

LE LAGUNE DEL DELTA DEL PO

A CURA DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELTA DEL PO

IL DELTA DEL PO E
L'OFFICIOSITÀ IDRAULICA
DI RAMI E BOCHE A
MARE: STATO DELL'ARTE
DEGLI STUDI E DELLE
CONOSCENZE

MONITORAGGIO DELLA
QUALITÀ DELLE ACQUE
NELLE LAGUNE
DEL DELTA DEL PO:
ANALISI DEI PARAMETRI
CHIMICO-FISICI MISURATI
NEL QUINQUENNIO
2005-2010

MOLLUSCHICOLTURA
NELLE LAGUNE DEL
DELTA DEL PO VENETO:
ASPETTI SOCIO-ECONOMICI

ELEMENTI DI INGEGNERIA
NATURALISTICA
NELLA STABILIZZAZIONE
DELLO SCANNO DI
SACCA SCARDOVARI

LE LAGUNE DEL DELTA DEL PO

A CURA DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELTA DEL PO

-
- 2** **PREFAZIONE** *Presentazione*
di Maurizio Conte (Regione del Veneto)
- 3** **CONOSCERE E GESTIRE IL DELTA DEL PO**
di Fabrizio Ferro (Consorzio di Bonifica Delta del Po)
-
- 4** **IL DELTA DEL PO E L'OFFICIOSITÀ IDRAULICA DI RAMI E BOCHE A MARE:
STATO DELL'ARTE DEGLI STUDI E DELLE CONOSCENZE** *Studi e ricerche*
di Marco Zasso e Italo Saccardo (ARPAV Belluno), Giancarlo Mantovani (Consorzio di Bonifica Delta del Po), Bruno Matticchio (IPROS Padova), Alberto Agnetti e Silvano Pecora (ARPAEM Parma), Tommaso Settin (ARPAV Belluno, AIPO Rovigo)
- 22** **MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE NELLE LAGUNE
DEL DELTA DEL PO: ANALISI DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI MISURATI
NEL QINQUENNIO 2005-2010**
di Pietro Traverso e Angelo Rubino (Università Ca' Foscari di Venezia), Davide Zanchettin (Max Planck Institute for Meteorology)
- 40** **MOLLUSCHICOLTURA NELLE LAGUNE DEL DELTA DEL PO VENETO:
ASPETTI SOCIO-ECONOMICI**
di Francesco Donati (Libero docente di Economia e Politica Agraria) e Elena Fabbro (Università di Udine)
- 58** **ELEMENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA NELLA STABILIZZAZIONE
DELLO SCANNO DI SACCA SCARDOVARI**
di Andrea Bonometto (Ingegnere Ambientale), Lorenzo Bonometto (Società Veneziana di Scienze Naturali), Pippo Gianoni (Iuav Venezia e Dionea Sa Locarno)
-
- 84** **PROGETTO VIETNAM** *Attività varie*
di Lino Tosini (Fondazione Ca' Vendramin), Massimo Sarti (Capo Consulente Tecnico per il Progetto IMOLA), Bruno Matticchio (IPROS Padova)
- 88** **ATTIVITÀ DELL'ASSOCIAZIONE DELTAMED NEL BIENNIO 2011-2012**
di Lino Tosini (Fondazione Ca' Vendramin)
-
- 90** **INDAGINE SULLA DISPERSIONE INTERMAREALE NELLA LAGUNA
DI VALLONA (DELTA DEL PO)** *Segnalazione tesi di laurea*
Andrea Defina (Università degli Studi di Padova), Laureanda Alice Sgarabottolo
- 92** **INTRUSIONE SALINA NEL DELTA DEL PO: PROBLEMA O OPPORTUNITÀ
PER IL TERRITORIO? PROPOSTE DI ADATTAMENTO PER UN'AREA
INTERREGIONALE**
Pippo Gianoni (Iuav Venezia), Laureanda Stefania Girardi

PREFAZIONE

MAURIZIO CONTE

Assessore all'Ambiente
della Regione del Veneto



C'è un elemento comune che caratterizza il territorio del delta del Po che, più di ogni altra area, è ricco di acque superficiali; questo elemento è tanto esteso e importante da poter essere chiamato "luogo". È un luogo presente sia nelle terre coltivate che nelle valli e nelle lagune litoranee ed è costituito dall'ambito di relazione tra la terra e l'acqua. Negli estesi coltivi l'ambito di relazione tra terra e acqua è presente dove i canali e le fossature delimitano con disegno ritmato, gli appezzamenti che costituiscono le aziende agricole, mentre nelle valli e nelle lagune è presente lungo le sottili fasce di terra che delimitano gli specchi acquei vallivi o separano le lagune dal mare.

Chi da tempo opera nell'ambiente del delta del Po sa che, qualunque sia l'ambito, il punto più delicato dell'intervento di carattere idraulico e/o di vivificazione è da individuare nel luogo dove la terra e l'acqua si incontrano, per condizionarsi reciprocamente; infatti, nel Delta si interviene sulla terra per agire sull'acqua e sull'acqua per modificare la terra. È nello stretto rapporto tra l'acqua irrigua e il terreno agrario che trova espressione la fertilità dei seminativi del Delta; parimenti, è nel legame tra l'acqua salmastra e salata con i fondali lagunari, che trova successo la mitilicoltura deltizia.

Il futuro ci propone per l'area del delta del Po anche un altro luogo di relazione altrettanto importante. È un luogo immateriale di relazione, dove dovranno venir condivise le scelte per la gestione e la manutenzione del territorio deltizio e, soprattutto, individuate le linee guida per gestire il cambiamento che le attività produttive e i mutamenti climatici dell'ampio bacino idrografico del Po imporranno nei prossimi anni a questo delicato ambiente. Questo nuovo luogo di relazione, che trae origine dall'ordinamento comunitario così come recepito dalla legislazione nazionale, ha trovato espressione nel Contratto di foce, dove agiranno "gli attori che governano, usano e vivono le acque dei fiumi, della rete idrografica minore, delle valli, delle lagune e del mare, con l'obiettivo di arrivare a costituire dei progetti locali condivisi e verificati nella loro fattibilità ambientale ed economico-finanziaria".

Già alla fine degli anni '80 si è riconosciuto al delta veneto il ruolo di laboratorio per gli interventi nelle aree lagunari, istituendo a tale fine una apposita Commissione Interdisciplinare con funzione di indirizzo delle numerose attività di progettazione, monitoraggio e realizzazione di interventi, con la consapevolezza che ci si trovava ad agire in un territorio difficile, poco prevedibile nelle sue trasformazioni e adattamenti, che sono provocate dalle mareggiate e dalle piene del Po.

Con la attivazione del Contratto di foce per il territorio deltizio, l'originario intervento attuato attraverso la Commissione Interdisciplinare verrà sostituito dall'adozione di un sistema di regole condivise per la gestione integrata, la valorizzazione del territorio e la gestione delle risorse idriche. Il Programma di Azione del Contratto di foce costituirà il riferimento per tutte le azioni previste che saranno esito di accordi volontari e dovranno rispondere a criteri di sostenibilità ambientale. Con vivo entusiasmo si deve accogliere questo nuovo istituto che riproduce in termini istituzionali l'importanza della relazione tra sistemi diversi, ai quali la natura ricorre con frequenza, che consente a chi ha la fortuna di frequentare il delta veneto di apprezzarne l'unicità, la ricchezza e la bellezza dei luoghi.

CONOSCERE E GESTIRE IL DELTA DEL PO

FABRIZIO FERRO

Presidente del Consorzio di Bonifica
Delta del Po



Le precedenti pubblicazioni del Consorzio di Bonifica Delta del Po, relativamente alle aree umide, hanno trovato riscontri positivi per i contenuti scientifici degli argomenti trattati che riguardano soprattutto gli studi eseguiti e le attività di monitoraggio funzionali alla Gestione delle Lagune del Delta del Po di cui il Consorzio di Bonifica Delta del Po si occupa da oltre 25 anni.

Pur essendo la edizione cartacea di ottima qualità, ben impostata e facilmente consultabile, il Comitato Tecnico Scientifico che affianca il Consorzio nelle attività di vivificazione delle lagune ha suggerito una nuova forma di divulgazione, non più cartacea ma diffusa in rete e scaricabile dai siti istituzionali del Consorzio di Bonifica Delta del Po e della Fondazione Ca' Vendramin nonché dal sito appositamente creato dal Consorzio per la diffusione del Sistema Informativo Territoriale sulle lagune (<http://sil.deltapo.it>). Il motivo di tale scelta è da ricercarsi nella possibilità di maggior divulgazione del prodotto raggiungendo enti, studiosi dell'argomento, esperti, studenti che utilizzano il web come archivio di informazioni.

In questa pubblicazione vengono descritti importanti studi realizzati dal Consorzio con particolare riguardo alla Sacca degli Scardovari dove gli approfondimenti riguardano l'adeguamento del modello matematico che simula l'idrodinamica della Sacca al fine di verificare le conseguenze e l'efficacia degli interventi realizzati e di progetto, l'analisi degli aspetti economici connessi e conseguenti alla realizzazione degli interventi ed una descrizione degli interventi realizzati sullo scanno finalizzati al recupero ambientale dello stesso con operazioni di ingegneria ambientale e piantumazione di specie pioniere.

In aree lagunari sensibili alle portate dei rami del Po, le cui foci sono ubicate a poche centinaia di metri dalle bocche lagunari, era necessario conoscere le condizioni al contorno e quindi le portate scaricate da ogni foce; per tale motivo sono state realizzate misure di ripartizione della portata alla sezione di Pontelagoscuro sui vari rami in diverse condizioni idrauliche del fiume.

Un ulteriore argomento è relativo alla sintesi dei risultati di anni di monitoraggio della qualità delle acque lagunari effettuata in sinergia con ARPAV. Tale monitoraggio in tempo reale, è funzionale alla previsione dei fenomeni di anossia e di eutrofizzazione allo studio dei fenomeni di ingressione in laguna di eccessi di acquadolce e al monitoraggio del "respiro" della laguna.

È importante proseguire nell'impegno finalizzato allo studio delle aree umide del Delta del Po, territorio splendido da un punto di vista naturalistico e fonte di reddito per gli abitanti del territorio.

_STUDI E RICERCHE IL DELTA DEL PO E L'OFFICIOSITÀ IDRAULICA DI RAMI E BOCHE A MARE: STATO DELL'ARTE DEGLI STUDI E DELLE CONOSCENZE

MARCO ZASSO

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, dip. Sicurezza per il Territorio, Belluno

ITALO SACCARDO

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, dip. Sicurezza per il Territorio, Belluno

GIANCARLO MANTOVANI

Consorzio di Bonifica Delta del Po, Taglio di Po

BRUNO MATTICCHIO

IPROS Ingegneria Ambientale, Padova

ALBERTO AGNETTI

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale dell'Emilia Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima, Parma

SILVANO PECORA

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale dell'Emilia Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima, Parma

TOMMASO SETTIN

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, dip. Sicurezza per il Territorio, Belluno; Agenzia Interregionale per il fiume Po, Rovigo

Premessa

La disponibilità e l'acquisizione di informazioni utili alla caratterizzazione idrologica del Delta del fiume Po rivestono un ruolo cardine per poter migliorare e integrare il quadro conoscitivo di un sistema così complesso e mutevole nel tempo. Numerosi sono infatti i fattori coinvolti nel processo evolutivo della piana deltizia, dove sono fortemente interconnessi processi geomorfologici legati alla dinamica fluviale e fattori legati alla subsidenza, ai regimi tidali e al moto ondoso, nonché agli interventi strutturali realizzati nel corso degli anni a cura delle strutture deputate alla manutenzione del corso d'acqua e delle opere ad esso interconnesse.

Un'adeguata conoscenza del regime idrodinamico del tratto terminale del fiume Po nelle differenti condizioni idrometriche costituisce certamente un elemento basilare per la definizione e la progettazione degli interventi strutturali atti a garantire da un lato la sicurezza idraulica del territorio circostante dall'altro, in regimi di magra, la previsione e la prevenzione dei fenomeni di intrusione del cuneo salino lungo le aste fluviali. Va inoltre osservato come tali studi rivestano particolare rilievo ai fini dell'analisi del regime idrodinamico e morfologico costiero anche in relazione alle dinamiche di ecosistemi intrinsecamente fragili quali le Lagune del Delta del Po. L'officiosità idraulica dei singoli rami, nonché delle varie bocche a mare, è infatti strettamente interconnessa con le modalità di trasporto di sedimenti lungo l'asta del fiume e con la conseguente ripartizione dei sedimenti stessi lungo l'arco costiero, e riveste perciò un ruolo primario sulle dinamiche evolutive della costa deltizia e delle bocche lagunari. Gli apporti fluviali dei rami deltizi

governano infatti, insieme alle maree, i processi di mescolamento tra acque dolci e salate, e sono perciò tra i principali fattori che controllano il delicato equilibrio degli ecosistemi acquatici di transizione influenzando, di conseguenza, le numerose attività antropiche (pesca, acquacoltura, turismo) che gravitano attorno a questi ambiti unici e fortemente vulnerabili. Proprio in tali contesti sono perciò evidenti le rilevanti implicazioni che un'approfondita conoscenza riveste nell'ottica di una ottimale pianificazione e progettazione degli interventi strutturali sia sull'asta di Po che lungo il tratto costiero ed in ambito lagunare.

Al fine di aggiornare il quadro conoscitivo e approfondire la conoscenza dei fenomeni che regolano la dinamica ed il comportamento del fiume Po nella sua porzione terminale costituente il Delta, ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna ed il Consorzio di Bonifica Delta del Po hanno intrapreso una collaborazione per l'esecuzione di rilievi idrologici consistenti in misure di portata liquida e torbida lungo i diversi rami che compongono il Delta. Il presente lavoro, sulla scorta dei dati disponibili in letteratura (raccolti dagli anni '30 del secolo scorso fino al 1989 dall'Ufficio Idrografico del fiume PO, di seguito UIPO, e da ENEL) e sulla base delle nuove informazioni idrologiche acquisite dal 2002 al 2011, intende fornire un contributo alla quantificazione dell'efficienza idraulica dei diversi rami del Delta del Po, mediante la valutazione della ripartizione delle portate liquide lungo i vari rami.

Campagne di misura 2002-2011

Le campagne di misura recentemente condotte hanno permesso di aggiornare la conoscenza sulla ripartizione delle portate nei diversi rami deltizi. Due

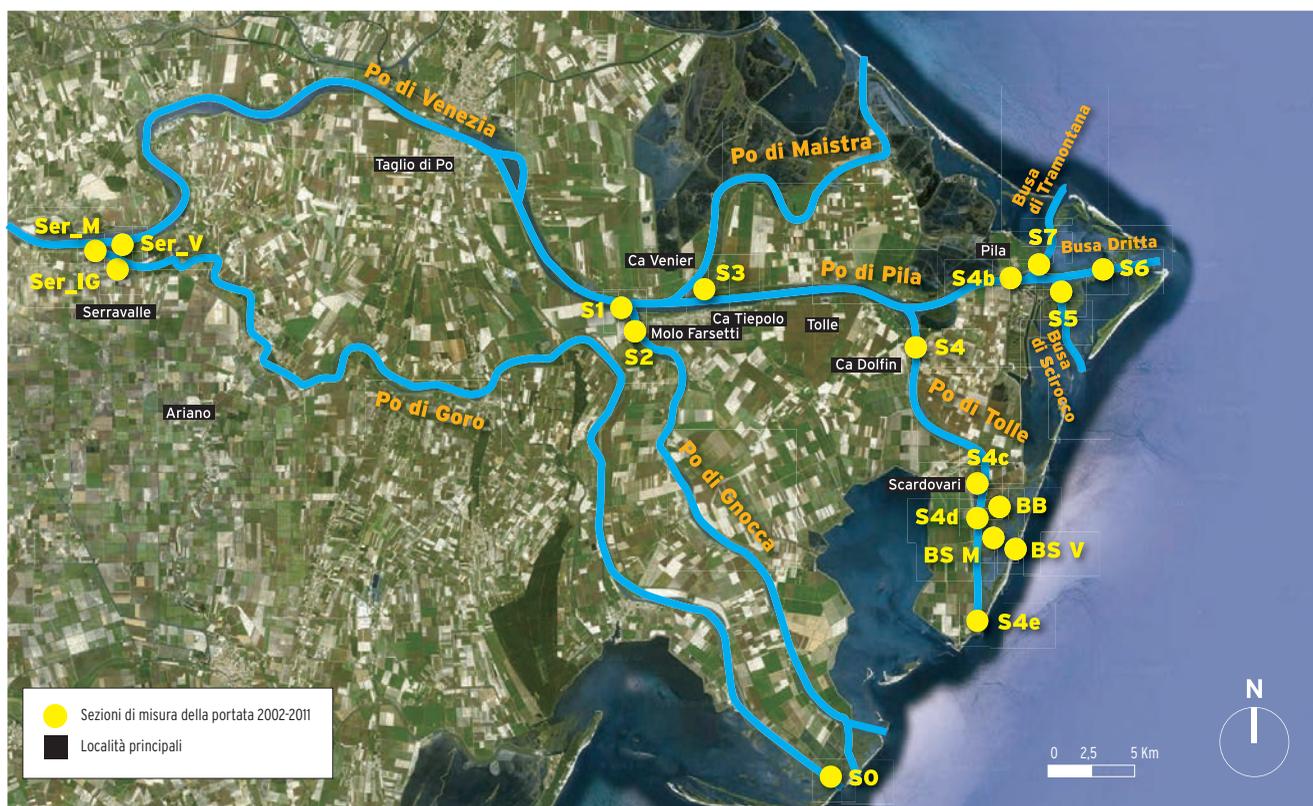


Figura 1: inquadramento delle sezioni di misura ubicate sui principali rami del Delta.

campagne di monitoraggio sono state svolte ad hoc nel settembre 2002 e novembre 2007 dal Consorzio di Bonifica Delta del Po. La campagna di settembre 2002 ha interessato i principali rami del Delta e le bocche di sfocio in mare del Po di Pila, mentre quella di novembre 2007 ha indagato anche la ripartizione delle bocche del Po di Tolle. La portata media registrata a Pontelagoscuro durante le attività di monitoraggio è risultata essere prossima ai 2300 m³/s. Una campagna di misura è stata effettuata nel maggio 2007 con la partecipazione di ARPA Emilia-Romagna, ARPA Veneto, ARNI, Provincia di Ferrara, Consorzio di Bonifica Delta del Po e Consorzio I° Circondario Polesine di Ferrara ed ha riguardato il monitoraggio di deflussi di magra del fiume Po (Q media a Pontelagoscuro pari a 657 m³/s). Le misure condotte durante un emiciclo di marea (12 ore) hanno permesso di determinare la por-

tata media in transito lungo i rami deltiati presso alcune sezioni monitorate anche nel corso delle altre campagne. Ulteriori due campagne sono state condotte nel 2010 (giugno e novembre). Queste hanno visto la proficua collaborazione tra ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna e Consorzio di Bonifica Delta del Po.

Le misure hanno indagato il fenomeno della ripartizione durante la fase di esaurimento di piena, come verrà di seguito meglio dettagliato, monitorando valori elevati di portata mai precedentemente misurati. In concomitanza con le misure di portata nel corso delle campagne del 2010 sono stati fatti anche campionamenti finalizzati alla quantificazione del trasporto solido in sospensione. Infine un'ulteriore campagna di misura ha interessato la ripartizione del Po Grande tra Po di Goro e Po di Venezia nel novembre 2011 in concomitanza del pas-



Figura 2a:
misuratore
ADCP trainato
da imbarcazione
utilizzato per
l'esecuzione delle
misure di portata.



Figura 2b:
panoramica
dell'installazione
per il monitoraggio
idrometrico (asta
idrometrica e
teleidrometro)
sul Po di Gnocca.

saggio di una piena con portata al colmo a Pontelagoscuro di circa $5900 \text{ m}^3/\text{s}$.

La campagna di misura è stata condotta da ARPA Veneto con la collaborazione di AIPO. Con l'eccezione della campagna di monitoraggio condotta nel maggio 2007, tutte le altre hanno indagato il fiume in condizioni idrologiche caratterizzate da una rilevante disponibilità idrica (Q media a Pontelagoscuro comprese tra 2300 e $5900 \text{ m}^3/\text{s}$). In tali circostanze le misure sono state condotte monitorando istantaneamente le portate in transito lungo i vari rami cercando tuttavia di programmare ed eseguire

tali misure in condizioni il più possibilmente sincrone, anche in riferimento ai differenti tempi di propagazione delle perturbazioni idrometriche lungo le varie aste fluviali. In tal modo è stato possibile fotografare una situazione che il più possibile si approssimasse a condizioni omogenee lungo i vari tratti.

Si osserva inoltre come tale criterio di indagine sia perfettamente coerente con le metodologie operative adottate nel corso delle campagne storiche e relativamente alle quali, nel seguito, verrà proposto un confronto delle risultanze. In Figura 1 sono indicate le sezioni in-

teressate dalle attività di misura della portata liquida e torbida dei vari rami del Delta per le campagne condotte dal 2002 al 2011. Sempre in Figura 1 sono localizzate le sezioni fluviali strumentate con asta idrometrica o mediante stazioni idrometriche automatiche. Si tratta di stazioni dotate di idrometri ad ultrasuoni facenti parte della rete in tempo reale della Regione del Veneto. Purtroppo per problemi di carattere tecnico non tutti gli idrometri erano funzionanti durante l'esecuzione delle misure. Oltre agli idrometri di Figura 1 sono disponibili i dati idrometrici di Polesella (RO), e Pontelagoscuro (FE), per quest'ultima sezione, come già detto in precedenza, è disponibile la scala di deflusso. I dati di tali stazioni sono utili quale riferimento delle portate in transito alle sezioni di monte e dei relativi tempi di propagazione delle variazioni idrometriche lungo l'asta fluviale.

Per l'esecuzione delle misure di portata sono stati utilizzati misuratori di velocità ad effetto Doppler montati su trimarano, trainato da natante lungo una sezione il più possibile ortogonale alla direzione di deflusso. Nel dettaglio per le misure effettuate nella fase di esaurimento di piena (2010 e 2011), si è utilizzato un sensore ad ultrasuoni ADCP (Figura 2a, Figura 2b) con quattro trasduttori che operano con due diverse frequenze di funzionamento per la determinazione della velocità lungo il profilo verticale, e di un trasduttore dedicato al rilievo batimetrico.

La strumentazione utilizzata è dotata inoltre di due ricevitori GPS funzionanti in modalità RTK: una "base" a terra ed un "rover" alloggiato sul trimarano, che permettono di definire la posizione e georiferire gli spostamenti dello strumento lungo la sezione d'alveo indagata.

