



STUDIO MODELLISTICO PER LA VALUTAZIONE DEGLI
IMPATTI IDRODINAMICI E TERMICI
DELL'INSTALLAZIONE DELLA NUOVA TORRE DI
RAFFREDDAMENTO
(CTE EDISON DI MARGHERA LEVANTE)

Aprile 2008

Introduzione

Il progetto, all'interno del quale s'inserisce questo studio, ha come scopo la valutazione dell'eventuale impatto della costruzione di una nuova torre di raffreddamento all'interno della centrale Edison di Marghera Levante.

Più specificatamente, scopo dello studio, eseguito dal CNR-ISMAR Venezia, è quello di valutare l'impatto della torre sull'idrodinamica lagunare e sulla sua temperatura attraverso l'applicazione del modello numerico SHYFEM.

L'utilizzo di modelli numerici in campo ambientale risulta di grande utilità soprattutto in ecosistemi costieri come la Laguna di Venezia, in quanto permette di conoscere i processi e le interazioni che legano i diversi fattori presenti in tali ambienti complessi. Tale conoscenza permette, quindi, di valutare le modificazioni di tali processi, dovute sia a cause naturali che antropiche.

I modelli matematici forniscono pertanto un utile strumento per la previsione delle risposte di un ecosistema a differenti scenari.

Il modello idrodinamico SHYFEM è stato sviluppato al CNR-ISMAR di Venezia ed è stato concepito per l'applicazione a bacini di acqua bassa. Numerosi studi sono stati effettuati utilizzando tale strumento non solo nella Laguna di Venezia ma anche in varie lagune italiane e del Mediterraneo.

Applicazioni di SHYFEM

Il modello SHYFEM era stato inizialmente concepito e perfezionato per l'applicazione alla Laguna di Venezia. Tuttavia, la versatilità di tale strumento ha permesso con successo l'applicazione anche a diverse lagune e bacini semi-chiusi con caratteristiche simili di *shallow water*. Di seguito viene data un breve panoramica delle applicazioni di SHYFEM.

Laguna di Venezia

Il modello idrodinamico è stato applicato per riuscire a riprodurre la propagazione dell'onda di marea all'interno della laguna. I risultati simulati sono stati successivamente confrontati con i dati sperimentali, relativi all'anno 1992, raccolti attraverso i 12 mareografi presenti in laguna. Questa operazione di calibrazione del modello ha portato ad una soddisfacente riproduzione dei livelli d'acqua. La successiva fase di validazione è stata effettuata utilizzando dati di livello, temperatura e salinità dell'anno 2001 che il modello è riuscito a rappresentare anche qui in modo soddisfacente (Umgiesser et al., 2004). Sono stati inoltre calcolati i flussi tra Laguna di Venezia e Mare Adriatico e confrontati con dati sperimentali con buoni risultati (Cucco and Umgiesser, 2002).

Il modulo idrodinamico di SHYFEM è stato utilizzato anche per studi come l'analisi della circolazione residua all'interno della laguna in differenti condizioni di vento (Umgiesser, 2000; Solidoro et al., 2004) e il calcolo del tempo di residenza del bacino, come definito da Takeoka (1984) (Cucco, 2000; Cucco and Umgiesser, 2005).

Ulteriori studi sono stati effettuati utilizzando il modulo ecologico, accoppiato al modulo di trasporto e diffusione, per lo studio dell'evoluzione spazio-temporale di variabili di stato quali: nutrienti, fitoplancton, ossigeno disciolto (Melaku Canu et al., 2001; Umgiesser et al., 2003a; Melaku Canu et al., 2003). Il modello accoppiato è stato utilizzato come strumento per trarre indicazioni sulla sensibilità dell'ecosistema lagunare alle variazioni di forzanti fisiche (marea e vento) e all'input di macronutrienti.

Il modulo di trasporto dei sedimenti ed il modulo d'onda sono stati applicati in uno studio di Umgiesser et al. (2002), sulla capacità di erosione di correnti e onde generate dal vento. Tale studio ha permesso di comprendere l'interazione di questi processi e di identificare le aree della laguna con alti valori di stress al fondo e, pertanto, possibilmente soggette ad erosione (Umgiesser et al., 2006).

A causa della fondamentale interazione tra Laguna di Venezia e Mare Adriatico, il modello lagunare è stato integrato con un modello a più ampia scala del Mare Adriatico la cui calibrazione e validazione è

stata effettuata in diversi studi con risultati soddisfacenti (Cucco and Umgiesser, 2002; Bellafiore et al., 2008).

Da citare all'interno di questa panoramica è sicuramente l'applicazione del modello SHYFEM all'interno del sistema operativo di previsione di marea, utilizzato dal *Centro Previsioni e Segnalazioni Maree* del Comune di Venezia (Canestrelli et al., 2003a; Canestrelli et al., 2003b).

