al ciclo termico 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, a sua volta collegata al mare aperto, e restituirla direttamente a mare attraverso un canale di restituzione che sbocca poco più a nord rispetto alla Sacca del Canarin (fig. 2.1). 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. Sono anche possibili transitori di funzionamento fiume - mare, in cui il prelievo avviene a fiume e la restituzione a mare, quando si verificano condizioni di ricircolo termico sul fiume, soprattutto in funzione degli andamenti di marea.

La portata complessiva delle acque di raffreddamento autorizzata per le quattro sezioni è di 80 m<sup>3</sup>/s, per un incremento termico allo scarico dai condensatori pari a 8 °C.

La condizione di interesse per il presente studio è quella mare - mare tipicamente utilizzata nel periodo estivo in condizioni di scarsa disponibilità di acqua nel fiume Po; in questo caso sono considerati i soli canali di presa a mare e restituzione a mare rappresentati in fig. 2.1, con il riferimento alle sezioni dei canali utilizzate per la successiva definizione della batimetria delle opere stesse.

#### 4.3.3 Assetto futuro a carbone dell'impianto

La trasformazione a carbone della centrale, prevede un futuro esercizio a tre gruppi, ancora con una potenza termica lorda di 660 MW; 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 m<sup>3</sup>/s si ottenga un sopralzo termico allo scarico di 7 °C, inferiore quindi di 1 °C rispetto all'attuale assetto di esercizio.

Le opere di adduzione e restituzione per le acque di raffreddamento sono le stesse utilizzate nella configurazione attuale, e non sono previste modifiche tali da alterare le condizioni idrauliche di presa e scarico, con particolare riferimento al funzionamento mare - mare considerato nel presente studio.

#### 4.3.4 *Evoluzione della morfologia della Sacca del Canarin e caratteristiche principali del progetto di vivificazione*

A forma di anello allungato, delimitata a nord con la Busa Diritta, ad Ovest con l'isola di Polesine Camerini e ad est con la Busa di Scirocco e con gli scanni che la separano dal Mare Adriatico, la Sacca del Canarin (fig. 2.1) ha una superficie di circa 1000 ettari, una profondità media inferiore al metro e raggiunge massimi di 1.8 m nella zona centrale di fronte alla Bocca Nord, mentre ha valori molto minori nella zona settentrionale e meridionale.

Le condizioni ambientali ivi presenti, come in generale avviene per le aree del Delta e quelle lagunari limitrofe, sono fortemente soggette a modifiche morfologiche anche in tempi brevi a causa dell'azione delle correnti e della marea, e non ultimo a causa dell'apporto di sedimenti da parte del Po [11]. Queste modifiche portano spesso alla occlusione di passaggi di collegamento con il mare aperto, con la conseguente creazione di zone di stagnazione in cui il ricambio delle acque avviene assai lentamente. Questo è quanto avvenuto nella Sacca del Canarin. Negli anni '70, infatti, la laguna presentava due aperture a mare poste nelle vicinanze delle foci dei due corsi d'acqua e una canalizzazione interna ben definita, come si osserva in fig. 4.2 e in fig. 4.3 che mostrano come è evoluta la morfologia della Sacca del Canarin: molto aperta verso il mare prima del 1970 [12] e successivamente progressivamente colmata dall'apporto di sedimenti anche in relazione dell'interrimento della Busa di Bastimento; in fig. 4.4 sono mostrate le sezioni delle bocche rilevate nel 1979 durante le prospezioni condotte per la costruzione della centrale [13].

Con la chiusura della Bocca Sud quale zona di scambio (avvenuta all'inizio degli anni '80), tutta la parte Sud della laguna ha iniziato a modificarsi. 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 causa 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, impediscono anche il possibile sfruttamento a fini commerciali delle acque stesse, ad esempio attraverso l'impianto di allevamenti ittici.

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*" [2] che, partendo dall'analisi delle condizioni idrodinamiche (descritte al precedente capitolo 3) 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 fig. 2.2 si riassume sostanzialmente nei seguenti punti:

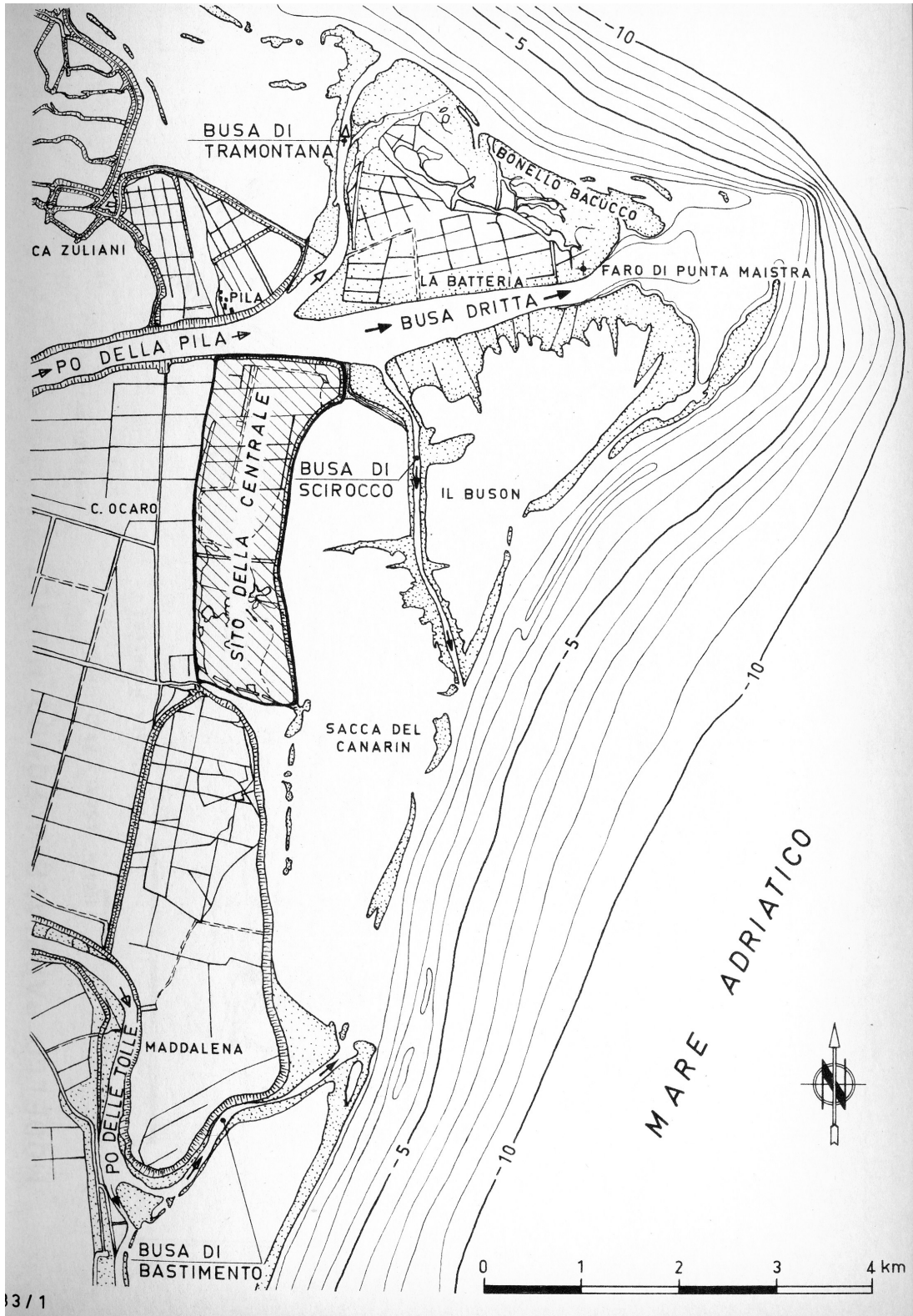
- scavo di una rete interna di canali, di profondità pari a 2.5 m rispetto al livello di medio mare, per favorire la penetrazione dell'onda di marea e di acque più profonde;
- realizzazione ed ampliamento di alcune barene ad una altezza di 0.5 m sul livello di medio mare per indirizzare le correnti di marea verso le zone tendenzialmente di 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);
- opere di stabilizzazione degli scanni a mare.

Su questo scenario si innesta poi l'effetto della presenza della centrale di Porto Tolle, in quanto nelle condizioni di magra del fiume Po essa 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 in corrispondenza del passaggio ma con gradienti pressoché nulli all'interno; di conseguenza, vi sono velocità apprezzabili solo in prossimità della bocca, e la resistenza offerta al passaggio di fatto ostacola anche il richiamo delle acque necessarie alla centrale, soprattutto in condizioni di bassa marea.

L'effetto sulla circolazione previsto con la realizzazione delle opere in progetto 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.

Di fatto, gli studi di progetto [14] hanno evidenziato una propagazione dell'onda di marea all'interno della laguna con modalità assai diverse da quelle attuali. In primo luogo la penetrazione attraverso le due bocche, nord e sud, avviene con modesti effetti dissipativi sia per la ridistribuzione del flusso attraverso due passaggi anziché uno solo, sia soprattutto per i dragaggi previsti alle bocche stesse. Si evidenzia inoltre il significativo ruolo esercitato dalla nuova Bocca Sud che alimenta direttamente la parte meridionale del bacino.

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.



03/1

fig. 4.2 – Morfologia del sito anteriore al 1970

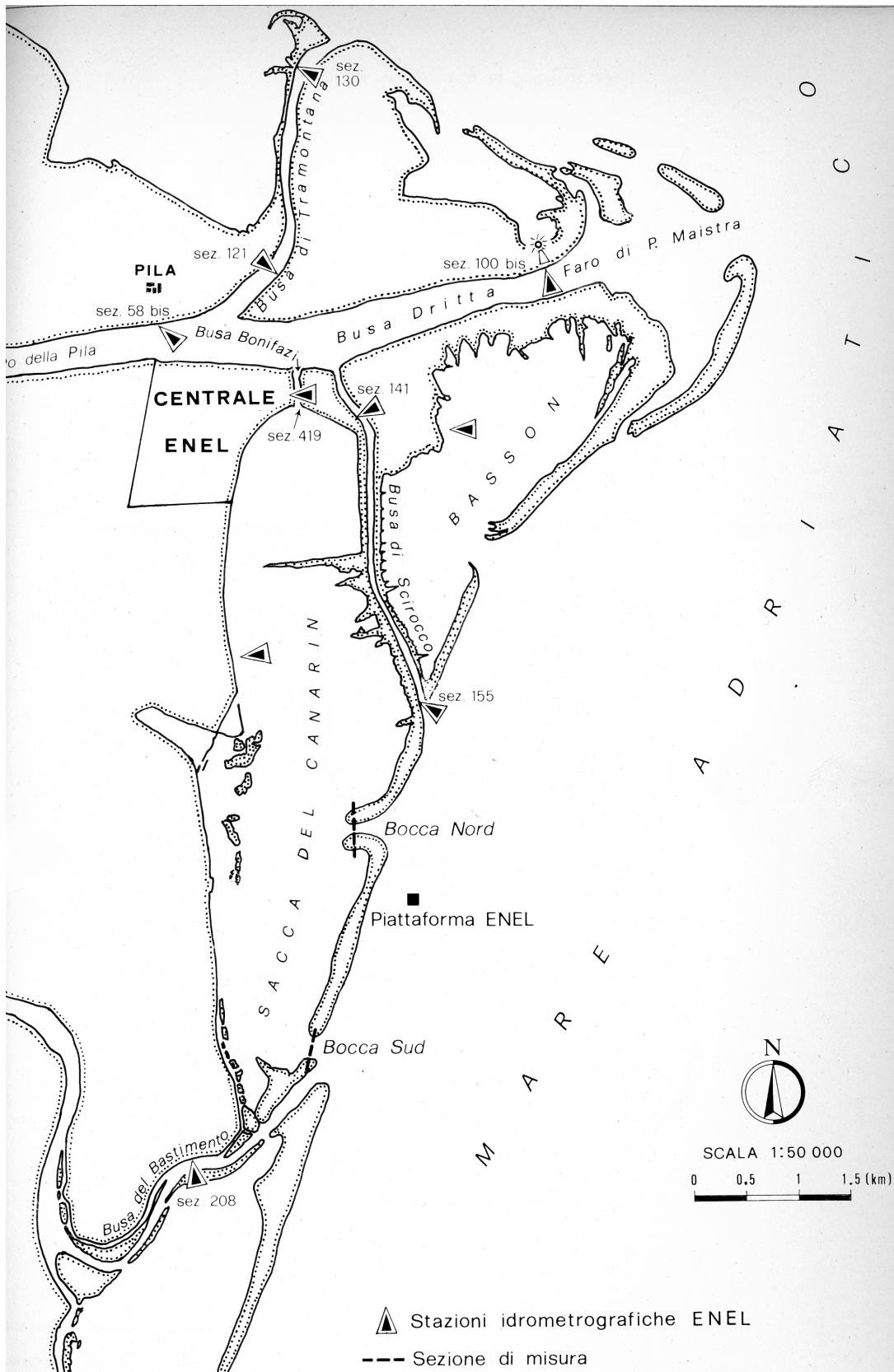


fig. 4.3 – Morfologia del sito tra il 1975 e il 1979

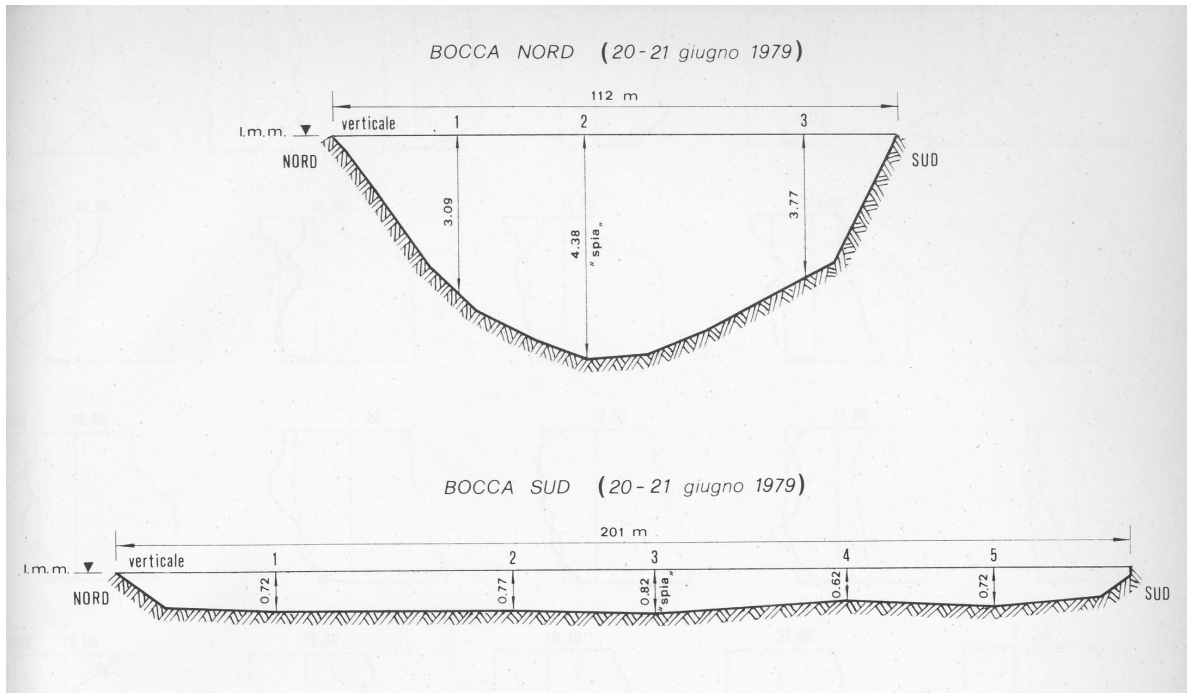


fig. 4.4 – Sezione delle bocche Nord e Sud della Sacca del canarin misurate da ENEL nel 1979

#### 4.3.5 Caratteristiche ambientali e del territorio utili allo studio di dispersione

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

1. morfologia dei corpi idrici interessati sia dallo scarico che dai fenomeni mareali;
2. caratteristiche del flusso idrico per i diversi contributi portati al sistema;
3. caratteristiche batimetriche dei diversi corpi idrici;
4. condizioni marine influenzanti il sistema, con particolare riferimento alle condizioni di marea e correntometriche;
5. condizioni tipiche imperturbate di temperatura e salinità;
6. caratteristiche meteorologiche del sito.

Ciascuno degli aspetti sopra citati è stato esaminato allo scopo di determinarne l'effetto sulla dispersione termica delle acque di raffreddamento in presenza del progetto di vivificazione e della trasformazione a carbone della centrale.

##### 4.3.5.1 Dati relativi alla morfologia del sito e alla batimetria

La raccolta dei dati inerenti alla morfologia dei diversi corpi idrici, naturali ed artificiali, che costituiscono il sistema idraulico collegato al circuito di raffreddamento della centrale, riveste una importanza fondamentale, in quanto da essa si deducono informazioni atte a costruire la discretizzazione spaziale per le simulazioni numeriche e la posizione esatta dell'impianto nel dominio di calcolo. Per lo scopo dell'analisi si ritiene necessario considerare il corpo idrico come delimitato in fig. 4.5 in modo da poter considerare completamente sviluppato il campo di moto in presenza delle forzanti di corrente marina e da considerare tutti gli apporti di acque che possono in qualche modo influenzare la diffusione.



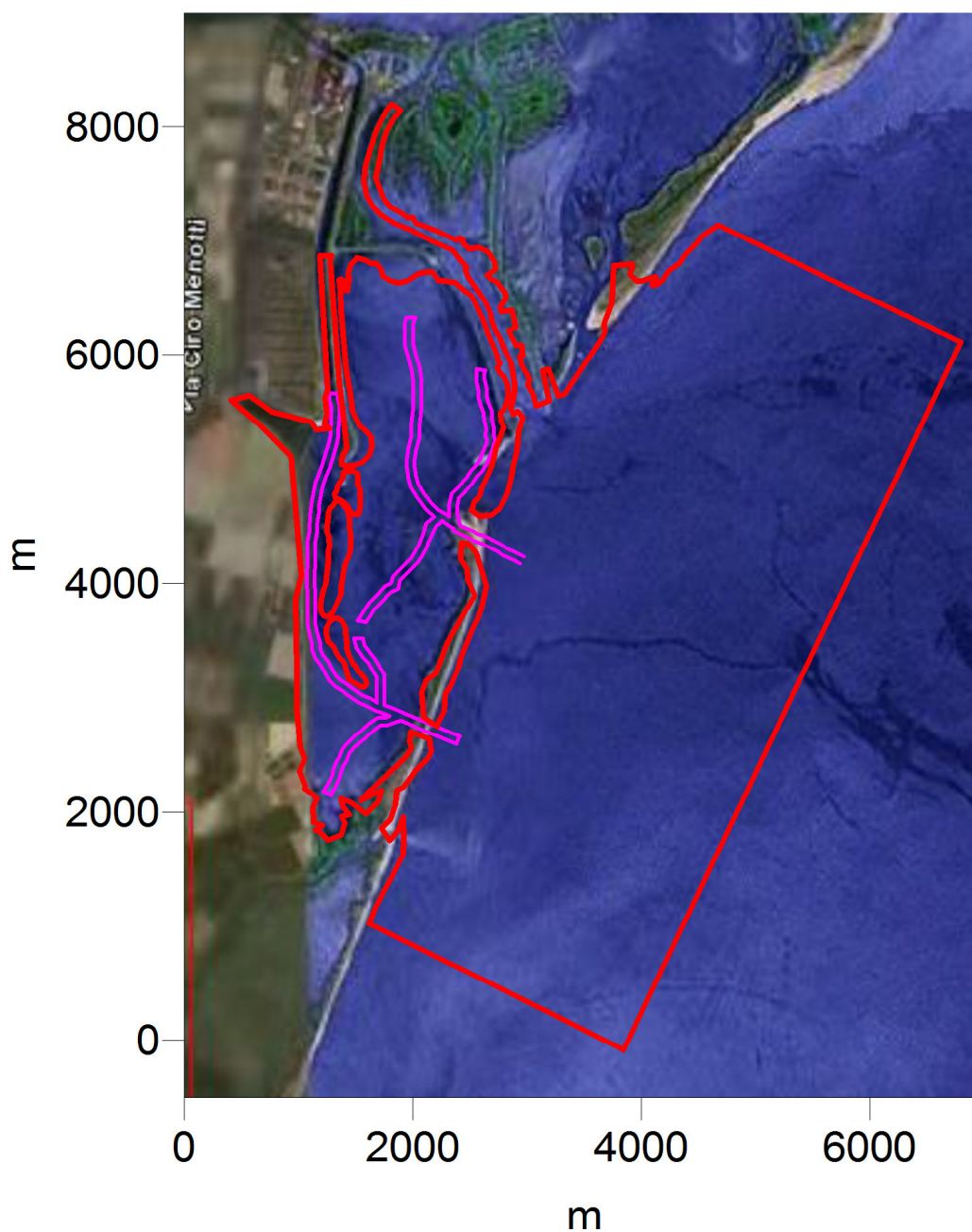


fig. 4.5 – Delimitazione del dominio di calcolo in presenza delle opere di vivificazione della Sacca del Canarin

La determinazione del dominio interessato dalla simulazione non è di per sé sufficiente a consentire la caratterizzazione della morfologia dei corpi idrici, che deve essere completata dalla batimetria dei fondali associati al dominio stesso.