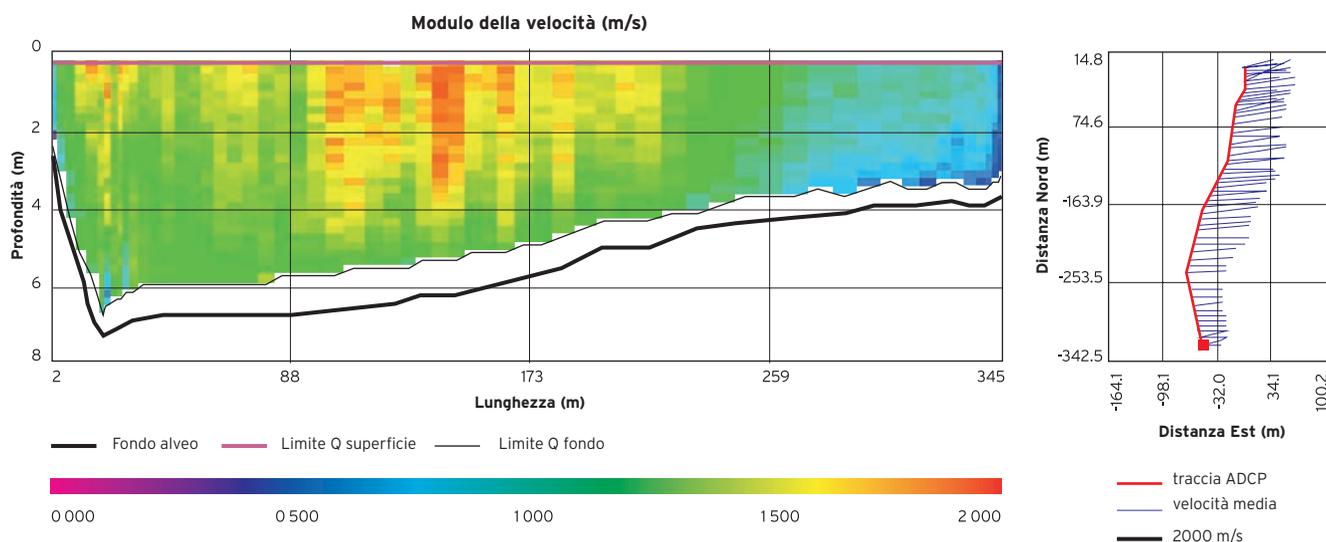


Figura 3: misura effettuata con ADCP sulla sezione S4-b (Po di Pila) il giorno 06/11/2010 dalle ore 10.57 alle 11.02: a destra è riportato il percorso eseguito e a sinistra il grafico di distribuzione delle velocità.

Questo accorgimento tecnologico consente di eliminare le incertezze nella stima della batimetria e delle velocità in presenza di condizioni di fondo mobile. Per le misure condotte nel 2002 e nel 2007 la strumentazione ADCP utilizzata non era dotata di tecnologia GPS. Va sottolineato che, alla luce delle ridotte portate rilevate in queste campagne di misura, le minori velocità che si realizzano rendono meno marcati gli effetti del movimento del fondo nella stima della batimetria e delle velocità. Le misure di portata eseguite nelle di-

verse campagne e le distribuzioni percentuale nei vari rami del Delta (Po di Goro, Venezia, Gnocca, Maistra, Tolle e Pila) rispetto alla portata totale (ottenuta come sommatoria delle portate monitorate lungo i singoli rami) sono riassunte in Tabella 1. I valori in corsivo sono stati determinati per differenza mentre in ultima colonna si riporta il valore di portata media giornaliera a Pontelagoscuro quale valore di riferimento del regime idrologico specifico nel corso della campagna di monitoraggio.

Data del rilievo	Po di Goro (S0)		Po di Venezia (S1)		Po di Gnocca (S2)		Po di Maistra (S3)		Po di Tolle (S4)		Po di Pila (S4b)		Po a Pontelagoscuro
	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s (media gg)
14 set 2002	<i>542</i>	23.5	1782	76.5	338	14.7	77	3.3	390	16.9	954	40.5	2300
30 mag 2007	34	5.2	<i>623</i>	94.8	74	11.2	9	1.4	103	15.7	437	66.6	657
27 nov 2007	<i>282</i>	11.6	<i>2140</i>	88.4	387	15.9	102	4.2	492	20.3	1158	47.8	2422
22 giu 2010	668	13.8	4093	84.4	743	15.3	208	4.3	1037	21.4	2193	45.2	4936
6 nov 2010	655	13.6	<i>4139</i>	86.3	789	16.45	215	4.5	993	20.7	2141	44.7	5102
11 nov 2011*	748	13.5	4785	86.5	-	-	-	-	-	-	-	-	5803

Tabella 1: misure di portata eseguite lungo i diversi rami del Po e valori percentuali di portata in ogni singola sezione rispetto alla portata complessiva ottenuta come sommatoria delle portate monitorate lungo i vari rami (Goro, Gnocca, Maistra, Tolle, Pila) (in corsivo valore dedotto per differenza). * Le misure sono state effettuate a Serravalle, monitorando in un ridotto arco temporale la portata del Po Grande, del Po di Venezia e del Po di Goro. La bontà dei dati acquisiti è confermata dalle ridotte differenze percentuali in termini di bilancio: lo scarto tra la somma dei due rami (Goro e Venezia) e la portata misurata sul Po Grande sempre a Serravalle è dell'1.1%.

Data del rilievo	Busa di Tramontana		Busa di Levante		Busa di Scirocco		Busa del Bastimento		Busa Storiona		Bocca Po di Tolle	
	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%
14 set 2002	247	25.9	623	65.3	84	8.8	-	-	-	-	-	-
27 nov 2007	263	22.7	809	69.9	86	7.4	27	6.7	322	76.2	73	17.2
22 giu 2010	671	31.1	1215	56.2	275	12.5	-	-	-	-	-	-
6 nov 2010	661	28.9	1337	58.5	286	12.5	48	4.4	845	77.7	194	17.8

Tabella 2: misure di portata eseguite lungo le diverse bocche di sfocio in mare del Po. Per quanto riguarda le bocche del Po di Pila le percentuali sono riferite alla portata complessiva ottenuta come somma delle singole misure. Relativamente alle bocche del Po di Tolle le percentuali sono riferite alla portata totale del Po di Tolle misurata a Scordovari (S4c) (in corsivo misura dedotta per differenza).

Analoga presentazione è offerta in Tabella 2 per le tre bocche di sfocio in mare del Po di Pila (Busa di Scirocco, Tramontana e Dritta o di Levante) e per le tre bocche che ripartiscono in mare la portata del Po di Tolle (Busa del Bastimento, Storiona e Bocca del Po di Tolle). Nel seguito sono proposti i risultati delle analisi condotte sui campioni di dati disponibili con lo scopo di confrontare le percentuali delle portate attualmente assorbite dai singoli rami del Delta con quelle storicamente acquisite. L'analisi è stata condotta separatamente per i sei rami principali del Delta (Po di Goro, Po Venezia, Po di Maistra, Po di Tolle, Po di Gnocca e Po di Pila) per le bocche di Po di Pila (Busa Dritta, Busa di Tramontana e Busa di Scirocco) e per le tre bocche del Po di Tolle (Busa del Bastimento, Busa Storiona e Bocca del Po di Tolle).

Ripartizione delle portate lungo i rami principali del Delta

Nello studio condotto, per ciascun ramo principale, vengono riproposte tutte le misure disponibili raffrontando la percentuale di portata di ciascun ramo in funzione della portata media giornaliera a Pontelagoscuro. A livello qualitativo viene riproposta la distinzione tra "acque basse" (portata a Pontelagoscuro inferiore a 1000 m³/s), "acque medie" (portata a Pontelagoscuro

ro compresa tra 1000 m³/s e 3000 m³/s) ed "acque alte" (portata a Pontelagoscuro superiore a 3000 m³/s), così come proposto da Visentini e successivamente adottato nel corso di tutte le analisi storiche condotte. In Figura 4, relativamente ai vari rami del Delta del Po sono raffrontati i dati relativi alla percentuale di ripartizione di portata rispetto al valore complessivo stimato a Pontelagoscuro.

I dati storici disponibili fino alla fine degli anni '60 (UIPO e Canali) evidenziano un'ottima coerenza e stabilità nel tempo dell'efficienza idraulica del Po di Goro (Figura 4). Le poche misure relative al periodo 1970-1990 (fonte ENEL) mostrano un apparente disaccordo rispetto al comportamento tradizionale di tale ramo con un'accresciuta efficienza in relazione ai regimi di acque basse/medie. L'unico dato recente disponibile (relativo ad un regime di acque basse) tende molto più marcatamente a riallinearsi al comportamento storico evidenziando tuttavia una tendenza all'incremento dell'efficienza di tale ramo. Tale comportamento risulta ancora più marcato in relazione al regime di "acque alte" dove i dati storici tendevano ad evidenziare un comportamento tendenzialmente asintotico per cui, per alti valori di portata, il Po di Goro risultava in grado di smaltire una percentuale prossima al 10%

Figura 4: percentuale di portata in transito sui vari rami del Po rispetto alla portata complessiva del Po a Pontelagoscuro, confronto dei dati storici disponibili.

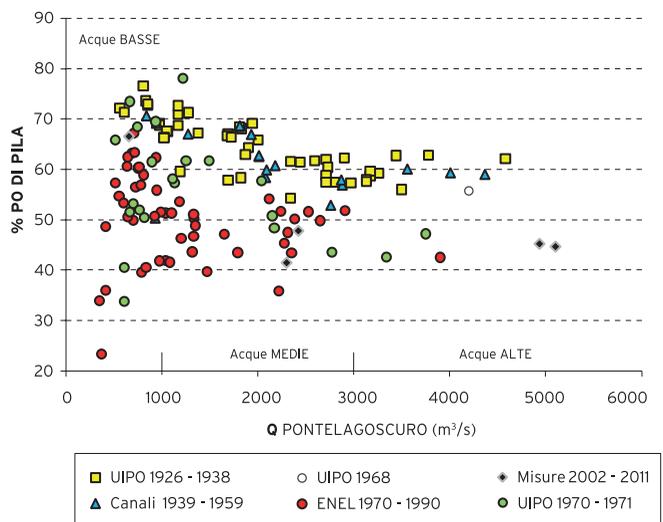
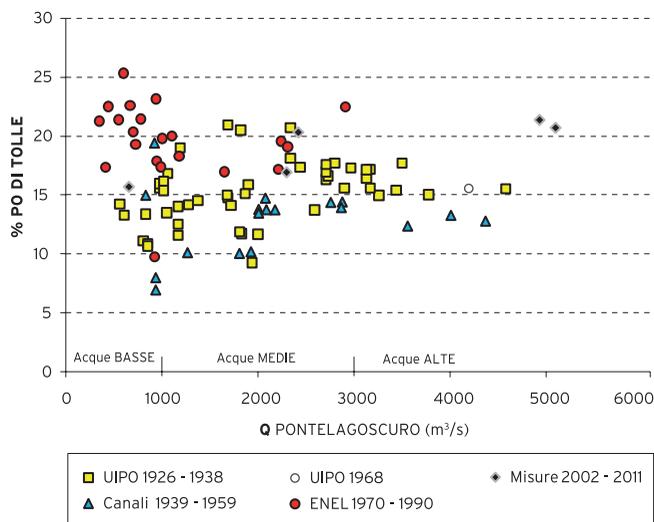
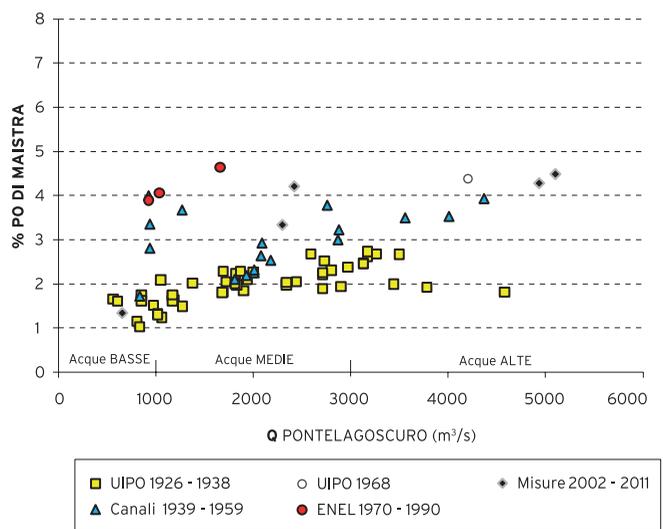
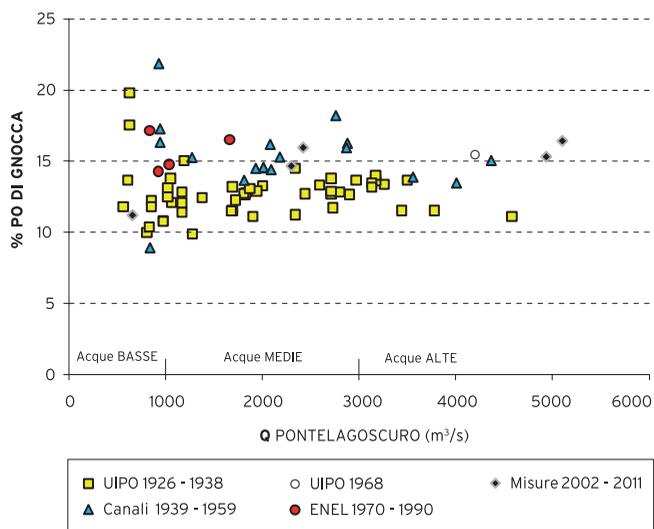
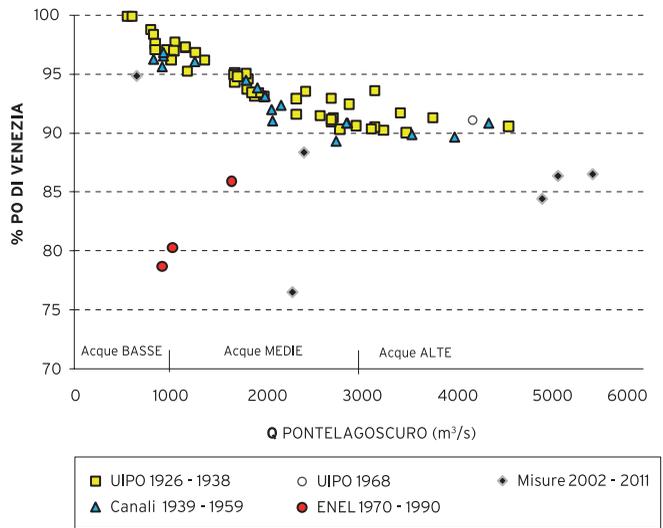
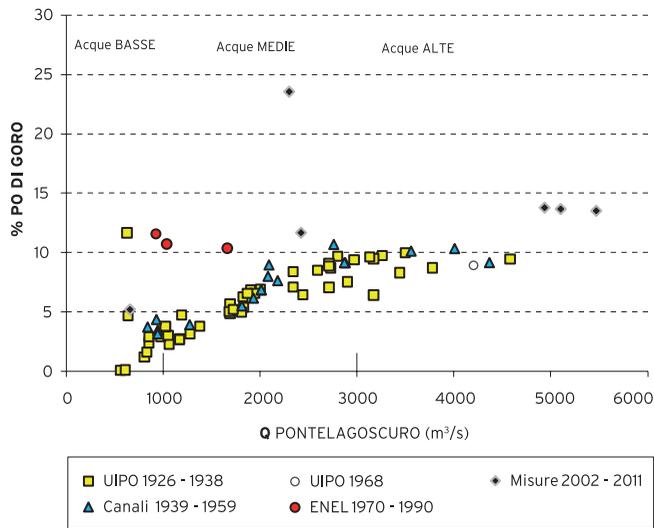




Figura 5: la tendenza evolutiva del Po Grande evidenza una progressiva diminuzione di efficienza a vantaggio, in misura differente, di tutti i rami laterali. Tale comportamento risulta in antitesi rispetto all'effetto atteso in seguito alla realizzazione dei grandi interventi di sistemazione dagli anni '80 ad oggi (drizzagli ed allargamenti d'alveo). A destra: nuova inalveazione della doppia ansa di Corbola e Bottrighe. A sinistra: drizzagno realizzato in corrispondenza dell'ansa di Volta Vaccari.

dei deflussi complessivi del fiume Po.

Le ultime campagne del 2010 e 2011 evidenziano invece la capacità di tale ramo di far defluire circa il 13-14% dei deflussi complessivi del fiume Po. Tale tendenza è stata evidenziata anche dallo studio di Fiorotto (2002) basato su modello fisico del nodo idraulico Po di Venezia - Po di Goro, che stima valori percentuali medi di efficienza del ramo di Goro che vanno dal 10.8% per portate in arrivo di 3000 m³/s fino a valori prossimi al 14 % oltre gli 8000 m³/s. Si osservi infine come nel corso delle due campagne del 2002 e 2007 relative al regime di "acque medie" questo ramo del Po non sia stato oggetto di misura diretta. Tutto ciò suggerisce comunque,

nel complesso, un trend evolutivo di tale ramo del Delta che tende ad acquisire maggior peso e rilevanza nel deflusso a mare degli apporti idrici complessivi del fiume Po.

La progressiva tendenza ad un aumento dell'efficienza del ramo di Goro è confermata anche dalle stime approssimative riportate dal Canali nel 1959 secondo le quali ad inizio del 1900 la percentuale di portata in transito in tale ramo in regime di "acque alte" si attestava al 7%, tale valore è accresciuto al 9,3% nel periodo 1926-1939, mantenutosi poi pressoché costante nel ventennio successivo (9,9% nel periodo 1958-1959) mentre oggi si osservano percentuali prossime al doppio di quelle stimate ad



inizio del secolo scorso.

Il comportamento idraulico del Po di Venezia (a valle della diramazione del ramo di Goro) risulta ovviamente speculare rispetto al comportamento appena descritto relativamente al Po di Goro. Risulta quindi evidente, sulla base dei dati riportati in Figura 4, una diminuzione dell'efficienza di tale ramo in tutti i regimi indagati. D'altro canto si evidenzia come anche i dati ricavati da ENEL tra il 1970 ed il 1990 mettesse in luce una profonda difformità con quanto storicamente monitorato, nonostante tale comportamento risultasse esaltato da una "sovrastima delle portate alla sezione di Pontelagoscuro, come si è avuto modo di verificare nel

periodo 1988-1989, allorché si sono effettuati dei controlli (da parte di ENEL) della scala di deflusso in tale sezione" (Grego, 1990). In merito alla ripartizione tra i rami di Goro e di Venezia, si sottolinea l'importanza di proseguire il monitoraggio diretto delle portate (in particolare per il regime idrometrico di acque medie per il quale non sono disponibili dati recenti) mediante l'esecuzione di misure simultanee all'incile dei due rami, onde ridurre al minimo le possibili fonti di incertezza dovute ai fenomeni di propagazione lungo l'asta fluviale.

Per quanto concerne il Po di Gnocca risulta evidente come la quota parte dei deflussi scaricati a mare

attraverso tale ramo si mantenga percentualmente abbastanza stabile a fronte delle significative variazioni delle portate in Po. Tale percentuale si attesta mediamente su valori compresi tra il 10 e 15%. I dati storici inoltre evidenziano come vi sia stato nel corso del tempo un incremento dell'officiosità di tale ramo, tale variazione si è riscontrata nel ventennio 1939-1959 rispetto al periodo precedente, come per altro evidenziato dal Canali (1959). Negli anni successivi e fino ai giorni nostri non risultano altresì evidenti significative variazioni dell'efficienza di tale ramo.

Il Po di Maistra, tra tutti i rami principali, rappresenta certamente il meno

significativo in termini di apporti percentuali a mare dei deflussi complessivi del fiume Po. Nella relazione del Canali (1959) si sottolineava come, sulla base dell'esperienza secolare, fosse evidente come le bocche del Po orientate verso Scirocco diminuissero con il tempo la loro attività, a favore di quelle orientate verso il quadrante di Bora. Questo fenomeno sarebbe comune a tutti i fiumi con notevole trasporto solido sfocianti sul litorale padano-veneto, i quali tenderebbero a deviare la loro foce nel quadrante compreso tra N ed E. La causa prevalente di tale tendenza, indicata dal Cialdi (Canali, 1959), risiederebbe nei venti regnanti e nel flutto corrente, elementi che governano gli insabbiamenti in prossimità della foce.

Il comportamento idraulico del Po di Maistra risulta in linea con tale tendenza: risulta infatti evidente, sulla base dei dati diagrammati in Figura 4, come l'efficienza idraulica di tale ramo sia andata significativamente crescendo nei differenti periodi di monitoraggio. Le seppur esigue misure recentemente eseguite in regime di "acque medie" ed "acque alte" suggeriscono nuovamente un incremento di efficienza di tale ramo rispetto a quanto suggerito dalle ultime misure sistematiche relative al periodo 1939-1959 (Canali). In tali regimi la percentuale di portata in transito attraverso il Po di Maistra si attesterebbe tra il 3% ed il 4%. Per quanto concerne il regime di acque basse, così come nel caso del Po di Goro, le misure svolte da ENEL (1970-1990) risultano in disaccordo con il comportamento osservato nell'unica campagna recentemente eseguita. I dati relativi al maggio 2007 evidenziano infatti un deflusso assai limitato attraverso tale ramo. Risulta chiara anche in tale contesto la necessità di ulteriori indagini strumentali per approfondirne

il comportamento soprattutto in regime di "acque basse".

Il ramo di Tolle ha evidenziato un comportamento variabile nel corso del tempo, infatti, ad un primo periodo ad inizio del secolo scorso (1926-1938) caratterizzato da una capacità di deflusso prossima al 15% del totale è seguita una diminuzione dell'efficienza idraulica nel periodo 1939-1959.

Tale variazione era già stata segnalata da Canali (1959) confermando la tendenza evolutiva del Delta caratterizzata da una "graduale diminuzione nel tempo dei rami meridionali per effetto, come precedentemente accennato, dei venti, e quindi del moto ondoso, nonché delle correnti marine". A seguito degli interventi di progettazione e realizzazione della centrale di Polesine Camerini tale ramo è stato soggetto a monitoraggi più spinti ed intensivi nel periodo 1970-1990 da parte di ENEL. Dato lo specifico interesse di indagine degli effetti di tale opera sul fiume Po in condizioni di scarsa disponibilità idrica, i monitoraggi si sono concentrati prevalentemente sui regimi di "acque basse" e "medie".