Recentemente, inoltre, è stata effettuata una prima applicazione del modulo di dispersione inquinanti all'area di Porto Marghera in collaborazione con ARPA Veneto.

Mare di Taranto, Lagune di Cabras, Orbetello e Nador

SHYFEM è stato utilizzato per uno studio sull'idrodinamica e sulla variabilità di temperatura e salinità del Mare di Taranto. Questo bacino è composto di due sotto bacini comunicanti tra loro e di cui solo quello denominato Mar Grande comunica con il mare aperto. Il Mar Piccolo è invece caratterizzato dalla presenza di risorgive sottomarine dette "citri". Attraverso l'utilizzo del modello è stato possibile riprodurre non soli campi di velocità all'interno dei bacini ma anche quelli di temperatura e salinità (Scroccaro et al., 2002 a, b; Scroccaro et al., 2004).

Studi simili, riguardanti idrodinamica, temperatura, salinità e tempo di residenza, sono stati effettuati sulle lagune di Cabras in Sardegna (Ferrarin and Umgiesser, 2003a, b), Orbetello in Toscana (Scroccaro et al., 1999, 2001; Scroccaro et al., 2003), e di Nador in Marocco (Umgiesser et al., 2003b).

Il modello SHYFEM

SHYFEM è un modello idrodinamico agli elementi finiti che risolve le equazioni primitive dell'idrodinamica nell'ipotesi *shallow water* e si adatta in modo ottimale alla geometria articolata della Laguna di Venezia (Umgiesser and Bergamasco, 1995; Umgiesser et al., 2004).

In questo studio, il modello viene applicato nella sua versione 2D, che verrà di seguito descritta, tuttavia una versione 3D è già disponibile.

Per la discretizzazione nello spazio il modello utilizza il metodo degli elementi finiti, mentre per l'integrazione nel tempo usa uno schema semi-implicito. Le componenti trattate implicitamente sono il gradiente di pressione (livello dell'acqua), il termine di Coriolis e di attrito nell'equazione di momento e il termine di divergenza in quella di continuità. Tutti gli altri termini sono trattati in modo esplicito.

Le equazioni utilizzate dal modello sono le equazioni delle acque basse nella loro formulazione con i livelli d'acqua e i trasporti.

$$\frac{\partial U}{\partial t} - fV + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + RU + X = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + fU + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + RV + Y = 0$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0$$

dove ζ è il livello dell'acqua, e U, V i trasporti definiti come:

$$U = \int_{-h}^{\zeta} u dz \qquad V = \int_{-h}^{\zeta} v dz$$

con u e v le velocità in direzione x e y , f il parametro di Coriolis, g l'accelerazione di gravità, $H = h + \zeta$, lo spessore totale della colonna d'acqua dato da h livello medio mare e ζ , t il tempo ed R il termine di frizione.

I termini X e Y includono: lo stress del vento, i termini avvevativi non lineari e quelli di viscosità orizzontale. Il termine di attrito viene definito come:

$$R = c_B \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H}$$

dove c_B è coefficiente di attrito al fondo che può essere sia costante, per bacini profondi (2.5×10^{-3}), sia calcolato secondo la formulazione empirica di Chezy $c_B = g/C^2$ dove C è il coefficiente di Chezy. Tale coefficiente non è costante ma varia con la profondità: $C = k_s H^{1/6}$ dove k_s rappresenta il coefficiente di Strickler

Il modello SHYFEM presenta, già implementati al suo interno, un modulo di onde (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1984), uno per il calcolo del trasporto e diffusione di un tracciante passivo (Umgiesser et. al., 2004), un modulo di trasporto sedimenti (Li and Amos, 1995, 2001) ed uno per la qualità delle acque (Umgiesser et al., 2003a).

Recentemente, è stato implementato anche un modulo per la dispersione di inquinanti che tenesse conto delle reazioni di degradazione che possono interessare la sostanza tossica in esame.

La griglia di calcolo

La griglia della Laguna di Venezia è stata ottenuta suddividendo l'area d'interesse in 6287 nodi e 11145 elementi triangolari per descrivere la geometria e tutti i canali importanti della laguna. Grazie alla diversa dimensione degli elementi è stato possibile aumentare la risoluzione spaziale della griglia nelle zone interessate dai canali industriali di Porto Marghera. La griglia numerica e quella con la batimetria imposta sono rappresentate rispettivamente nelle figure 1 e 2.