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 Delta. Tenendo conto di tale aspetto, la batimetria nel dominio di calcolo è stata così definita:

- per la Sacca del Canarin, sono stati utilizzati i valori di batimetria rilevati ai fini del progetto di vivificazione;
- per i canali di presa e scarico, sono stati utilizzati i rilievi ed i dati di progetto estratti dalla documentazione fornita direttamente dalla Centrale [15, 16, 17];

- per la profondità dei fondali nella zona di mare aperto antistante l'area lagunare sono stati rilevati i valori batimetrici tratti dalla carta nautica n. 38 "Dal Po di Goro a Punta Tagliamento" [18], previa verifica della congruenza con i valori rilevati in fase di progetto nell'area immediatamente antistante la Sacca del Canarin;
- per i valori di profondità delle aree dragate previste dal progetto di vivificazione sono stati utilizzati i valori usati nello studio idrografico preliminare [14].

L'insieme delle informazioni batimetriche ha consentito di definire con accuratezza l'andamento dei fondali in tutte le aree interessate dal calcolo. L'accuratezza con cui viene riprodotta la batimetria è particolarmente importante nelle aree caratterizzate da bassi fondali, in quanto l'alternarsi della marea ne provoca il periodico ricoprimento e scoprimento, anche se le variazioni di livello marino non superano il metro.

Per caratterizzare poi il modello numerico dal punto di vista dell'effetto della natura del fondale, occorre identificare le diverse tipologie di fondo in quanto influenti sul campo di moto che si instaura nel corpo idrico. Per il caso oggetto dello studio, si assume che i fondali presentino una sostanziale omogeneità, avendo una tipologia di tipo sabbioso - fangoso.

Il coefficiente di Gauckler-Strickler, che indica il grado di scabrezza del fondale può variare per questo tipo di fondale tra 40 e 50  $m^{1/3}s^{-1}$ , in quanto tiene conto anche dell'effetto dei termini convettivi e di Reynolds; per il presente studio esso è stato assunto pari a 42  $m^{1/3}s^{-1}$ , valore già utilizzato per studi simili nella laguna di Venezia con SWEETOMP e non discosto dal valore di 40  $m^{1/3}s^{-1}$  utilizzato nello studio idrodinamico preliminare [14]. Inoltre tale valore è in buon accordo con i valori misurati sperimentalmente durante i rilievi idrografici condotti nell'area preliminarmente alla costruzione della centrale, in particolare nella Busa di Tramontana e nella Busa di Scirocco; i valori misurati, infatti, sono risultati pari a 40.3  $m^{1/3}s^{-1}$  per la Busa di Tramontana ed a 41.2  $m^{1/3}s^{-1}$  per la Busa di Scirocco (tabella n. 10 di [19]).

#### 4.3.5.2 Dati correntometrici

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 [20, 21, 22] 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 possono aversi circolazioni locali capaci di determinare circolazioni 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, negli scenari di validazione pseudo – stazionari condotti a monte dello scenario dinamico qui descritto, si è considerata una corrente marina diretta da nord a sud con intensità mediamente inferiore a 0.1 m/s. Nella simulazione dinamica, l'imposizione contemporanea di una corrente da Nord e della marea avente direzione trasversale (dal largo verso costa) avrebbe comportato difficoltà numeriche durante il transitorio. Inoltre, poiché nella simulazione dinamica la marea costituisce la forzante ambientale predominante, si è adottata una corrente costiera nulla sul fondo e determinata dalla marea, in superficie.

Infine, per simulare la corrente generata dallo sbocco a mare del Po di Scirocco, è stato considerato un efflusso pari a 1  $m^3/s$  in corrispondenza della sua foce. Tale valore è stato ricavato considerando la ripartizione della portata del Po a Pontelagoscuro nei rami del delta, fornita dallo studio di impatto ambientale preparato per la conversione a carbone della centrale, ed applicata allo scenario estivo qui simulato.

E' importante sottolineare che la corrente sottocosta indotta da nord verso sud dall'efflusso del Po di Scirocco tende anch'essa a sospingere il pennacchio caldo proveniente dal canale di scarico a mare verso l'area della Sacca del Canarin e quindi verso la zona di aspirazione della presa a mare.

#### 4.3.5.3 *Dati relativi alle condizioni di temperatura*

Le valutazioni delle condizioni di temperatura imperturbata dell'acqua sono necessarie per poter valutare la diffusione termica del pennacchio caldo proveniente dallo scarico della centrale. Nelle condizioni in cui è effettuata la 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. Nella fattispecie, infatti, la temperatura rilevata nelle aree di laguna e quindi anche nella Sacca del Canarin, a causa dei bassi fondali e dello scarso ricambio d'acqua, risulta di due o più gradi superiore a quella che si riscontra in mare, fondamentalmente per effetto dell'irraggiamento; nel periodo estivo tale fatto è particolarmente evidente, ed inoltre si verifica anche una stratificazione della temperatura nella zona di mare antistante la laguna, con temperature dello strato superficiale (0.50÷1 m) superiori di due o tre gradi rispetto a quella degli strati più profondi.

Il fatto che la centrale, nelle configurazioni assunte per il presente studio, aspiri l'acqua di raffreddamento dalla Sacca del Canarin, e quindi con acque tendenzialmente più calde della media e la riversi poi in mare aperto, in presenza quindi di una stratificazione con acque più fredde negli strati sotto la superficie, influenza sia il galleggiamento e la diffusione del pennacchio caldo in mare, sia il valore dell'eventuale ricircolo termico alla presa.

Per valutare, con specifico riferimento al periodo estivo, i valori di temperatura nelle diverse condizioni, si è fatto riferimento ai dati misurati e forniti dalla centrale sia per il periodo di agosto 2003, cui fanno riferimento anche esplicite misure in mare, sia per l'intero anno 2005. Si sottolinea che per avere valori imperturbati (e, dunque, significativi) di temperatura del mare esternamente alla Sacca, si è fatto riferimento al sensore posto nel canale di scarico a mare in corrispondenza del suo sbocco a mare, quando nessuno dei gruppi è in funzione.

L'andamento delle temperature imperturbate è riportato in fig. 4.6. Si osservano per il mese di luglio valori medi compresi tra un minimo di circa 25 °C (nella seconda decade del mese) ad un massimo compreso tra 27 e 29 °C per gli altri periodi, con punte fino a 30 °C; nel mese di agosto, viceversa, si hanno valori mediamente nell'intorno dei 25 °C, anche se con brevi periodi a valori più elevati (29 ÷ 30 °C). Una notazione importante riguarda il fatto che le misure di temperatura sono effettuate a tre diverse quote (2.5 m, 1.5 m e 0.5 m dal fondo, in modo da non essere influenzate dalla marea), per le quali si osserva una stratificazione di temperatura, con valori in prossimità della superficie (2.5 m q.f.) anche di due o tre gradi superiori ai valori misurati in prossimità del fondale (0.5 m q.f.).

Un altro aspetto è relativo alla temperatura presente in corrispondenza della presa a mare della centrale. Questa infatti preleva l'acqua di raffreddamento direttamente dalla Sacca del Canarin, che nella configurazione attuale, presenta un ricambio di acqua abbastanza limitato e bassi fondali, il che porta ad avere temperature superiori a quelle medie presenti in mare aperto. La mancanza di un sensore alla presa obbliga a considerare, per poter valutare quantitativamente tale parametro, i valori di temperatura misurati all'ingresso dei condensatori, ricercando quelle situazioni in cui un gruppo aspira acqua dalla presa a mare stessa, in condizioni tali da non aversi presenza di ricircolo termico.

Allo scopo di considerare le condizioni più conservative, l'analisi è stata condotta assumendo una temperatura nella Sacca e nello strato superficiale del mare di 29 °C ed una temperatura media in mare aperto di 27 °C.

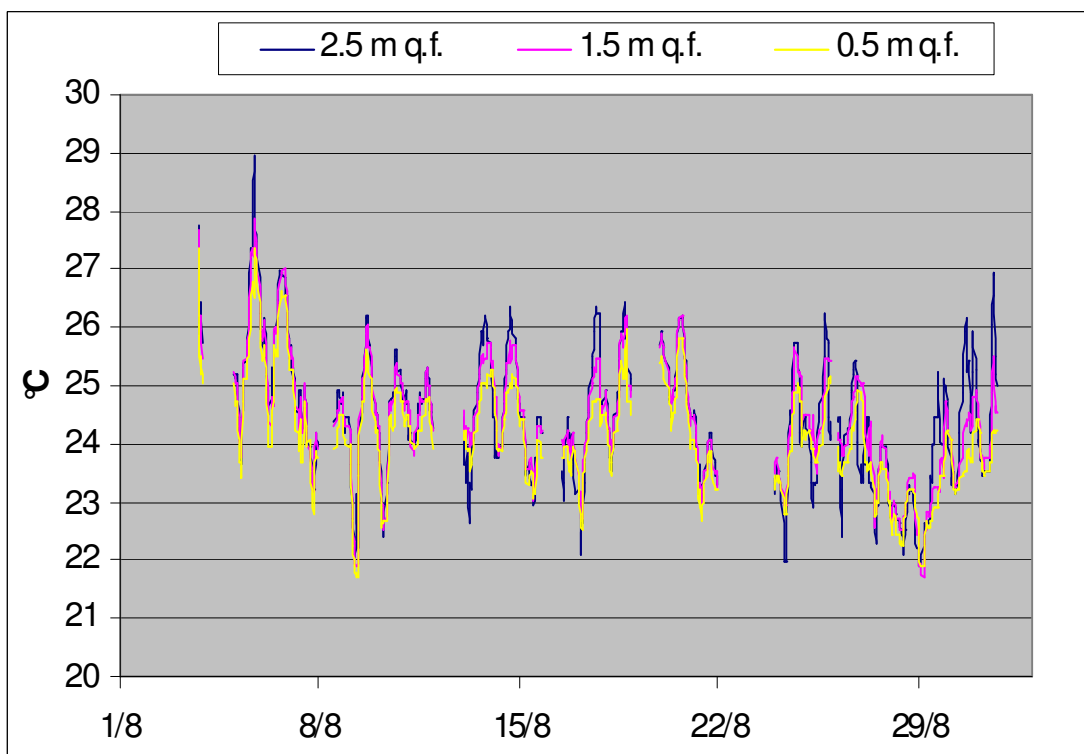
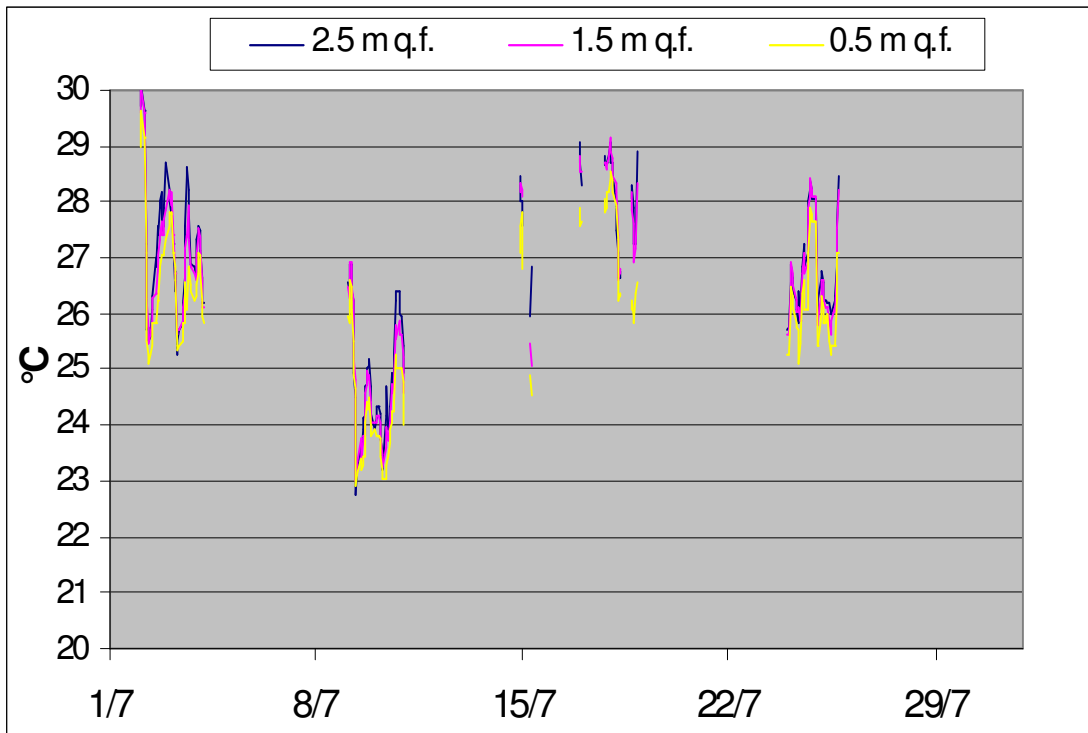


fig. 4.6 – Andamento della temperatura del mare nell'area antistante lo sbocco a mare del canale di scarico nei mesi di luglio e agosto 2002 (gruppi non in esercizio)

#### 4.3.5.4 *Dati relativi alla salinità*

Ai fini dello studio sono stati utilizzati i valori misurati nell'agosto 2003 [23]. Esaminando i valori misurati lungo la verticale delle stazioni di misura, collocate ad una distanza di 1 km dal canale di scarico, si osserva una netta differenziazione tra i valori di salinità misurati nello strato superficiale e quelli misurati negli strati sottostanti; infatti, nello strato superficiale, avente uno spessore inferiore a 0.75 m, si misurano valori compresi tra 27 g/l e 30 g/l, a fronte di valori per gli strati sottostanti mediamente di 37 g/l. Tale anomalia è imputabile al fatto che nello strato superficiale è presente una forte componente di acqua dolce proveniente sia dalla foce del Po (la vicina Busa Dritta) sia dallo stesso scarico della centrale, che nel periodo di misura funzionava con due gruppi in assetto fiume-mare. Poiché il modello numerico richiede il valore di salinità del mare imperturbato, è stato utilizzato il valore di 37 g/l.

#### 4.3.5.5 *Dati relativi alle condizioni meteorologiche*

I dati relativi alle condizioni meteorologiche influenzano la dispersione termica in quanto determinano:

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 influisce sulla dislocazione spaziale del pennacchio termico.

I dati forniti dalla centrale mostrano, in linea di massima, la predominanza dei venti dal quadrante nord orientale (tra cui la bora) in inverno e dei venti meridionali, tra cui lo scirocco, d'estate.

Gli andamenti stagionali al suolo di fig. 4.7 rispecchiano le caratteristiche generali legate agli effetti dinamici e termici: in estate sono incrementate le provenienze da SE mentre in inverno quelle da W. I venti da N, propriamente dovuti ad un effetto dinamico di scavalco delle Alpi, e la bora, di aggiramento, sono presenti anche nel periodo estivo ma sono più frequenti e più intensi in quello invernale. Le stagioni intermedie, con l'accentuazione del NE in autunno e del SE in primavera, anticipano il comportamento delle stagioni estive ed invernali.

Per l'analisi di dispersione termica verrà considerata la situazione di calma di vento, data la sua elevata frequenza e considerando il fatto che comunque i venti estivi sono generalmente deboli e soprattutto che in questo caso lo scambio termico con l'atmosfera è assai ridotto e quindi la dispersione termica raggiunge la sua massima estensione. In questa situazione, si assume un coefficiente di scambio termico con l'atmosfera pari a  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ .

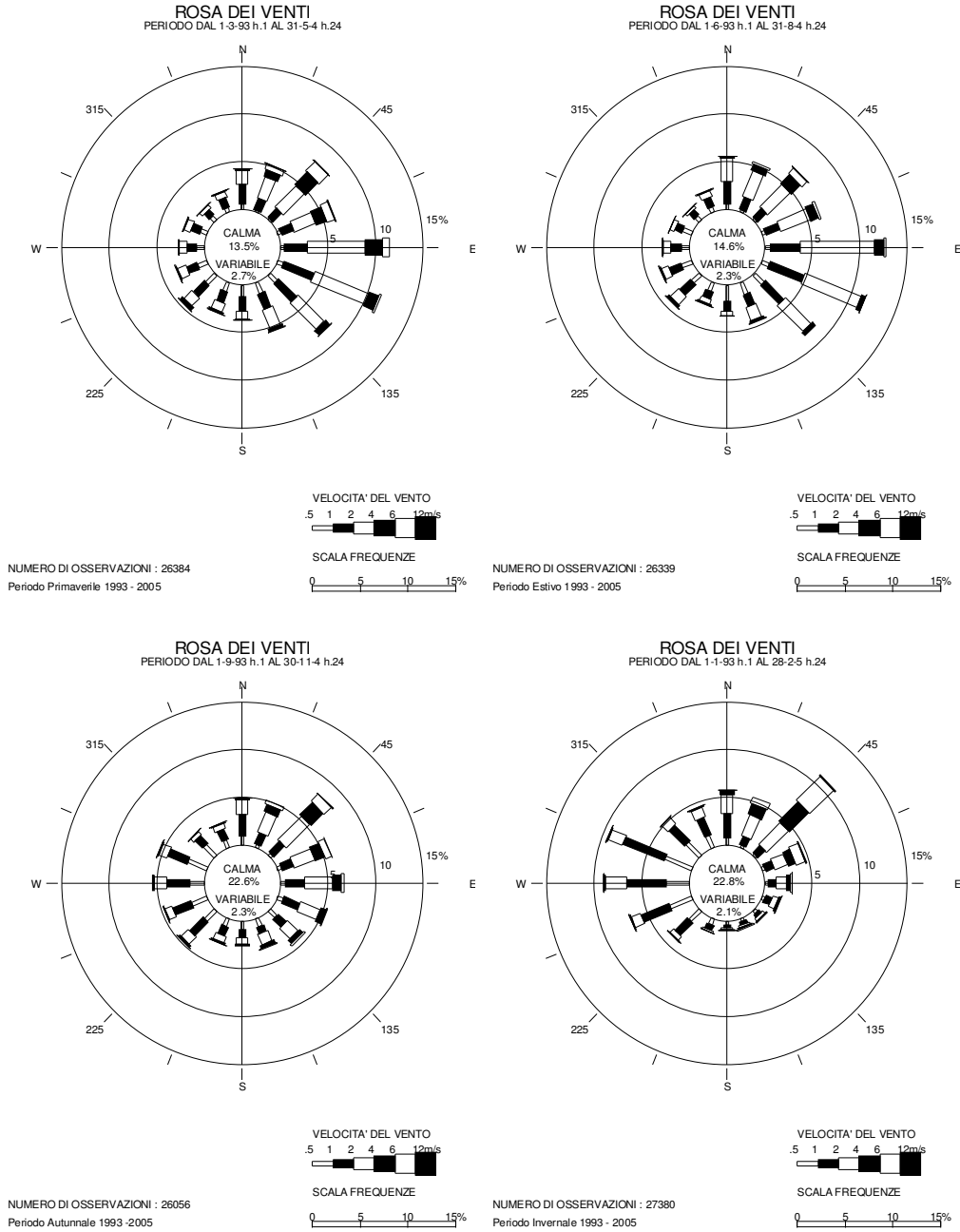


fig. 4.7 – Andamento stagionale del vento al suolo per la stazione di Porto Tolle

#### 4.3.5.6 Dati relativi all'andamento della marea

La considerazione del livello marino è particolarmente importante per la simulazione idrodinamica dell'area interessata in quanto le sue variazioni, legate fondamentalmente alla marea, determinano sia il flusso attraverso la bocca della Sacca del Canarin sia le velocità di efflusso allo scarico, oltre a determinare, date le caratteristiche di basso fondale dell'area lagunare e del litorale, una ampia variabilità delle aree bagnate e della massa d'acqua effettivamente presente nella Sacca e quindi disponibile per l'aspirazione.

Per la valutazione del livello di marea a Porto Tolle sono state considerate sia le misure eseguite in centrale in corrispondenza del Po di Pila, sia utilizzando un simulatore di marea quale WXTide32 [24] col quale è possibile ricostruire l'andamento della marea a partire dalle sue componenti armoniche basandosi sulle osservazioni registrate nella vicina stazione di Chioggia. La rappresentatività dei dati del simulatore è stata verificata per confronto con le misure eseguite in sito.

Mentre la maggior parte dei parametri ambientali precedentemente considerati è sostanzialmente stabile per periodi di tempo significativi, dell'ordine sicuramente di qualche ora, quali ad esempio la temperatura del mare, soggetta soprattutto a cicli giorno/notte e ad un andamento di tendenza che varia su base giornaliera, il livello marino è essenzialmente condizionato dall'andamento della marea, di cui è riportato un esempio nella seguente fig. 4.8.