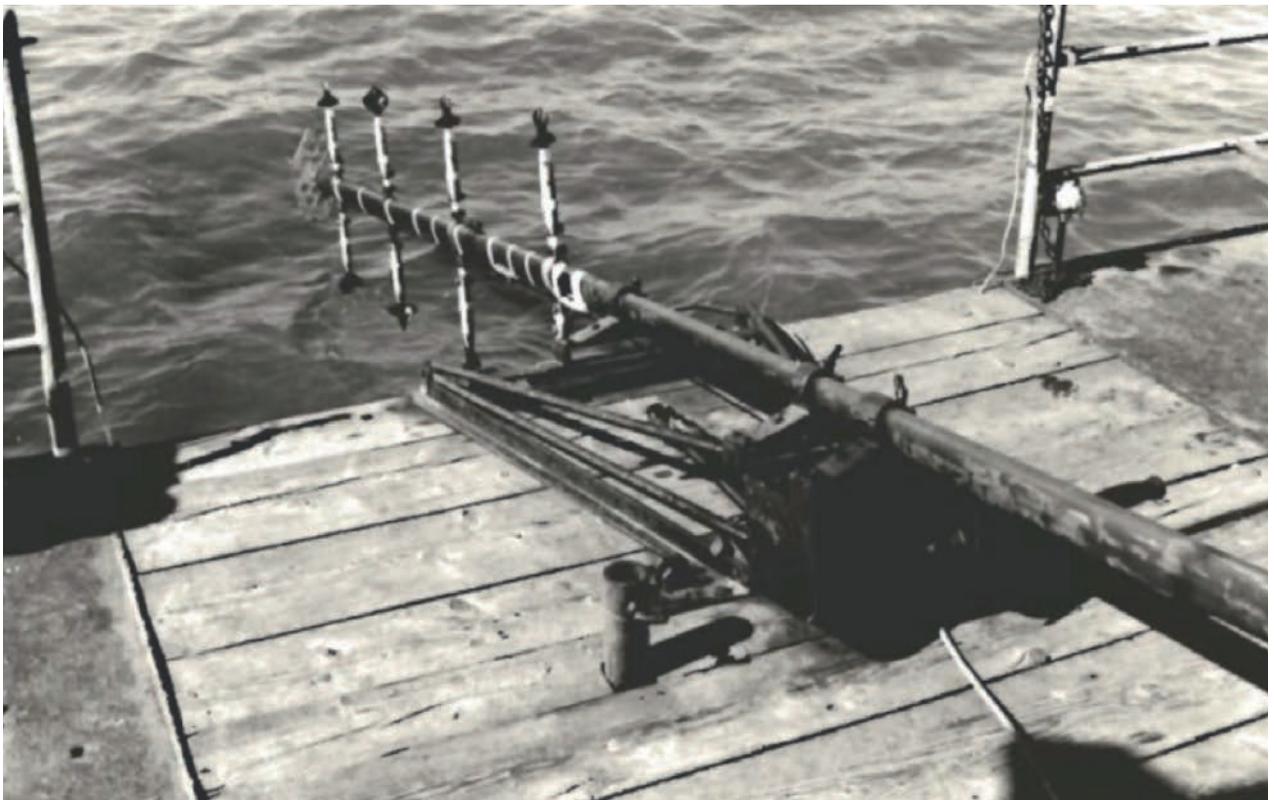
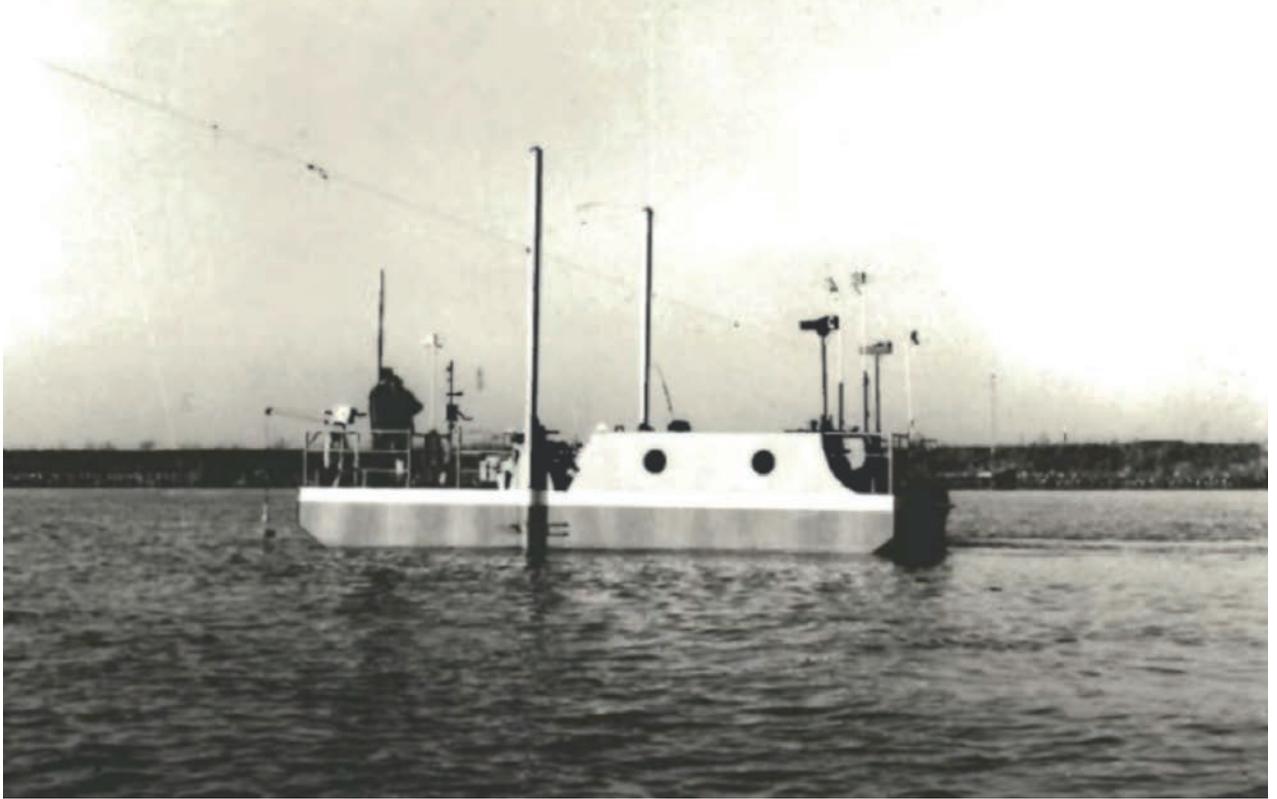
In tale ambito è stato possibile evidenziare un netto incremento dell'efficienza di tale ramo riportandosi addirittura a valori leggermente superiori al periodo 1926-1938 (18-20%) relativamente al regime di "acque medie" e nettamente superiori al 20% (alcuni valori prossimi addirittura al 25%) in regime di "acque basse". Tale tendenza ed analoghi valori percentuali sono confermati anche dalle recenti campagne di monitoraggio (anche se un unico valore relativamente al regime di "acque basse" non risulta sufficiente a trarre alcuna conclusione di carattere definitivo). Per quanto concerne i regimi di "acque alte",

invece, si osserva come i moderni mezzi d'opera abbiano permesso di eseguire monitoraggi in un "range" di portata molto più elevato rispetto a quello che storicamente si è stati in grado di misurare. Non sono pertanto disponibili in tale intervallo misure pregresse utili per un raffronto omogeneo. Per elevati valori di portata, così come evidenziato dai dati in Figura 4, risulta tuttavia chiaro come l'efficienza di tale ramo in condizioni di piena risulti certamente superiore al passato e consenta di recapitare a mare circa il 20% della portata complessiva del fiume Po.

Il ramo del Po di Pila ha visto progressivamente decrescere, anche in modo significativo, la sua efficienza nel corso dell'ultimo secolo.

Sulla base dei dati diagrammati in Figura 4 si può infatti osservare come, a fronte di una sostanziale invarianza di comportamento registrata fino alla fine degli anni '50 (anche se come indicato dal Canali già si intravedevano i segnali di una certa diminuzione di efficienza per gli stati di "acque medie"), il ventennio successivo sia stato caratterizzato da una significativa penalizzazione relativamente a tutti i regimi. Va sottolineato come l'intenso programma di monitoraggio del Po di Pila intrapreso a partire dagli anni '70 (misure UIPO 1970-1971 e ENEL 1970-1990) prevedesse misure mirate solo su questo ramo deltizio. In conseguenza di questo le incertezze della scala di deflusso a Pontelagoscuro, che forniva la portata di riferimento, si sono propagate alla valutazione dell'ef-

Figura 6: rilevazioni storiche. Pontone di misura ancorato (in alto). Molinelli su asta rigida (in basso). ENEL, 1973.



ficienza idraulica del Po di Pila. Grego (1990) evidenziava come la riduzione dell'officiosità del ramo di Pila fosse in realtà amplificata dalla sovrastima delle portate a Pontelagoscuro, fenomeno messo in luce da verifiche sulla scala di deflusso eseguite negli anni 1988-1989. Le ultime due misure disponibili, soprattutto relativamente al regime di "acque medie" suggeriscono una possibile ulteriore diminuzione di officiosità di tale ramo che pare invece rimanere inalterata relativamente ai due regimi estremi di "acque basse" e "acque alte". Risulta altresì chiaro come le relativamente scarse misure disponibili non permettano di

definire in modo univoco il comportamento idraulico di tale ramo ma ne suggeriscano unicamente il possibile trend evolutivo. Risulta d'altro canto palese come, nel corso di circa 100 anni l'officiosità di tale ramo, che rimane comunque il principale adduttore dei deflussi a mare, sia decrementata di oltre il 10% con picchi prossimi al 15% in condizioni di "acque alte". Tale comportamento, come evidenziato in precedenza, è stato controbilanciato da un progressivo incremento dell'efficienza idraulica di tutti gli altri rami.

Una considerazione finale accumu-

na l'analisi dei dati relativi a tutti i rami sino ad ora considerati puntualmente. In tutti i grafici proposti risulta evidente una forte dispersione dei dati con riferimento al regime di "acque basse", tale comportamento è collegabile alla difficoltà di monitorare sistematicamente ed in condizioni omogenee (durante un intero ciclo di marea) tutti i rami del Po in stati idrometrici marcatamente dominati dall'effetto di marea. In tali condizioni risulta pertanto difficile individuare una funzione in grado di riassumere in modo univoco il comportamento di tali rami mentre risulta certamente più agevole valutare una "efficienza media" degli stessi.

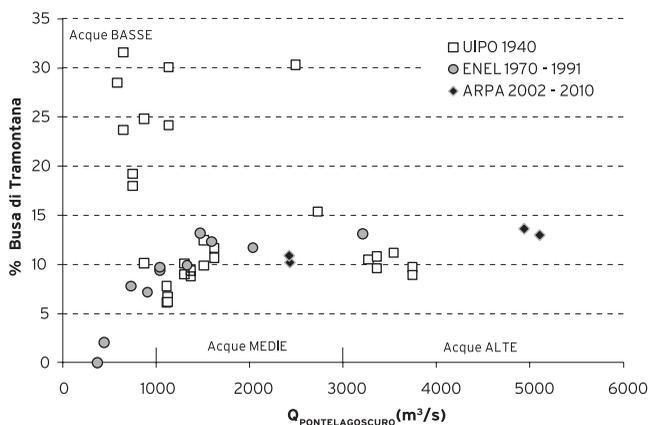


Figura 7a: percentuale della portata media giornaliera a Pontelagoscuro convogliata in mare dalla Busa di Tramontana. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili.

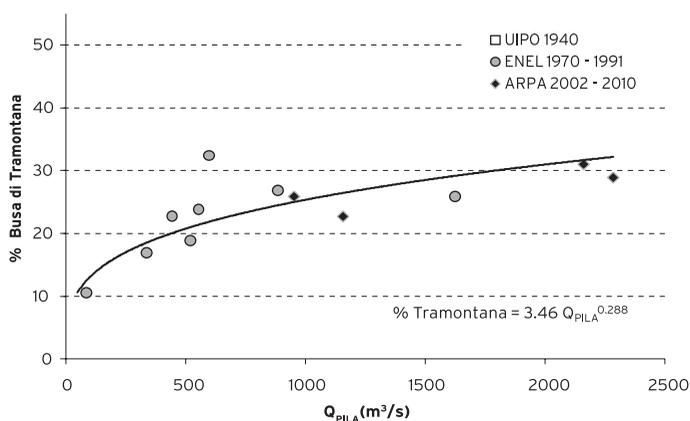


Figura 7b: valori percentuali della portata convogliata dalla Busa di Tramontana rispetto alla portata complessiva del Po di Pila. Andamento della relazione ricavata interpolando i dati disponibili dal 1970 al 2010. Viene indicata come QPILA la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

Ripartizione nelle bocche di sfocio in mare

L'efficienza idraulica delle bocche di sfocio in mare dei rami di Pila e di Tolle è stata indagata con minor continuità nel corso dell'ultimo secolo (Figura 7) rispetto ai rilievi condotti per la stima della ripartizione delle portate lungo i rami principali. Si sono reperiti in letteratura i dati delle misure condotte dal 1927 al 1938 sulle tre Bocche del Po di Pila (UIPO, 1940), quelli resi disponibili da ENEL (1990, 1991) relativi alle misure effettuate dal 1972 al 1991 sulle Bocche del Po di Pila e di Tolle. ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna e Consorzio di Bonifica Delta del Po hanno portato a termine dal 2002 ad oggi quattro campagne di misura per valutare la ripartizione delle portate di questi due rami deltizi.

La ripartizione del Po di Tolle (Bocca di Tolle, Busa Storiona e Busa del Bastimento) è stata oggetto di indagine solamente nel corso delle campagne del 2007 e del novembre 2010 (Tabella 2).

Bocche del Po di Pila: Busa di Tramontana, Busa di Levante e Busa di Scirocco

Dall'insieme dei dati disponibili per la Busa di Tramontana (Figura 7) si può notare come ad eccezione di alcune misure eseguite in regime fluviale di acque basse nel periodo a cavallo degli anni trenta da UIPO, che manifestano una maggior dispersione, sussista un trend crescente tra la portata a Pontelagoscuro e l'efficienza idraulica della Busa di Tramontana. Questa tendenza, sulla base dei dati storici disponibili, risulta più marcata per portate a Pontelagoscuro minori di 1800 m³/s. Per deflussi maggiori e fino a 5000 m³/s, si assiste ad una riduzione del tasso di incremento dell'efficienza idraulica della Busa di Tramontana (confermata anche dalle più recenti indagini), che tende ad attestarsi su valori compresi tra il 10 e il 13% della portata a Pontelagoscuro.

La maggior dispersione dei dati rilevati con portate a Pontelagoscuro minori a 1000 m³/s (i dati sperimentali sembrerebbero indicare una significativa riduzione dell'efficienza idraulica dal 1940 al 1990 nello stato di acque basse) può in parte trovare una ragione nelle difficoltà intrinseche di esecuzione delle misure di portata in sezioni fluviali soggette a regime di marea e nelle frequenti modificazioni che gli alvei subiscono in prossimità della foce. Va sottolineato come l'efficienza idraulica della Busa di Tramontana, espressa in percentuale rispetto alla portata media a Pontelagoscuro, sia condizionata anche dai cambiamenti morfologici e dalla variazione dell'officiosità idraulica del ramo del Po di Pila nel suo complesso. È possibile escludere in parte tali effetti se si confrontano i valori di portata

misurati sulla Busa di Tramontana con la portata del Po di Pila (Figura 7b). La ridotta dispersione dei dati disponibili relativi alle misure eseguite negli ultimi 40 anni permette in tale caso di esprimere la percentuale di portata convogliata dalla Busa di Tramontana rispetto al Po di Pila mediante una relazione di potenza, il cui andamento è illustrato in Figura 7b.

La Busa di Levante o Dritta è la foce centrale del Po di Pila e convoglia in mare la maggior parte delle portate in arrivo da questo ramo. Il confronto tra le misure recenti e i dati storici (Fi-

gura 8) mostra una marcata riduzione nel tempo dell'efficienza idraulica della Busa, che, rispetto alla portata media giornaliera a Pontelagoscuro, si attesta oggi su valori compresi tra 20 e 30%. Negli anni '20-'30 la Busa di Levante era in grado in smaltire fino al 50-60% della portata totale del fiume Po. Le misure condotte da ENEL negli anni '70-'90 avevano già messo in luce una significativa diminuzione di officiosità rispetto ai valori dedotti dalle precedenti campagne, principalmente per portate a Pontelagoscuro inferiori a 2000 m³/s.

Una così marcata riduzione dell'ef-

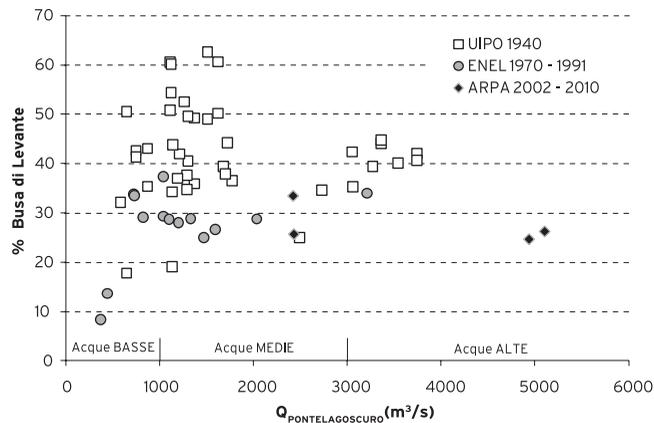


Figura 8a: percentuale della portata media giornaliera a Pontelagoscuro convogliata in mare dalla Busa di Levante. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili.

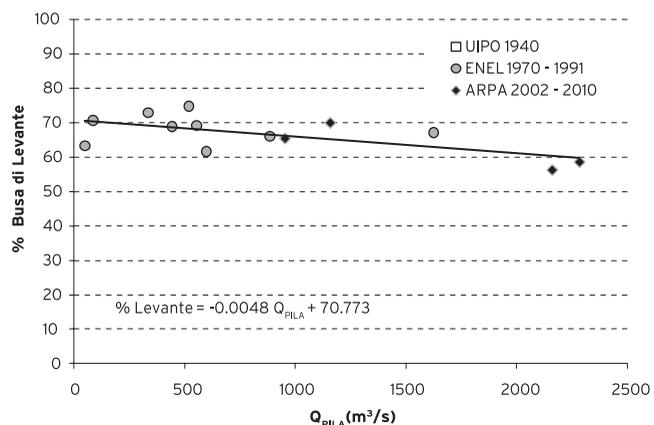


Figura 8b: valori percentuali della portata convogliata dalla Busa di Levante rispetto alla portata complessiva del Po di Pila. Andamento della relazione ricavata interpolando i dati disponibili dal 1970 al 2010. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

ficienza della Busa di Levante rispetto alla portata a Pontelagoscuro è in parte collegata alla riduzione dell'efficienza complessiva del ramo di Pila. Confrontando i valori di portata misurati sulla Busa Dritta con la portata complessiva delle tre bocche si evince come dagli anni '20 fino ad oggi l'attività idraulica della Busa di Levante sia in generale diminuita, eccezion fatta per condizioni idrometriche di magra (con portate complessive minori di 500-600 m³/s) nelle quali i dati raccolti da ENEL sembrano invece evidenziare un incremento dell'efficienza idraulica della bocca, rispetto ai dati storici del Visentini.

Analizzando i dati più recenti (misurare 1970-2010) si può notare una certa stazionarietà della capacità di deflusso della Busa di Levante in tutti gli stati idrometrici del fiume, con una leggera tendenza alla diminuzione delle portate convogliate all'aumentare della portata complessiva del Po di Pila (Figura 8).

La Busa di Scirocco è la bocca del Po di Pila caratterizzata dalla minore capacità idraulica. La sua efficienza, in generale, copre percentualmente una quota compresa tra 1 e 6% rispetto alla portata a Pontelagoscuro, e può ritenersi abbastanza stazionaria nel tempo e con

deboli variazioni in relazione al regime idrometrico del fiume Po (Figura 9).

Più dettagliatamente, sempre da Figura 9, si evince come un tempo, sulla base dei dati storici, l'efficienza della Busa di Scirocco fosse maggiore al 3% per gli stati di acque basse, mentre per condizioni idrometriche di acque medie e alte presentava un'efficienza minore al 3%. Oggi tali rapporti sono leggermente variati poiché si riscontra una tendenza ad un aumento di efficienza nel regime di "acque alte". Se viene analizzata la distribuzione dei valori di portata misurata sulla Busa di Scirocco rispetto al valore complessivo delle tre bocche del Po di Pila, l'efficienza di questo ramo deltizio appare incrementata nel tempo. Il valore medio del periodo 1927-1939 è pari a 5.2%, mentre il valore medio del periodo 1970-2010 (escluse le due misure eseguite da ENEL in condizioni di magra eccezionale) è pari a 8.5%.

Le ultime campagne di misura (2002-2010) sembrano confermare il leggero incremento dell'efficienza del ramo di Scirocco con valori superiori ai dati storici per portate sul ramo di Pila superiori a 900 m³/s. Invece, per portate complessive minori di 500 m³/s si rileverebbe un repentino aumento dell'attività idraulica di questo ramo deltizio (in rapporto al comportamento idraulico delle tre bocche a mare del Po di Pila), anche se la marcata azione delle maree, ancor più significativa nel caso di portate estremamente ridotte, non sempre permette una agevole e corretta valutazione simultanea delle portate transitanti.

Avendo già fornito le relazioni che legano la percentuale di portata convogliata rispettivamente dalla Busa di Tra-

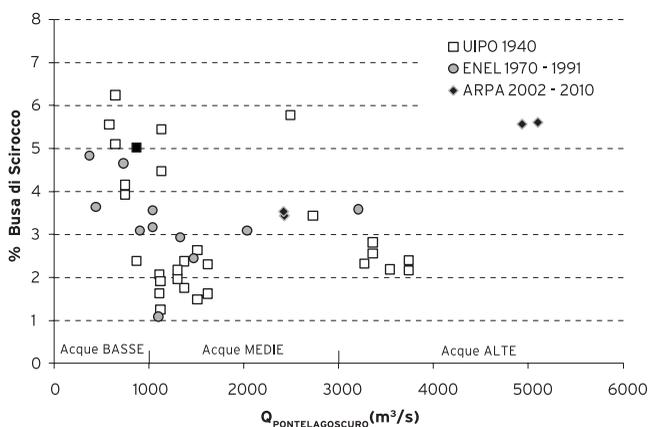


Figura 9a: percentuale della portata media giornaliera a Pontelagoscuro convogliata in mare dalla Busa di Scirocco. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili.

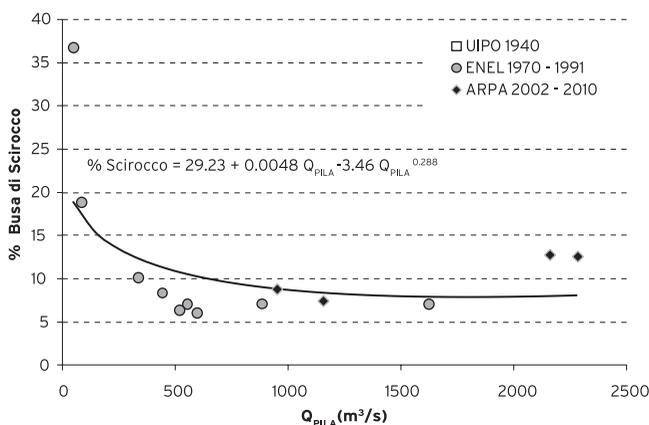


Figura 9b: valori percentuali della portata convogliata dalla Busa di Scirocco rispetto alla portata complessiva del Po di Pila. Andamento della relazione ricavata analiticamente sulla base delle relazioni proposte per le altre bocche del Po di Pila. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

montana e di Levante, rispetto alla portata totale delle bocche del Po di Pila, è possibile risalire analiticamente alla relazione che esprime, sempre in termini percentuali, la portata scaricata in mare dalla Busa di Scirocco. La Figura 9 evidenzia il buon adattamento della relazione ottenuta ai dati sperimentali.