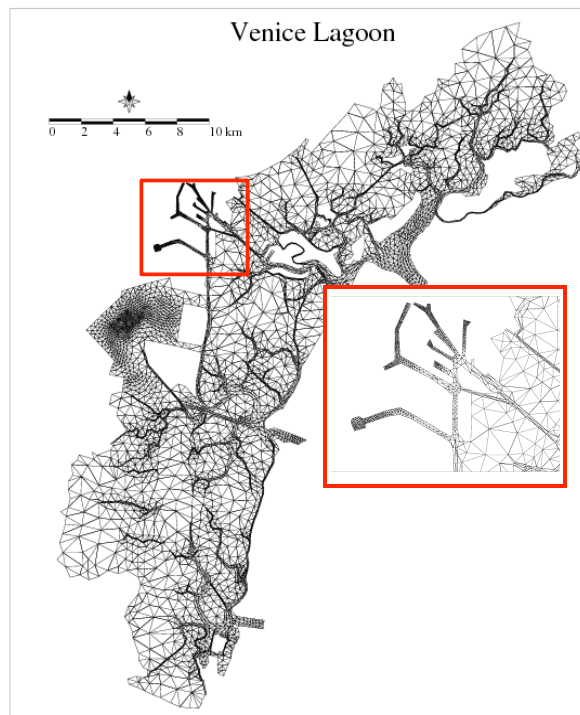


Figura 1: griglia di calcolo della Laguna di Venezia. In evidenza, la area di studio (Marghera Levante).

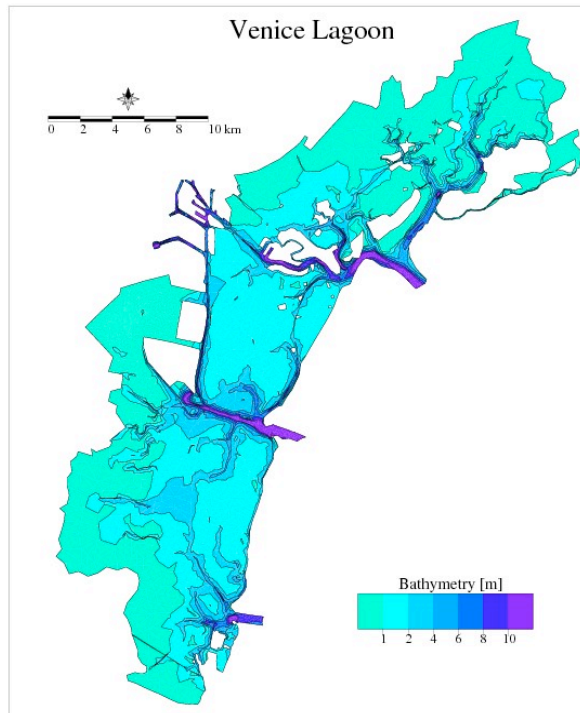


Figura 2: Batimetria della Laguna di Venezia

L'area di studio si colloca nella zona di Marghera Levante ed in particolare nel punto di incontro tra il canale di Malamocco-Marghera e il canale industriale Ovest (Figura 3).

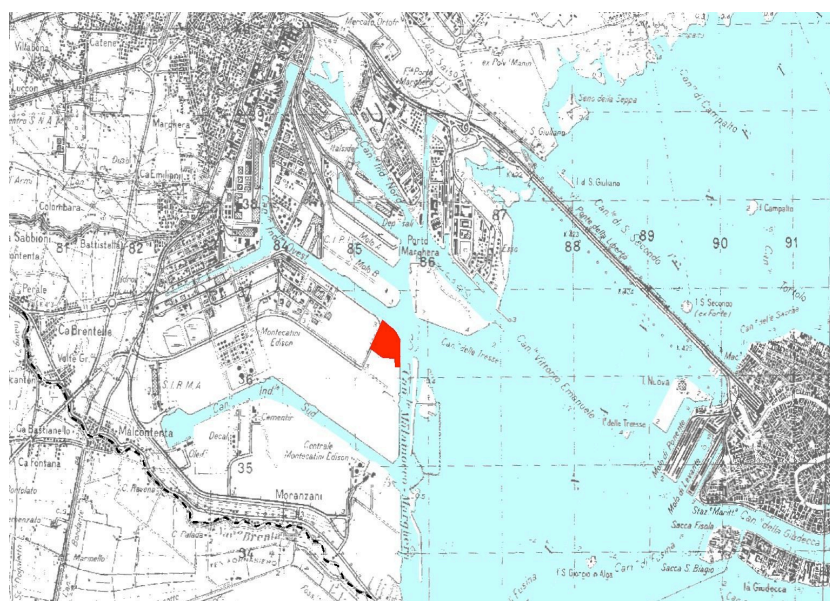


Figura 3: Collocazione della Centrale Termo-Elettrica Edison

Scenari e forzanti

Scopo del presente studio è quello di simulare uno scenario relativo alla costruzione di una torre di raffreddamento all'interno della centrale termo-elettrica (CTE) di proprietà Edison e di valutarne gli effetti rispetto alla condizione lagunare idrodinamica e termica attualmente presente. Lo scenario *ante operam* prevede un emungimento, dalle acque lagunari, di 47000 m³/ora e lo scarico delle stesse con un flusso di 47000 m³/ora e con un $\Delta T = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ in più rispetto alla temperatura ambientale.