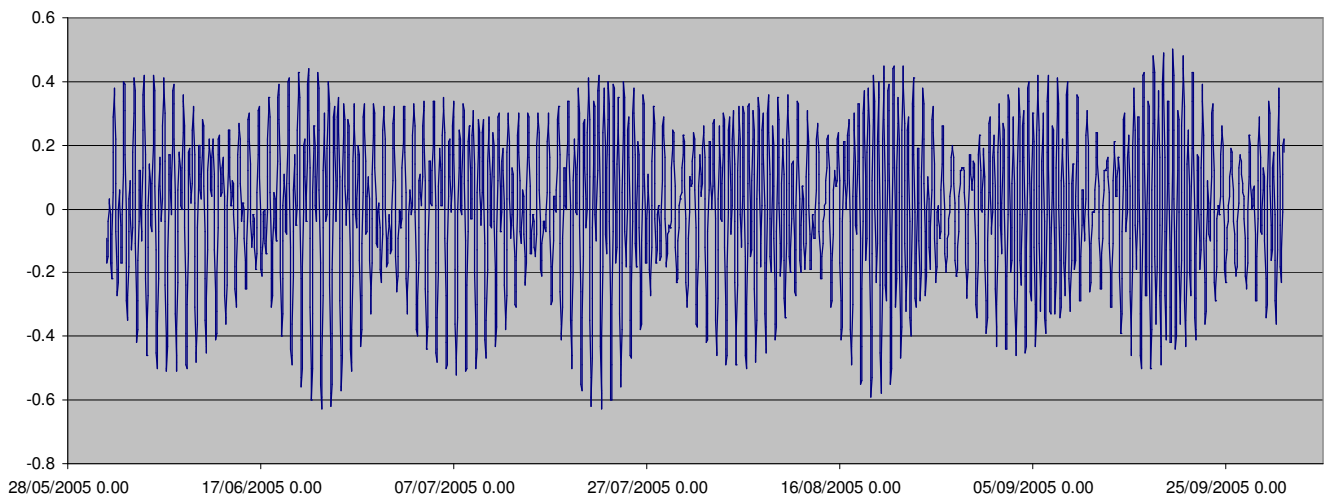


fig. 4.8 – Andamento della marea dal 1 giugno al 30 settembre 2005

Il livello della marea, pur mantenendo una periodicità di circa dodici ore, con due cicli giornalieri completi, presenta però un valore assai variabile, con massimi e minimi che oscillano in un intervallo di valori assai ampio e con la presenza di fenomeni di interferenza anche con la sessa che è presente nell'alto Adriatico.

In sostanza l'andamento della marea non è rappresentabile con una sinusoide perfetta, ed anzi presenta delle variazioni assai ampie, sia su scala giornaliera che stagionale; di conseguenza i valori di livello massimi e minimi considerati non sono sempre raggiunti ad ogni ciclo, come illustrato in fig. 4.9, dalla quale si può osservare che i minimi intermedi di marea in realtà corrispondono ad una situazione di livello prossima al livello di medio mare, e che tra un minimo nell'intorno di  $-0.5$  m ed il successivo intercorrono in realtà quasi 24 ore.

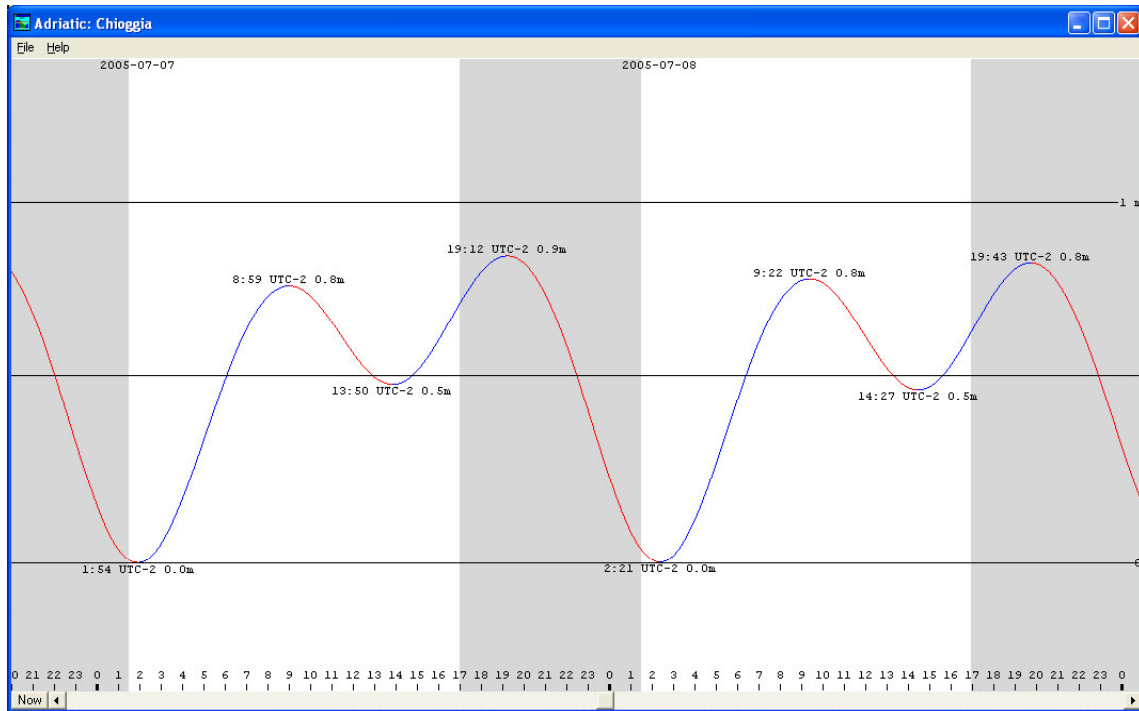


fig. 4.9 – Andamento della marea nei giorni 7 e 8 luglio 2005 [24]

L'insieme delle precedenti osservazioni porta a concludere che qualunque simulazione dinamica di dettaglio, al di là delle difficoltà di ordine pratico e numerico, rappresenta comunque la riproduzione di un periodo ben specifico e non è direttamente applicabile ad un generico periodo di tempo.

Non bisogna inoltre trascurare che la peculiarità del sito di Porto Tolle, con la Sacca del Canarin collegata al mare attraverso due bocche (con riferimento alla situazione del progetto di vivificazione), introduce delle costanti di tempo, relativamente agli effetti della marea all'interno della Sacca stessa, dipendenti dalla sua conformazione e da quella delle bocche.

E' stata perciò messa a punto una simulazione dinamica in transitorio rappresentativa di un periodo tipico estivo, allo scopo di verificare la dinamica della evoluzione legata alla marea.



## 4.4 Definizione della schematizzazione numerica del modello di simulazione

### 4.4.1 Considerazioni generali sul modello

Per la simulazione numerica è stato utilizzato, date le caratteristiche del sito in esame, un modello matematico bidimensionale del tipo “*shallow water*” implementato con l’ausilio del codice SWEETOMP. Tale codice consente di mettere a punto una schematizzazione numerica che presenta le seguenti caratteristiche:

- utilizza un reticolo di calcolo ad elementi finiti triangolari del secondo ordine per la generazione del quale occorre assegnare i profili planimetrici dei corpi idrici interessati;
- utilizza per la considerazione della dimensione verticale i valori di profondità (batimetria) valutata in ciascun punto del reticolo a partire da una distribuzione di valori di profondità comprendenti le quote dei profili delle sezioni per le canalizzazioni, i valori misurati del fondale laddove disponibili e le quote delle curve di isoprofondità per le aree di mare aperto;
- simula la dispersione termica in base a condizioni iniziali assegnate e a condizioni al contorno assegnate spazialmente e temporalmente, le quali definiscono di volta in volta lo scenario di analisi.

La simulazione è condotta tenendo conto anche dei fattori ambientali che possono influenzare la dispersione termica, quali ad esempio lo scambio termico con l’atmosfera, lo sforzo superficiale indotto dal vento o l’effetto dovuto alla tipologia del fondo. I risultati ottenuti nelle diverse simulazioni numeriche sono poi esaminati attraverso l’interfaccia grafica di SWEETOMP ed evidenziati allo scopo di determinare l’andamento del campo di velocità e del campo termico nell’intero dominio di calcolo.

Scopo principale del modello di simulazione numerica messo a punto è stata la ricerca della dislocazione del pennacchio termico generato dallo scarico della centrale in funzione delle diverse condizioni ambientali e di esercizio, in presenza delle opere previste dal progetto di vivificazione della Sacca del Canarin.

### 4.4.2 Descrizione dello scenario di analisi

Il progetto di vivificazione della Sacca del Canarin ha, come già ricordato, un notevole impatto sulla idrodinamica della Sacca stessa e delle aree di mare ad essa collegate, e causa modifiche anche nelle condizioni di scarico e presa della centrale attraverso l’opera di presa a mare, collocata nella Sacca del Canarin, e l’opera di scarico a mare, che sbocca immediatamente a nord della stessa.

La trasformazione a carbone della centrale, con tre gruppi che operano a pieno carico con una portata di acqua di raffreddamento pari a  $75 \text{ m}^3/\text{s}$ , aggiunge un’ulteriore condizione di modifica rispetto all’assetto storico di esercizio della centrale con quattro gruppi ad olio combustibile, anche grazie al ridotto apporto termico allo scarico dovuto al miglioramento del rendimento del ciclo.

L’analisi è stata condotta per un assetto “di progetto a carbone” con tre gruppi a carbone e la presenza delle opere previste dal progetto di vivificazione.

Una ulteriore considerazione, fondamentale per la definizione degli scenari di calcolo, riguarda le condizioni dei corpi idrici interessati dal prelievo delle acque di raffreddamento, che sono caratterizzati da bassi fondali e da un livello fondamentalmente determinato dal ciclo di marea. Ciò comporta, come già ampiamente discusso, condizioni di temperatura dell’acqua di mare particolarmente elevate nella stagione estiva, quando anche il funzionamento fiume-fiume della centrale viene ad essere limitato dalla scarsa disponibilità idrica del fiume Po.

Negli ultimi anni di funzionamento significativo dell’impianto si è registrato un ricorso al prelievo da mare per durate consecutive massime pari a circa 3 mesi, sempre prevalentemente collocati nei periodi estivi. E’ ragionevole supporre che le durate di tali eventi critici si mantengano invariate nell’immediato futuro.

Tutto ciò premesso, l'analisi condotta fa riferimento ai seguenti aspetti significativi:

1. condizioni estive critiche dal punto di vista del raffreddamento, con un valore di temperatura imperturbata dell'acqua di 29 °C alla presa, che tiene conto delle condizioni misurate più limitanti ai sensi della normativa vigente;
2. condizioni di calma di vento, aventi una frequenza significativa nel periodo estivo, ma che soprattutto comportano un minore raffreddamento del pennacchio per scambio termico con l'atmosfera ed una sua maggior diffusione superficiale;
3. considerazione dell'effetto della marea, che come descritto al par. 4.3.5.5.6 presenta escursioni dell'ordine di  $\pm 50$  cm rispetto al livello di medio mare. Questo parametro è particolarmente rilevante in quanto determina forti variazioni relative del livello marino dell'area interessata, con aree periodicamente interessate da ricoprimento e scoprimento a causa dei bassi fondali presenti;
4. presenza di una corrente indotta dallo sbocco del Po di Scirocco diretta da nord verso sud che indirizza lo scarico verso la bocca a nord;
5. condizioni di esercizio a pieno carico in assetto a tre gruppi, con aspirazione dal mare e scarico in mare.

La combinazione delle condizioni sopra descritte consente di definire uno scenario di base tendenzialmente conservativo, cui però andrebbero di volta in volta aggiunte valutazioni parametriche che considerino, ad esempio, condizioni di vento, riduzioni di carico, variazioni di temperatura del mare, ecc..

#### **4.4.3 Definizione di un transitorio rappresentativo**

Le considerazioni svolte nei precedenti paragrafi hanno evidenziato come l'andamento periodico della marea presenta anomalie e fluttuazioni nel tempo, per cui in primo luogo si è definito un andamento reale di marea per la simulazione che sia comunque rappresentativo delle condizioni che si realizzano nel periodo estivo. In particolare, sono stati presi in considerazione i mesi di luglio di tre anni consecutivi (2003, 2004 e 2005), allo scopo di mettere in evidenza le caratteristiche dell'andamento della marea e scegliere un periodo significativo per la simulazione; gli andamenti riscontrati nei periodi sopra indicati sono riportati in fig. 4.10, fig. 4.11 e fig. 4.12 rispettivamente. Dal loro esame è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- a) gli andamenti sono molto simili, con una componente di lungo periodo ed una di breve periodo che portano a massimi e minimi alternativamente di alto e basso livello assoluto;
- b) il valore massimo di alta marea supera di poco gli 0.4 m, mentre quello di bassa marea può giungere anche a -0.6 m;
- c) i valori massimo e minimo pari a 0.5 e -0.5 m sono tipicamente raggiunti nelle condizioni sizigiali (luna piena e luna nuova), come illustrato in fig. 4.13.

Pertanto è stato predisposto un calcolo transitorio di marea in grado di simulare, con un sufficiente dettaglio, il periodo compreso tra il 1° luglio ed il 10 luglio 2005 compresi, in quanto, come si può vedere dalla fig. 4.12, in esso è ben rappresentata la sequenza alternata dei minimi e dei massimi di alto e basso livello; il valore minimo è nell'intorno di -0.5 m, mentre quello massimo raggiunge gli 0.38 m. Pur ribadendo che ogni calcolo transitorio è specifico del periodo cui si riferisce la legge di marea applicata, la simulazione consentirà di valutare l'influenza della variabilità periodica del campo di moto nell'ambito dello scenario conservativo precedentemente descritto.

mese di luglio 2003

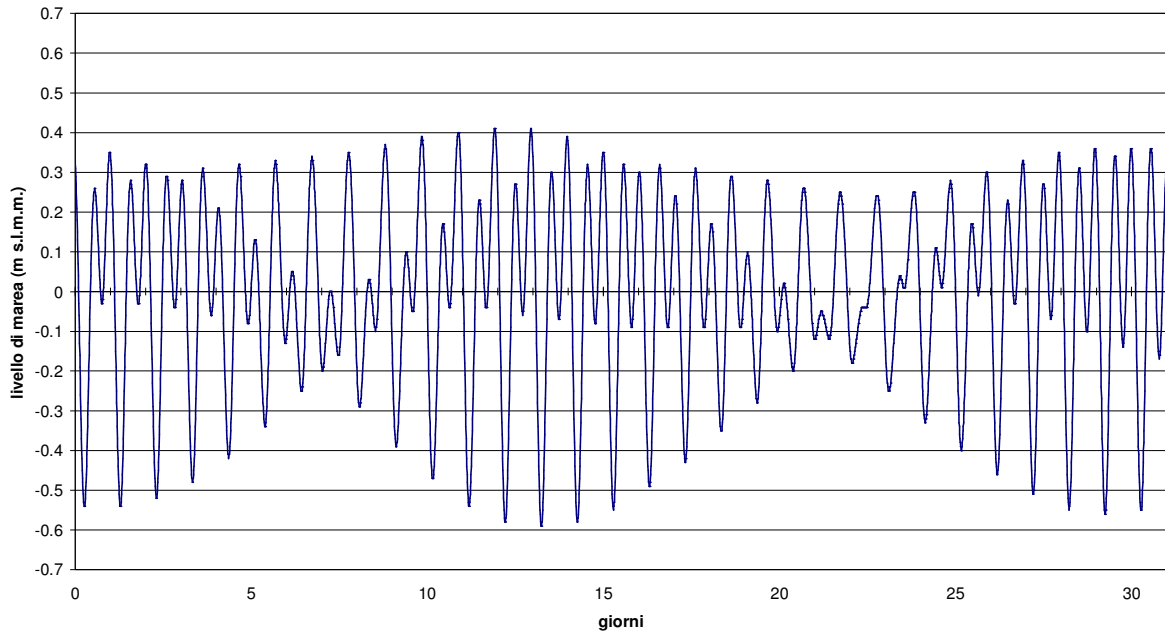


fig. 4.10 – Andamento della marea nel mese di luglio 2003

mese di luglio 2004

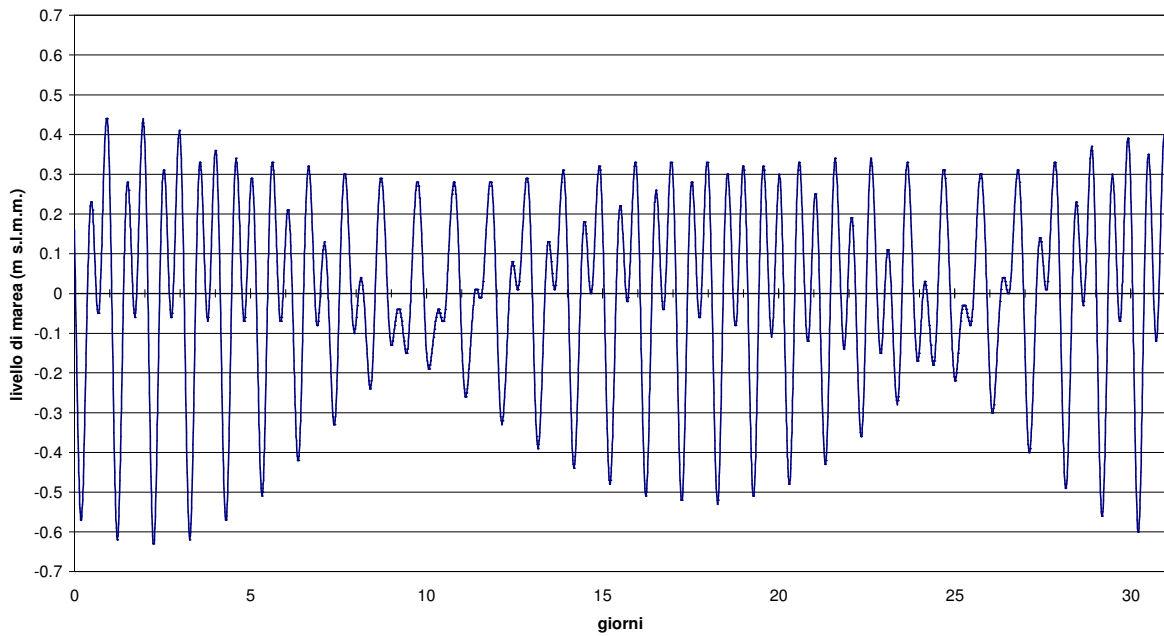


fig. 4.11 – Andamento della marea nel mese di luglio 2004

meze di luglio 2005

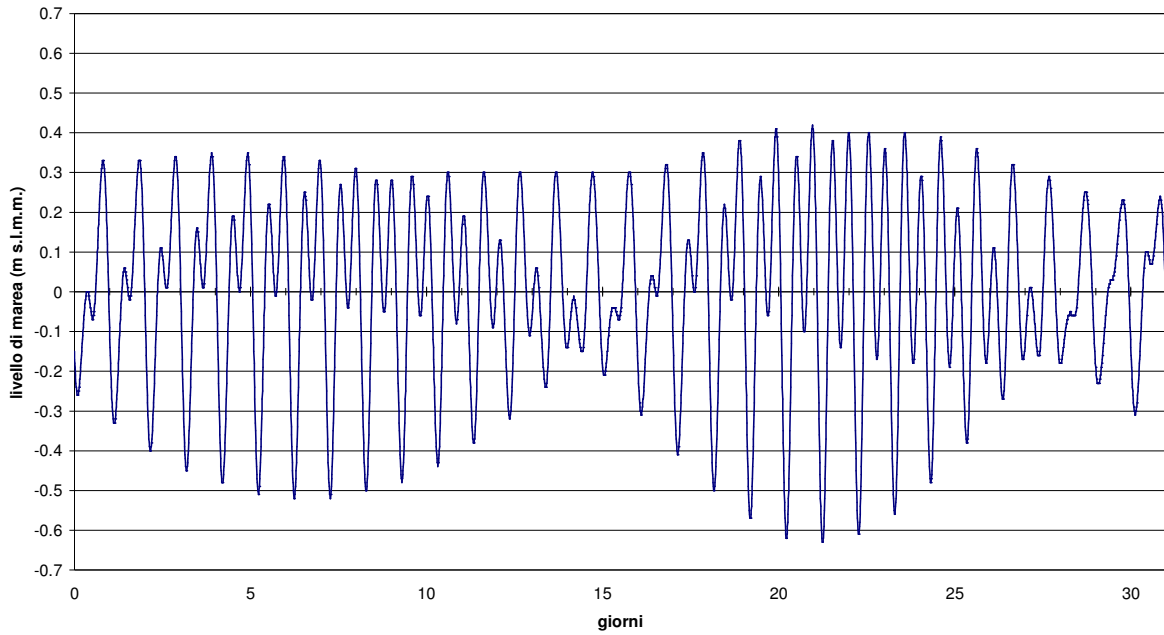


fig. 4.12 – Andamento della marea nel mese di luglio 2005

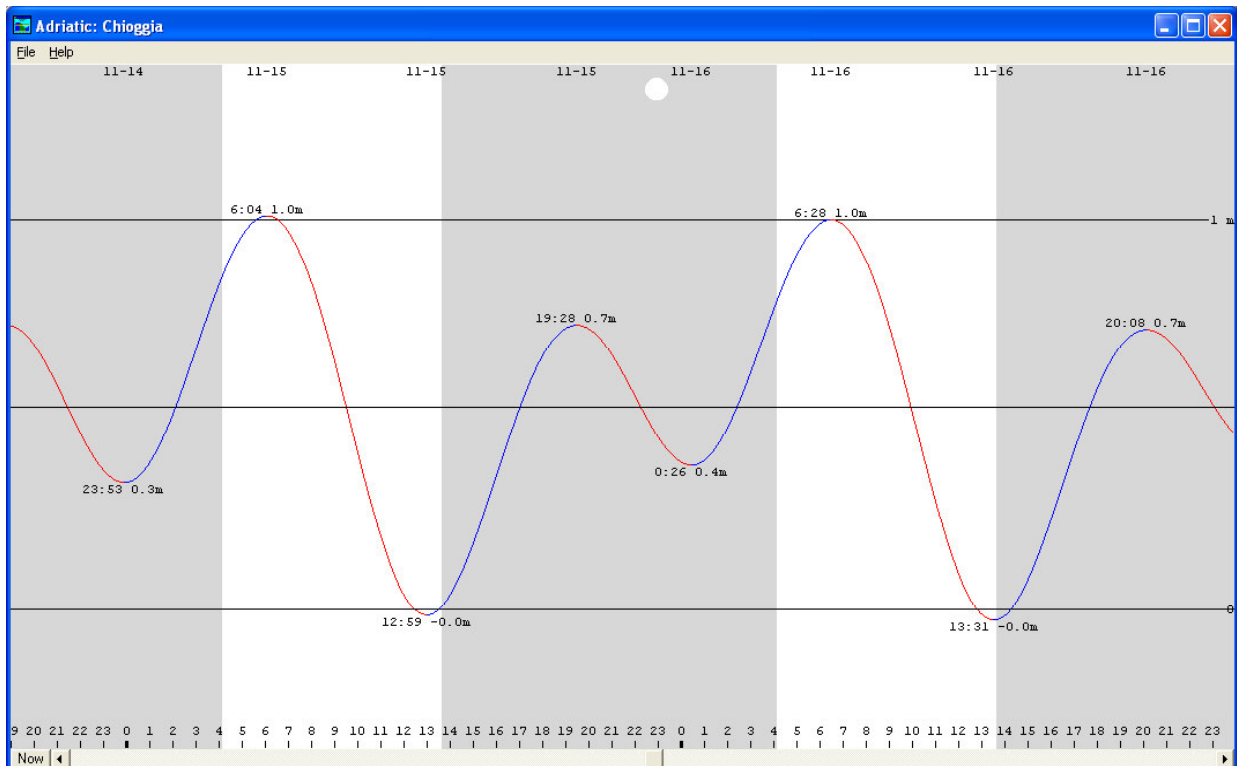


fig. 4.13 – Andamento dettagliato della marea sizigiale (11 novembre 2005)

## 4.5 Risultati del modello di simulazione

### 4.5.1 Analisi della simulazione in transitorio dell'effetto di marea

L'analisi condotta in presenza di un transitorio dinamico di marea parte da una situazione di livello medio mare e da un valore di livello di marea pari a zero all'istante iniziale, con una temperatura naturale pari a 29 °C. Per quanto riguarda le condizioni di esercizio, la simulazione fa riferimento alla centrale in assetto con tre gruppi a carbone avviata all'istante iniziale e che raggiunge il pieno carico in termini di sorpalzo termico allo scarico in due ore.