Bocche del Po di Tolle: Busa Storiona, Busa del Bastimento e Bocca del Po di Tolle

Sulle bocche del Po di Tolle sono state condotte recentemente (2007 e 2010) due campagne di misura (Tabella 2). Le misure storiche reperite in letteratura si rifanno a due studi condotti da ENEL nel 1991 e nel 1992. Le misure recenti non sono facilmente confrontabili con le osservazioni storiche disponibili, in conseguenza delle diverse modalità di acquisizione dei dati e delle significative variazioni morfologiche che hanno interessato la Sacca dei Bonelli nell'ultimo quarantennio. Più dettagliatamente le misure condotte nel 2010 sono state eseguite per valori di portata del Po di Tolle a Scardovari pari a circa 1100 m³/s, quelle del 2007 con deflussi a Scardovari di circa 400 m³/s mentre le misure ENEL hanno indagato la ripartizione per portate a Scardovari comprese tra 70 e 450 m³/s.

Il confronto dei dati di ripartizione relativi alle ultime due campagne non ha evidenziato particolari variazioni nell'efficienza idraulica delle bocche del Po di Tolle, mentre si osserva una certa discordanza con i valori raccolti da ENEL. Nel novembre 2010 la Sacca dei Bonelli risultava completamente allagata, questo ha impedito l'esecuzione di una misura diretta della portata convogliata della Busa del Bastimento che è stata determinata per differenza ri-



Figura 10: tendenza evolutiva del Po Grande ad una progressiva diminuzione di efficienza a vantaggio di tutti i rami laterali. Possibile effetto di crescenti depositi di sedimenti sempre più evidenti in numerosi tratti dell'asta principale di Po (nell'intero tratto Veneto).

spetto al totale del Po di Tolle: ne è risultata una capacità idraulica pari al 4.4% della portata del Po di Tolle, contro un valore medio delle misure condotte nel 2007 pari a 5.7%, seppur in un differente regime idrometrico. La media dei dati ENEL rilevati a 1,5 km a monte della foce della Busa del Bastimento, dal 1972 al 1976 è invece pari al 20.3% della portata complessiva del Po di Tolle.

Tale variazione di comportamento risulta spiegabile con gli interventi eseguiti alla fine degli anni '80 - inizio anni '90 e relativi alla riapertura del collegamento con la laguna in corrispondenza della biforcazione della Busa di Bastimento. Tale intervento è stato realizzato, nell'ambito dei lavori di sistemazione dell'ansa di Volta Vaccari (Figura 5), con lo scopo di mantenere inalterate le percentuali di ripartizione tra i due rami di Pila e Tolle.

Nel rapporto steso da UIPO nel 1940 si riporta come, secondo alcune misure eseguite negli anni 1938 e 1939, la portata del Po di Tolle si distribuisse fra le due bocche di Tolle e del Bastimento rispettivamente nella misura del 27.3% e del 72.2%. L'adeguamento della foce del Po di Tolle mediante la realizzazione della Busa Storiona, per facilitare lo smaltimento in mare dei deflussi di piena non era ancora stato realizzato.

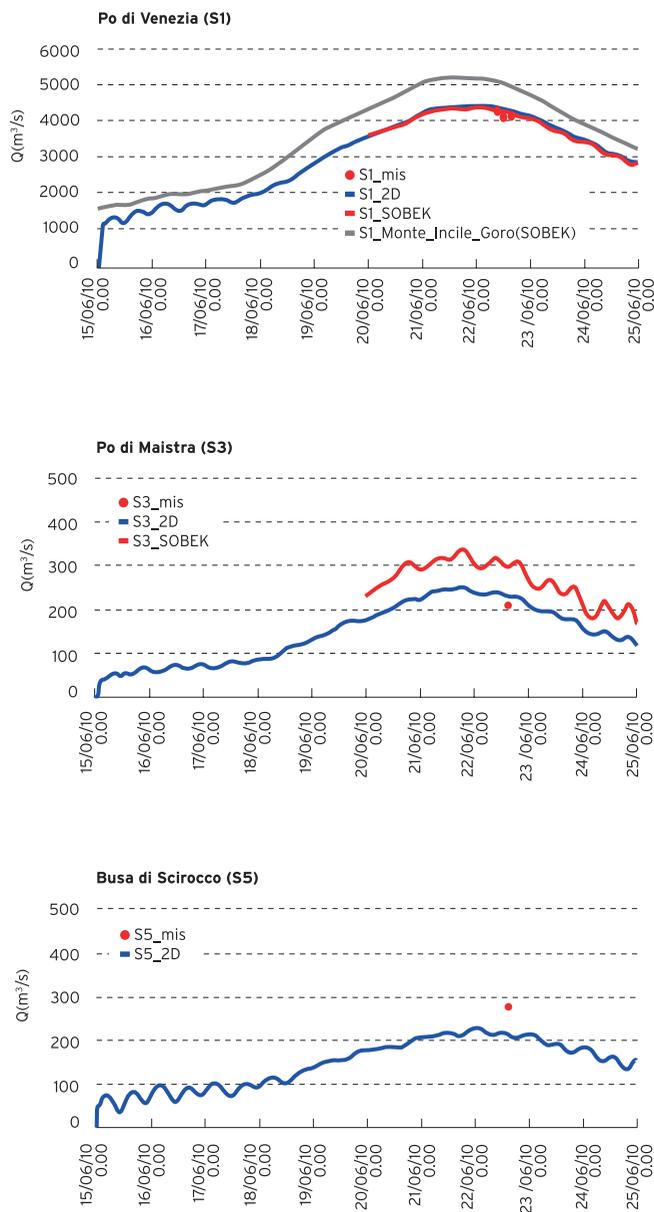
La Bocca di Tolle durante le misure del 2007 e 2010 convogliava rispettivamente il 17.2 e il 17.8% della portata del Po di Tolle misurata a Scardovari, valore prossimo a quello misurato da ENEL nel 1992 (12.5%). La Busa Storiona mostra attualmente (sulla base delle campagne del 2007 e 2010) un notevole grado di efficienza idraulica, facendo defluire in mare circa il 77% della portata totale in arrivo.

Confronto tra misure di campo e modellazione idraulica degli eventi del 2010

Un'ulteriore fase dell'indagine ha riguardato il confronto tra le misure di portata effettuate durante gli eventi di morbida/piena di giugno e novembre 2010 e gli idrogrammi di output ottenuti dalle simulazioni effettuate con due

modelli idraulici. Il primo è il modello unidimensionale Sobek della DELFT-Hydraulics implementato da ARPA Emilia Romagna per conto di AIPO (nell'ambito delle implementazioni modellistiche per la previsione di piena lungo l'asta di Po), il secondo è il modello bidimensionale agli elementi finti del Consorzio Delta Po (D'Alpaos e Defina, 1993, D'Alpaos *et al.*, 1994, Consorzio Delta Po Adige, 2006)

Figura 11: confronto tra risultati delle applicazioni modellistiche e dati acquisiti in campo relativamente all'evento di giugno 2010.



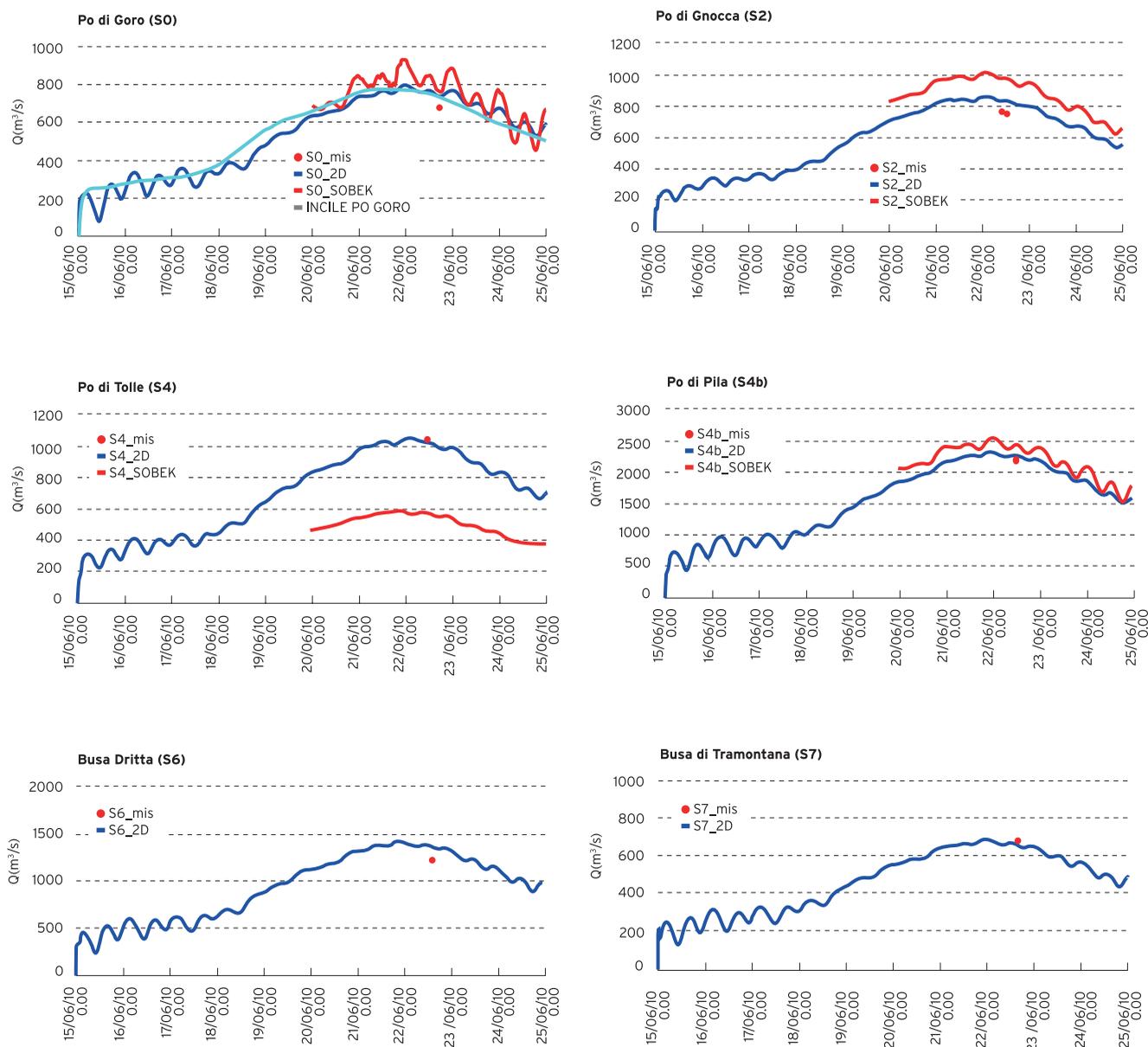
implementato da Ipros Ingegneria Ambientale per la zona del Delta.

Il modello Sobek usa come condizioni al contorno di valle i dati di marea del modello ADRIA-ROMS, che, in simulazioni precedenti, aveva fornito buoni riscontri con i punti di osservazione disponibili. Il modello 2D del Consorzio è stato applicato ad un tratto fluviale che si estende

da circa 3.5 km a monte dell'incile del Po di Goro (località Berra circa 45 km a valle dalla sezione di Pontelagoscuro) fino al mare. La condizione al contorno di monte è rappresentata dall'idrogramma prodotto dal modello Sobek di ARPAER.

In merito all'evento di giugno, sono riportate a titolo esemplificativo in Figura 11 le simulazioni effettuate.

Entrambi i modelli sembrano ben rappresentare le portate in transito sul Po di Venezia con scarto percentuale massimo del 6%. La portata del Po di Goro viene invece sovrastimata da entrambi i modelli di un valore compreso tra 10 e 13%. Il modello bidimensionale del Consorzio di Bonifica utilizza come condizione al contorno di monte le portate calcolate con il modello



Sobek, di conseguenza una possibile sovrastima dei deflussi in ingresso da parte di quest'ultimo, potrebbe influenzare i risultati della successiva modellazione. Per quanto riguarda gli altri rami deltizi principali, sembra affermarsi una maggiore accuratezza del modello bidimensionale, con scarti compresi tra il 4 e il 12%. In particolare il Sobek sovrastima significativamente l'efficienza idraulica del Po di Maistra e sottostima le portate in transito sul Po di Tolle. Da segnalare una sottostima da parte del modello 2D di circa il 20% delle portate smaltite in mare dalla Busa di Scirocco.

Per quanto riguarda la campagna di misura di novembre 2010 i risultati della modellistica si delineano meno accurati rispetto all'analogo confronto svolto sui dati di giugno. D'altra parte anche le misure di portata risentono di una certa incongruenza poiché sono evidenziati degli scompensi nel bilancio dei deflussi misurati. In particolare tra il Po di Venezia e la somma dei deflussi monitorati negli altri rami si riscontra una "perdita" apparente di circa 700 m³/s. Anche per questo evento sia il modello bidimensionale che il Sobek approssimano in maniera soddisfacente la portata misurata sul Po di Venezia. Viene invece confermata la sovrastima di entrambi i modelli delle portate del Po di Goro.

Per i rami di Gnocca, Maistra, Pila e Tolle si riscontra una generalizzata sovrastima con errori dal 15 al 26% per il modello 2D, mentre gli scostamenti sono assai più importanti per il modello Sobek e mantengono lo stessa tendenza manifestata nelle simulazioni dell'evento di giugno: sovrastima per Gnocca, Maistra e Pila e sottostima dei deflussi del Po di Tolle. Permane per il modello del Consorzio di Bonifica una sottostima prossima al 20% delle portate sulla

Busa di Scirocco. Da segnalare la buona capacità predittiva del modello 2D relativamente al comportamento delle bocche della foce del Po di Tolle. Sulla base dei dati presentati si può pertanto osservare come soprattutto il modello 2D del Consorzio Delta Po si possa configurare come un utile strumento di analisi, utilizzabile anche in fase predittiva, con le opportune accortezze suggerite dagli scostamenti puntuali tra dati osservati e previsioni del modello. D'altro canto le osservazioni acquisite possono rappresentare un ulteriore elemento utile all'affinamento del modello.

Conclusioni

Le recenti campagne di misura effettuate in diversi regimi idrologici (acque basse, medie, alte) sui rami del Delta del Po hanno in primo luogo messo in evidenza le notevoli potenzialità delle nuove tecnologie disponibili, che consentono di acquisire dati correntometrici e di portata utilizzando sistemi più accurati e meno dispendiosi rispetto al passato. D'altra parte esse hanno evidenziato la concreta possibilità di recuperare e aggiornare la rilevante base conoscitiva disponibile, costituita dal gran numero di rilievi effettuati tra il 1920 e il 1990, per costruire delle linee di tendenza che descrivano il funzionamento idraulico dei diversi rami in chiave evolutiva. Le indicazioni fornite dagli studi condotti hanno permesso inoltre di identificare specifiche esigenze di approfondimento del comportamento di alcuni rami in differenti regimi idrometrici. L'esperienza acquisita risulta perciò basilare per la pianificazione e l'esecuzione di ulteriori campagne di misura volte a meglio definire il quadro conoscitivo qui solo parzialmente aggiornato.

Bibliografia

- Canali L.; Indagine sulla ripartizione della portata del Po tra i vari rami del Delta e sulla loro attività di deflusso; *Giornale del Genio Civile*, v 97, no. 12, 19 pp, 1959.
- Consorzio di Bonifica Delta Po Adige, "Studi Idraulico marittimi nelle lagune deltizie - Lagune di Barbarco e Canarin". Rapporto tecnico interno, Sipim s.r.l., 2006.
- D'Alpaos, L. and A. Defina; *Venice Lagoon hydrodynamics simulation by coupling 2D and 1D finite element models. Atti del VIII International Conference on Finite Elements in Fluids - New trends and applications*. Barcellona 20-24 sett., 917-926, 1993
- Defina A., D'Alpaos L., Matticchio B. - "A new set of equation for very shallow water and partially dry areas suitable to 2D numerical models". *Proceedings of Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas*, ASCE Eds., Milano 1994.
- ENEL; Rilievi idrografici nella parte terminale del Delta del Po - Parte I - Descrittiva; ENEL-DSR.CRIS; Relazione H1/86 r; 1973.
- ENEL; Delta Po - Ripartizione della portata del Po di Tolle nei rami terminali; ENEL -DSR - CRIS Servizio Idrologico Relazione 1042; 1992.
- Fiorotto G., Caroni E. e Clemente P.; Modellazione idraulica, matematica e fisica dello stato di fatto del nodo idraulico Po di Venezia - Po di Goro, Università degli Studi di Trieste, Dipartimento Ingegneria Civile, Sezione idraulica e geotecnica, Trieste, 2002.
- Grego G., Mioni F.; Aspetti morfologici e idrologici del Delta del Po e confronto con il passato; Seminario di Studi sull'Ecologia del Delta; Parma 11-12 aprile, 1985.
- Grego G.; Idrologia del Delta del Po - Evoluzione dell'ultimo ventennio; ENEL -DSR - CRIS Servizio Idrologico Mestre (Ve); Convegno sull'ecologia del Delta del Po, Albarella (Ro), 1990.
- UIPO; Idrografia e Idrologia del Po; Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico; Pubblicazione n.19, Roma, 1981.
- UIPO; Indagine sul trasporto solido in sospensione nel Delta Padano relativa agli anni 1960-1961; *Annali Idrologici 1962*; Parte Seconda, Sezione F, pp 141-152, Parma, 1962.
- UIPO; La piena del Po del novembre 1968; *Annali Idrologici 1968*; Parte Seconda, Sezione F, pp 139-154, Roma, 1971.
- UIPO; Ricerche idrografiche nel Delta del Po; Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico, Pubblicazione n.14, Vol. 2, Roma, 1940.

_STUDI E RICERCHE MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE NELLE LAGUNE DEL DELTA DEL PO: ANALISI DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI MISURATI NEL QINQUENNIO 2005-2010

ANGELO RUBINO

Università Ca' Foscari di Venezia

PIETRO TRAVERSO

Università Ca' Foscari di Venezia

DR. DAVIDE ZANCHETTIN

Max Planck Institute for Meteorology

A partire dal 2005, le campagne di monitoraggio condotte nelle lagune del Delta del Po al fine di determinare la qualità delle loro acque hanno permesso di misurare ad intervalli regolari, e soprattutto durante il semestre estivo, diversi parametri chimico-fisici (tra cui temperatura, conducibilità/salinità e concentrazione di ossigeno disciolto) in un numero di lagune via via crescente nel corso degli anni. Le misure raccolte costituiscono oggi un'importante banca dati della qualità delle acque deltizie e, dopo la rianalisi che ha preceduto la loro pubblicazione, sono a disposizione anche per attività di ricerca scientifica.

Questo contributo è dunque motivato da un lato dalla volontà di ampliare le nostre conoscenze circa le dinamiche fisiche, chimico-fisiche e biologiche nelle lagune del Delta, dall'altro di qualificare ulteriormente l'impegno profuso per la creazione di questa banca dati, dimostrando l'importanza di un attento lavoro di misura e d'interpretazione per una serie di utilizzatori.

Dalle analisi eseguite emerge particolarmente la complessità delle interazioni fra diversi parametri fisici all'interno delle lagune del Delta del Po, l'esistenza di risposte marcate a forzanti esterne e la multiformità di fenomeni che da tali interazioni e da tali forzanti hanno origine. Poter continuare a disporre di informazioni sull'andamento nello spazio e nel tempo dei parametri succitati nelle lagune del Delta del Po risulta quindi imprescindibile, in un contesto così altamente dinamico e reattivo a perturbazioni esterne, sia per una comprensione profonda della variabilità del sistema, sia nella prospettiva di fruibilità di un sempre maggiore flusso di informazioni quantitative al servizio della gestione di un'area così altamente significativa.

Conoscere un sistema implica innanzitutto la disposizione di dati (sperimentali, ma anche dati simulati tramite modelli numerici) ad esso relativi. L'ambiente naturale, in particolare, è un sistema dinamico: le variabili e i parametri che lo caratterizzano sono quindi in continua evoluzione ad opera di molteplici forzanti, alcune delle quali agiscono localmente, mentre altre da remoto (si pensi, ad esempio, alle teleconnessioni atmosferiche e oceaniche). Questo stato del sistema pone problemi di natura sia teorica, sia più propriamente tecnica, che riguardano in primis la fase di campionamento del dato. Problemi di natura teorica sono particolarmente accentuati nel caso di ambienti grandemente dinamici e variegati, come lo sono, in genere, gli ecotoni lagunari.

Qui, l'uso preferenziale di stazioni fisse fa infatti sorgere inevitabilmente problemi di rappresentatività del dato. È noto infatti che in queste zone "di transizione", anche all'interno di estensioni spaziali relativamente limitate possono sussistere condizioni chimico-fisiche e biologiche alquanto differenti e rapidamente variabili. Dal punto di vista dell'interpretazione dei dati, del loro inquadramento cioè all'interno di una costruzione teorica ben definita, la fonte maggiore di difficoltà si riferisce dunque soprattutto alla loro natura puntuale. Questo implica uno sforzo notevole, logistico e quindi anche economico, nell'attivazione del numero più elevato possibile di siti di monitoraggio in grado di campionare ad una frequenza sufficiente (e per un tempo sufficiente) a cogliere le dinamiche di interesse e la loro variabilità.

Il complesso sistema di lagune e sacche che caratterizza l'area del Delta del Po fornisce diversi esempi (vedi in particolare modo la Sacca del Canarin e la

Figura 1:
posizione dei siti
di monitoraggio
utilizzati nelle
campagne
2005-2010.



6

5

4

3

1

2

-
- 1. Scardovari Interno
 - 2. Scardovari Mare
 - 3. Canarin
 - 4. Basson
 - 5. Vallona
 - 6. Marinetta

Sacca degli Scardovari) emblematici dell'eterogeneità e della estrema variabilità che caratterizzano gli ambienti di transizione, sia dal punto di vista biochimico, sia da quello ecologico. Nelle diverse porzioni di ciascuna laguna, infatti, l'evoluzione delle caratteristiche chimico-fisiche e del grado di vivificazione è legata inestricabilmente all'idrodinamica, a sua volta influenzata dalla circolazione atmosferica, dal respiro mareale, dall'afflusso locale di acque dolci proveniente dai diversi rami del Po e dalle idrovore, dalla morfologia/batimetria, eccetera.