Lo scenario *post operam* prevede invece l'emungimento di 47000 m³/ora e lo sversamento di 46400 m³/ora con un ΔT pari a 0 °C e 600 m³/ora immessi in atmosfera in forma di vapore acqueo.

La torre, ad acqua mare a circuito aperto, funzionerà nei soli 5 mesi estivi nei restanti mesi dell'anno la torre sarà ferma ed esclusa dal circuito, il sistema di raffreddamento continuerà pertanto a funzionare come nella situazione attuale (scenario *ante operam*). I punti emungimento e sversamento sono evidenziati in figura (4).

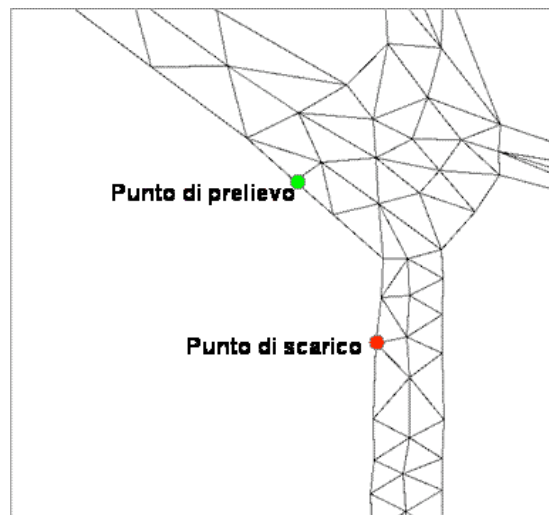


Figura 4: Punti di prelievo e scarico delle acque di raffreddamento.

La durata temporale di entrambi gli scenari è di sette mesi (da marzo a settembre), dei quali i primi due sono necessari al modello per raggiungere l'equilibrio rispetto alle condizioni iniziali idrodinamiche e di temperatura imposte al bacino mentre il periodo sul quale viene fatto il confronto è quello che va da maggio a settembre. Il time step utilizzato dal modello è stato di 200 s.

Le forzanti meteo-marine, utilizzate per la simulazione di entrambi gli scenari, sono relative ad un anno tipo.

Per i nodi di boundary alle bocche di porto è stata inserita la serie temporale di livello misurata a dal mareografo di Diga Sud Lido mentre i dati di vento, misurati a 10 m d'altezza, sono stati forniti dalla piattaforma CNR.

Per il calcolo dei campi di temperatura in laguna si sono resi necessari dati di radiazione solare, temperatura e umidità dell'aria e copertura nuvolosa. Queste informazioni sono state fornite dalla centralina meteo dell'istituto CNR-ISMAR Venezia.

Risultati

I risultati di seguito esposti, sono organizzati in due sezioni principali. La prima, riguardante l'idrodinamica, presenta le differenze fra lo scenario *post operam* e quello *ante operam* per le medie, su 5 mesi, delle velocità di corrente e delle velocità residue nella zona in esame. La seconda fornisce invece le differenze tra i due scenari per le medie, calcolate su 5 mesi, dei campi di temperatura.

Risultati idrodinamici

In figura (5) è possibile osservare le differenze tra le medie, su tutti i 5 mesi, dello scenario prima della costruzione della torre di raffreddamento e quelle successive alla sua realizzazione. Osservando la figura (5) si nota immediatamente dalla scala, rappresentata in basso a destra, che tali differenze sono pressoché trascurabili in quanto l'ordine di grandezza risulta inferiore al mm/s.

Questo risultato indica pertanto che, mediamente, il flusso uscente ridotto a 46400 m³/ora, dopo la costruzione della torre, non modifica la circolazione già esistente e dovuta al flusso, sia entrante che uscente dalla centrale, di 47000 m³/ora.