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; quando poi il pennacchio sia dinamicamente stabile, ossia riproduce se stesso a parità di condizioni di marea durante diversi cicli successivi, è possibile verificare la sua dislocazione. Il transitorio simulato, perciò, si può dividere in due distinte fasi:

- a) transitorio di inizializzazione;
- b) transitorio ciclico a regime.

Le figure dalla fig. 4.14 alla fig. 4.20 mostrano l'andamento della fase di dislocazione iniziale del pennacchio che, a causa del moto della marea, illustrato nella parte alta di ciascuna figura con l'indicazione del valore istantaneo di livello corrispondente, raggiunge l'interno della Sacca del Canarin solo dopo un periodo simulato di 32 ore. Tale periodo di tempo è probabilmente più lungo di quello che è necessario nella realtà a causa della discretizzazione del calcolo legata alla velocità di propagazione numerica della perturbazione, ma rappresenta comunque bene la successione delle varie fasi di dislocazione del pennacchio prima in mare aperto e poi nella Sacca del Canarin.

Le figure dalla fig. 4.21 alla fig. 4.24 mostrano l'andamento della dislocazione del pennacchio in corrispondenza di una serie di fasi di **alta marea** durante il transitorio ciclico a regime. Si nota innanzitutto che il pennacchio termico assume forme leggermente diverse in quanto ciascuna dislocazione risente del ciclo di marea antecedente, che si riproduce simile ma non uguale né in valore né in periodo, ma che comunque esso mantiene una forma media caratteristica che è fondamentalmente dovuta alla spinta esercitata nel semiperiodo precedente dalla marea montante dal largo verso terra, mentre negli istanti considerati la velocità del flusso attraverso le bocche è pressoché nulla. In particolare si osserva che:

- la forma del pennacchio, soprattutto all'interno della Sacca, risente del flusso alternativamente entrante ed uscente dalle bocche oltre che della rete di canali sub - lagunari, che producono una circolazione interna elevata e quindi una maggior dispersione del pennacchio;
- la bocca a sud risulta meno interessata dal pennacchio caldo rispetto alla bocca a nord, ed è quindi favorito l'ingresso attraverso di essa di acqua mediamente più fredda durante la fase di marea crescente; ciò comporta una minore temperatura media nell'area meridionale della Sacca stessa, mentre l'area settentrionale risulta mediamente più calda;
- i valori di picco della temperatura all'interno della Sacca si osservano in aree limitate e prossime alla Bocca Nord; in tali aree l'incremento massimo di temperatura rispetto alla condizione indisturbata è pari a circa 5-6°C;
- il valore di temperatura media alla presa (che si mantiene nell'intorno di 30.8 °C) risente positivamente del flusso di marea e della rimodellazione delle barene interne alla Sacca, con una diminuzione del ricircolo atteso.

Le figure dalla fig. 4.25 alla fig. 4.29 mostrano l'andamento della dislocazione del pennacchio in corrispondenza di una serie di fasi di **bassa marea** durante il transitorio ciclico a regime. Anche nella condizione di bassa marea il pennacchio termico assume forme leggermente diverse in quanto ciascuna dislocazione risente del ciclo di marea antecedente, che si riproduce simile ma non uguale né in valore né in periodo, ma che comunque esso mantiene una forma media caratteristica che è fondamentalmente

dovuta al richiamo esercitato nel semiperiodo precedente dalla marea decrescente da terra verso il largo, mentre negli istanti considerati la velocità del flusso attraverso le bocche è pressoché nulla.

In particolare si osserva che:

- la forma del pennacchio, soprattutto all'interno della Sacca, risente del flusso alternativamente entrante ed uscente dalle bocche oltre che della rete di canali sub - lagunari, che producono una circolazione interna elevata e quindi una maggior dispersione del pennacchio;
- la bocca a sud risulta ancora meno interessata dal pennacchio caldo rispetto alla condizione di massimo di marea sopra discussa, 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; la seconda, in prossimità della Bocca Sud, vede invece gli effetti del prevalente flusso entrante dovuto al pompaggio della centrale. 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 si osservano ancora in aree limitate e prossime alla Bocca Nord; in tali aree l'incremento massimo di temperatura rispetto alla condizione indisturbata è pari a circa 4-5°C;
- il valore di temperatura media alla presa (che si mantiene nell'intorno di 30.1 °C) risente positivamente del flusso di marea e della rimodellazione delle barene interne alla Sacca, con una diminuzione del ricircolo atteso.

Più complessa risulta l'analisi del transitorio di marea durante le fasi intermedie tra un minimo ed un massimo o viceversa. Le figure dalla fig. 4.30 alla fig. 4.35 mostrano l'andamento della dislocazione del pennacchio in corrispondenza di una serie di fasi di marea crescente/decrescente durante il transitorio ciclico a regime. In particolare si osserva che:

- la dinamica che si instaura tra la condizione di marea crescente da un minimo ad un massimo, caratterizzata da alte velocità entranti nella Sacca attraverso le bocche e comunque da un flusso positivo di acqua verso terra, è distinta da quella di marea decrescente da un massimo ad un minimo, caratterizzata ancora da alte velocità attraverso le bocche e da un flusso di acqua tendenzialmente positivo verso il mare aperto. Infatti in condizione di marea decrescente il flusso è nettamente uscente dalla Bocca Nord, mentre invece esso risulta meno intenso ma ancora entrante dalla Bocca Sud a causa della prevalenza della aspirazione della centrale, che è indirizzata principalmente verso questa bocca;
- la dinamica sopra descritta ha forti conseguenze sulla dislocazione del campo termico. In primo luogo è accentuato lo spostamento della zona calda del pennacchio verso l'area settentrionale della Sacca, e viene evidenziata la forte immissione di acqua fredda dal mare in fase di marea crescente, come evidenziato ad esempio in fig. 4.30, fig. 4.31 o ancora in fig. 4.32; tale immissione però è più limitata se la fase di marea crescente avviene dopo un minimo di valore assai elevato, prossimo al livello di medio mare, come in fig. 4.34, dove il flusso entrante è più limitato. Con la marea decrescente, viceversa, il pennacchio caldo proveniente dallo scarico tende ad essere richiamato più verso il largo, interessando in minore misura la zona delle bocche, con una conseguente diminuzione della temperatura nella Sacca (fig. 4.31);
- in generale, comunque, sia che la marea si presenti in fase crescente che decrescente, si osserva che il pennacchio caldo si mantiene più a nord e soprattutto interessa in misura assai ridotta l'area della Bocca sud. Di conseguenza, l'acqua aspirata dalla centrale è mediamente più fredda con una temperatura media alla presa che si mantiene nell'intorno di 30.8 °C nella fase di marea crescente e di 30.3 °C nella fase decrescente, con fluttuazioni di qualche decimo in funzione del valore progressivo del livello e soprattutto del valore assoluto del minimo precedente;

- i valori di picco della temperatura all'interno della Sacca si osservano ancora in aree limitate e prossime alla Bocca Nord; in tali aree l'incremento massimo di temperatura rispetto alla condizione indisturbata è pari a circa 4-5°C.

L'insieme, sopra descritto, dei risultati ottenuti al termine della simulazione numerica deve essere riguardato alla luce di un ulteriore elemento utile alla successiva definizione degli impatti eventualmente attesi sull'equilibrio dell'ambiente biotico della Sacca. Tale elemento è rappresentato dalla valutazione, per quanto possibile, della frequenza di accadimento con cui si presentano, mediamente nel generico periodo estivo, le condizioni, ambientali e di esercizio, che sono state poste alla base della simulazione. Ad essa risulta infatti legata la frequenza delle modalità di dispersione delle acque di scarico ottenute dalla simulazione.

Tale analisi è trattata nel seguente paragrafo.

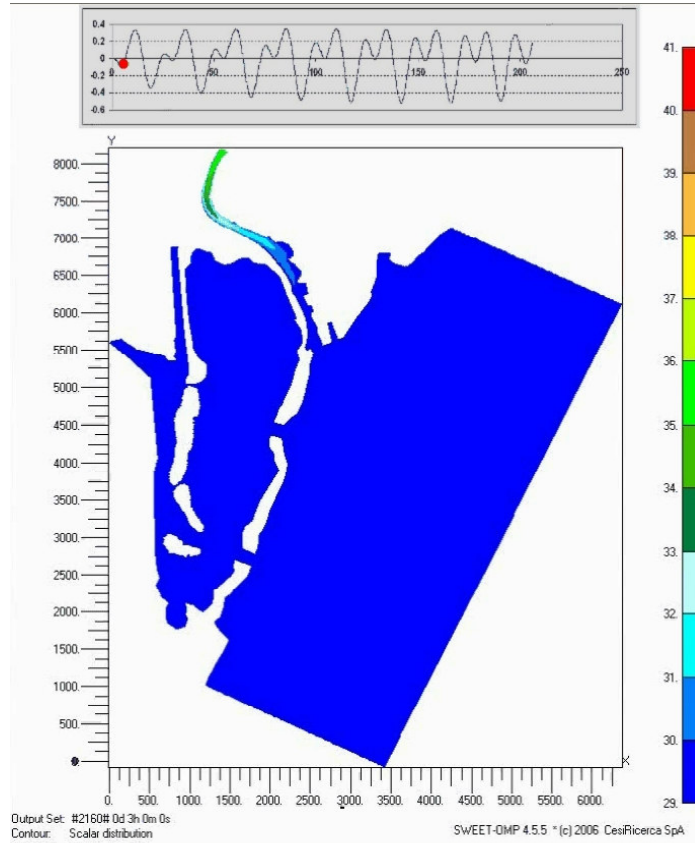


fig. 4.14 – Transitorio di inizializzazione. Dislocazione dopo 3 h

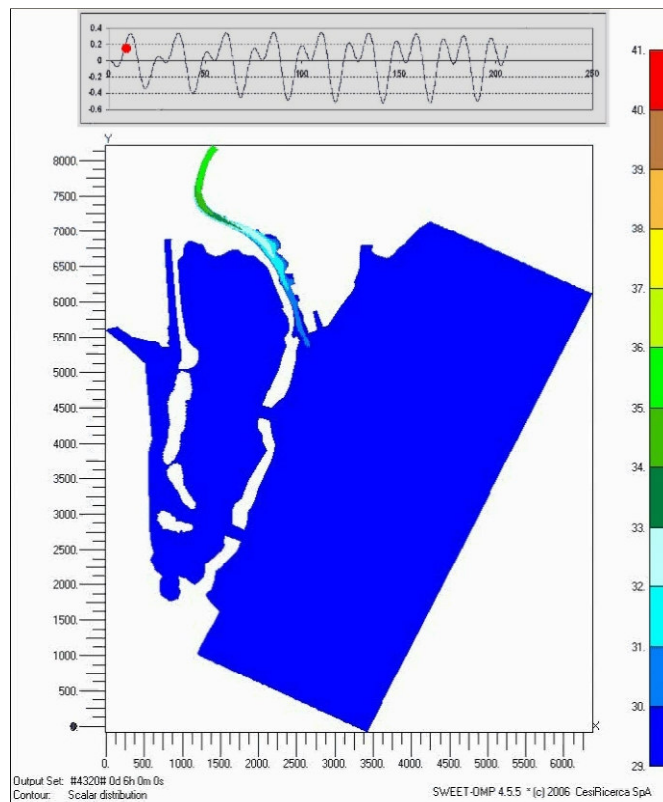


fig. 4.15 – Transitorio di inizializzazione. Dislocazione dopo 6 h



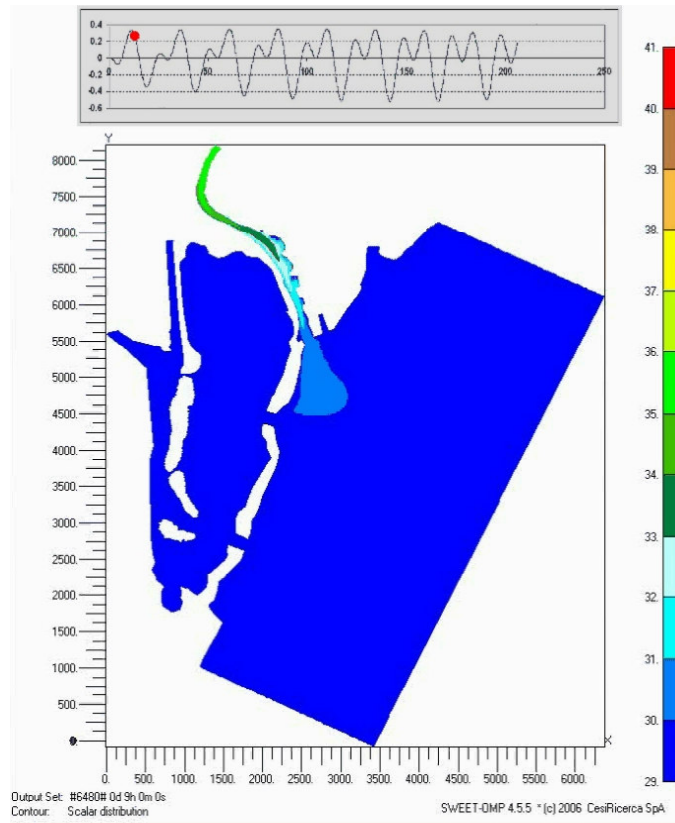


fig. 4.16 – Transitorio di inizializzazione. Dislocazione dopo 9 h

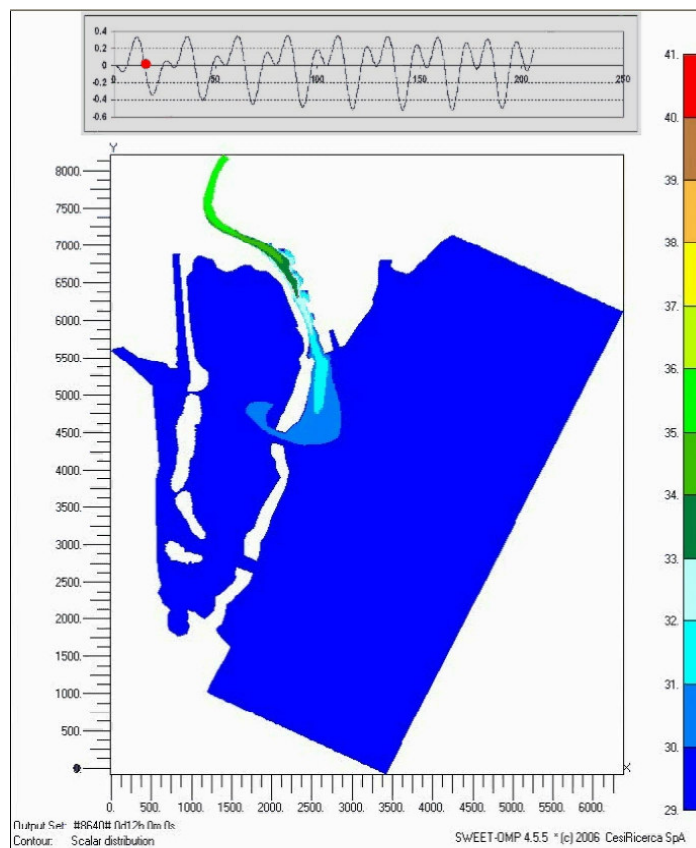


fig. 4.17 – Transitorio di inizializzazione. Dislocazione dopo 12 h

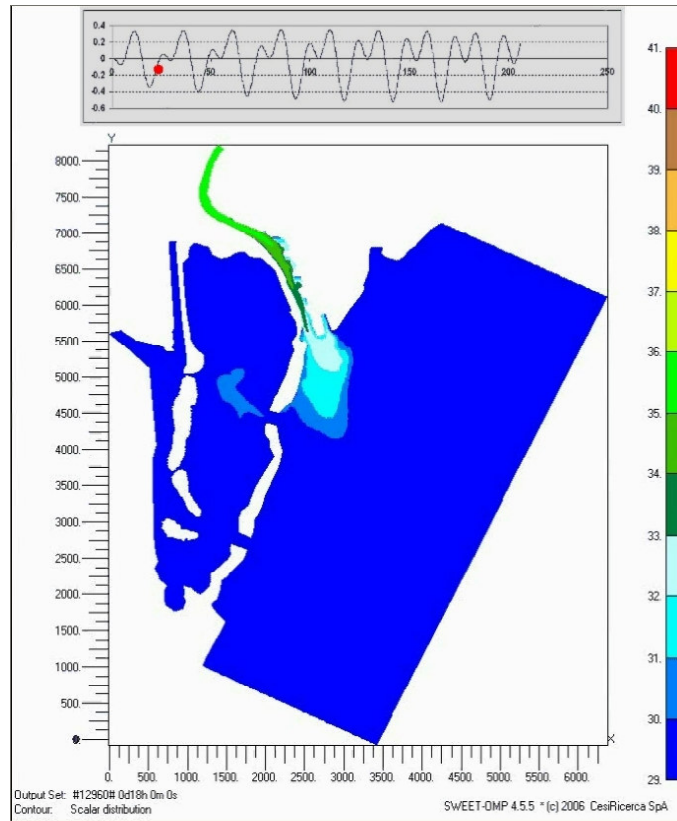


fig. 4.18 – Transitorio di inizializzazione. Dislocazione dopo 18 h

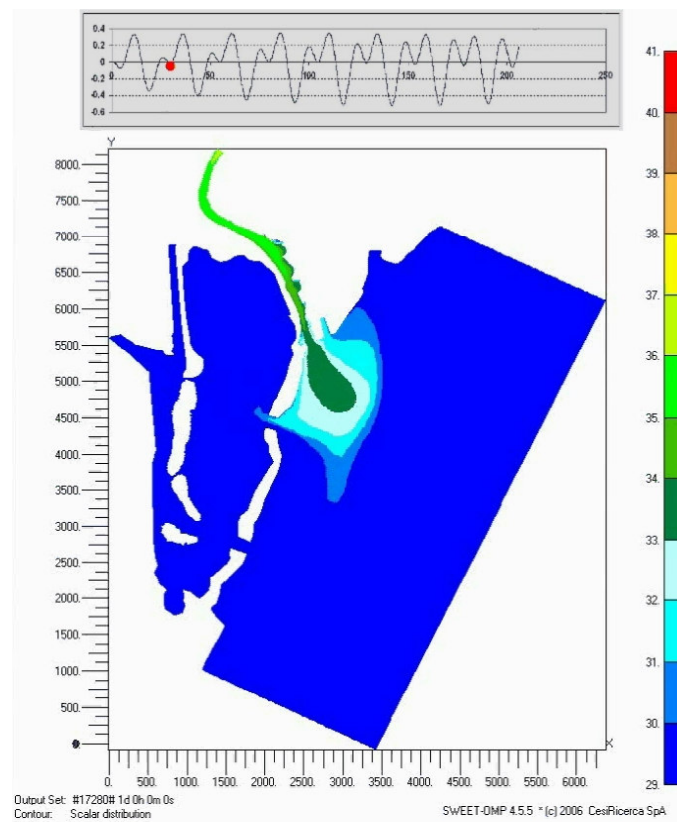


fig. 4.19 – Transitorio di inizializzazione. Dislocazione dopo 24 h

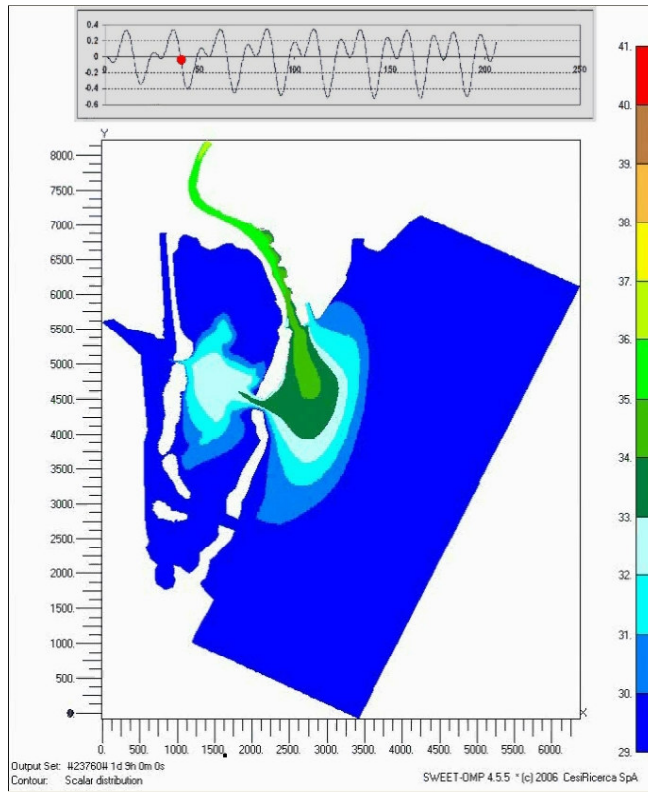


fig. 4.20 – Transitorio di inizializzazione. Dislocazione dopo 33 h

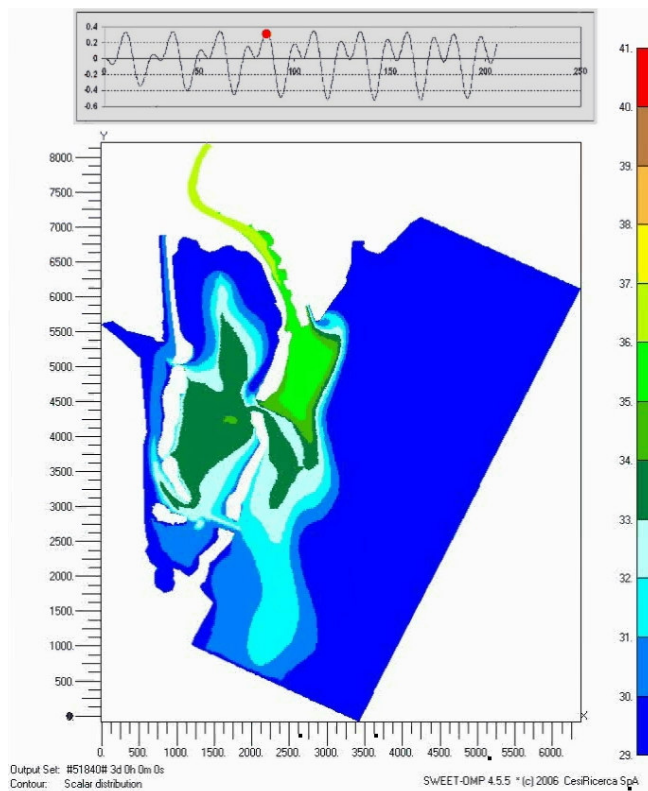


fig. 4.21 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 72 h (alta marea)