L'idrodinamica contribuisce dunque anche alla differente propensione delle diverse lagune (e loro sottoinsiemi) a sperimentare prolungati periodi di notevole ristagno, o, d'altro canto, alla loro differente esposizione all'ingresso di acque dolci di origine fluviale durante fenomeni di piena del Po. In particolare sono proprio le deviazioni dalla funzionalità naturale del sistema legate a questi fattori a destare maggior interesse, dato che ad essi sono attribuibili eventi preoccupanti di anossia, come occorso ad esempio durante l'estate 2009 nella porzione più interna della Sacca degli Scardovari. Allo scopo di fornire un quadro sempre più completo delle condizioni ambientali nelle lagune del Delta del Po, il sistema di monitoraggio dei parametri chimico-fisici si è dunque evoluto, nel corso degli anni, dalle due stazioni messe inizialmente in opera nella Sacca degli Scardovari (campagna 2005) fino alle sei stazioni attive nella Sacca degli Scardovari, nella Sacca del Canarin, e nelle lagune di Marinetta, Basson e Vallona durante le campagne 2008, 2009 e 2010.

La Tabella 1 riassume le caratteristiche del sistema di monitoraggio nei di-

versi anni, in particolare evidenziando i due principali metodi di campionamento utilizzati: 1) sonda multiparametrica con centralina su palo, con immersione costante dei sensori nel mezzo da cam-

Stazione	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Scardovari Interno	B*	B*	B	B	B*	B*
Scardovari Mare	B	B	B	B	B*	B*
Canarin	-	B	B	B	B	B
Vallona	-	B*	B	B	B	B
Basson	-	-	-	P	P	P
Marinetta	-	-	-	P	P	P

Tabella 1: siti attivi nel corso delle diverse campagne di monitoraggio.

B: sito su boa;
B*: sito su boa con prelievo a più profondità;
P: sito su palo.

pionare a quota fissa dal fondo; 2) sonda multiparametrica con centralina su boa, dotata di sistema idraulico di prelievo/lavaggio e campionamento a profondità fissa dal pelo dell'acqua.

Nella tabella, e generalmente in questo contributo, ci si riferisce ai diversi siti di campionamento con la seguente notazione:

1. **Scardovari Interno** per il sito di monitoraggio su boa nella porzione più interna della Sacca degli Scardovari, nei pressi dello stabulario;

2. **Scardovari Mare** per il sito di monitoraggio su boa nella porzione più esterna della Sacca degli Scardovari, nei pressi della bocca a mare, a pochi metri dal margine orientale della sacca;

3. **Canarin** per il sito di monitoraggio su boa nella porzione centrale della Sacca del Canarin, a nord della bocca a mare settentrionale, a pochi metri dalla lingua di terra che separa il canale artificiale occidentale dalla laguna;

4. **Basson** per il sito di monitoraggio su palo nella porzione centrale della Sacca del Basson, qualche centinaio di metri a nord della bocca a mare meridionale;

5. **Vallona** per il sito di monitoraggio su boa nella porzione centrale della Laguna di Vallona, a nord del gomito;

6. **Marinetta** per il sito di monitoraggio su palo nella porzione centrale della Laguna di Marinetta.

La posizione approssimativa dei siti di monitoraggio è riportata nella Figura 1. I dati descritti e analizzati in questo contributo si riferiscono ai seguenti parametri: temperatura, salinità e ossigeno disciolto, campionati a cadenza trioraria o inferiore.

Partendo dalle basi delineate precedentemente e al fine di minimizzare, o quantomeno ridurre grandemente gli inevitabili margini di incertezza legati alla limitatezza spaziale e temporale dei campionamenti, abbiamo scelto di concentrarci su un'analisi globale dei

dati a disposizione utilizzando soprattutto metodi statistici volti ad individuare correlazioni fra le diverse variabili misurate e fra queste e altre variabili, locali o rappresentative di contesti più ampi, a disposizione. Con ciò si rende possibile una contestualizzazione della variabilità misurata nella qualità e nelle caratteristiche delle acque lagunari con dinamiche meteo-climatiche locali e di larga scala. In quest'ottica, questo studio si concentra sull'analisi di valori medi giornalieri, considerati come rilevanti se calcolati sulla base di un numero di misure disponibili nell'arco della giornata non inferiore a cinque.

Si sorvola, invece, su aspetti più prettamente tecnici, quali la descrizione

dettagliata dei sistemi di monitoraggio o della fase di validazione precedente la pubblicazione dei dati, per cui si fa riferimento a quanto riportato nelle relazioni tecniche prodotte al termine delle attività di ciascuna campagna.

La Figura 2 confronta i dati misurati nella Sacca del Canarin, disponibili per le campagne condotte nel 2007, nel 2008 e nel 2009. Per quanto attiene alla temperatura dell'acqua, l'evoluzione è caratterizzata nei diversi anni da una sostanziale somiglianza, determinata dalla prevalenza del ciclo stagionale sulle altre fonti di variabilità: a cavallo tra agosto e settembre, per esempio, le temperature possono essere mediamente superiori anche di

Confronto tra i dati di temperatura (temp), salinità (sal) e ossigeno disciolto (OD)

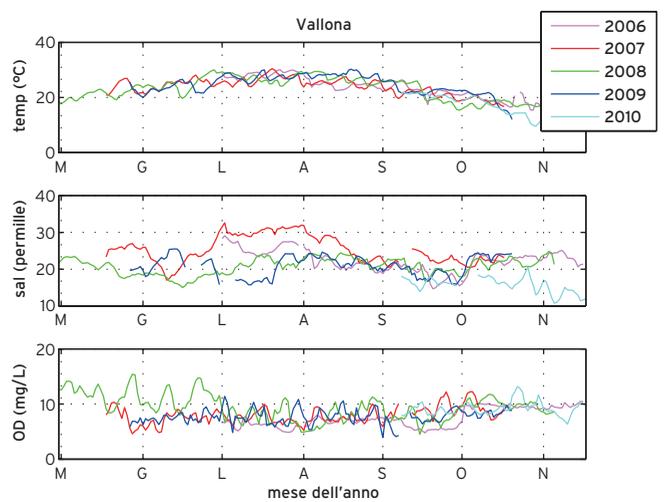
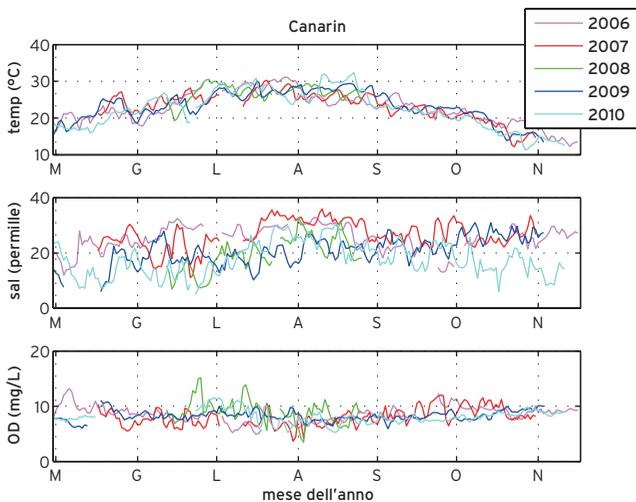


Figura 2: confronto tra i dati misurati nel sito di Canarin nel corso delle campagne di monitoraggio 2006-2010.

Figura 3: confronto tra i dati misurati nel sito di Vallona nel corso delle campagne di monitoraggio 2006-2010.

10°C a quelle osservate all'inizio della primavera e in autunno inoltrato. Come vedremo, questa caratteristica di netta predominanza del segnale stagionale nei dati di temperatura è una caratteristica comune a tutte le lagune del Delta monitorate. Le temperature si attestano coerentemente su valori intorno o superiori ai 25°C nel periodo che va dalla fine di giugno al tardo agosto, eccedendo solo sporadicamente la soglia dei 30°C (ad eccezione del 2006 e 2010, quando si riscontrano diversi giorni consecutivi di temperature oltre tale soglia). In genere, l'autunno è caratterizzato da rapide diminuzioni della temperatura (fino a quasi 10°C nell'arco di un paio di settimane), alternate ad apparenti fasi di stazionarietà, meno evidenti nel 2010.

La salinità mostra variazioni marcate tra i diversi anni di monitoraggio soprattutto nel periodo luglio-agosto e nel periodo autunnale, quando lo scarto tra i singoli anni raggiunge valori superiori a 10 permille. Tale variabilità è in parte attribuibile alla variabilità nell'afflusso di acque dolci dal fiume Po, in parte riconducibile a sua volta alla posizione della boa nei pressi del fronte tra acque interne ed esterne originato dal respiro mareale. Rilievi in situ hanno infatti mostrato come in quell'area, nell'intorno di pochi metri siano possibili variazioni superficiali di salinità (il campionamento è effettuato ad una profondità di 0.5 m) anche dell'ordine della decina di permille.

Questa situazione di grande variabilità frontale è comune a molte località presso foci o estuari fluviali. Poiché il fronte tra acqua marina e acqua fluviale, a volte nettissimo, è legato in generale anche a fenomeni di convergenza del campo di velocità superficiale e/o ad accumulo di materiali galleggianti in superficie, tale regione di discontinuità

può essere spesso monitorata anche con l'aiuto di metodi di telerilevamento, in primis radar, che misurano appunto modulazioni delle onde di piccola scala associate alla presenza di sostanze superficiali o di un campo di velocità variabile.

I dati di ossigeno disciolto mostrano una sostanziale coerenza di comportamento nel corso delle diverse campagne di monitoraggio, caratterizzata da minime variazioni stagionali (i dati restano, nel corso dell'anno, generalmente intorno a 7-8 mg/l) e da una tendenza a produrre valori minimi (circa 5 mg/l, comunque superiori a livelli preoccupanti per quanto concerne fenomeni di anossia) a cavallo tra luglio ed agosto. Va comunque ribadito che l'ossigeno disciolto è campionato, come gli altri parametri, presso la superficie dell'acqua e in una zona comunque esposta al flusso/riflusso mareale. Zone più interne e strati più profondi nella sacca del Canarin possono aver sperimentato, nel corso del periodo monitorato, periodi in cui i valori di ossigeno disciolto sono scesi ben al di sotto di quelli monitorati.

La Figura 3 confronta i dati misurati nella laguna di Vallona, disponibili per le campagne 2006-2010. Considerazioni circa la variabilità interannuale osservata sono simili a quelle fatte per la Sacca del Canarin. Per quanto attiene alla temperatura dell'acqua, l'evoluzione è caratterizzata nei diversi siti da una sostanziale dominanza del ciclo stagionale sulle altre fonti di variabilità. Nei cinque anni di monitoraggio, le temperature si attestano coerentemente su valori in genere sopra i 25°C nel periodo che va dalla fine di giugno al tardo agosto, eccedendo solo sporadicamente la soglia dei 30°C. L'autunno è caratterizzato da eventi di rapida diminuzione della

temperatura simili a quelli riscontrati in Canarin, seppur di minore intensità. La salinità mostra variazioni marcate tra i diversi anni di monitoraggio, soprattutto nel mese di luglio. Nei valori relativi, i dati di salinità sono consistenti con quelli misurati in Canarin: le acque sono marcatamente più salate nel luglio 2007 e meno salate nel luglio 2009.

Come in Canarin, i dati di ossigeno disciolto mostrano una sostanziale coerenza di comportamento nel corso delle diverse campagne di monitoraggio, caratterizzata da minime variazioni stagionali (i dati restano, nel corso dell'anno, generalmente intorno a 7-8 mg/l). È interessante notare come i dati raccolti nel periodo tardo-primaverile siano caratterizzati, nel 2008, da una progressiva diminuzione dell'ossigeno disciolto, con la presenza di marcati picchi ad evidenziare probabili episodi di fioritura algale. Va comunque sempre ribadito che l'ossigeno disciolto è campionato, come gli altri parametri, presso la superficie dell'acqua. Zone più interne e strati più profondi nella laguna possono aver sperimentato, nel corso del quinquennio 2006-2010, periodi in cui i valori di ossigeno disciolto sono scesi ben al di sotto di quelli monitorati.

La Figura 4 confronta i dati misurati nel sito Scardovari Interno, disponibili per le campagne 2005-2010. Per quanto attiene alla temperatura dell'acqua, l'evoluzione è dominata, nei diversi anni, dalla tipica prevalenza del ciclo stagionale sulle altre fonti di variabilità. A differenza delle lagune precedentemente esaminate, va notata qui la presenza di una maggiore variabilità durante il periodo caldo, con variazioni termiche che raggiungono, nel tardo giugno e ad agosto, 7-8°C. Inoltre, sono evidenti episodi, della durata di più giorni, in cui la tempe-

ratura eccede la soglia dei 30°C, occorsi una o più volte l'anno (come nel 2005) ma, nei vari anni, in periodi diversi (ad esempio, a cavallo tra giugno e luglio nel 2008, nella seconda metà di agosto nel 2009).

Ciò indica una maggiore suscettibilità di questa porzione di laguna ad eventi meteorologici estremi, quali ad esempio periodi prolungati di caldo o assenza di vento (condizioni di bonaccia). Questa porzione della laguna è infatti solo marginalmente influenzata dal respiro mareale e si trasforma in una pozza ristagnante durante episodi di bonaccia. I dati di ossigeno disciolto, in particolare l'evento di anossia verificatosi nel tardo agosto 2009, confermano questo qua-

dro. Va ribadito che l'ossigeno disciolto riportato è quello campionato, come gli altri parametri, presso la superficie dell'acqua. L'autunno è caratterizzato da eventi di rapida diminuzione della temperatura simili a quelli riscontrati in Canarin e Vallona. Questi episodi possono essere ricondotti a brusche intrusioni di aria più fredda portate dalle perturbazioni tipiche del periodo autunnale.

La salinità mostra variazioni marcate tra i diversi anni di monitoraggio fino al mese di agosto. Ad eccezione del 2010, nel periodo autunnale sembra stabilirsi una fase di variabilità interannuale estremamente ridotta, con valori che si attestano sui 28-29 permille, con variazioni entro poche unità di permille per i

vari anni. Questo fatto può essere spiegato con la considerazione che il periodo autunnale corrisponde ad una fase di grande mescolamento delle acque, causato soprattutto dal vento. Si assiste quindi all'instaurarsi di condizioni di quasi omogeneità verticale, con valori probabilmente determinati dal bilancio medio dei flussi di acqua sulla regione (Precipitazione - Evaporazione + apporto esterno) che mostra, in genere, una variabilità interannuale minore.

Come in Canarin e Vallona, i dati di salinità indicano acque marcatamente più salate nel 2007, con valori comparabili nel luglio 2005-2006. Il confronto tra i dati del 2008 e quelli del 2009 indicano in luglio andamenti tendenziali opposti:

Confronto tra i dati di temperatura (temp), salinità (sal) e ossigeno disciolto (OD)

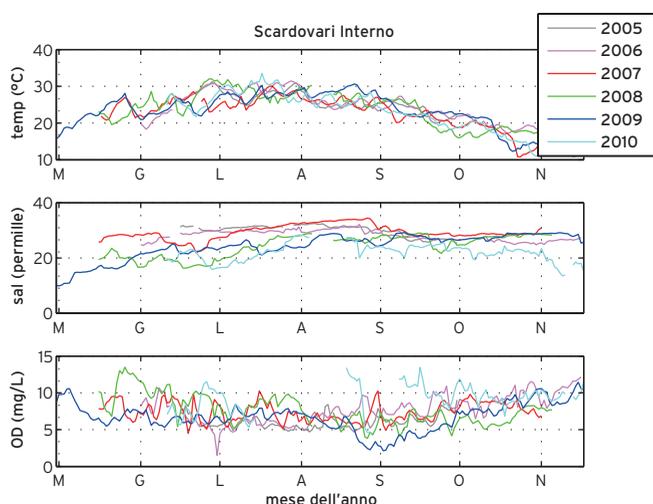


Figura 4: confronto tra i dati misurati nel sito di Scardovari Interno nel corso delle campagne di monitoraggio 2005-2010.

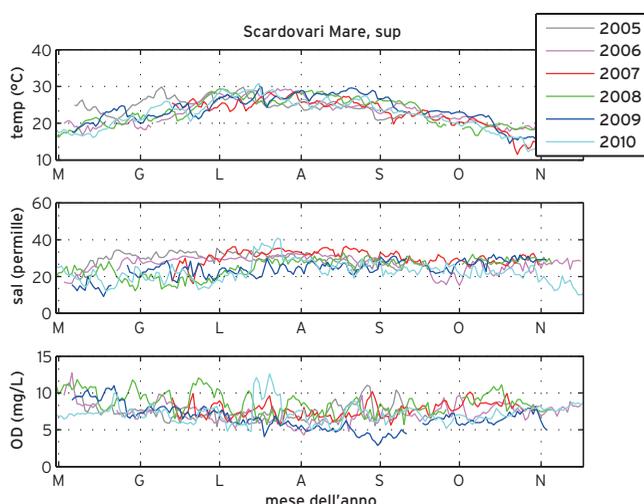


Figure 5: confronto tra i dati misurati nel sito di Scardovari Mare nel corso delle campagne di monitoraggio 2005-2010.

si ha infatti una diminuzione nel 2009 e un aumento nel 2008. È interessante notare i valori di salinità decisamente su livelli bassi misurati all'inizio della campagna del 2009 (in concomitanza con valori elevati di ossigeno disciolto), che possono essere riconducibili sia ad un inverno (quello del 2008-09) particolarmente piovoso, sia ad una ricircolazione accentuata delle acque indotta artificialmente durante quel periodo. A differenza della sacca del Canarin e della laguna di Vallona, i dati di ossigeno disciolto mostrano una certa stagionalità, con una tendenza dei valori minimi ad accumularsi nel periodo più caldo (luglio-agosto). A tale periodo di accumulo fa seguito una fase di crescita (dell'ordine di diversi mg/l) in settembre.

La Figura 5 confronta i dati misurati nel sito Scardovari Mare, disponibili per le campagne 2005-2010. Pur mostrando tratti simili a quelli misurati nella porzione più interna della Sacca (Figura 4), sostanziali differenze emergono a sottolineare le diverse dinamiche caratterizzanti le due porzioni di laguna. L'evoluzione della temperatura è caratterizzata dalla tipica dominanza del ciclo stagionale sulle altre fonti di variabilità. È interessante notare come il 2005 sia caratterizzato da quella che potrebbe essere descritta come una anticipazione del ciclo stagionale, con valori superiori (inferiori) a quelli misurati negli altri anni in giugno (agosto).

Questa peculiarità si colloca comun-

que in un contesto di variabilità interannuale che prevede differenze fino a 3-4°C tra i valori misurati nei singoli anni. A differenza della porzione interna della laguna, e similmente alle sacche di Canarin e Vallona, i massimi di temperatura non eccedono la soglia dei 30°C, se non sporadicamente.

L'autunno è caratterizzato dai tipici eventi di rapida diminuzione della temperatura riscontrati nelle altre lagune. L'andamento della salinità mostra variazioni marcate tra i diversi anni di monitoraggio fino al mese di agosto. Come nella porzione più interna, nel periodo autunnale sembra stabilirsi una fase di variabilità interannuale estremamente ridotta, con valori che si attestano sui

Confronto tra i dati di temperatura (temp), salinità (sal) e ossigeno disciolto (OD)

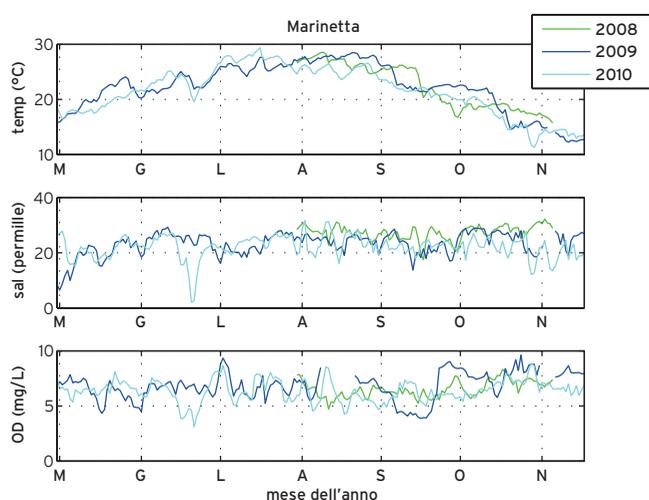


Figura 6: confronto tra i dati misurati nel sito di Marinetta nel corso delle campagne di monitoraggio 2008-2010.

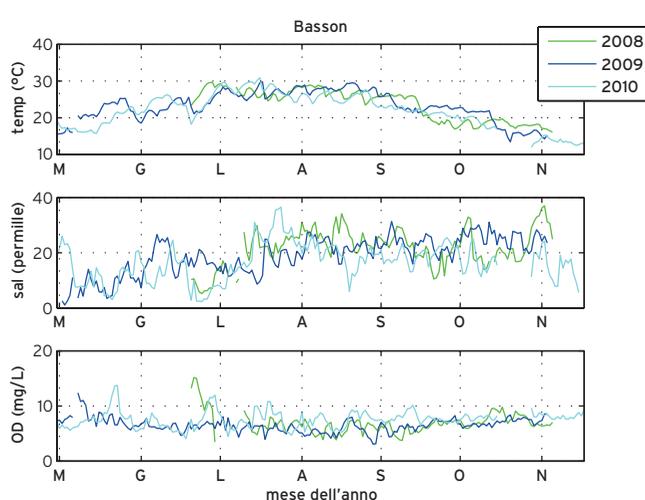
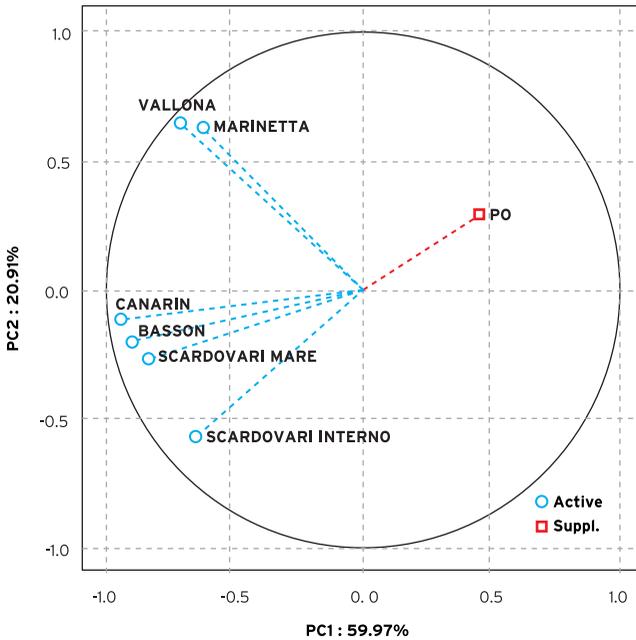


Figura 7: confronto tra i dati misurati nel sito di Basson nel corso delle campagne di monitoraggio 2008-2010.