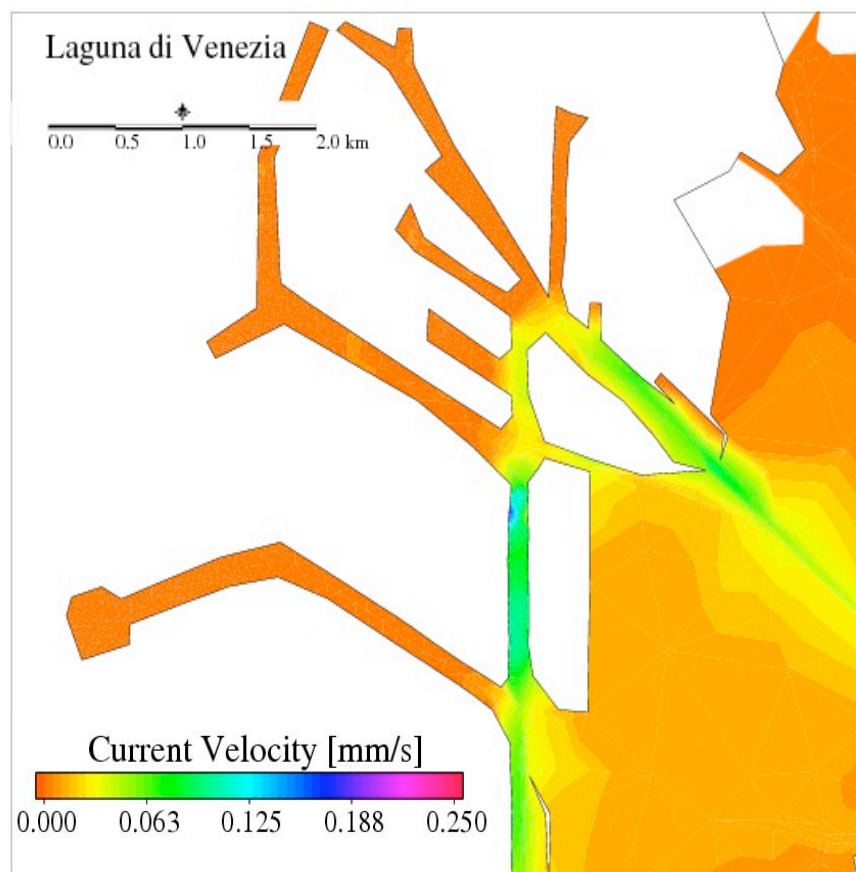


Figura 5: Differenze fra le medie, su 5 mesi, delle velocità di corrente per tutti i mesi relativi al periodo di simulazione.

La figura (5) rappresentava l'output delle velocità di corrente scritto alla mezzanotte di ogni giorno e successivamente mediato sul periodo di esercizio della torre. In figura (6) invece vengono mostrate le differenze tra le medie, su 5 mesi, delle velocità residue di corrente nei due differenti scenari. La velocità residua rappresenta una media vettoriale, in questo caso giornaliera, delle velocità calcolate per ogni time step, effettuata su ogni nodo della griglia.

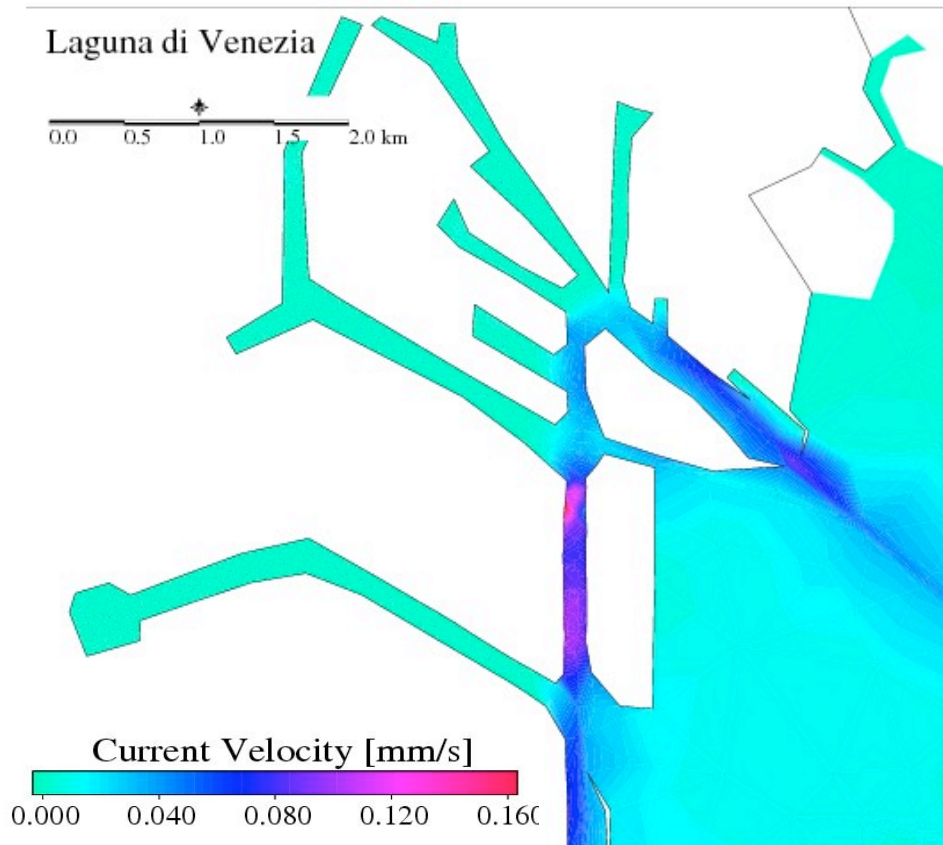


Figura 6: Differenze fra le medie delle velocità residue di corrente calcolate sui 5 mesi relativi al periodo di simulazione.

Osservando la figura (6) si nota che anche in questo caso le differenze tra lo scenario odierno e quello con la futura presenza della torre sono inferiori ai mm/s e pertanto confermano la trascurabilità dell'effetto della torre sull'assetto idrodinamico attuale.