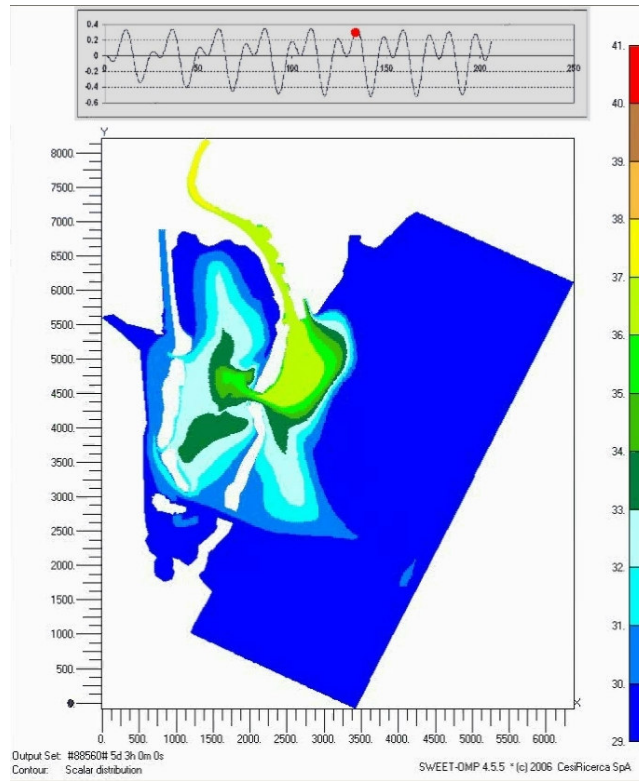


fig. 4.22 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 123 h (alta marea)

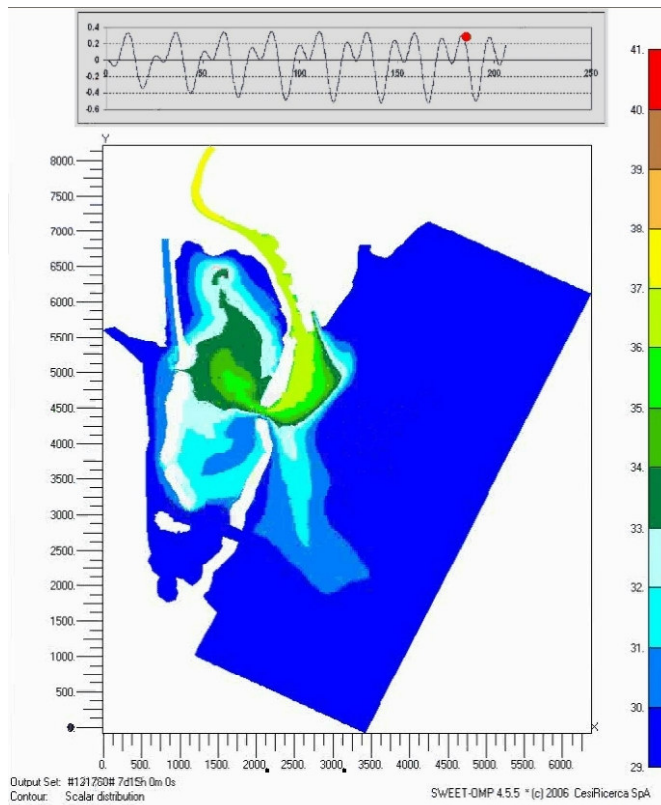


fig. 4.23 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 183 h (alta marea)

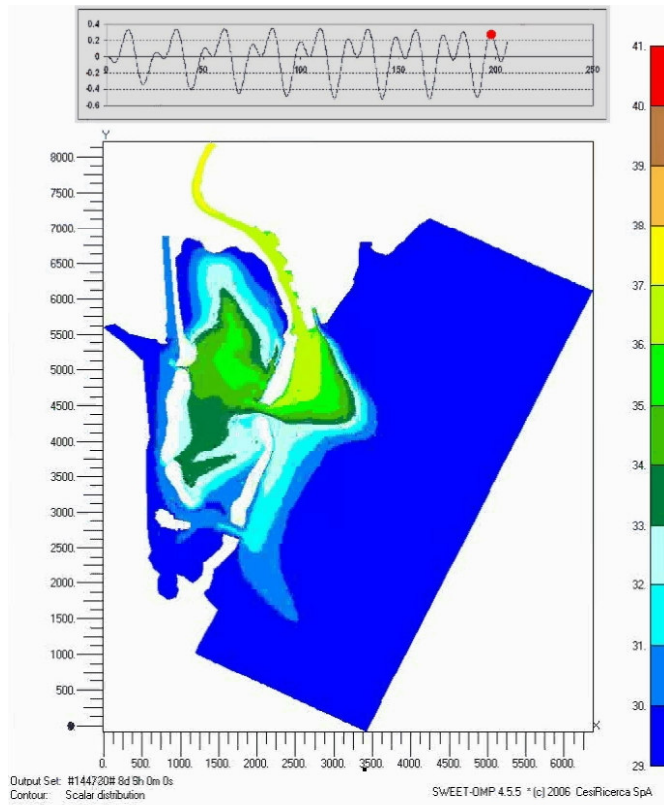


fig. 4.24 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 197 h (alta marea)

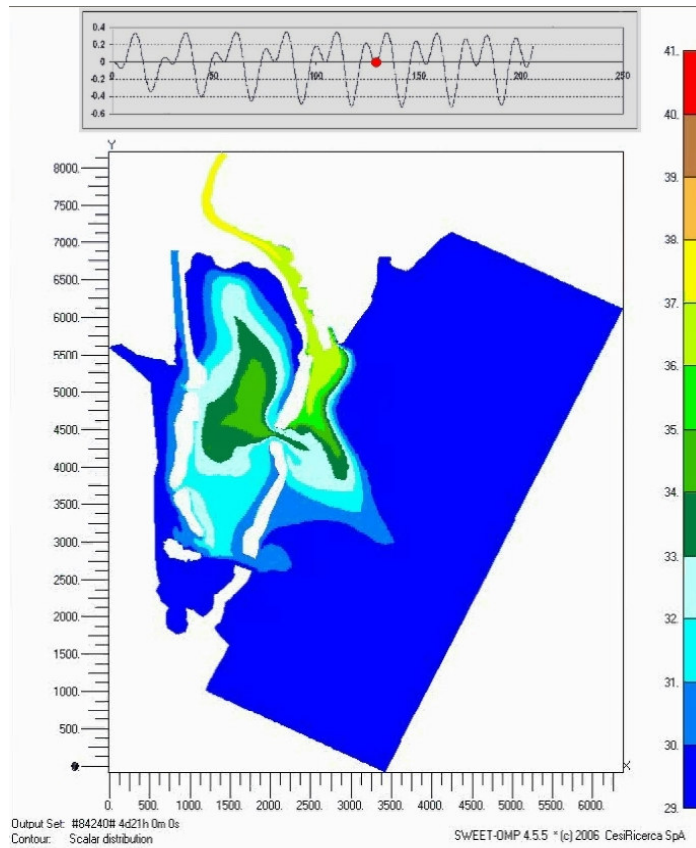


fig. 4.25 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 117 h (bassa marea)

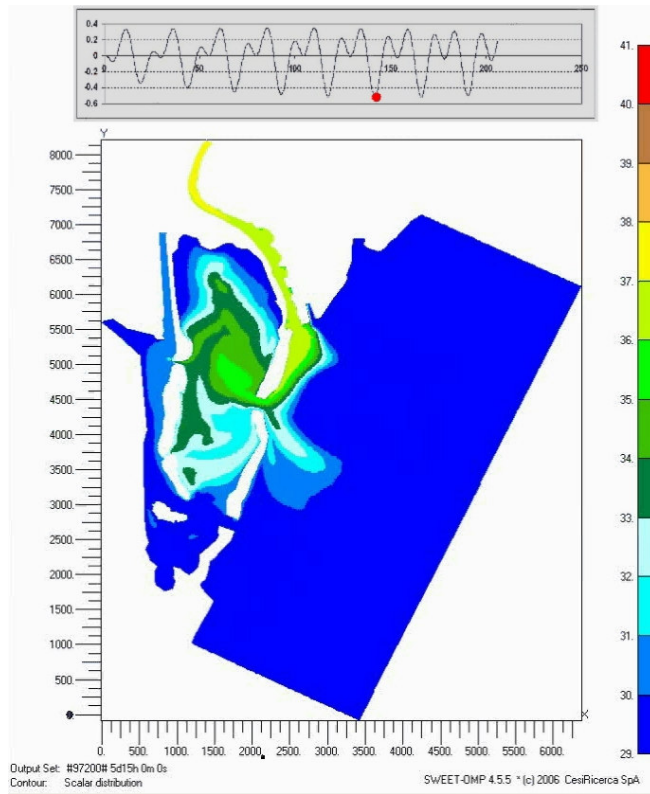


fig. 4.26 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 135 h (bassa marea)

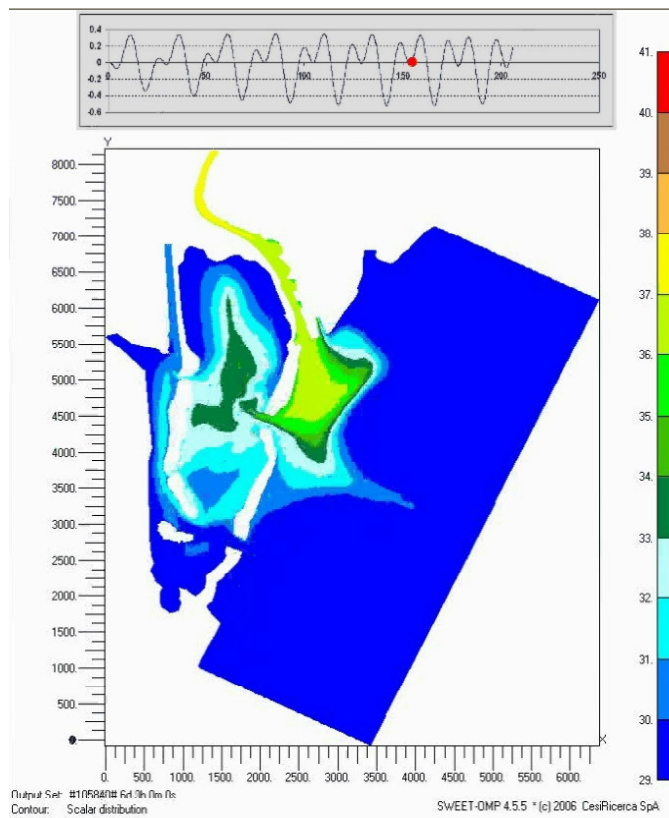


fig. 4.27 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 147 h (bassa marea)

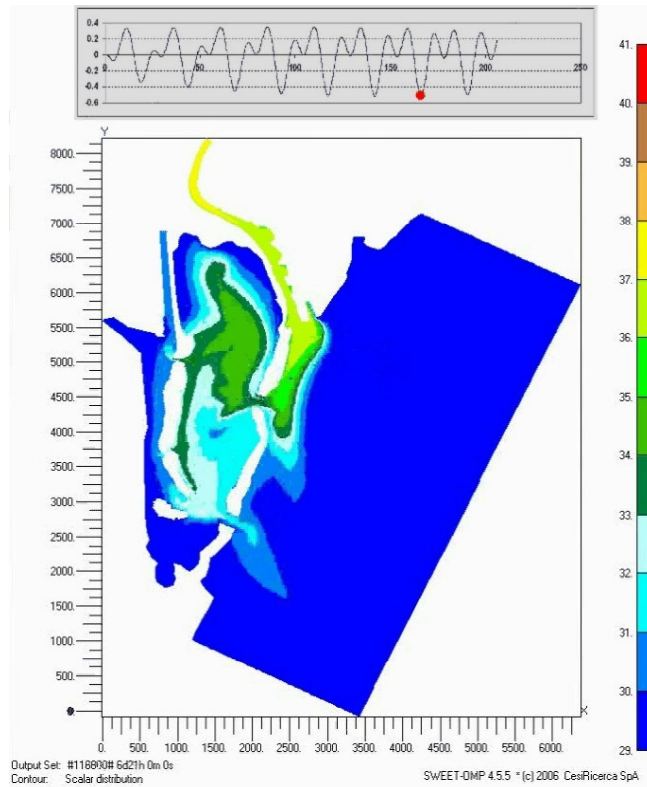


fig. 4.28 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 165 h (bassa marea)

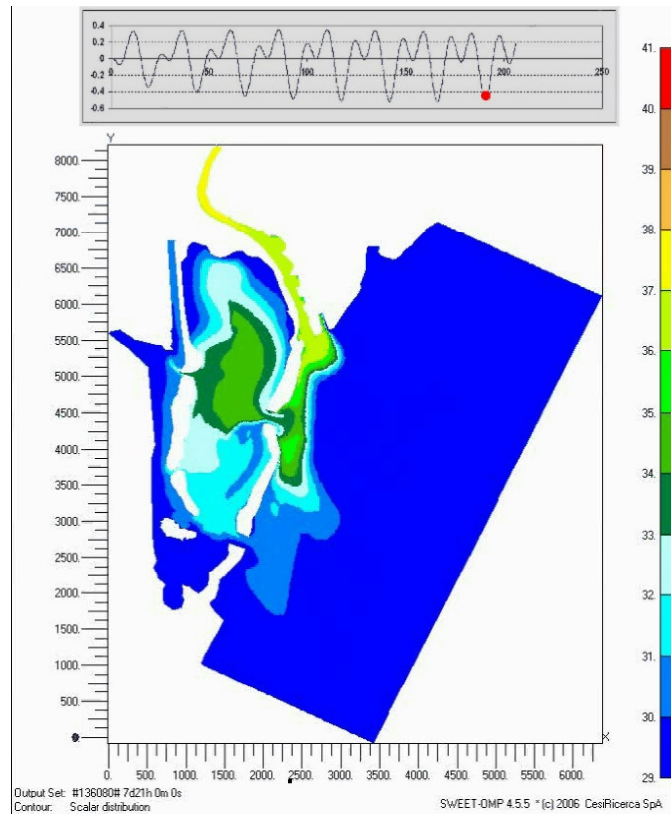


fig. 4.29 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 189 h (bassa marea)

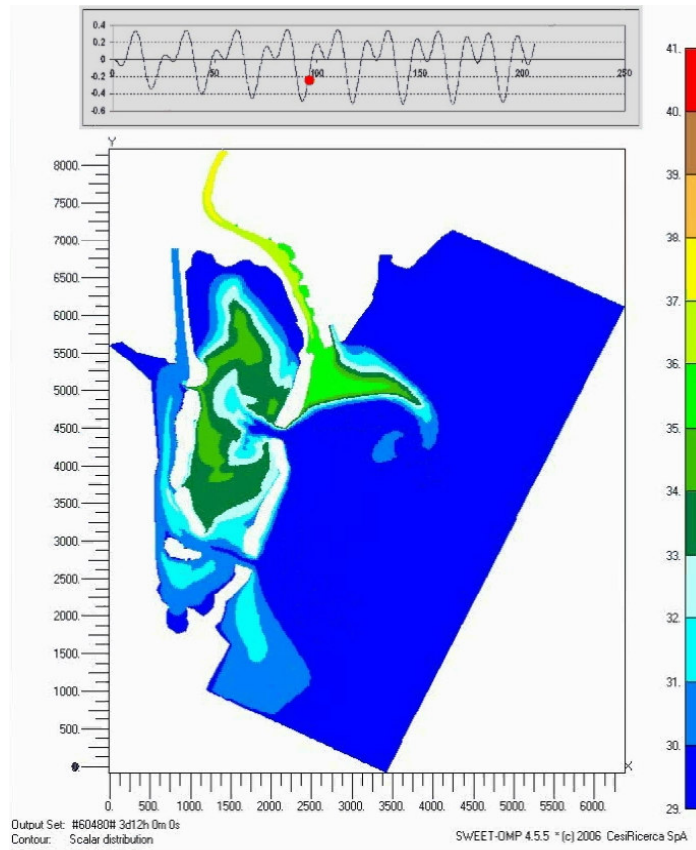


fig. 4.30 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 80 h (marea crescente)

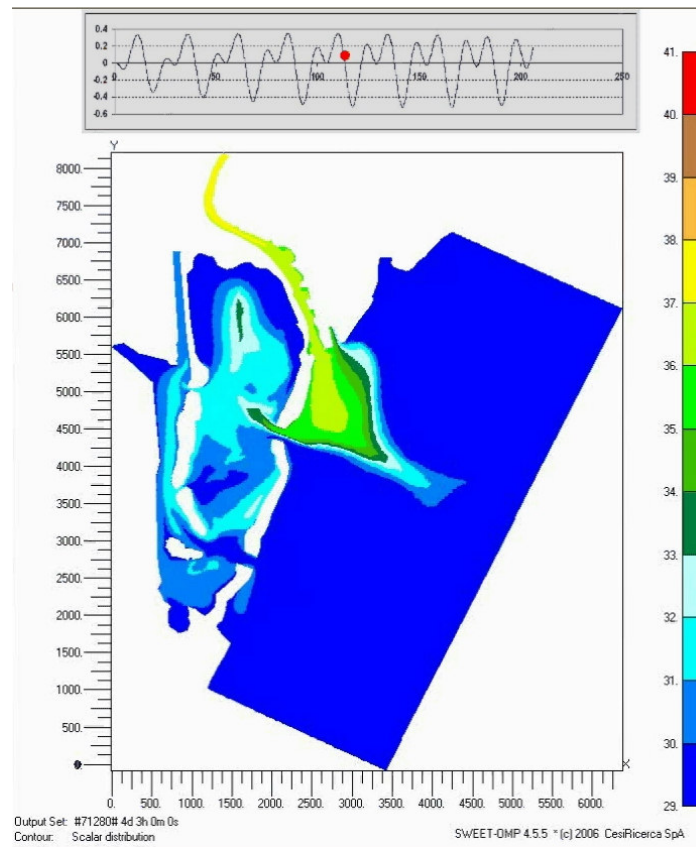


fig. 4.31 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 99 h (marea decrescente)