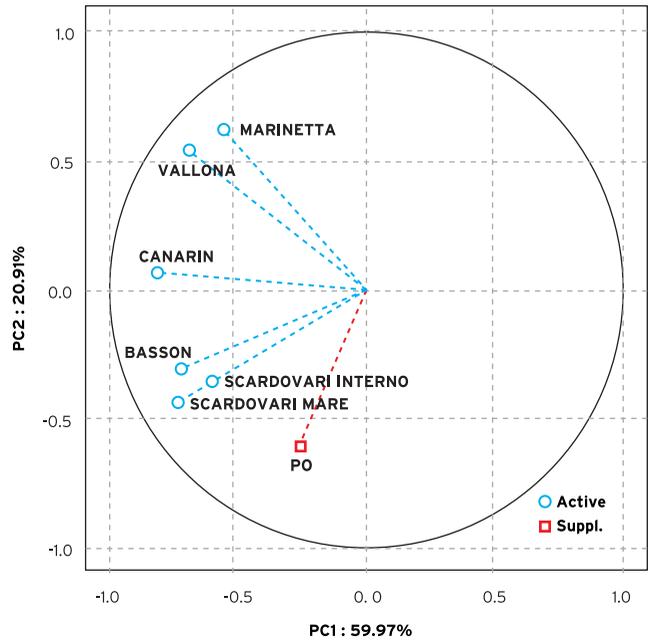
Salinità

Proiezione delle variabili nel piano dei fattori (PC1xPC2)



Ossigeno disciolto

Proiezione delle variabili nel piano dei fattori (PC1xPC2)



27-30 permille. Anche in questo caso, il 2010 sembra un'eccezione rispetto agli anni precedenti: i valori di salinità sono tendenzialmente più bassi. Come in Canarin e Vallona, i dati di salinità indicano acque marcatamente più salate nel 2007, con valori comparabili nel luglio 2005 e 2006 e, per un breve periodo, anche nel luglio 2010.

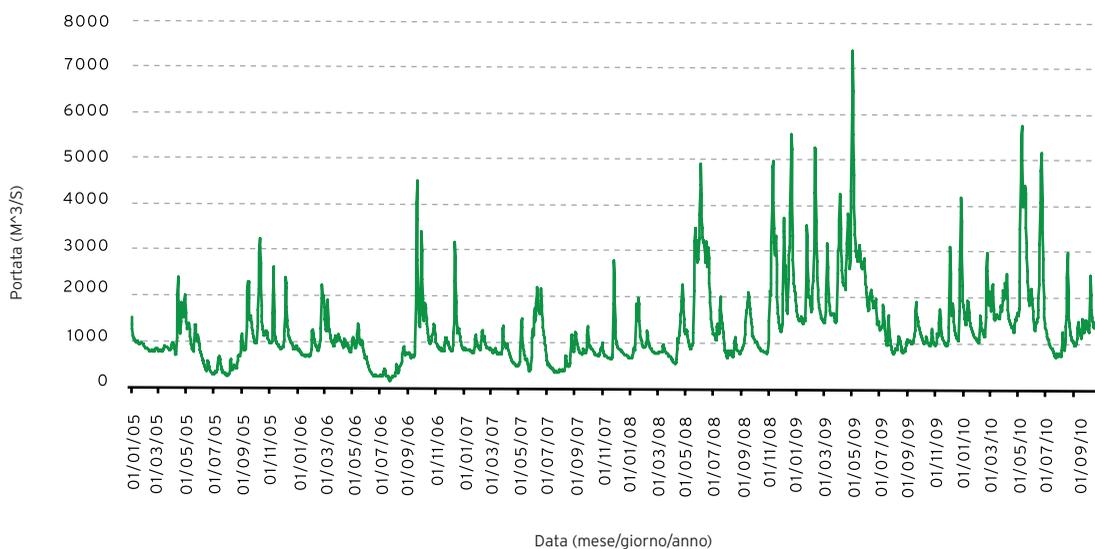
I dati di salinità indicano pure acque leggermente più salate nel luglio-agosto 2009 rispetto allo stesso periodo del 2008. I valori di salinità bassi misurati all'inizio della campagna 2009 avvalorano l'ipotesi di un inverno 2008-09 particolarmente piovoso. Come per la porzione più interna della Sacca, i dati di ossigeno disciolto mostrano una certa stagionalità. In particolare, è da notare il progressivo depauperamento dell'ossigeno misurato nel 2009, culminante a fine agosto, quando si raggiungono valori minimi inferiori di quasi 5 mg/l a

quelli osservati, nello stesso periodo, negli altri anni.

La Figura 6 confronta i dati misurati nella laguna di Marinetta, disponibili per le sole campagne 2008-2010. L'evoluzione della temperatura è caratterizzata dalla tipica prevalenza del ciclo stagionale sulle altre fonti di variabilità. Come confermato anche dai dati del 2008, l'autunno è generalmente caratterizzato da eventi di rapida diminuzione della temperatura simili a quelli riscontrati nelle altre lagune. La salinità non mostra in genere variazioni marcate tra i tre anni di monitoraggio, attestandosi nel periodo luglio-ottobre su valori pari a 27-30 permille. I dati per il 2009 e il 2010 indicano che valori di salinità estremamente bassi possono essere misurati durante la primavera, in forma sia episodica (come nel 2010), sia di più lungo termine (come nel 2009). Questa laguna è infatti tra le più esposte all'i-

Figura 8: proiezione delle variabili (in questo caso le diverse stazioni di monitoraggio) nel piano definito dalla prima e dalla seconda componente principale (PC1 e PC2) estratte dai dati di Salinità e Ossigeno disciolto. La posizione (x,y) di ciascuna variabile nel piano dei fattori è una misura della sua correlazione con PC1 (coordinata x) e PC2 (coordinata y). Il punto "PO" indica la posizione della variabile "portata media giornaliera del Po a Pontelagoscuro" nel piano dei fattori.

Figura 9: portate medie giornaliere del fiume Po a Pontelagoscuro per il periodo gennaio 2005 - ottobre 2010.



nondazione da parte delle acque del fiume Po, soprattutto dal Po di Levante, che è il collettore del bacino del Fissero, Tartaro e Canalbianco. I dati di ossigeno disciolto mostrano una certa stazionarietà nell'arco dell'anno, con valori generalmente nell'intorno di 6-7 mg/l.

La Figura 7 confronta i dati misurati nella laguna di Basson, disponibili, come per la stazione in Marinetta, per le sole campagne 2008-2010. L'evoluzione della temperatura presenta i tratti tipici riscontrati nelle altre lagune. In particolare, le temperature si stabilizzano sopra i 25°C in luglio ed agosto, senza mai eccedere (salvo un episodio nel 2010) la soglia dei 30°C. L'autunno è caratterizzato, specialmente nel 2008 e nel 2009, dai tipici eventi di rapida diminuzione della temperatura riscontrati nelle altre lagune. Il numero limitato di campagne di monitoraggio disponibili non consente una valutazione chiara della variabilità interannuale della salinità. Sul lungo termine, si nota una sostanziale stazionarietà tra agosto e ottobre, a cui si sovrappongono diverse anomalie positive e negative. Il periodo prima-

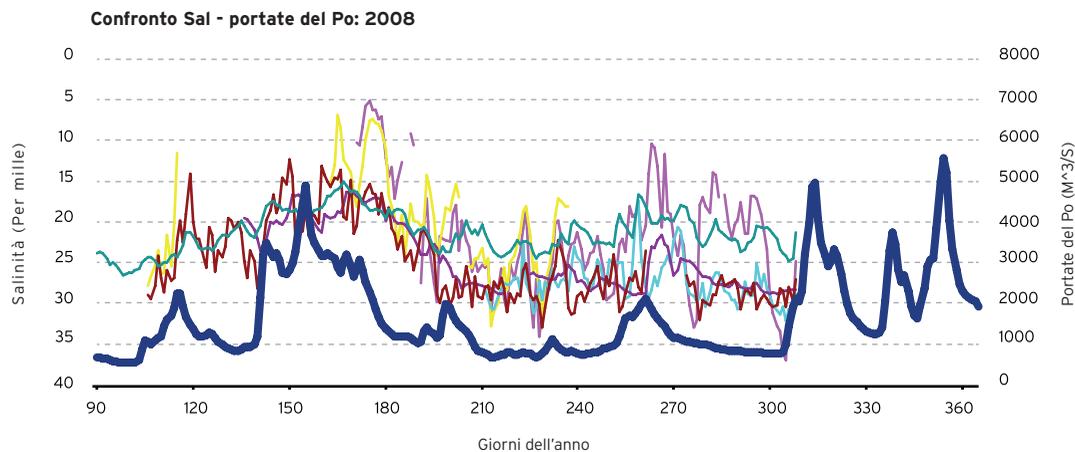
verile e l'inizio dell'estate, per cui sono disponibili dati per i soli 2009 e 2010, sono caratterizzati da una crescita tendenziale della salinità, cui si sovrappongono comunque ampie fluttuazioni con frequenze circa settimanali e bisettimanali. I valori di salinità estremamente bassi misurati in giugno confermano l'ipotesi di una profonda influenza del carattere particolarmente piovoso delle primavere 2009 e 2010 sulle dinamiche lagunari. Questa sacca è infatti tra le più esposte all'inondazione da parte delle acque del Po, essendo confinante con il ramo di Pila. I dati di ossigeno disciolto mostrano una marcata stazionarietà nell'arco dell'anno, con valori generalmente nell'intorno di 5-10 mg/l.

Nel suo insieme, per l'area del Delta del Po esistono dunque molteplici dati di temperatura, salinità e ossigeno disciolto disponibili "simultaneamente" per le diverse lagune. Tecniche statistiche di analisi multivariata consentono di analizzare, appunto simultaneamente, questi molteplici caratteri, tra loro spesso interrelati o interagenti, spesso con lo scopo di ridurre le dimensioni della va-

riabile multipla considerata in modo da riuscire a semplificare l'interpretazione del sistema nel suo complesso. L'analisi delle componenti principali (o PCA), in particolare, è una tecnica statistica volta alla semplificazione di un insieme di dati multivariati. Essa consente di estrarre dall'insieme originale di dati un insieme di nuove variabili "latenti" (dette componenti principali) attraverso una trasformazione lineare. Il pregio della tecnica consiste nel fatto che le variabili latenti sono tra loro ortogonali, ovvero descrivono porzioni di variabilità linearmente indipendenti, e sono ordinate in ordine decrescente di varianza spiegata.

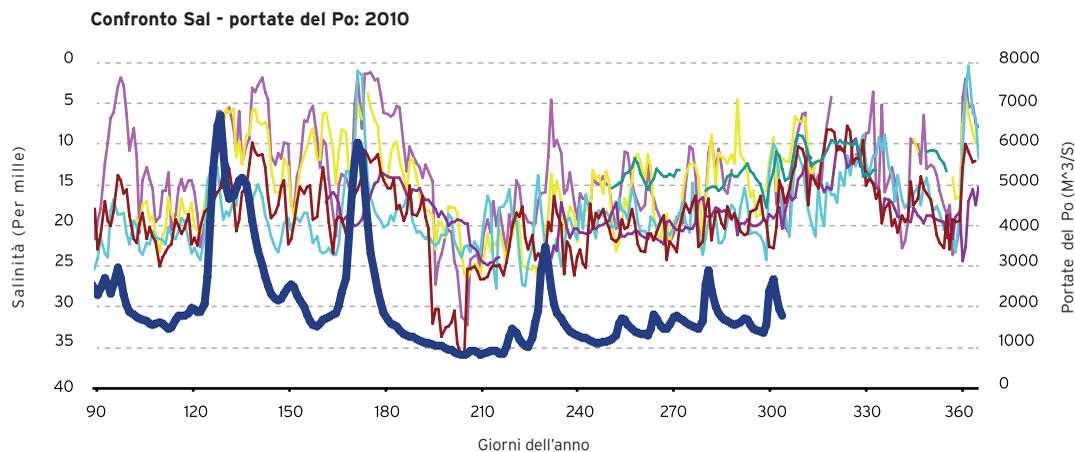
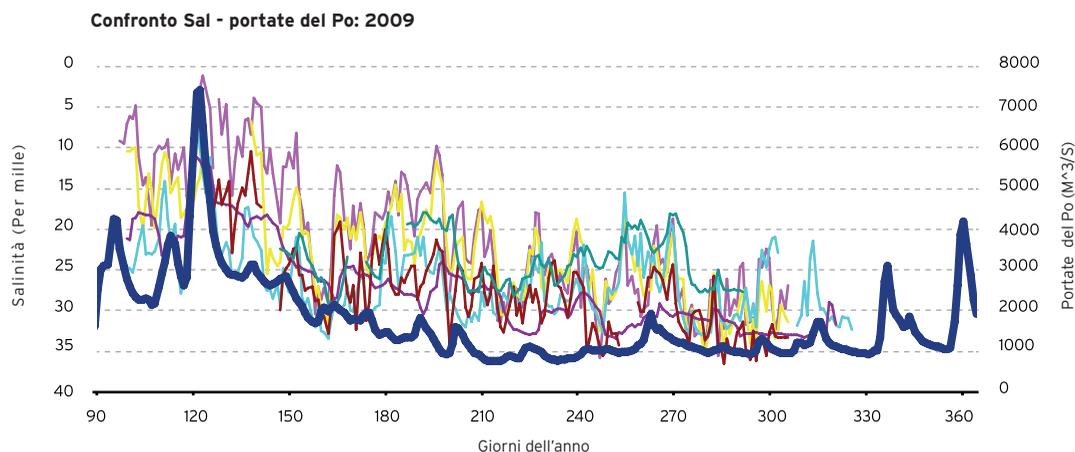
Focalizzando l'analisi sulla prima (o sulle prime) variabili estratte è possibile dunque ridurre la complessità del fenomeno descritto dai dati di partenza, trascurando contributi minori alla variabilità totale (ovvero le componenti principali estratte di grado superiore). In questo contributo, si presenta un'analisi PCA condotta, separatamente per ciascun parametro, sui dati medi giornalieri di temperatura, salinità e ossigeno disciolto relativi alla campagna

Figura 10: confronto tra andamento delle portate del Po a Pontelagoscuro e salinità misurata nelle lagune del Delta del Po nel periodo di monitoraggio del 2008, nel 2009 e nel 2010. La scala della salinità è invertita (asse delle ordinate a sinistra).



LEGENDA:

- BASSON
- CANARIN
- MARINETTA
- SCARDO INT
- SCARDO MARE
- VALLONA
- PO



di monitoraggio 2009. Durante questa sola campagna sono infatti stati raccolti dati in tutte le lagune per un periodo sufficientemente lungo (nei diversi parametri sempre superiore ai tre mesi) da rendere l'analisi robusta. In ogni caso, si discuteranno, ove necessario, anche i risultati dell'analisi PCA condotta sui dati 2010.

Per la temperatura sono stati considerati nell'analisi i dati misurati durante i 141 giorni in cui essi sono disponibili per tutte le lagune. I dati sono caratterizzati da una fortissima correlazione, a conferma di una netta predominanza del ciclo stagionale e di differenze molto contenute, in termini di variazioni relative, nell'evoluzione della temperatura nelle diverse lagune. Questi elevati valori di correlazione si traducono nel computo di una prima componente principale (PC1) largamente dominante la variabilità totale, di cui essa spiega il 98.2%. PC1 descrive la tendenza, comune in tutte le lagune, ad avere temperature al di sopra o al di sotto della media (per questo essa si identifica, in buona parte con il ciclo stagionale di temperatura). La seconda componente principale estratta (PC2) spiega lo 0.81% della variabilità totale. Essa evidenzia l'esistenza di due comportamenti opposti, l'uno espresso da Vallona e Scardovari Interno, l'altro dalle restanti lagune. Date le caratteristiche dei gruppi di stazioni così ottenuti, è ipotizzabile che questa componente colga la distinzione tra stazioni vicine e stazioni lontane dal mare.

Per la salinità sono stati considerati nell'analisi i dati misurati durante i 131 giorni in cui essi sono disponibili per tutte le lagune. In questo caso, le correlazioni tra i dati delle diverse stazioni sono anche prossime allo zero, come nel caso della correlazione tra la salinità in Scar-

dovari Interno e Marinetta. Ciò implica maggiore variabilità in questo parametro nei valori espressi simultaneamente nelle diverse lagune. Ciò si traduce in una prima componente principale (PC1) in grado di spiegare circa il 60% della variabilità totale della salinità nelle lagune del Delta ed associata alla tendenza, comune a tutte le lagune, ad avere valori di salinità più bassi nel periodo primaverile e più elevati nel periodo estivo (Figura 8).

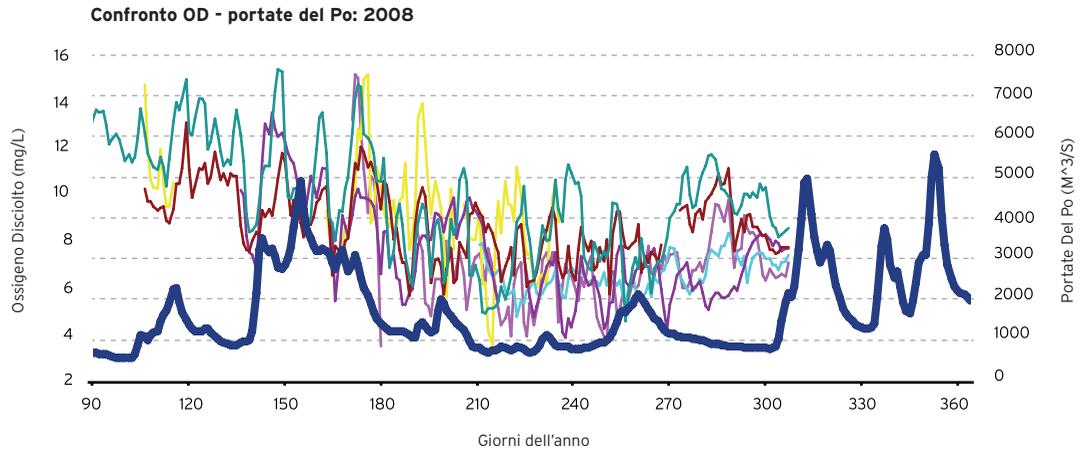
Tale variabilità si identifica, come la temperatura, con il ciclo stagionale, portato nell'area fondamentale dal ciclo stagionale degli apporti fluviali e della differenza tra precipitazione ed evaporazione. Questa ipotesi è avvalorata dalla posizione delle portate medie giornaliere del Po1 nel piano dei fattori, in buona correlazione con PC1 e anticorrelazione con i dati di salinità. La seconda componente principale estratta (PC2) spiega circa il 21% della varianza totale, descrivendo dunque, al contrario di quanto osservato per la temperatura, una parte importante di variabilità del sistema.

Essa evidenzia l'esistenza di due comportamenti distinti, l'uno espresso da Vallona e Marinetta, l'altro dalle restanti lagune, con Scardovari Interno particolarmente "isolata" rispetto alle altre stazioni e in evidente anticorrelazione rispetto a Vallona e Marinetta (Figura 8). Date le caratteristiche dei gruppi di stazioni così ottenuti, è ipotizzabile che questa componente colga la comune dipendenza di Vallona e Marinetta dal regime del Po di Levante. È ipotizzabile che PC2 descriva anche la risposta delle lagune alla direzione predominante del vento durante gli episodi di elevata portata fluviale.

Per l'ossigeno disciolto sono stati

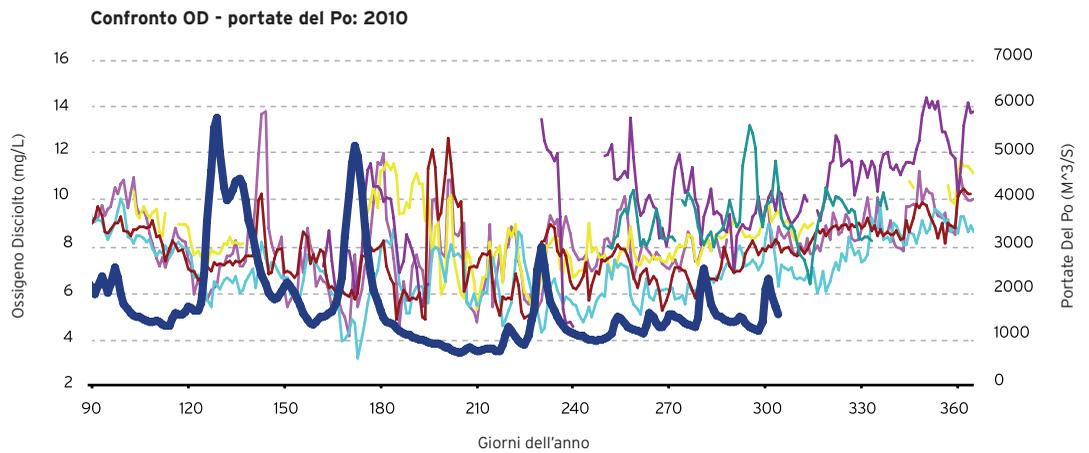
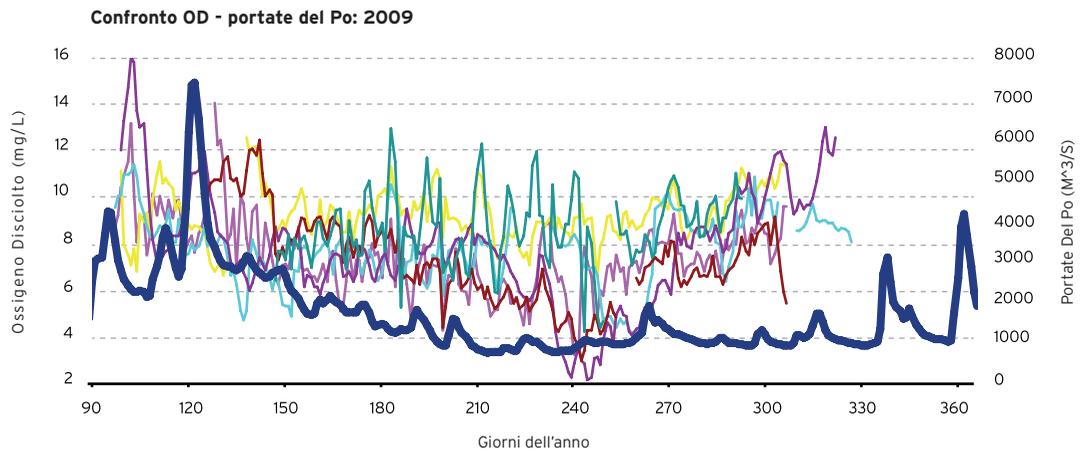
¹ I dati di portata media giornaliera del Po sono forniti da ARPA-Emilia Romagna, Servizio Idro-meteorologico. I dati si riferiscono alla sezione di Pontelagoscuro (FE), che è situata circa 90 chilometri a monte del delta del fiume ed è l'ultimo sito di misura non affetto dalla marea (per una descrizione introduttiva ai dati di portata del Po a Pontelagoscuro vedasi, ad esempio, Zanchettin *et al.* 2008).

Figura 11: confronto tra andamento delle portate del Po a Pontelagoscuro e ossigeno disciolto misurato nelle lagune del Delta del Po nel periodo di monitoraggio del 2008 (pannello superiore), nel 2009 (pannello in mezzo) e nel 2010 (pannello inferiore).