Risultati relativi ai campi di temperatura

I risultati ottenuti dalle simulazioni in relazione ai campi di temperatura sono mostrati in figura (7). I valori di temperatura, calcolati per ogni time step, sono stati mediati giornalmente su ogni nodo della griglia. Successivamente, per avere una panoramica mensile dell'evoluzione del campo di temperatura nella zona in esame, i valori giornalieri sono stati nuovamente mediati sui 5 mesi di esercizio della torre.

Come è possibile notare dalla figura (7), la temperatura risulta molto più sensibile alla costruzione della torre di raffreddamento rispetto ai valori di corrente. Le differenze di temperatura tra i due scenari sono mediamente di 2-3 °C.

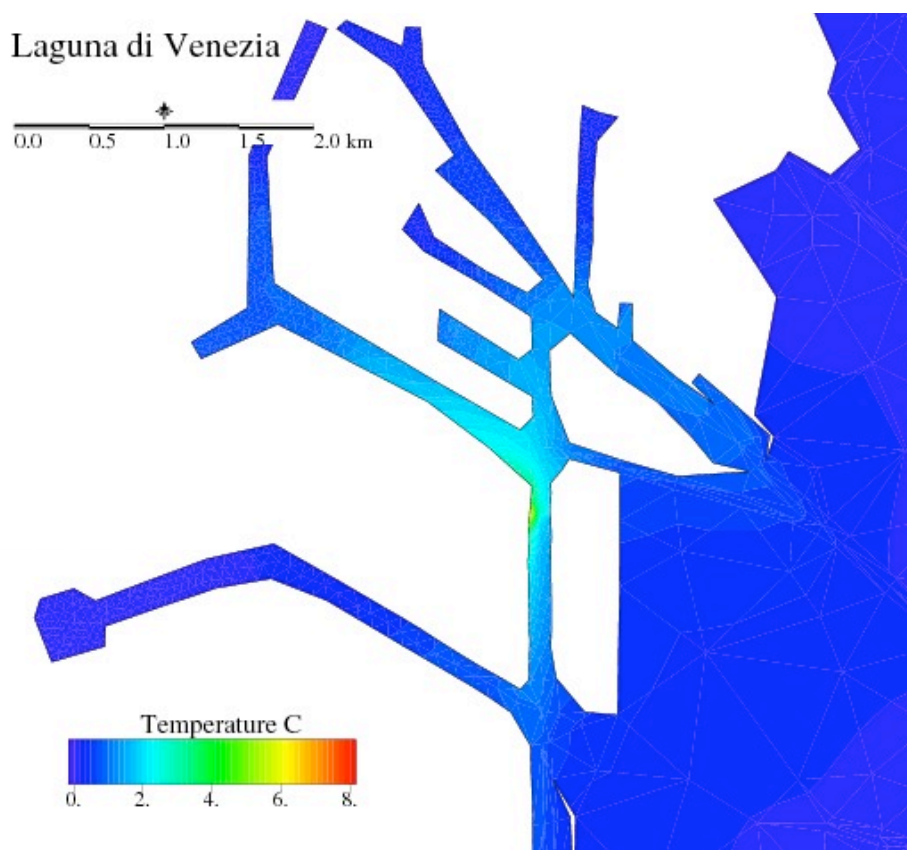


Figura 7: Differenze tra le medie, su 5 mesi, dei campi di temperatura relativi agli scenari ante e post operam.

È stata, inoltre, calcolata la media spaziale delle differenze mensili di temperatura nell'area presso lo scarico, è possibile osservare che la diminuzione di temperatura, ottenuta con la torre di raffreddamento, risulta, appunto, compresa in un range da 2 a 3 °C (Fig. 8).