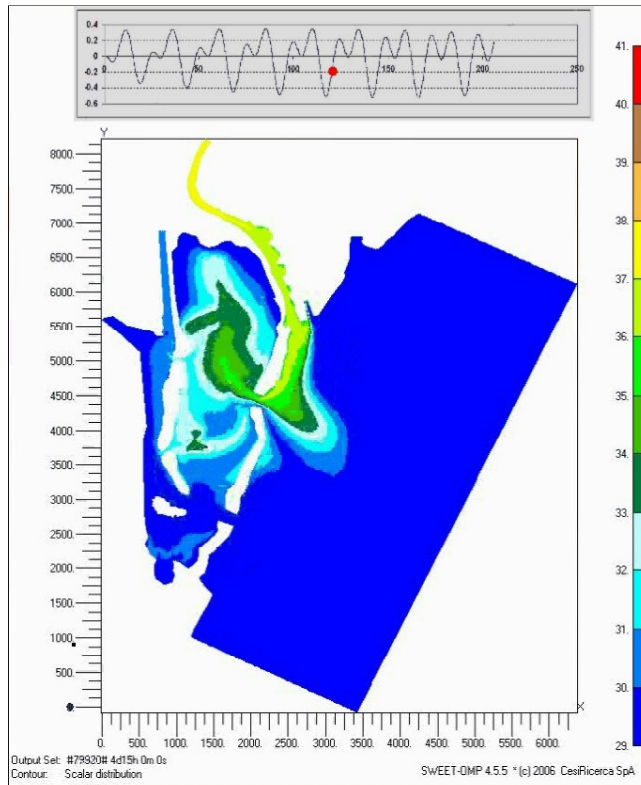


fig. 4.32 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 111 h (marea crescente)

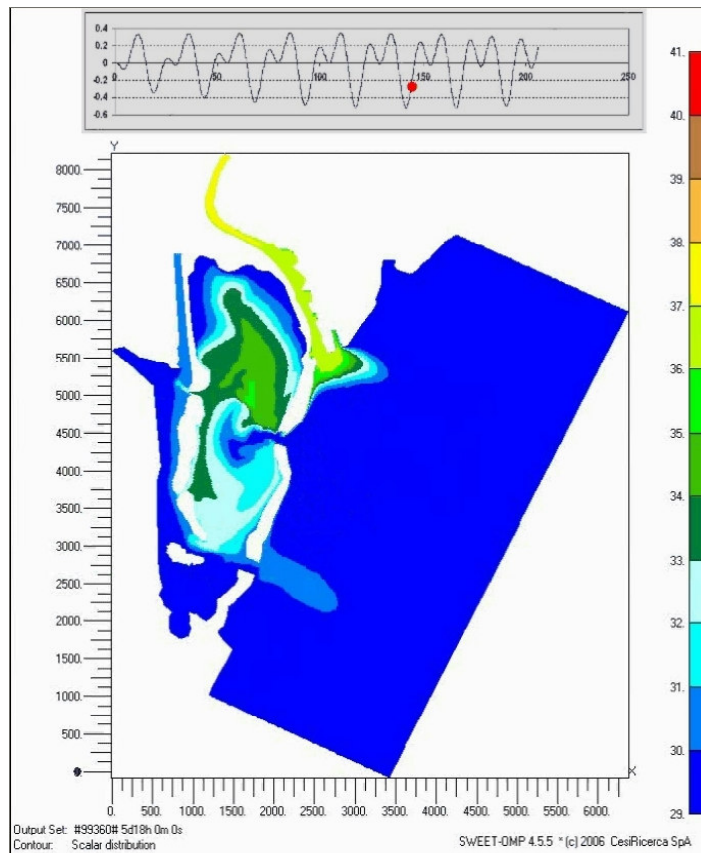


fig. 4.33 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 138 h (marea crescente)

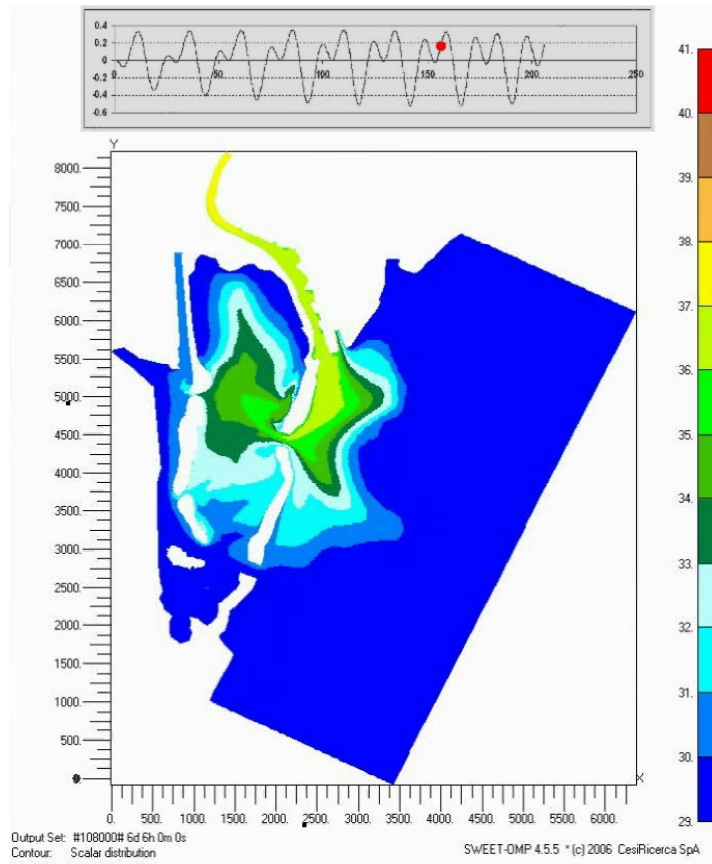


fig. 4.34 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 150 h (marea crescente)

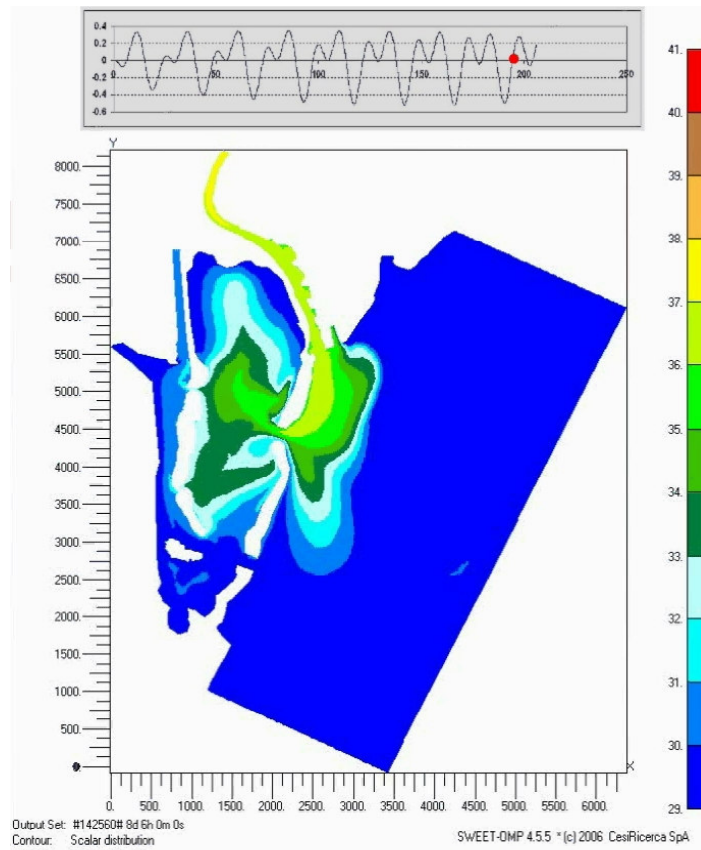


fig. 4.35 – Transitorio ciclico a regime. Dislocazione dopo 198 h (marea crescente)

#### 4.6 Considerazioni sulla frequenza degli impatti durante il periodo estivo

La combinazione delle condizioni ambientali e di esercizio della centrale adottata per la simulazione numerica ha consentito di definire l'impatto termico in condizioni particolarmente critiche producendo, dunque, risultati tendenzialmente conservativi. Come precedentemente sottolineato, per trarre, da tali risultati, indicazioni relative ad un generico periodo estivo medio sarebbe di volta in volta necessaria l'aggiunta di considerazioni parametriche che considerino, ad esempio, le riduzioni di carico, le condizioni di vento, le variazioni di temperatura del mare, l'eventuale inversione della corrente costiera e qualsiasi altro elemento che introduca variazioni rispetto a quelle adottate per la simulazione.

In particolare, l'impatto termico descritto al paragrafo precedente è da considerare conservativo soprattutto se valutato alla luce della reale frequenza di accadimento, durante il periodo estivo considerato, delle combinazioni di temperatura imperturbata del mare e di livello di marea simulati.

Nell'intento di individuare tali frequenze, attese con riferimento ad un generico periodo estivo, il più critico, come più volte sottolineato, per le tematiche in studio, si è dunque proceduto al reperimento ed all'analisi combinata di serie di dati ambientali (temperatura superficiale del mare e livelli di marea).

Per quello che riguarda l'andamento dei livelli di marea si è potuto fare riferimento al simulatore di marea WXTide32 [24], basato sulle osservazioni registrate alla vicina stazione di Chioggia di cui si è verificata la rappresentatività per il sito di interesse. Il campionamento della marea è stato eseguito con passo pari a 10 minuti.

Per quanto concerne le temperature imperturbate del mare, si è invece fatto riferimento alle misure eseguite con cadenza trioraria al largo di Punta della Maestra (LAT 44° 58' 18", LONG 12° 50' 00") dalla boa ondometrica TRIAXYS appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale (RON) [25]. La boa ha rilevato per un periodo complessivo compreso tra il 1° dicembre 2002 e il 10 novembre 2004. E' stato dunque possibile analizzare i rilievi di temperatura limitatamente ai periodi estivi degli anni 2003 e 2004.

Allo scopo di verificare la rappresentatività della stazione di misura per il sito d'interesse, le misure raccolte dall'ondametro sono state confrontate con quelle raccolte in centrale alla boa (indicata con B2 nelle successive elaborazioni) nel canale di uscita a mare (media dei rilievi alle tre profondità) e all'ingresso dei condensatori dei gruppi 3 e 4 (media delle temperature rilevate ai lati interno ed esterno dei condensatori), gli unici a funzionare a mare durante il periodo estivo. I dati, resi disponibili dalla centrale, sono stati confrontati con quelli rilevati dalla boa di Punta della Maestra solo per i periodi di non funzionamento contemporaneo dei gruppi durante i quali sono però continuate le misure della temperatura sia ai condensatori sia alla boa a mare, in assenza di ricircolo termico. Tale condizione si è verificata solamente per parte dei periodi estivi dell'anno 2004 escludendo perciò dalla presente analisi i dati di temperatura rilevati a Punta della Maestra durante l'anno 2003.

Peraltro, come noto dalle recenti statistiche meteorologiche e come riscontrabile dal grafico della figura seguente (fig. 4.36), l'anno 2003 è difficilmente classificabile come anno medio poiché l'andamento delle temperature durante il periodo estivo ha fatto registrare valori decisamente superiori alla norma.

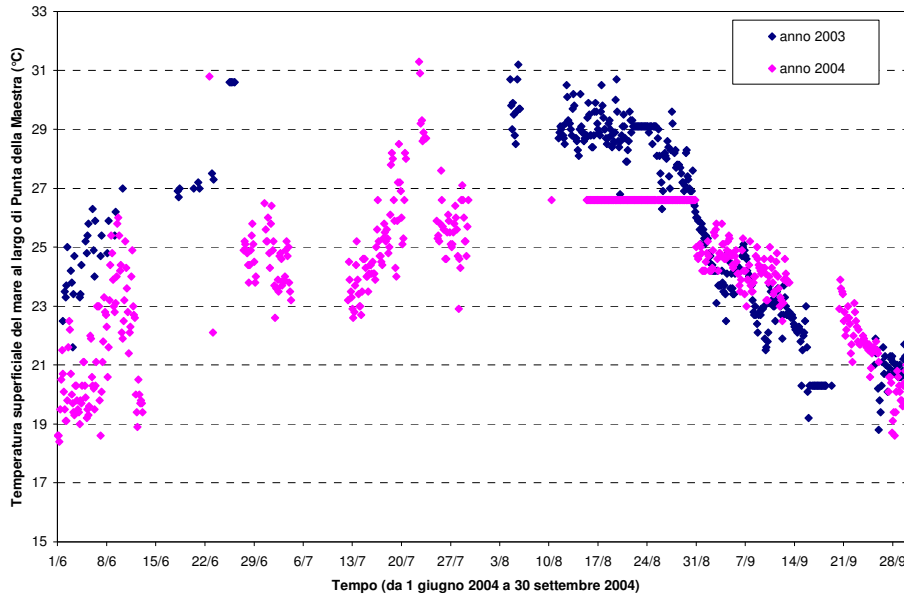


fig. 4.36 – Temperatura media dell’acqua del mare rilevata alla stazione ondometrica di Punta della Maestra nei periodi estivi degli anni 2003 e 2004

La fig. 4.37 mostra dunque i dati originali di temperatura registrati per il periodo estivo dell’anno 2004 ai diversi punti di misura ed alle condizioni di non funzionamento precedentemente descritti. La successiva fig. 4.38 riporta gli stessi dati separati per posizione di misura.

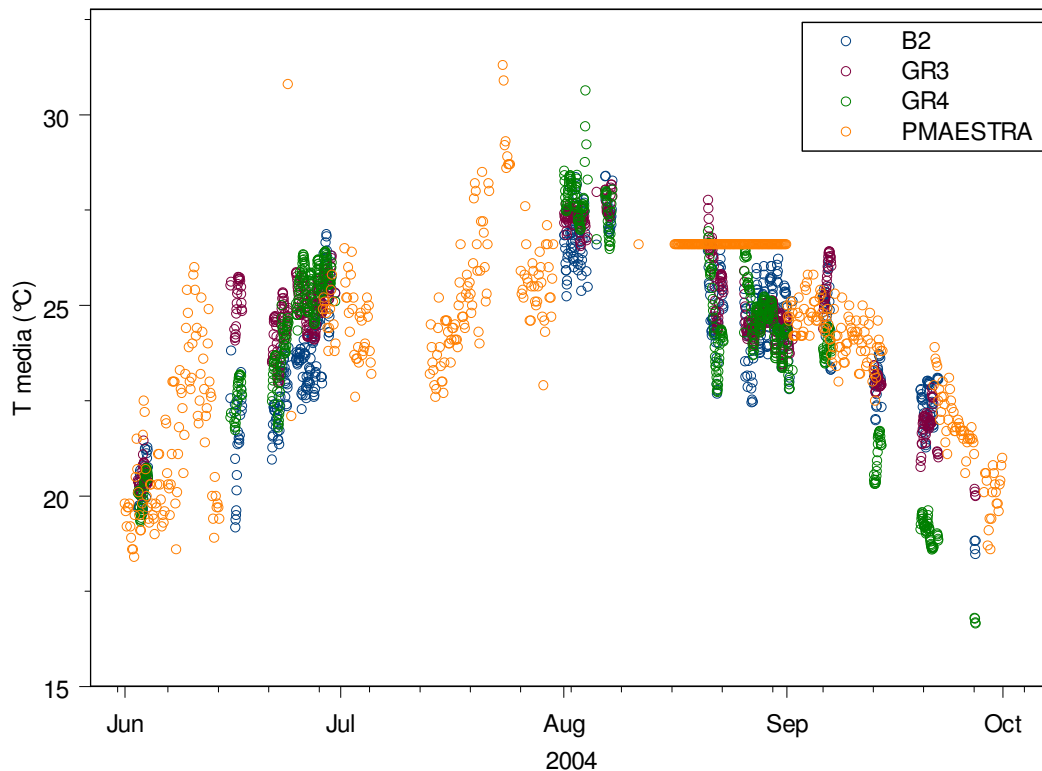


fig. 4.37 – Temperatura media dell’acqua del mare rilevata alla stazione ondometrica di Punta della Maestra confrontata con quella rilevata alla boa B2 e all’ingresso dei condensatori dei gruppi 3 e 4 in condizione di non funzionamento contemporaneo dei gruppi (dati originali)

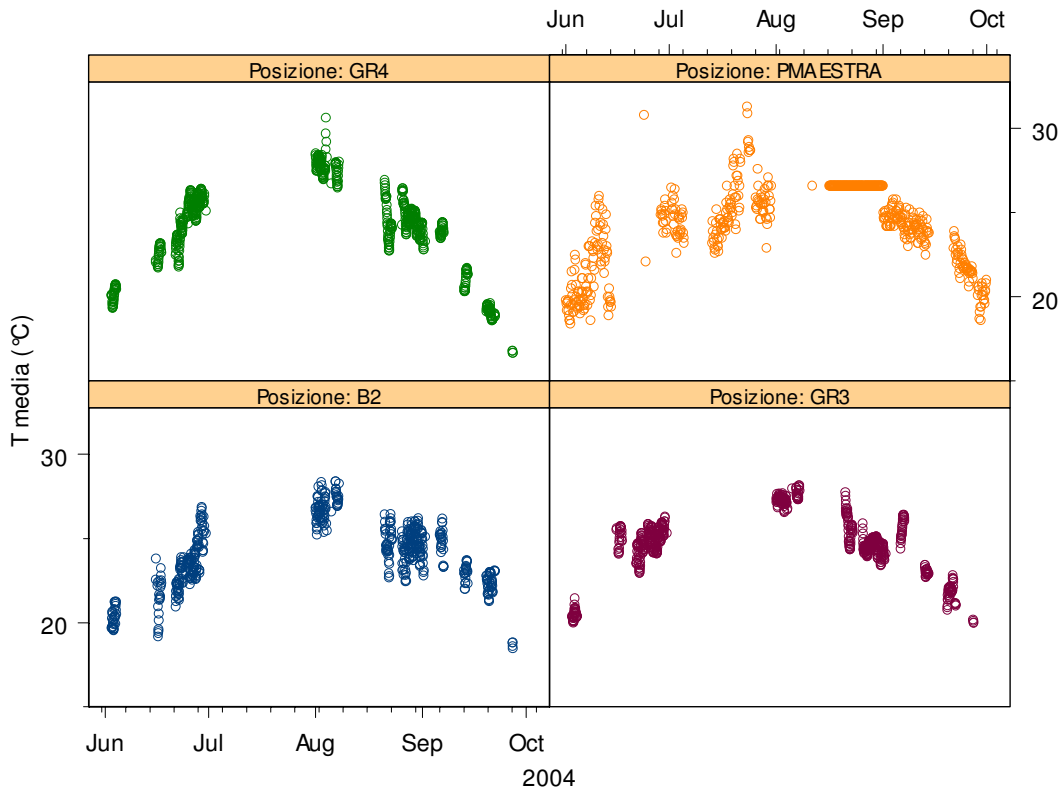


fig. 4.38 – Temperatura media dell'acqua del mare rilevata alla stazione ondometrica di Punta della Maestra confrontata con quella rilevata alla boa B2 e all'ingresso dei condensatori dei gruppi 3 e 4 in condizione di non funzionamento contemporaneo dei gruppi (dati originali distinti per posizione di misura)

L'osservazione dei grafici mostra l'evidente anomalia della registrazione alla stazione di Punta della Maestra per il mese di agosto, ove la temperatura assume un valore costante per quasi l'intero mese. I dati sono stati dunque processati allo scopo di eliminare questa ed altre eventuali anomalie.

Il confronto finale, mostrato in fig. 4.39, tra le serie di misure così processate consente di concludere che anche le temperature rilevate al largo di Punta della Maestra sono ragionevolmente rappresentative delle temperature imperturbate al largo della Sacca del Canarin e possono essere utilizzate per infittire le misure rese disponibili dalla centrale, ed utilizzabili per lo scopo del presente studio, nei limitati periodi di fermata della centrale durante i quali sono continuate le misure della temperatura sia ai condensatori che alla boa B2, in assenza di ricircolo termico.

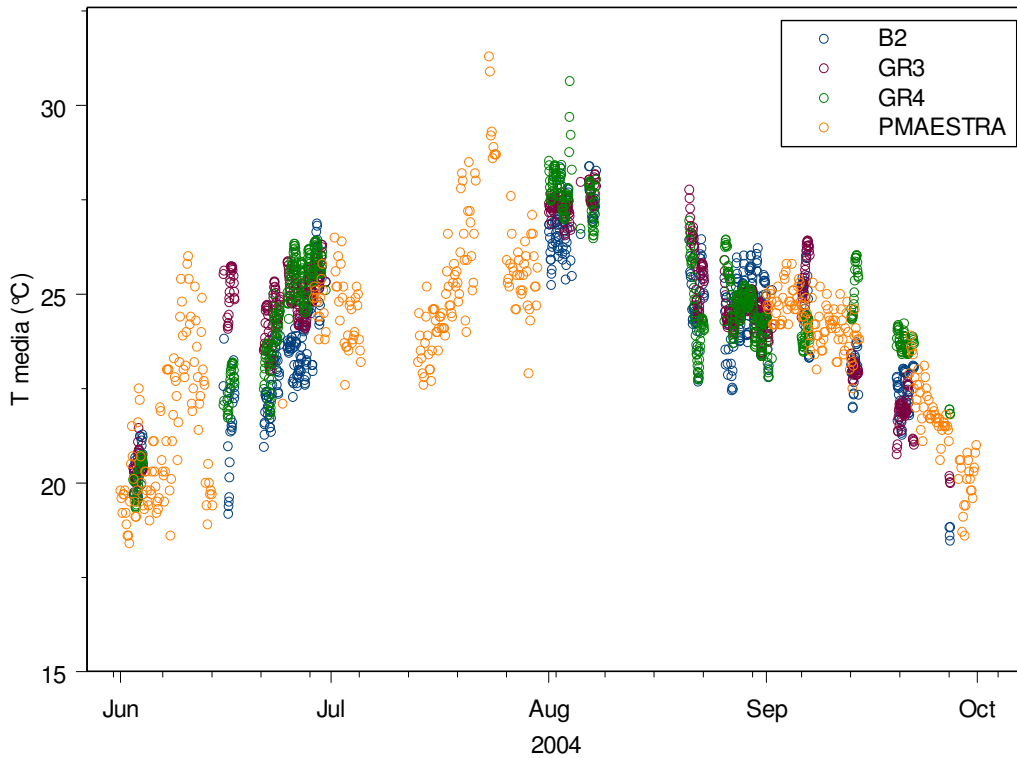


fig. 4.39 – Temperatura media dell’acqua del mare rilevata alla stazione ondometrica di Punta della Maestra confrontata con quella rilevata alla boa B2 e all’ingresso dei condensatori dei gruppi 3 e 4 in condizione di non funzionamento contemporaneo dei gruppi (dati originali ripuliti dei valori anomali)

Per rappresentare ragionevolmente la temperatura media del mare è stata quindi elaborata una serie unica attraverso un’operazione di “*smoothing*” con tecnica Kernel dell’insieme dei dati di cui ai passi precedenti. Mediante successiva interpolazione lineare, la serie risultante è stata campionata con passo di 10 minuti al fine di ottenere una serie direttamente confrontabile con quella della marea precedentemente elaborata. Il risultato è mostrato nella fig. 4.40 che segue.