LEGENDA:

- BASSON
- CANARIN
- MARINETTA
- SCARDO INT
- SCARDO MARE
- VALLONA
- PO**



considerati nell'analisi i dati misurati durante i 126 giorni in cui essi sono disponibili per tutte le lagune. Come per la salinità, i dati afferenti alle diverse stazioni di monitoraggio sono caratterizzati da correlazioni a volte anche molto basse. È questo il caso, per esempio, della correlazione tra l'ossigeno disciolto in Marinetta e Basson. Ciò implica una notevole variabilità di questo parametro nei valori espressi simultaneamente nelle diverse lagune.

È altresì interessante notare come la correlazione tra le due stazioni nella Sacca degli Scardovari indichi che gli andamenti di ossigeno disciolto nelle porzioni più esterna e più interna condividano, linearmente, solo circa il 25% della variabilità. Questi valori di correlazione si traducono in una prima componente principale (PC1) in grado di spiegare circa il 45% della variabilità totale dell'ossigeno disciolto nelle lagune (vedi Figura 8) ed associata alla tendenza, comune a tutte le lagune, a mostrare livelli di ossigeno disciolto più bassi nel periodo estivo.

La seconda componente principale estratta (PC2) spiega circa il 20% della varianza totale, descrivendo dunque, come per la salinità, una parte importante di variabilità del sistema. Essa evidenzia l'esistenza di due comportamenti praticamente opposti, l'uno espresso da Basson e Scardovari, l'altro da Marinetta e Vallona (Figura 8). Date le caratteristiche dei gruppi di stazioni così ottenuti, è ipotizzabile che, come per la salinità, questa componente colga la forte dipendenza di Vallona e Marinetta dal regime del Po di Levante. La posizione delle portate medie giornaliere del Po nel piano dei fattori indica che esse giocano un ruolo potenzialmente importante nella variabilità descritta da PC2, ma non in

quella descritta da PC1.

L'analisi multivariata ha messo in evidenza diverse possibili importanti implicazioni che gli afflussi di acque dolci provenienti dal fiume Po comportano per la variabilità chimico-fisica nelle lagune del Delta. I dati di portata del Po misurati nell'arco del periodo 2005-2010 sono illustrati in Figura 9. Anche ad una prima analisi visiva risulta evidente la tendenza verso valori di portata progressivamente più elevati, con valori massimi nel 2009 sia per quanto attiene i minimi stagionali, sia agli eventi di piena.

Il minimo assoluto registrato nel periodo 2005-2010 è pari a 168 m³/s, misurati il 22 luglio 2006; il massimo assoluto è pari a 7403 m³/s, misurati il 2 maggio 2009. È interessante notare altresì che l'inverno/primavera 2008/09 sono stati caratterizzati da diversi, importanti eventi di piena del Po con picchi superiori a 4000 m³/s. Al contrario, la primavera 2005 è stata caratterizzata da portate praticamente sempre inferiori a 2000 m³/s, a sottolineare precipitazioni sul bacino sotto la media del periodo.

Le figure 10 e 11 propongono, a titolo di esempio, un paragone tra gli andamenti delle portate del Po negli anni 2008, 2009 e 2010 e gli andamenti di salinità e ossigeno disciolto misurati negli stessi anni nelle diverse lagune monitorate. Le serie storiche di salinità si sovrappongono, una volta invertita la scala, agli andamenti delle portate del Po (Figura 10), ad indicare che periodi di elevata portata coincidono generalmente con una diminuzione della salinità nelle acque lagunari. Ciò è particolarmente evidente nel caso delle piene tardo-primaverili (aprile-maggio), soprattutto nel 2009, quando la piena eccezionale del Po (oltre i 7000 m³/s) ha coinciso con

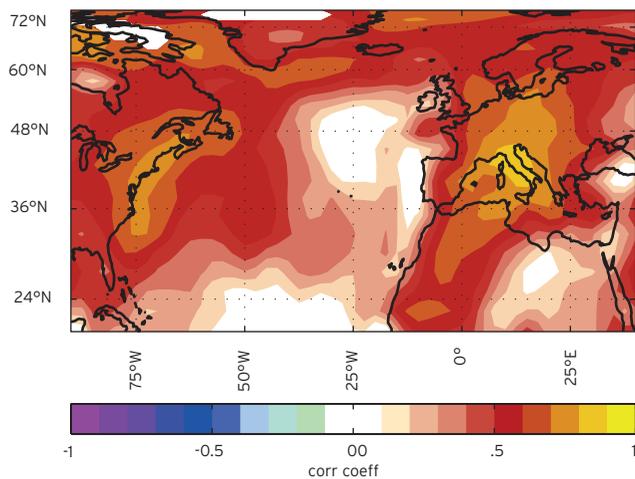
valori di salinità in Basson inferiori al 5 permille.

L'ossigeno disciolto non mostra in genere un chiaro legame con le portate del Po, salvo una sovrapposizione degli andamenti tendenziali nel periodo estivo (giugno-agosto) (Figura 11). Il contenuto di ossigeno disciolto è infatti fortemente condizionato dalla competizione tra attività biologica locale, legata fortemente alla temperatura, e ventilazione, legata alla circolazione delle acque, a sua volta determinata dagli effetti combinati di marea e vento. Va notato che nel caso di eventi di piena importante, come quello nella primavera del 2009, le acque di origine fluviale sono in genere poco ossigenate a causa della notevole turbolenza, che le rende torbide, caricandole di sedimento e sfavorendo i processi fotosintetici.

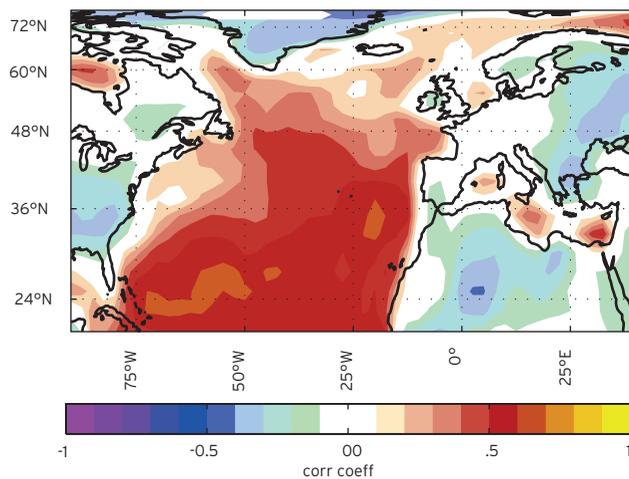
La loro propagazione nelle lagune, che pur può contribuire alla ricircolazione delle acque soprattutto negli strati più superficiali, può essere associata a livelli di ossigeno relativamente bassi (come osservato nella primavera 2009 in Marinetta e Canarin). I risultati dell'analisi di lag-correlazione tra portate del Po e salinità e ossigeno disciolto nelle varie lagune del Delta limitatamente al periodo aprile-maggio 2009 (non riportata qui), caratterizzato dall'evento di piena del fiume Po più importante del periodo di studio, consentono di fare luce sulle dinamiche di propagazione delle anomalie aline e di ossigeno disciolto nelle diverse lagune.

Per quanto attiene l'ossigeno disciolto, in alcuni casi (Scardovari e, specialmente, Basson) si osserva una tendenza a correlazioni positive quando si impone un ritardo di qualche giorno ai dati di portata, il che suggerisce che in dette

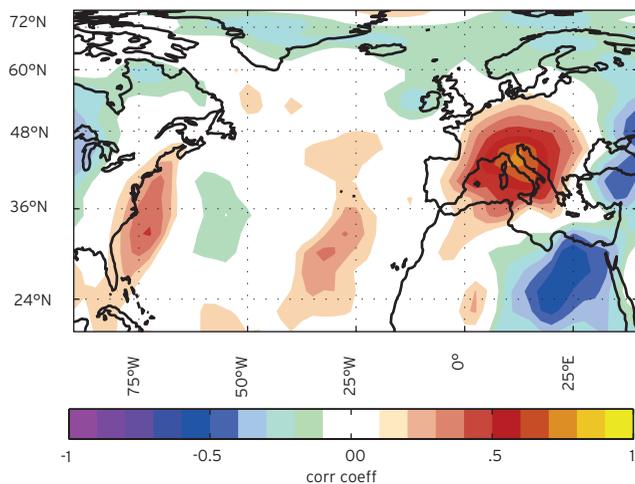
Correlazione tra Temp PC1 e temperatura dell'aria



Correlazione tra Temp PC2 e temperatura dell'aria



Correlazione tra Temp PC2 e temperatura dell'aria (dati detrendizzati)



Correlazione tra Temp PC2 e temperatura dell'aria (dati detrendizzati)

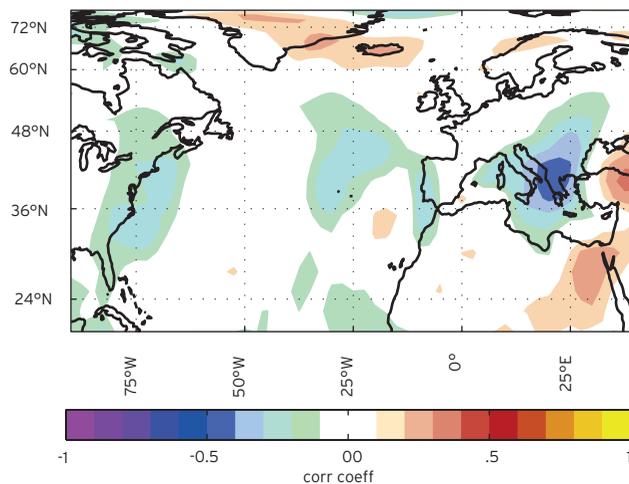
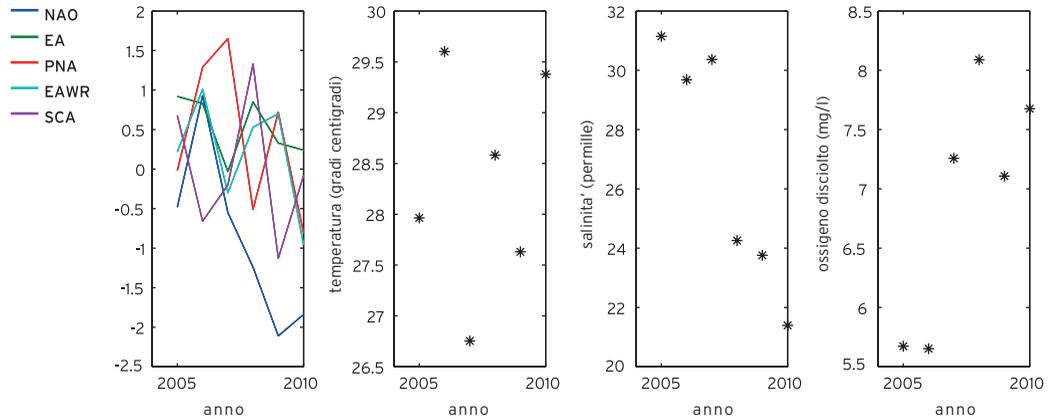


Figura 12: correlazione tra prima e seconda componente principale (PC1 e PC2) estratte dai dati giornalieri di Temp per il 2009 e temperatura dell'aria al suolo (pannelli in alto) per il settore Euro-Atlantico.

Pannelli inferiori: come pannelli superiori, ma per dati detrendizzati, ovvero a cui è stata rimossa la componente di variazione di lungo termine determinata, nello specifico, dal polinomio di secondo grado di best fit.

Figura 13: confronto tra dati medi mensili di temperatura dell'acqua, salinità e ossigeno disciolto per il mese di luglio misurati nella stazione di Scardovari Interno presso la superficie, e dati medi mensili per il mese di luglio per una selezione di indici di circolazione atmosferica di larga scala (pannello di sinistra).



lagune l'ingresso di acque dolci possa contribuire, nel medio termine, a dinamizzare la circolazione.

Va comunque notato anche il caso di Canarin, dove la piena del Po sembra essere associata piuttosto ad una riduzione ritardata del tenore di ossigeno disciolto.

Ciò conferma la complessità delle possibili interazioni tra portate del Po e le singole lagune, determinata non solo dall'influenza delle acque fluviali sull'idrodinamica locale, ma anche da altri importanti parametri di qualità quali, ad esempio, la torbidità. Per quanto attiene la salinità, nonostante le correlazioni risultino significative nel solo caso di Marinetta, si può affermare che la piena del Po in esame ha contribuito ad una generale riduzione della salinità nelle diverse lagune.

L'analisi di lag indica che le variazioni nei segnali di portata e salinità sono in linea di massima contemporanee, con un leggero anticipo del segnale di portata (un paio di giorni) nel caso delle lagune di Basson e Canarin. Fattori locali, quali l'afflusso di acque dolci di origine fluviale associato ai diversi regimi ventosi, sono dunque estremamente importanti

per la variabilità e l'eterogeneità delle variabili considerate nell'area deltizia. Bisogna notare che la meteorologia locale (temperatura, precipitazioni, venti, eccetera) è intrinsecamente legata alle dinamiche meteorologiche di più larga scala (vedi, ad esempio: Zanchettin *et al.*, 2009).

È interessante, a titolo di esempio, confrontare i dati di temperatura dell'acqua misurati nelle lagune del Delta del Po nell'arco dell'anno 2009 con i dati dell'aria al suolo disponibili su griglia per il settore Euro-Atlantico. I dati climatici sono i dati medi giornalieri di rianalisi 'NCEP/NCAR reanalysis 1' (Kalnay *et al.*, 1996) per il periodo dal 01/01/2009 al 31/12/2009. I dati sono forniti da NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, e sono accessibili presso il sito: www.esrl.noaa.gov/psd.

Al fine di facilitare la descrizione delle relazioni fra le due variabili, si è preferito utilizzare le componenti principali estratte dai dati di temperatura dell'acqua nelle lagune del Delta del Po (PC1 e PC2), piuttosto che i dati originali. Questo consente, infatti, di limitare la descrizione a due sole variabili, in grado di descrivere la maggior parte della variabilità totale espressa dai dati originali. In

questo caso, per facilitare ulteriormente la lettura delle strutture spaziali di correlazione, PC1, che era inversamente correlata con i dati originali (Figura 8), è stata invertita prima dell'analisi di correlazione. L'analisi è effettuata considerando tutti i giorni per cui PC1 e PC2 sono state calcolate.

Le strutture spaziali (pattern) di correlazione della temperatura in Figura 12 (pannelli superiori) indicano che PC1 è ben correlata, come peraltro intuibile, con la temperatura nell'area Mediterranea (specialmente il bacino occidentale) e dell'Europa centrale. PC1 è anche ben correlata con la temperatura osservata lungo la costa orientale nordamericana, fino alla porzione più interna del Mare del Labrador. Il pattern di correlazione si estende lungo le coste della Groenlandia, ma correlazioni prossime allo zero sono riscontrate sopra l'Atlantico tropicale e nord-orientale, che risulta invece fortemente correlato con PC2.

Questa distinzione di comportamento pare particolarmente interessante, dato che sottolinea come l'evoluzione (anche stagionale) del clima euro-mediterraneo dipenda fortemente dalla generazione delle perturbazione atlantiche, che avviene, per l'appunto, preferibilmente

Anomalie di temperatura dell'aria periodo 2005-2010, DGF

Anomalie di temperatura dell'aria periodo 2005-2010, GLA

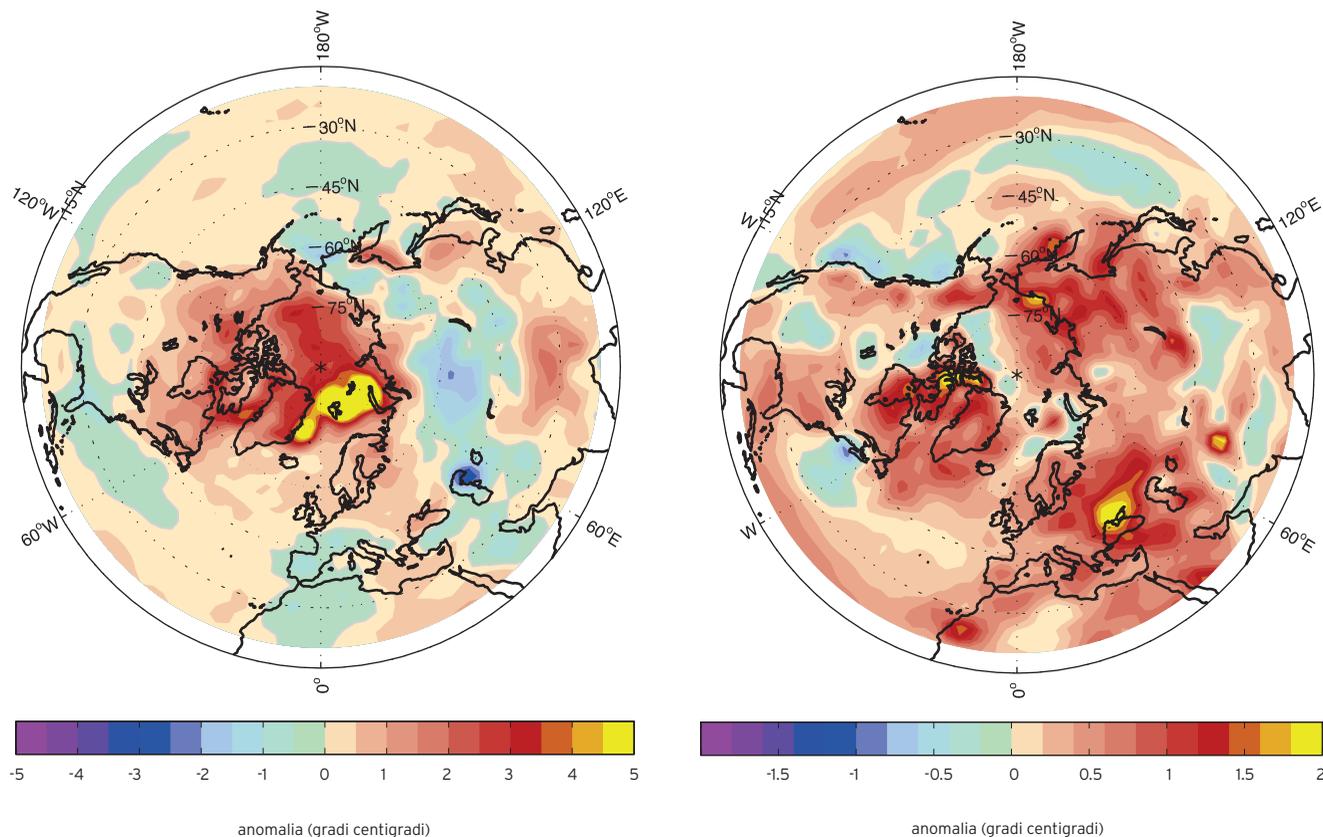


Figura 14: anomalie di temperatura dell'aria per il periodo invernale (dicembre-febbraio, pannello di sinistra) ed estivo (giugno-agosto, pannello di destra) durante il periodo 2005-2010 rispetto alla climatologia degli ultimi 60 anni circa.

lungo la costa orientale nordamericana. Un'analisi di correlazione simile effettuata considerando PC1 e dati su griglia di pressione al livello del mare individua una struttura dipolare sopra il Nord Atlantico, costituita da un centro di correlazione negativa sopra la Scozia, e una cintura di correlazioni positive sopra il Nord Atlantico subtropicale. Il dipolo così individuato ricorda la fase positiva di una teleconnessione (ovvero un modo di variabilità di larga scala dell'atmosfera) ben nota in climatologia con il nome di East-Atlantic pattern (o EA).

È evidente che queste correlazioni dipendono fortemente dalla stagionalità prominente sia in PC1, sia nei dati su

griglia. Si è deciso dunque di effettuare un ulteriore studio su dati detrendizzati, ovvero a cui è stata rimossa la componente di variabilità di lungo termine (in questo caso coincidente con la stagionalità), in modo da caratterizzare le relazioni tra dinamiche locali e di larga scala di frequenza maggiore, particolarmente dalla scala plurigiornaliera a quella settimanale/plurisettimanale.

In questo caso (vedi pannelli inferiori in Figura 12), il legame tra PC1 e temperatura dell'aria diventa molto più locale, con un centro di forte correlazione positiva sopra l'Italia, a cui si associa, a sud-est una cintura di correlazioni negative. Questa struttura corrisponde ad una

anomalia positiva di pressioni al livello del mare sopra lo Ionio, che contribuisce ad una circolazione di tipo anticiclonico che trasporta aria calda di origine africana verso il Nord Italia e aria continentale, più fredda, dai Balcani verso l'Egitto. Nel tentativo di raccogliere ulteriori indizi a supporto dell'ipotesi di un forte legame tra dinamiche atmosferiche di larga scala e variazioni nelle caratteristiche delle acque nelle lagune del Delta, è stato effettuato un confronto delle evoluzioni interannuali dei valori medi mensili per il mese di luglio per temperatura, salinità e ossigeno disciolto nella laguna di Scardovari Interno (presso la superficie) con una selezione di indici atmosferici di larga scala.

Questi sono: i già citati indici NAO ed EA, l'indice Pacific-North American (PNA), l'indice East-Atlantic/Western Russian (EAWR) e l'indice Scandinavian (SCA). I valori mensili di questi indici sono resi disponibili dalla NOAA-Climate Prediction Center presso il sito: www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml. La scelta di limitare l'analisi al solo mese di luglio e alla sola stazione di Scardovari Interno è legata al fatto che per questo mese e per questa stazione sono disponibili dati medi giornalieri in numero sufficiente da garantire un valore medio mensile credibile. Dato il numero esiguo di dati disponibili, ci si limita ad una ispezione visiva e ad una discussione qualitativa degli andamenti.

Il confronto è illustrato in Figura 13, dove si può notare una somiglianza dell'andamento della temperatura con quello degli indici EA, WP (correlazione inversa) e PNA (correlazione inversa) e dell'andamento della salinità e, similmente, dell'ossigeno disciolto, comunque caratterizzati da una marcata

tendenza alla diminuzione, con quella di NAO, WP e PNA. Le dipendenze, più o meno marcate a seconda del parametro analizzato, delle dinamiche locali con quelle di larga scala suggeriscono che la comprensione di queste ultime e la loro contestualizzazione con gli andamenti di un periodo temporale più lungo siano propedeutiche per la comprensione del carattere di tipicità, piuttosto che di eccezionalità, di quanto osservato nei dati delle lagune del Delta per i pochi anni finora a disposizione.

La Figura 14 illustra le anomalie di temperatura dell'aria media invernale ed estiva per gli anni 2005-2010 rispetto al loro valore climatologico per gli ultimi 60 anni circa (dati NCAR Reanalysis). Nel contesto europeo, in inverno è evidente la presenza di temperature notevolmente superiori alla media nella regione Scandinava e nell'Europa più continentale, associata a temperature inferiori alla media sulla penisola Iberica e sull'Africa nord-occidentale.

Temperature sopra la media sono osservate anche sopra lo Ionio e più in generale sopra il bacino del Mediterraneo orientale. In estate si osservano temperature quasi ovunque superiori alla media, con anomalie prossime a un grado centigrado nelle zone dello Ionio e del Basso Adriatico. Uno sguardo a scala emisferica ai dati stagionali di temperatura dimostra che le anomalie di temperatura osservate nel settore Europeo fanno parte di una tendenza più globale. In questo senso, le campagne di monitoraggio condotte nelle lagune del Delta del Po tra il 2005 e il 2010 consentono dunque di disporre, oggi, di dati ambientali che si riferiscono ad un periodo particolarmente importante per le condizioni climatiche sia regionali, sia globali.