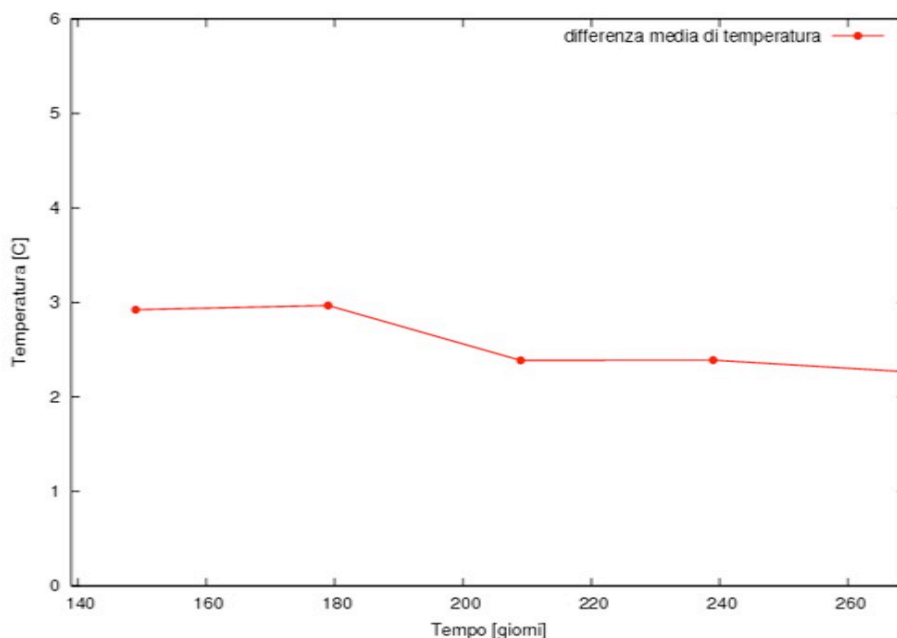


Figura 8: Media spaziale delle differenze di temperatura calcolata nei cinque mesi di esercizio della torre di raffreddamento.

Conclusioni

Lo scopo del presente studio modellistico è stato quello di valutare gli effetti dell'eventuale costruzione di una torre di raffreddamento, nella centrale termo-elettrica di Marghera Levante, sull'idrodinamica e sulla temperatura lagunare. Lo studio si è concentrato sull'analisi dei mesi interessati dall'ipotetico funzionamento della torre, ovvero da maggio a settembre.

Dai risultati ottenuti è possibile concludere che l'effetto della riduzione del flusso in uscita dalla centrale da 47000 m³/ora a 46400 m³/ora, dopo la costruzione della torre, può essere considerato trascurabile da un punto di vista idrodinamico. Le differenze tra i due scenari in termini di medie mensili di velocità di corrente e di velocità residue hanno infatti evidenziato valori al di sotto dei mm/s.

Ben diverso è risultato, invece, l'effetto che la torre di raffreddamento avrebbe sulla temperatura dell'area di Porto Marghera. Le differenze tra le medie mensili dei valori di temperatura hanno mostrato un abbassamento della stessa, in media, di 2-3 °C nello scenario *post operam* rispetto alla situazione attuale. L'effetto più evidente della costruzione della torre sembra quindi essere dato non dalla diminuzione del flusso in uscita ma dalla riduzione del ΔT di tale flusso da 7 °C a 0 °C, rispetto all'acqua prelevata.

Bibliografia

- Alberghi, L. Bianchi, F. Cioce, F. Socal 1992. Osservazioni durante un bloom di *Skeletonema costatum* in prossimità della centrale termoelettrica E.N.E.L. di Fusina Porto-Marghera. *Oebalia suppl XVII*: 321-322.
- Bellafiore, D., G. Umgiesser and A. Cucco 2008. Modeling the water exchange between the Venice Lagoon and the Adriatic Sea. Submitted to *Journal of Marine Systems*.
- Canestrelli, P., Cucco, A., De Biasio, F., Umgiesser, G., Zampato, L., Zecchetto, S., 2003a. The use of quikscat wind fields in water level modelling of the Adriatic Sea. In: *Proceedings of the Sixth European Conference on Applications in Meteorology (ECAM)*. Rome, 15–19 Sep., 2003.
- Canestrelli, P., Cucco, A., Umgiesser, G., Zampato, L., 2003b. An operational forecasting system for the sea level in Venice based on a finite element hydrodynamic model. In: *Proceedings of the Sixth European Conference on Applications in Meteorology (ECAM)*. Rome, 15–19 Sep., 2003.
- Cucco, A., 2000. Modellizzazione degli scambi di materia tra la Laguna di Venezia e l'Alto Adriatico. Master's thesis, Università Ca' Foscari, Venezia.
- Cucco, A., Umgiesser, G., 2002. Modeling the water exchanges between the Venice lagoon and the Adriatic sea. In: Campostrini (Ed.), *Scientific research and safeguarding of Venice. Proceedings of the annual meeting of the Corila Research program 2001 results*. Istituto Veneto S.L.A., Venezia, pp. 499–514.
- Cucco, A. and G. Umgiesser 2006. Modeling the Venice Lagoon residence time. *Ecological Modelling*, Vol. 193, 34-51.
- Ferrarin, C., Umgiesser, G., 2003a. Hydrodynamic modeling of a coastal lagoon: the Cabras lagoon in Sardinia, Italy. Submitted to: *Ecological Modelling*.
- Ferrarin, C., Umgiesser, G., 2003b. Hydrodynamic modelling of the Cabras lagoon: water circulation and residence times. In: Ozhan, E. (Ed.), *MED-COAST 03 - The Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment Conference*. Vol. 1–3. Middle East Technical University, Ankara, Turkey, pp. 2053–2064.
- Li, M. Z., Amos, C. L., 1995. Sedtrans92: a sediment transport model for continental shelves. *Computers & Geosciences* 21 (4), 533–554.
- Li, M. Z., Amos, C. L., 2001. Sedtrans96: the upgraded and better calibrated sediment-transport model for continental shelves. *Computers & Geosciences* 27, 619–645.