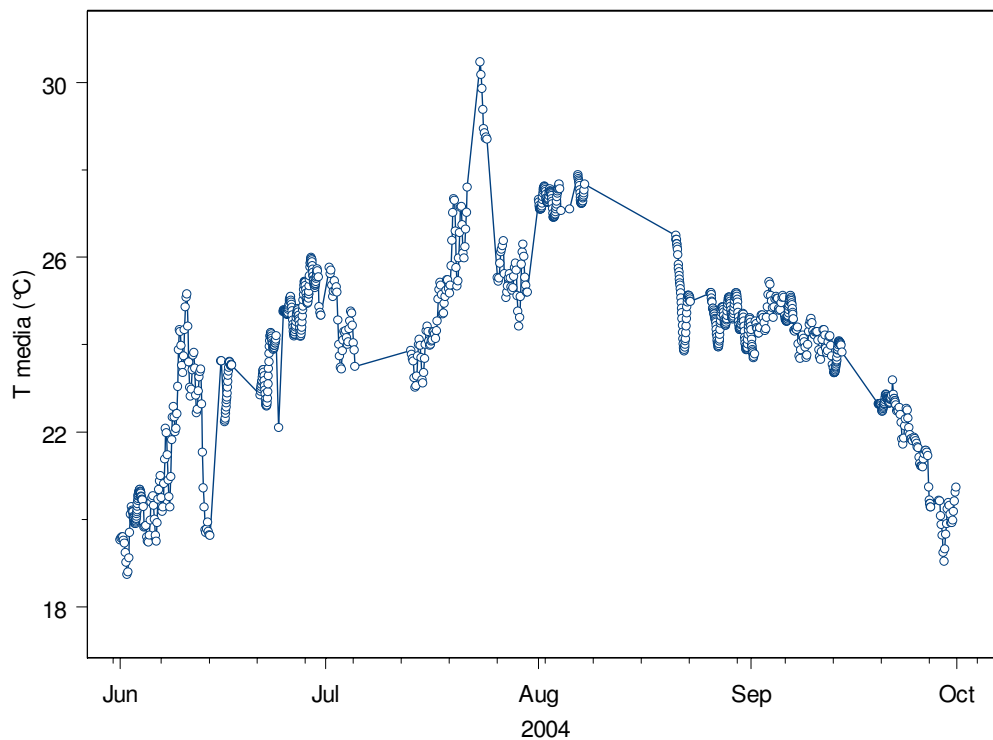


fig. 4.40 – Temperatura estiva media dell’acqua del mare al largo della Sacca del Canarin

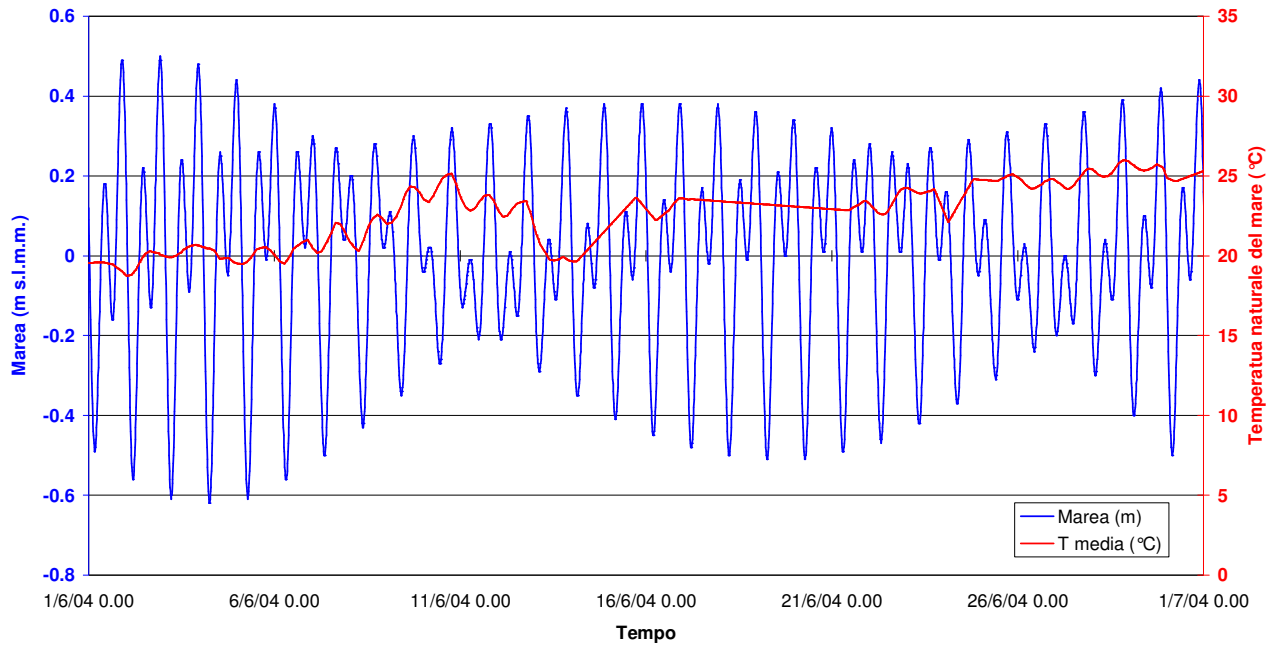
La serie delle temperature naturali così ottenuta è stata quindi sovrapposta all'andamento della marea per il periodo corrispondente (1° giugno 30 - settembre 2004) per la definizione delle frequenze di accadimento (in ore nel periodo d'interesse) delle combinazioni di temperatura naturale e di livello di marea simulate nello scenario di funzionamento della centrale descritto.

Il risultato dell'analisi combinata delle due serie è riassunto nella tab. 4.1 che contiene la durata, in ore nel periodo estivo di riferimento (1° giugno – 30 settembre 2004, per un totale di ore esaminate pari a 2928), delle condizioni ambientali di marea e di temperatura naturale del mare. La tabella evidenzia anche gli intervalli delle oscillazioni di marea che possono essere assunti come rappresentativi delle condizioni di bassa marea (livello compreso tra -0.35 e -0.60 m rispetto al l.m.m.), di medio mare (livello compreso tra -0.10 e +0.10 m rispetto al l.m.m.) e di alta marea (livello compreso tra +0.35 e +0.55 m rispetto al l.m.m.). I valori in tabella e i grafici della fig. 4.41 e della fig. 4.42 evidenziano una maggiore frequenza di minimi assoluti (condizioni di bassa marea) rispetto a quella dei massimi assoluti (condizioni di alta marea) per il periodo esaminato (tale andamento di marea, peraltro, è stato osservato in tutti gli anni dal 2001 al 2005 analizzati per il presente studio).

tab. 4.1 – Frequenze di accadimento combinate di temperatura e livello di marea (1° giu – 30 set 2004)

Marea (m s.l.m.m.)		Temperatura naturale del mare					
		>26 °C	>27 °C	>28 °C	>29 °C	>30 °C	
>Min	<=Max	Durata (ore) delle condizioni ambientali nel periodo					
bassa marea	-0.6	-0.55	4	3	0	0	0
	-0.55	-0.45	20	8	0	0	0
	-0.45	-0.4	15	8	2	0	0
	-0.4	-0.35	18	11	3	1	1
	-0.35	-0.3	14	9	2	1	1
	-0.3	-0.25	26	14	4	1	1
	-0.25	-0.2	26	15	3	1	0.8
-0.2	-0.15	47	33	4	2	0.7	
-0.15	-0.1	51	36	7	5	0.8	
medio mare	-0.1	-0.05	53	39	5	3	0.3
	-0.05	0	61	36	5	3	0.3
	0	0.05	48	36	5	2	0.3
	0.05	0.1	50	37	6	2	0.3
	0.1	0.15	48	34	6	2	0.3
	0.15	0.2	54	38	6	4	0.3
	0.2	0.25	46	30	5	1	0.7
0.25	0.3	49	27	4	2	1	
0.3	0.35	39	20	6	4	2	
alta marea	0.35	0.4	20	10	0	0	0
	0.4	0.45	0	0	0	0	0
	0.45	0.5	0	0	0	0	0
	0.5	0.55	0	0	0	0	0

Andamento della temperatura naturale e del livello di marea nel periodo giugno 2004



Andamento della temperatura naturale e del livello di marea nel periodo luglio 2004

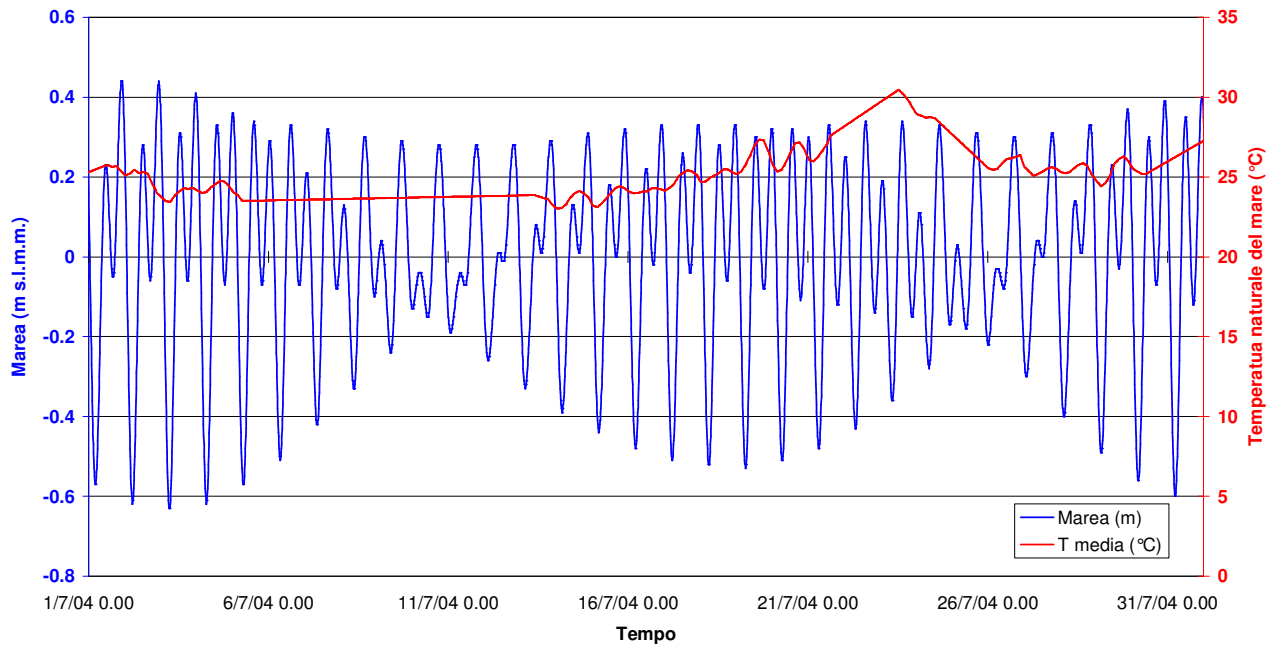
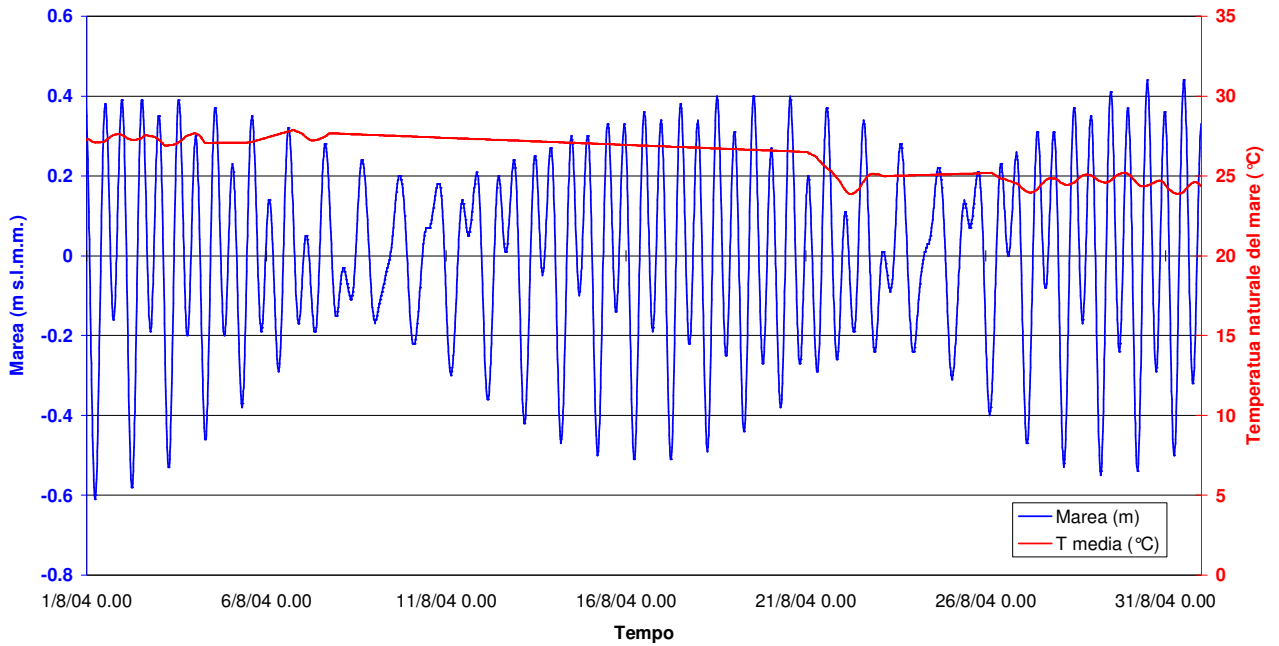


fig. 4.41 – Andamento della temperatura naturale e del livello di marea nei periodi di giugno e luglio 2004



Andamento della temperatura naturale e del livello di marea nel periodo agosto 2004



Andamento della temperatura naturale e del livello di marea nel periodo settembre 2004

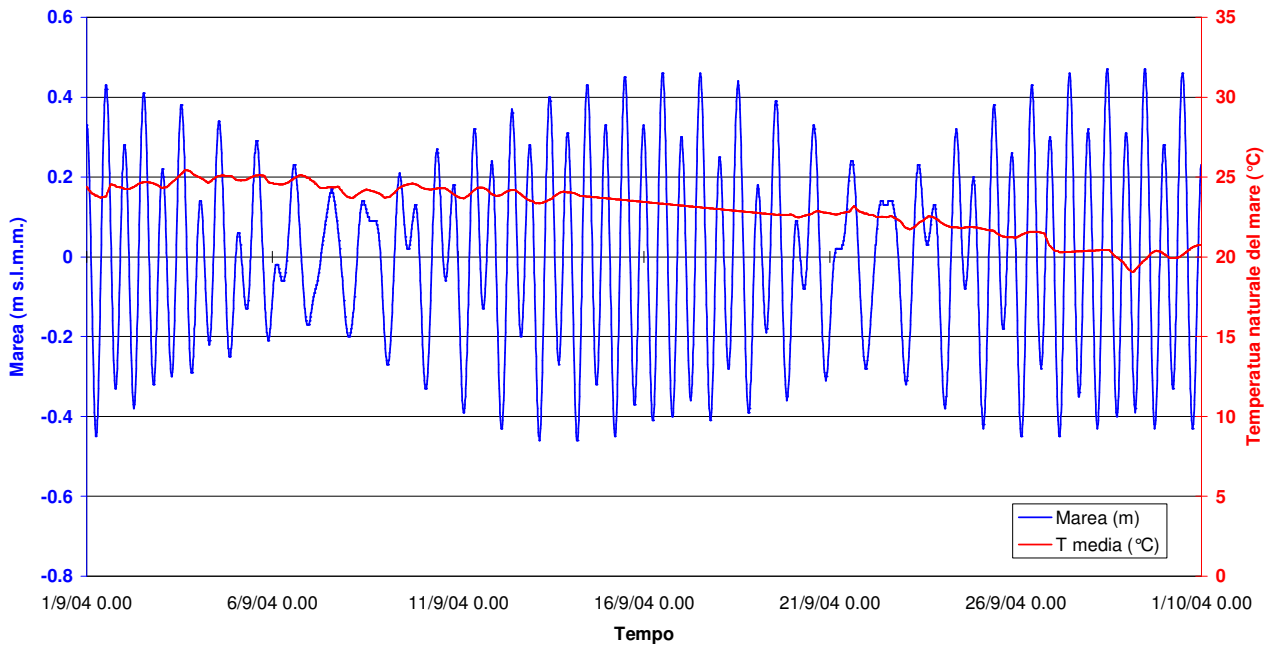


fig. 4.42 – Andamento della temperatura naturale e del livello di marea nei periodi di agosto e settembre 2004

Se si applicano le frequenze di accadimento della tab. 4.1 ai risultati della simulazione dinamica (si tratta evidentemente di una estrapolazione poiché le due analisi si riferiscono a periodi differenti, per quanto entrambi estivi e, dunque, critici) illustrati al paragrafo precedente appare evidente la limitata frequenza, oltre che la non consecutività legata all'andamento oscillante della marea, delle condizioni ambientali simulate.

Conseguentemente, il numero di ore in cui si manifesterebbero nella Sacca del Canarin gli incrementi di temperatura descritti, appare anch'esso limitato. Per esempio, su un totale di 2928 ore del periodo 1° giugno – 30 settembre considerato, la condizione che vede una temperatura in mare aperto maggiore od uguale a 27°C (cui corrisponde, secondo le ipotesi del presente studio, una temperatura nella Sacca del Canarin, maggiore od uguale a 29°C), si verifica per 10 ore, in condizioni di alta marea, per 29 ore, in bassa marea e per 148 ore in condizioni di medio mare, rispettivamente pari allo 0.35%, allo 0.98%, e al 5.07% del periodo estivo considerato.

I risultati della modellazione della dispersione delle acque di scarico in mare aperto e, in particolar modo, nella Sacca del Canarin rappresentano il punto di partenza per l'analisi dell'eventuale impatto sulla componente biotica presente in laguna che verrà sviluppata nel paragrafo seguente.

## 5 ANALISI DEGLI EFFETTI SUGLI EQUILIBRI BIOTICI DELLA LAGUNA DEGLI INTERVENTI SULLA SACCA DEL CANARIN

La Sacca del Canarin, come tutti gli ambienti lagunari, è frutto di una azione dinamica combinata di più componenti quali il mare, il fiume, gli agenti atmosferici, e di modificazioni ambientali dovute all'intervento dell'uomo. La geomorfologia delle lagune deltizie è in continuo mutare per la contrapposizione di due diverse forze: l'azione costruttiva del Po e la forza erosiva del mare, entrambe modulate ed equilibrate dagli interventi antropici.

In tali aree le acque dei canali si mescolano a quelle marine trasformandosi in salmastre, cioè a bassa salinità, e proprio tale elemento, unitamente agli ingenti apporti di sostanze minerali presenti nel fiume, conferisce all'ambiente acquatico deltizio una grande ricchezza alimentare che ha da sempre creato una elevata varietà e quantità di stock ittici.

Negli ambienti estuari si viene ad instaurare una situazione ambientale di transizione e trasformazione via via crescente da zone prettamente dulciacquicole a zone prettamente marine: le lagune occupano perciò aree che presentano in genere una variabilità assai elevata dei principali caratteri chimico - fisici ed idrologici come la temperatura, la salinità e l'ossigeno disciolto in termini sia spaziali sia temporali.

Nella Sacca del Canarin la salinità è uno dei parametri che maggiormente varia, risentendo del mescolamento delle acque dolci con quelle salate, ed essendo ulteriormente influenzato dall'azione della marea e degli agenti atmosferici. Infatti, per esempio, in assenza di vento si realizza una stratificazione dell'acqua di mare più salata e quindi più pesante sul fondo, e l'acqua dolce, più leggera, che si posiziona nello strato superficiale; d'altra parte, in fase di alta marea la spinta di entrata dal mare supera quella del fiume e si verifica un aumento di salinità. Viceversa accade in bassa marea o quando si verificano nel fiume delle "morbide", ovvero delle piene stagionali, che riescono a ridurre bruscamente e notevolmente la concentrazione di sale disciolto.

Nella Sacca del Canarin, in particolar modo, ma anche in altre lagune, l'evoluzione orografica dei fondali influenza la salinità: con il passare del tempo si ha infatti una riduzione della profondità dei canali interni alle lagune ed i fondali tendono naturalmente ad uniformarsi; in tal modo le aree più interne saranno maggiormente influenzate dagli agenti atmosferici e risentiranno in misura sempre minore dell'effetto della marea.

La temperatura è un altro parametro fondamentale che presenta notevoli escursioni nell'arco dell'anno. Nella Sacca del Canarin si oscilla dai 3-4°C invernali sino a raggiungere i 30°C nei mesi estivi. Tali escursioni si verificano a causa del basso fondale delle lagune deltizie, in quanto la capacità termica della massa acquosa è ridotta.

Le zone lagunari dove è presente una discreta canalizzazione dei fondali sono caratterizzate da una maggiore costanza della temperatura, avendo un apporto continuo di acqua di mare, mentre le aree più interne risentono maggiormente dei bruschi cambiamenti atmosferici facendo registrare grandi variazioni termiche.

Un altro parametro di fondamentale importanza e notevole variabilità in una laguna quale la Sacca del Canarin è l'ossigeno disciolto. Le oscillazioni dei valori sono legate agli stessi fattori che determinano la variabilità della salinità ma soprattutto all'attività biologica della laguna.

L'ossigeno è maggiormente disciolto nell'acqua tanto più questa è fredda e tanto meno abbondante è la presenza di soluti. Inoltre l'azione del vento e del movimento ondoso aumentano notevolmente il tenore di ossigeno presente nell'acqua lagunare.

In ambiente lagunare soprattutto eutrofico come quello della Sacca dei Canarin è anche molto importante il ciclo biologico dei vegetali (macro- e microalghe). Lo sviluppo delle alghe è condizionato dall'andamento stagionale (temperatura, salinità) e dagli apporti dei nutrienti, veicolati di solito dagli apporti di acqua dolce. Nel periodo invernale le basse temperature da un lato non consentono un grande sviluppo della flora lagunare, dall'altro, assieme alle condizioni atmosferiche, contribuiscono all'ossigenazione delle acque con tenori di ossigeno elevati e generalmente prossimi alla saturazione.

Diversamente, nel periodo estivo, la laguna del Canarin è caratterizzata da periodi in cui il mantenimento dell'equilibrio dell'ecosistema è difficoltoso. L'innalzamento della temperatura dell'acqua e la presenza di elevate quantità di sali nutrienti produce un notevole incremento del metabolismo algale ed, in particolare delle microalghe, che determinano un aumento esponenziale della biomassa vegetale.

Tale aumento dà luogo, attraverso il processo della fotosintesi clorofilliana, alla produzione di ossigeno nel ciclo diurno, e ad un suo ingente consumo nelle ore notturne. L'alta temperatura dell'acqua però, riduce notevolmente la solubilità dell'ossigeno, così che il bilancio dello scambio tra ossigeno prodotto e assorbito non risulta equilibrato.

Ne consegue una riduzione, soprattutto nelle ore antecedenti l'alba, del tenore di ossigeno disciolto, instaurandosi quindi il fenomeno dell'anossia che inizia abitualmente negli strati più profondi e che via via si può propagare anche agli strati più superficiali.

L'anossia, se prolungata nel tempo o ripetuta sistematicamente, può dare luogo alla fuga degli animali che possono nuotare e alla morte degli organismi sessili, che non hanno la possibilità di muoversi attivamente.

La Sacca del Canarin presenta fondali di diversa natura. In particolare, in prossimità della bocca a mare la componente sabbiosa è quella di gran lunga prevalente per l'opera di lavaggio operata dalla corrente che consente alla sola componente sabbiosa la sedimentazione. Nelle zone più interne, invece, dove il ricircolo idrico è assai minore, la componente limosa è la prevalente.

In tali zone anche la componente organica, costituita da macroalghe e residui vegetali in genere in fase di decomposizione, è molto abbondante ed in particolari periodi dell'anno essa dà origine a fenomeni di decomposizione anaerobica con produzione di sostanze pericolose per l'equilibrio ecologico in atto (anidride solforosa, ammoniaca, ecc.).

Si è assistito negli anni ad un cambiamento dei popolamenti che sono progressivamente divenuti tipici degli ambienti marini e più abbondanti. Il trofismo della Sacca si è innalzato favorito dal ristagno dell'acqua dovuto al naturale interrimento della bocca; le concentrazioni dei principali nutrienti presentano così valori medi sostenuti e si registrano pronunciati cicli nictemerali nei periodi estivi.

## 5.1 Aspetti biologici

La struttura fitoplanctonica varia nel corso dell'anno sia come numero di specie sia nella composizione. In particolare i popolamenti risultano quantitativamente più elevati con medie anche notevoli (10.000 cell/ml) mentre hanno basse densità nei mesi invernali.

Si registra la coesistenza di due gruppi principali, le diatomee e le microflagellate. Queste ultime risultano dominanti nei periodi invernali, quando le entità dei popolamenti globali non sono molto rilevanti.

Le diatomee sono presenti principalmente con le specie *Skeletonema costatum* e, nei mesi estivi, di *Chaetoceros spp.* mentre le macrofite sono costituite unicamente da alghe appartenenti ai phyla Chlorophyta, seguite dalle Rhodophyta e Cyanophyta. Tra le alghe verdi, la più comune è l'*Ulva rigida*; sono presenti anche *Enteromorpha intestinalis*, *Cladophora spp.* e *Bryopsis spp.* Frequente risulta la *Gracilaria confervoides*.

Sono presenti anche le alghe rosse come la *Polysiphonia spp.* e *Callithamnion spp.*

Per quanto riguarda la popolazione animale tra lo zooplancton troviamo i Copepodi, larve di policheti, Tunicati, Cirripedi Tunicati, molluschi, ecc.

Il macrobenthos è rappresentato dai policheti: *Neanthes succinea*, *Heteromas filiformistus* e *Streblospio shrubsolii*, dai molluschi bivalvi: *Tapes philippinarum*, *S. inaequalis*, *A. segmentatum* e *Abra segmentum* e dagli anfipodi *Corophium insidiosum*, *Gammarus insensibilis* e *Melita palmata*. Su substrati duri fungenti da collettori si nota inoltre la presenza di bivalvi quali: *Mytilaster minimus*, *Mytilus galloprovincialis*, *Balanus sp.*, *Crassostrea gigas*, ecc.

In ogni caso, come anche per le altre lagune del delta del Po, nella Sacca del Canarin si è assistito ad una colonizzazione ingente da parte del bivalve *Tapes philippinarum*, ovvero la vongola verace, una specie alloctona di origine indo - pacifica introdotta a scopo di molluschicoltura.

Nella Sacca la comunità è largamente dominata da questo bivalve (con presenza sino a 3.700 individui/mq), che con la sua densità esercita certamente un effetto limitante sull'insediamento di altre specie.

Per quanto concerne le specie ittiche, nella Sacca del Canarin si rinvencono soprattutto le specie eurialine, ovvero quelle facilmente adattabili agli sbalzi di salinità, tra di esse si ricordano i mugilidi, la cheppia (*Alosa fallax*), l'anguilla (*Anguilla anguilla*), il latterino (*Atherina boyen*), l'orata (*Sparus aurata*), i pesci piatti, ecc., nonché specie marine come l'aguglia (*Belone belone*), triglia (*Mallus barbatus*).

## 5.2 Effetti ambientali indotti dagli interventi previsti sugli equilibri biotici

L'idrodinamica lagunare riveste fondamentale importanza nel mantenimento dei delicati equilibri ecologici; la circolazione delle acque, e quindi il ricambio idrico tra la laguna e il mare, è l'elemento primario per il mantenimento dell'ambiente e delle sue risorse ed è comunque legata al costante intervento e studio dell'uomo.

L'interramento progressivo della Sacca del Canarin comporta una riduzione del ricircolo dell'acqua e, di conseguenza, dal punto di vista biologico, una riduzione delle popolazioni planctoniche e bentoniche. Tale fenomeno provoca una sempre maggiore riduzione delle zone idonee all'allevamento della vongola verace (*Tapes philippinarum*): allo stato attuale, gli allevamenti occupano solo poche migliaia di metri quadrati su una estensione di 1000 ettari quale risulta l'area occupata dalla Sacca del Canarin.

Gli interventi di vivificazione lagunare previsti avranno l'effetto di limitare l'introduzione di acqua dolce in laguna, potenziare il circolo d'acqua nell'ambito lagunare e garantire il corretto scambio di volumi d'acqua con il mare.

Sulla base anche di quanto risulta dagli studi riportati ai capitoli 3 e 4, l'attuazione di tutti gli interventi previsti dal progetto di vivificazione, e in particolare l'apertura della Bocca Sud, consentono di migliorare la circolazione ed il ricambio in tutto lo specchio lagunare. Ciò si verificherebbe indipendentemente dalla derivazione o meno di portata per gli usi della centrale termoelettrica.

Il miglioramento generale del flusso idrodinamico indotto all'interno della Sacca sia dagli interventi ipotizzati sia dalla opportuna gestione del sistema che conduce acque di raffreddamento alla centrale consentirà quindi di attivare i fenomeni che favoriscono il ricambio anche delle zone periferiche della laguna, avendo quindi le seguenti conseguenze positive:

- contrastare i fenomeni di eutrofizzazione delle acque che si riscontrano attualmente nella Sacca, anche a causa di un difficoltoso ricambio di una parte dello specchio liquido;
- favorire il ripristino degli equilibri biologici della laguna, con particolare riferimento alle forme planctoniche e bentoniche;
- favorire il recupero delle attività produttive, soprattutto in occasione del periodo estivo, per gli estesi parchi di allevamento di vongole che si trovano all'interno della Sacca del Canarin, in quanto l'entrata dal mare di acqua più fresca mitiga l'alta temperatura della Sacca e mantiene i valori di ossigeno disciolto superiori.

Sulla base delle conclusioni desunte dallo studio riportato nel capitolo 4, lo scenario dinamico, con simulazione in continuo della marea, indica che, assumendo una temperatura di 29°C (temperatura naturale estiva cautelativa), si raggiungono, per il parziale ricircolo nella Sacca dello scarico caldo, temperature di 34-35°C con tempi di permanenza ed aree interessate non costanti ma dipendenti dal flusso e riflusso di marea (cioè circa ogni 12 ore). I valori di picco della temperatura all'interno della Sacca si osservano comunque in aree limitate e prossime alla Bocca Nord.

E' importante considerare che questo fenomeno sarebbe mitigato dal miglioramento generale dell'idrodinamica indotto all'interno della Sacca dagli interventi previsti dal progetto di vivificazione, e verrebbe smorzato dalla presenza di un maggiore flusso di acqua verso l'interno.

Inoltre, come riportato nel paragrafo 4.6, l'impatto termico descritto è da considerare conservativo soprattutto se valutato alla luce della reale frequenza di accadimento, durante il periodo estivo.

Appare infatti evidente la limitata frequenza, oltre che la non consecutività legata all'andamento oscillante della marea, delle condizioni ambientali simulate.

Per quanto riguarda l'eventuale impatto biologico che comunque potrebbe derivarne, si sottolinea che la comunità bentonica, già allo stato attuale è interessata da una situazione caratterizzata da una variabilità della temperatura, sia giornaliera sia stagionale, per cui ha sviluppato un certo grado di adattamento al fenomeno, specie durante il periodo estivo quando, a causa della chiusura della Bocca Sud, le temperature interne alla Sacca tendono a mantenersi più elevate di quelle esterne (si veda al riguardo il paragrafo 4.3.5.3).

E' molto probabile quindi che lo scenario proposto trovi i popolamenti locali in qualche modo "preparati" a reagire a questo tipo di perturbazione e dotati di una struttura in grado di tollerare gli aumenti della temperatura previsti, sempre considerando che gli effetti si basano su ipotesi estremamente cautelative, ovvero con basse frequenze di accadimento.

Considerato il ricambio maggiore favorito dagli interventi previsti per la vivificazione della Sacca e il fatto che le specie presenti nella Sacca stessa sono maggiormente adattate a condizioni di variabilità dei parametri, si può ritenere che nel complesso il disturbo arrecato dal funzionamento mare - mare della centrale sia di modesta entità e, comunque, completamente reversibile.

Nel complesso, quindi, si può prevedere che gli effetti indotti siano piuttosto discontinui, ed inducano nelle biocenosi reazioni a carattere transitorio, reversibili senza particolari difficoltà.

Tali effetti vengono infatti progressivamente recuperati, in virtù dei meccanismi di compensazione naturali della biocenosi.

## 6 CONCLUSIONI

### 6.1 Premessa

Il progetto di vivificazione della Sacca del Canarin presenta un notevole impatto sull'idrodinamica della Sacca e delle aree di mare ad essa collegate causando modifiche anche alle condizioni di scarico (immediatamente a nord della Sacca) e presa (all'interno della stessa) delle acque di raffreddamento della centrale qualora essa operi in condizioni mare - mare.

La trasformazione a carbone della centrale, con tre gruppi che operano a pieno carico, aggiunge un'ulteriore condizione di modifica rispetto all'assetto storico di esercizio della centrale con quattro gruppi ad olio combustibile.

La perturbazione del progetto di vivificazione e della trasformazione a carbone sugli equilibri della Sacca è stata valutata esaminando i risultati di una analisi dinamica in transitorio dello scenario che vede il previsto nuovo assetto a carbone della centrale funzionante in assetto mare - mare in presenza delle opere del progetto di vivificazione predisposto dal Consorzio di Bonifica Delta Po - Adige. Lo studio idrodinamico ha fatto seguito a quello, analogo ma riferito ad una parziale realizzazione del progetto stesso, realizzato dal Consorzio.

### 6.2 Sintesi dei principali risultati

Tenendo presente che lo studio è rivolto principalmente alla valutazione delle perturbazioni indotte nel periodo di funzionamento estivo, durante il quale la ridotta portata del fiume Po può imporre condizioni di esercizio in assetto cosiddetto "mare - mare" (presa dalla Sacca del Canarin e scarico poco a monte della foce del Po di Scirocco), viene di seguito presentato un sommario dei principali risultati raggiunti nello studio allo scopo di poterne trarre le conclusioni in maniera sintetica, rimandando ai paragrafi di volta in volta citati per gli eventuali approfondimenti.

In particolare, nella situazione attuale della Sacca del Canarin (paragrafo 3.2.1):

- se si escludono gli specchi liquidi posti in prossimità della bocca, il ricambio delle acque legato al solo trasporto convettivo è di scarso rilievo e verosimilmente non è in grado di contrastare, nelle parti periferiche della laguna, eventuali processi di eutrofizzazione;
- se, sulla circolazione naturale in laguna, si sovrappone quella prodotta dal prelievo di consistenti portate da parte del sistema di raffreddamento della centrale termoelettrica, si produce l'attivazione del trasporto convettivo e, soprattutto, si induce all'interno della laguna una circolazione secondaria di un certo rilievo che estende sensibilmente le aree nelle quali il ricambio risulta efficacemente sostenuto dalle correnti di marea.

Per quanto concerne la situazione di progetto con parziale realizzazione delle opere di vivificazione (stabilizzazione della Bocca Nord e creazione di canali sub - lagunari) (paragrafo 3.2.2):

- l'attuazione di un primo stralcio di lavori del progetto di vivificazione migliora taluni aspetti della circolazione lagunare con particolare riferimento alle aree adiacenti alle aree produttive previste;
- si estendono, rispetto alla situazione attuale, gli specchi liquidi interessati da velocità sostenute, che si mantengono su valori apprezzabili lungo tutto il perimetro delle aree produttive previste.

Con riferimento alla **perturbazione termica** indotta nella Sacca del Canarin nella condizione di esercizio della centrale in assetto mare – mare, in presenza di tutte le opere previste dal progetto di vivificazione (paragrafo 4.5.1):

- la forma del pennacchio, soprattutto all'interno della Sacca, risente del flusso alternativamente entrante ed uscente dalle due bocche, oltre che della rete di canali sub - lagunari, che producono una circolazione interna elevata e quindi una maggior dispersione del pennacchio;
- durante le fasi di alta marea, la bocca a sud risulta meno interessata dal pennacchio caldo rispetto alla bocca a Nord, ed è quindi favorito l'ingresso attraverso di essa di acqua mediamente più fredda durante la fase di marea crescente; ciò comporta una minore temperatura media nell'area meridionale della Sacca stessa, mentre l'area settentrionale risulta mediamente più calda (incrementi massimi di temperatura di 5-6°C rispetto alla temperatura indisturbata);
- durante le fasi di bassa marea la bocca a 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; la seconda, in prossimità della Bocca Sud, vede invece gli effetti del prevalente flusso entrante dovuto al pompaggio della centrale. 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 (incrementi massimi di temperatura di 4-5°C rispetto alla temperatura indisturbata);
- la dinamica che si instaura tra la condizione di marea crescente da un minimo ad un massimo, caratterizzata da alte velocità entranti nella Sacca attraverso le bocche e comunque da un flusso positivo di acqua verso terra, è distinta da quella di marea decrescente da un massimo ad un minimo, caratterizzata ancora da alte velocità attraverso le bocche e da un flusso di acqua tendenzialmente positivo verso il mare aperto. Infatti in condizione di marea decrescente il flusso è nettamente uscente dalla Bocca Nord, mentre invece esso risulta meno intenso ma ancora entrante dalla Bocca Sud a causa della prevalenza della aspirazione della centrale, che è indirizzata principalmente verso questa bocca;
- la dinamica sopra descritta ha forti conseguenze sulla dislocazione del campo termico. In primo luogo è accentuato lo spostamento della zona calda del pennacchio verso l'area settentrionale della Sacca, e viene evidenziata la forte immissione di acqua fredda dal mare in fase di marea crescente. Con la marea decrescente, viceversa, il pennacchio caldo proveniente dallo scarico tende ad essere richiamato più verso il largo, interessando in minore misura la zona delle bocche, con una conseguente diminuzione della temperatura nella Sacca;
- gli effetti positivi riscontrati in presenza del progetto di vivificazione sono principalmente legati ai canali di vivificazione, che portano l'acqua direttamente dal mare aperto al canale di presa attraverso la nuova bocca a sud, ed al fatto che le barene rialzate costringono il pennacchio caldo, che si incunea comunque nella Sacca principalmente attraverso la bocca a Nord, ad un percorso circolare nella Sacca prima di interessare l'area di presa, subendo altresì un maggior raffreddamento per scambio termico con l'atmosfera. In questo modo, si aumenta la frazione di acqua fredda alla presa, diminuendo il ricircolo termico;
- un ulteriore elemento emerso dallo studio riguarda la condizione idrodinamica che si realizza nella Sacca ed in prossimità del litorale in presenza del progetto di vivificazione. In particolare, l'evidenza di un flusso dovuto al passaggio della marea attraverso le bocche e la presenza dei canali consentono una circolazione all'interno della Sacca decisamente più marcata in tutte le zone, ma questo è particolarmente evidente in presenza della aspirazione della centrale al massimo livello di portata; tuttavia la presenza di bassi fondali e la dinamica delle correnti fanno sì che le condizioni valutate nello studio si possano considerare valide solo in assenza di consistenti fenomeni di insabbiamento e di sedimentazione, per cui è necessario prevedere comunque una manutenzione sistematica delle opere ed in particolare delle aree dragate;



Per quanto concerne gli effetti sugli **equilibri biotici** nella Sacca del Canarin con riferimento alla perturbazione termica indotta dall'esercizio della centrale in presenza delle opere di vivificazione (paragrafo 5.2):

- il miglioramento generale del flusso idrodinamico indotto all'interno della Sacca sia dagli interventi ipotizzati, sia dalla gestione del sistema di presa delle acque di raffreddamento necessarie alla centrale, consentirà di attivare i fenomeni che favoriscono il ricambio anche delle zone periferiche della laguna; risulterà dunque contrastato il fenomeno di eutrofizzazione attualmente in atto e favorito il ripristino degli equilibri biologici della laguna, con particolare riferimento alle forme planctoniche e bentoniche;
- l'impatto termico descritto interessa aree limitate prevalentemente prossime alla Bocca Nord e caratterizzate da tempi di permanenza e dimensioni variabili in funzione del flusso e riflusso di marea; la migliorata circolazione in laguna, inoltre, favorisce la dispersione del pennacchio evitando possibili fenomeni di concentrazione;
- l'impatto termico è da considerare conservativo soprattutto se valutato alla luce della reale frequenza di accadimento, che, nell'arco dei mesi estivi presi in considerazione dalla simulazione, si mantiene dell'ordine di poche ore, peraltro non consecutive per le oscillazioni imposte dai flussi mareali;
- già allo stato attuale, la comunità bentonica è interessata da una situazione caratterizzata da una variabilità della temperatura, sia giornaliera sia stagionale, per la quale ha sviluppato un certo grado di adattamento; è molto probabile quindi che lo scenario proposto trovi i popolamenti locali in qualche modo "preparati" a reagire a questo tipo di perturbazione e dotati di una struttura in grado di tollerare gli aumenti della temperatura previsti;
- si può prevedere che gli effetti indotti siano piuttosto discontinui, ed inducano nelle biocenosi reazioni a carattere transitorio, reversibili senza particolari difficoltà in virtù dei meccanismi di compensazione naturali della biocenosi.

### 6.3 Considerazioni finali

La considerazione del progetto di vivificazione della Sacca del Canarin, così come presentato dal Consorzio di Bonifica 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 dell'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 dall'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.