- Melaku Canu, D., Solidoro, C., Umgiesser, G., 2003. Modelling the responses of the lagoon of Venice ecosystem to physical forcings variations. *Ecological Modelling* 170, 265–289, (see also Erratum, *Ecological Modelling* 2004, Vol. 175, 197–216).
- Melaku Canu, D., Umgiesser, G., Solidoro, C., 2001. Short term simulations under winter conditions in the lagoon of Venice: a contribution to the environmental impact assessment of a temporary closure of the inlets. *Ecological Modelling* 138 (1–3), 215–230.
- Scroccaro, I., Cappelletti, A., Umgiesser, G., 2003. An idealized circulation of the Orbetello lagoon. In: Ozhan, E. (Ed.), *MEDCOAST 03 - Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*. Vol. 1–3. Middle East Technical University, Ankara, Turkey, pp. 2087–2098.
- Scroccaro, I., Di Bitetto, M., Umgiesser, G., 1999. Sensibility analysis of the circulation in the Orbetello lagoon. Tech. Rep. 228, ISDGM-CNR, Venice.
- Scroccaro, I., Di Bitetto, M., Umgiesser, G., 2001. Sensibility analysis of the circulation in the Orbetello lagoon - Part 2. Tech. Rep. 242, ISDGM-CNR, Venice.
- Scroccaro, I., Matarrese, R., Umgiesser, G., 2002a. Sviluppo e applicazione di un modello agli elementi finiti al Mare di Taranto. Parte 1 - Idrodinamica. Tech. Rep. 254, ISDGM-CNR, Venice.
- Scroccaro, I., Matarrese, R., Umgiesser, G., 2002b. Sviluppo e applicazione di un modello agli elementi finiti al Mare di Taranto. Parte 2 - Temperatura e salinità. Tech. Rep. 255, ISDGM-CNR, Venice.
- Scroccaro, I., Matarrese, R., Umgiesser, G., 2004. Application of a finite element model to the Taranto Sea. *Chemistry & Ecology* 20 (Suppl. 1), S205–S224.
- Socal, G., Bianchi, F., Alberighi, L. 1999. Effects of thermal pollution and nutrient discharges on a spring phytoplankton bloom in an industrial area of the lagoon of Venice. *Vie et Milieu* 49 (1): 19-31. (15)
- Solidoro, C., Melaku Canu, D., Cucco, A., Umgiesser, G., 2004. A physical based partition of the lagoon of Venice, general circulation analysis and identification of a box model. Application of a finite element model for the Venice lagoon. Accepted in: *Journal of Marine Systems*.
- Takeoka, H., 1984. Fundamental concepts of exchange and transport time scales in a coastal sea. *Continental Shelf Research* 3 (3), 311–326.
- Umgiesser, G., 1997. Modelling the Venice lagoon. *International Journal of Salt Lake Research* 6, 175–199.
- Umgiesser, G., 2000. Modeling residual currents in the Venice lagoon. In: Yanagi, T. (Ed.), *Interactions between Estuaries, Coastal Seas and Shelf Seas*. Terra Scientific Publication Company (TERRAPUB), Tokyo, pp. 107– 124.

- Umgiesser, G., Bergamasco, A., 1995. Outline of a primitive equation finite element model. In: *Rapporto e Studi*. Vol. XII. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venice, Italy, pp. 291–320.
- Umgiesser, G., De Pascalis, F., Ferrarin, C. and Amos, C. L., 2006. A model of sand transport in Treporti channel: northern Venice lagoon. *OCEAN DYNAMICS* Vol: 56 Issue: 3-4 Pages: 339-351.
- Umgiesser, G., Melaku Canu, D., Cucco, A., Solidoro, C., 2004. A finite element model for the Venice lagoon. Development, set up, calibration and validation. Accepted in: *Journal of Marine Systems*.
- Umgiesser, G., Melaku Canu, D., Solidoro, C., Ambrose, R., 2003a. A finite element ecological model: a first application to the Venice Lagoon. *Environmental Modelling and Software* 18 (2), 131–145.
- Umgiesser, G., Sclavo, M., Carniel, S., 2002. Modeling the bottom stress distribution in the Venice lagoon. In: Campostrini (Ed.), *Scientific research and safeguarding of Venice. Proceedings of the annual meeting of the Corila Research program 2001 results*. Istituto Veneto S.L.A., Venezia, pp. 287–299.
- Umgiesser, G., Scroccaro, I., Snoussi, M., 2003b. Modeling the Nador lagoon, Morocco. In: Ozhan, E. (Ed.), *MEDCOAST03 - Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*. Vol. 1–3. Middle East Technical University, Ankara, Turkey, pp. 2065–2074.
- U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1984. *Shore Protection Manual*. U.S. Government Printing Office, Washington DC, U.S.