Conclusioni

Dal 2005 sono state condotte campagne annuali di monitoraggio della qualità dell'acqua nell'area del Delta del Po. Esse hanno riguardato un numero via via crescente di lagune, fino allo stato attuale del sistema di monitoraggio costituito da sei siti di misura in Scardovari (due siti di misura), Canarin, Basson, Marinetta e Vallona.

I dati di temperatura, salinità e ossigeno disciolto attualmente disponibili costituiscono un'importante fonte di informazioni per la comprensione delle dinamiche chimico-fisiche e biologiche nelle varie lagune, e per una loro efficiente gestione.

Questo studio ha dimostrato che molto si può leggere nei dati disponibili circa le caratteristiche del sistema "Delta del Po". In particolare ha evidenziato l'esistenza di una marcata eterogeneità tra le varie lagune, ma anche all'interno di ciascuna di esse, e ha identificato componenti importanti di variabilità interannuale, locale ma anche legata a dinamiche di grande scala.

È dunque essenziale proseguire nell'opera di monitoraggio ed estendere nello spazio e nel tempo le serie di dati osservati. Il perfezionamento di modelli numerici per lo studio dell'idrodinamica di aree lagunari, permettendo di acquisire una conoscenza via via più profonda delle dinamiche e della variabilità locale, contribuirebbe, nel contempo, a migliorare la qualità del sistema di monitoraggio, ad esempio ottimizzando la scelta della posizione dei siti di misura e rendendo anche possibile l'approccio ad una fase di analisi propedeutica allo sviluppo di capacità predittive dei fenomeni estremi nelle lagune del Delta del Po.

Bibliografia

- Kalnay *et al.*, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470
- Zanchettin, D., Traverso, P., Tomasino, M., 2008. Po River discharge: an initial analysis of a 200-year time series. *Clim. Ch.*, doi:10.1007/s10584-008-9395-z, Vol 89(3-4), 411-433
- Zanchettin, D., A. Rubino, P. Traverso, and M. Tomasino, 2009. Teleconnections force interannual-to-decadal tidal variability in the Lagoon of Venice (northern Adriatic), *J. Geophys. Res.*, 114, D07106, doi:10.1029/2008JD011485

_STUDI E RICERCHE MOLLUSCHICOLTURA NELLE LAGUNE DEL DELTA DEL PO VENETO: ASPETTI SOCIO-ECONOMICI

FRANCESCO DONATI

Libero docente di Economia e Politica Agraria

ELENA FABBRO

Università di Udine

La ricerca indaga sui costi e i benefici delle attività di vivificazione lagunare a fini multipli condotte dal Consorzio di Bonifica Delta Po. Viene stimato il beneficio dell'attività di vivificazione lagunare e si procede al calcolo del *massimo sforzo finanziario* che i produttori potrebbero sostenere a parziale copertura di tali costi. Si indaga inoltre sulla possibilità di ampliamento della base produttiva a *Tapes* in Sacca degli Scardovari. Tale ampliamento avrebbe come obiettivi il raggiungimento di un livello di *reddito sostenibile* per gli addetti e l'aumento del valore aggiunto locale nell'area del Delta del Po. Una maggiore superficie produttiva a *Tapes*, pari a 240 ha, consentirebbe di raggiungere, secondo nostre stime, entrambi gli obiettivi. A conclusione del lavoro si effettua un'analisi della filiera delle *Tapes* nel Polesine e della multifunzionalità operativa dei pescatori del comparto.

Introduzione

La costa italiana dell'Adriatico, per gran parte della sua estensione è caratterizzata da fondali di origine alluvionale, poco profondi e prevalentemente sabbiosi o sabbioso-fangosi. Le lagune del Nord Adriatico, tra cui tipica è quella di Venezia, hanno avuto origine a partire da 6.000 anni fa quando, nel periodo post glaciale wurmiano, il mare invase la pianura alto adriatica originando l'attuale conformazione costiera. In questo modo, come tutte le lagune costiere, anche quelle dell'Adriatico settentrionale, sono divenute ambienti acquatici caratterizzati da una salinità variabile e dall'essere separati dal mare aperto da banchi sabbiosi o da lingue di terra. Più in particolare, le lagune deltizie, le baie formate dai grandi estuari e le paludi costiere possono essere considerate zone di transizione tra l'habitat di acqua dolce e quello marino¹.

Per tali caratteristiche presentano un'elevata variabilità, sia nel tempo sia nello spazio, dei principali caratteri chimico-fisici ed idrologici: temperatura, salinità e concentrazione dell'ossigeno.

L'alto carico di nutrienti che ricevono, soprattutto con gli apporti di acqua dolce dei fiumi, insieme alle particolari modalità di sedimentazione, accumulo e decomposizione del detrito organico sul fondo, favorisce il verificarsi di crisi distrofiche che, nel periodo estivo, rappresentano una delle principali fonti di disturbo dell'habitat. Nell'ultimo triennio, il Consorzio di Bonifica Delta Po ha effettuato negli ambiti lagunari opere idrauliche a fini di vivificazione, con investimenti nell'intorno di 2-3 milioni di euro l'anno. Tali lavori hanno permesso una discreta *conservazione*, favorendo altresì la produttività delle *Tapes*, pur in assenza di specifici ampliamenti della base produttiva.

Obiettivi della ricerca

Le lagune, le valli e le zone umide in genere, oltre a essere ambienti acquicoli produttivi caratterizzati da un'elevata diversità biologica, sono altamente instabili per cui, qualora non sia assicurata una costante gestione da parte dell'uomo, sono destinate a ritornare in tempi rapidi alle condizioni iniziali. Da sempre sono state sede di attività diverse (pesca, caccia, agricoltura, artigianato minore), accomunate da una forte dipendenza dall'ambiente e da una reciproca compatibilità di funzioni.

Nel Delta del Po, dopo secoli di continui interventi, questi hanno raggiunto una condizione di sufficiente equilibrio, frutto di un rapporto "fisiologico" tra territorio, naturalità dei suoi elementi fisici, regimazione idrica e gestione a fini eco-



Figura 1: lo studio riguarda sia le attività del primario (allevamento e pesca) che le implicazioni nella filiera (lavorazione, distribuzione e vendita).

Zone di pesca delle <i>Tapes</i>	Specchio acqueo (ha)	Superficie produttiva (ha)	Resa effettiva 2006-08 (kg/m ²)	<i>Tapes</i> per sito lagunare (%)
Caleri e Marinetta	1.653,00	423,56	0,72	29%
Vallona	703,00	111,36	0,79	8%
Scardovari	3.000,00	320,00	1,52	32%
Barbamarco	800,00	50,00	3,53	17%
Canarin	850,00	50,00	2,99	14%
Basson	375,00	0,00	0,00	0%
Totale Lagune Delta Po Veneto	7.381,00	854,92	1,23	100%
Lagune Consorzio Pescatori Polesine	5.025,00	320,00	2,06	63%

Tabella 1: superfici e produzioni di *Tapes* nel Delta polesano.

nomici. Si è venuta instaurando, quindi, una stretta complementarietà tra attività produttive (pesca e caccia), funzioni ecologico-ambientali e difesa idraulica; queste ultime sono state sinora assicurate da periodici scavi di canali e interventi di salvaguardia e controllo dei siti emergenti o bonificati. Preso atto dell'alto valore produttivo e di esistenza di queste zone, già avvertito anche grazie alle azioni di vivificazione, è stata promossa una ricerca sugli aspetti socio-economici degli ecosistemi delle Zone umide nel Delta Polesano; essa si propone essenzialmente due obiettivi:

- valutare i costi e i benefici degli interventi effettuati od effettuabili a fini di conservazione e di valorizzazione produttiva;
- stimare, per linee generali, il Valore Economico Territoriale della molluschicoltura e della sua filiera in ambiti lagunari.

Valutazione dei costi e benefici

Le aree di riferimento per l'elaborazione del modello sono le lagune già sede di importanti interventi idraulici a cura del Consorzio di Bonifica Delta Po. Le analisi riguardano essenzialmente il comparto *Tapes*, per il quale ci si propone di fornire informazioni utili a fini di decisioni d'investimento produttivo, di conservazione e di sviluppo del territorio.

Valore Economico Territoriale

Oltre ai valori economici generati dalle attività del primario (produzione e pesca), l'indagine ha preso in esame anche gli altri segmenti, pervenendo alla stima del Valore aggiunto dell'intera filiera. I dati e le considerazioni che emergono potranno quindi rappresentare un importante punto di partenza per quanti possono essere chiamati a valutare gli effetti di modificazioni di vario genere in ambienti lagunare, attribuibili o meno a cause antropiche.

Venericoltura in ambito lagunare

I molluschi sono stati fra i primi organismi acquatici a conoscere un sistematico sfruttamento. La consapevolezza del loro valore alimentare ha indotto l'uomo ad approfondire i modi di raccolta, allevamento e utilizzazione. La molluschicoltura si occupa dell'allevamento dei molluschi eduli e comprende la venericoltura, la mitilicoltura, la pettinicoltura e la ostricoltura; può considerarsi attività di acquacoltura estensiva, ovvero una forma di allevamento e/o di produzione assistita, che si basa sull'utilizzo delle risorse trofiche naturali degli ecosistemi.

Nell'allevamento dei molluschi la produttività varia in funzione delle caratte-

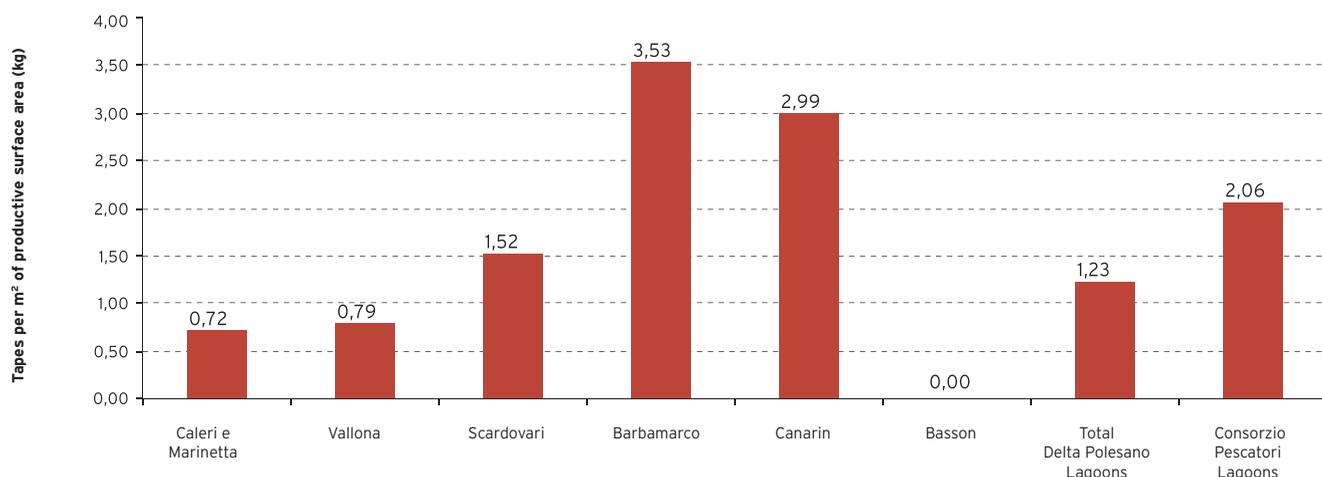


Figura 2: resa media delle lagune (in kg di *Tapes* per m² di superficie effettiva).

ristiche ambientali (contenuto nutritivo delle acque e loro velocità di ricambio) e delle modalità di gestione e tutela messe in atto dagli operatori. Nell'Alto Adriatico, l'esigenza di individuare adeguate soluzioni per l'allevamento della vongola filippina emerse già a metà degli anni '80, quando lo stock di vongola verace nostrana rischiò di esaurirsi.

La venericoltura conobbe un rapido sviluppo grazie all'introduzione in Laguna di Venezia (1983) della *Tapes philippinarum*² (vongola filippina), specie che si estese rapidamente alla maggior parte delle lagune Alto-adriatiche (Venezia, Marano, Caleri e Delta del Po). Oggi, l'Italia è il primo Paese europeo per

produzione di vongole e la produzione nazionale ammonta a 10.500 tonnellate annue di *Tapes*. La Laguna di Venezia ne fornisce circa il 47%, quella del Delta del Po ferrarese il 31% e quelle del Delta del Po veneto il 20%. Inoltre, queste ultime lagune, rivestono un ruolo strategico anche per l'elevata qualità del prodotto, apprezzato sulla maggior parte dei mercati di destinazione.

Lagune del Delta del Po: superfici e produzioni

L'indagine ha considerato sia le superfici complessive degli specchi lagunari sia quelle effettivamente destinate a fini produttivi. Nell'insieme si contano 7.381 etta-



Figura 3: produzione di *Tapes* (qli) afferite al Consorzio di Scardovari dal 2000 al 2008 (dati R. Rossi, Università di Ferrara).

ri di specchi acquei, di cui l'11,6% (854,92 ha) risulta effettivamente produttivo a fini di *Tapes*. L'incidenza delle aree produttive sulla superficie totale delle lagune (Tabella 1) assume un valore nullo nel Basson, mentre arriva ad un massimo del 29% nelle zone Nord (insieme di Caleri e Marinetta). In particolare, il livello di incidenza è relativamente basso nelle lagune gestite dal Consorzio Pescatori Polesine: 6,4% in media, con un massimo del 7,3% a Scardovari ed un minimo del 5,9% nella Sacca del Canarin.

La produzione di *Tapes* delle lagune è stata stimata a partire da dati forniti dai pescatori, con nostre integrazioni³ e ammonta, nel triennio 2006-2008, a 105.176 quintali annui: il 28,9% proviene dalle Zone Nord, l'8,4% dalla Vallona e il restante 62,7% nelle zone di pertinenza del Consorzio Pescatori di Scardovari⁴. La produzione del Consorzio può essere ripartita in: 33.350 quintali di *Tapes* in Sacca degli Scardovari, 17.641 quintali nella Laguna di Barbamarco e 14.969 quintali nella Sacca del Canarin.

Da sottolineare che la Sacca degli Scardovari, con 320 ettari circa di orti, concorre per il 63% circa delle *Tapes* del Delta. Passando dalle produzioni totali alle rese unitarie, occorre procedere con una certa cautela, che non dipende tanto dall'inattendibilità del dato

produttivo, quanto dal criterio assunto nella definizione di area effettivamente produttiva. In particolare, la percentuale di superficie produttiva risulta elevata nelle aree di Caleri e Marinetta e nella Vallona Sud (rispettivamente 25,6% e 15,8%); viceversa, nelle zone in cui operano le cooperative del Consorzio Pescatori, si scende al 6,4%.

Fatta questa premessa si osserva che la resa a metro quadrato effettivo è massima nella Laguna del Barbamarco (3,53 kg); a seguire viene la Sacca del Canarin (2,99 kg), la Sacca degli Scardovari (1,52 kg); la Vallona (0,79 kg) e l'insieme di Caleri e Marinetta con 0,72 kg. Il Basson è una laguna in cui la pesca alle *Tapes* si pratica solo quando non sussistono adeguate condizioni di operatività nel Canarin o nel Barbamarco; le 25 tonnellate annue di *Tapes* che ivi si pescano, sono state quindi ripartite in parti uguali tra gli apporti delle altre due lagune.

La produttività delle *Tapes*, negli ultimi anni, ha conosciuto tuttavia consistenti oscillazioni. L'anno meno produttivo è stato il 2003 quando, secondo uno studio del prof. Remigio Rossi dell'Università di Ferrara, vennero valutati idonei alla venericoltura solo 300 ettari di specchi acquei, con una contrazione di superficie utile del 50% rispetto al 1999.

Il Consorzio di Bonifica, attraverso sistematici interventi di vivificazione lagunare, concorre così a migliorare la situazione di queste lagune. Al momento attuale, oltre ad un sistematico piano di vivificazione, i pescatori e le comunità locali auspicano anche interventi di sviluppo ed ampliamento della base produttiva. Il grafico che segue illustra infine l'andamento delle produzioni di *Tapes* nel Delta polesano, (2000-2008). Le produzioni di *Tapes* della Sacca degli Scardovari presentano oscillazioni meno ampie rispetto agli altri ambiti; ciò mette in rilievo come questa laguna rappresenti un ambito di valenza strategica per tutta la venericoltura del Delta del Po.

Forza lavoro nel comparto *Tapes*⁵

Nel loro lavoro, i pescatori e/o allevatori di *Tapes*, utilizzano natanti (barchini) che imbarcano di norma due addetti. Alla fine di ogni operazione di raccolta, effettuano una prima lavorazione del prodotto, in apposite piattaforme o capanni. A valle, seguono le altre fasi della filiera: lavorazione e selezione; depurazione, confezionamento; trasporto e vendita. Il Consorzio Pescatori depura e lavora presso i propri impianti di Scardovari quasi tutto il prodotto dei suoi soci. Le *Tapes* delle altre zone sono invece avviate a centri di lavorazione che hanno sede a Chioggia o in altre località.

	Occupati		Classi di età (anni)				Genere	
	Totali	Per zona	< 30	31 - 45	46 - 60	> 60	Maschi	Femmine
Cooperative Zone Nord	241	13,36%	17,30%	45,30%	30,70%	6,70%	94,20%	5,80%
Consorzio Cooperative Scardovari	1.496	82,93%	15,90%	44,10%	33,10%	6,90%	49,20%	50,80%
Totale Cooperative	1.737	96,29%	16,20%	44,40%	32,50%	6,90%	59,80%	40,20%
Privati e Vallona	67	3,71%	15,60%	45,00%	32,10%	7,30%	100,0%	0,00%
Totale pescatori <i>Tapes</i>	1.804	100,0%	16,20%	44,40%	32,50%	6,90%	62,00%	38,00%

Tabella 2: occupati nella pesca-allevamento di *Tapes* nel Delta polesano.

FUNZIONI	AMBITI		
	Singolo operatore	Cooperativa	Consorzio Pescatori (solo pescatori di lagune della zona Sud)
Possesso e gestione parco natanti	Fa capo al singolo pescatore	Gestisce le pratiche amministrative	Eventuale informazione in merito all'ottimizzazione dei mezzi
Semina delle Tapes	Effettua materialmente l'operazione di semina	Si stilano i piani di concerto con il Consorzio	Stila i piani di semina, provvede all'acquisto dello stesso ed anticipa il costo del seme
Raccolta delle Tapes	Fa capo al singolo pescatore	Si realizzano i piani di raccolta	Insieme alla Cooperativa si realizzano i piani di raccolta
Depurazione Tapes e loro vendita	-	Nelle lagune della zona Nord e per i privati si tratta di funzioni svolte da altri organismi	Operatore diretto di trasformazione e depurazione; vende il prodotto finito di sua competenza
Assunzione di rischio	Rischio produzione e di gestione della pesca	In apparenza non si configurano rischi specifici	Si assume i rischi industriali e commerciali
Gestione vivai di allevamento	Effettua materialmente l'operazione	-	Nelle aree di sua competenza fornisce anticipazioni finanziarie e know-how
Assistenza tecnica	-	-	Nelle aree di sua competenza gestisce l'assistenza tecnica
Laboratorio	-	-	Gestito dal Consorzio nelle aree di sua competenza

Tabella 3: filiera delle Tapes: funzioni e livelli di competenza.

Nel primario Tapes, nel Delta polesano, a fine 2009, l'occupazione risultava pari a 1.804 unità; per il 96,29% pescatori associati in cooperative e per il 3,71% addetti presso aziende private. Circa il riparto degli occupati per zona di pesca, il 13,36% opera nelle lagune della Zona Nord, l'82,93% nelle lagune di pertinenza del Consorzio Pescatori (Sacca, Barbarmarco, Canarin e Basson), ed il 3,71% nella zona della Vallona. In merito al riparto degli attivi per genere, il 62% sono uomini

e il 38% donne. Circa il riparto per classi di età, il 50,6% ha meno di 45 anni ed il 16,2% meno di 30 anni. La percentuale di anziani sopra i 60 anni è molto contenuta e si aggira nell'intorno del 7%. L'elevata componente giovanile consente di ipotizzare sia strategie di crescita produttiva sia aspettative di sviluppo territoriale. In particolare, nella Sacca degli Scardovari, si potrebbero prevedere interventi a fini multipli che, oltre ad assicurare un maggior sviluppo della filiera della venericol-

tura, consentirebbero di avviare attività per il tempo libero e per una più efficiente conservazione e gestione delle risorse.

I futuri piani di intervento del Consorzio di Bonifica, quelli delle cooperative dei pescatori e quelli del Parco del Delta, devono pertanto trovare momenti sintesi comune, nell'ottica di una valorizzazione produttiva correlata alla tutela dell'ecosistema. Non va dimenticato che venericoltura e molluschicoltura dipendono

	Tapes production (2006-2008) (q)	Tapes GMP (2006-2008) P=2,4 € / kg (Millions of €)	Tapes GMP (2006-2008) P= 3,0 € / kg (Millions of €)	Workers (n)	GMP/ Worker P=2,4 € / kg	GMP/ Worker P=3,0 € / kg;
Delta polesano Lagoons total	105.175,9	25.242	31.553	1804	13992	17491
Consorzio Pescatori Polesine Lagoons total	65.960,0	15.830	19.788	1.496	10582	13227

Tabella 4: produzione di Tapes e sua PLV: lagune del Delta polesano.

dal fattore naturale, che va utilizzato in modo da assecondare i cicli e le produzioni naturali, per assicurare una produzione economicamente sostenibile ed una occupazione stabile nel tempo.

Sistemi di pesca alle *Tapes* e organizzazione della filiera ai primi livelli

I barchini sono in genere provvisti di motori della potenza di 40 CV. Il parco imbarcazioni per la pesca alle *Tapes* supera il migliaio, mentre ammonta a 700 mezzi quello delle cooperative aderenti al Consorzio Pescatori. Negli ultimi anni, grazie anche all'erogazione di specifici contributi, sono state acquistate una quarantina

di imbarcazioni con motori potenziati (110-120 CV); questo permette maggiore rapidità, ma si hanno più elevati consumi di carburante, conseguentemente maggiori costi.

I pescatori di *Tapes* svolgono in forma di ditta individuale l'attività di raccolta; sono invece associati in cooperative nelle altre fasi di gestione. Le cooperative pianificano il lavoro dei singoli, al fine di avere una raccolta sostenibile e di contenere i rischi tecnici e di impresa. Il Consorzio Pescatori di Scardovari è quindi un organismo di terzo livello che, oltre a fornire assistenza ai soci (cooperative e singoli), si occupa soprattutto della lavorazione e della commercializzazione dei prodotti. Nello schema che segue si riassumono le varie funzioni assolve dai vari attori, all'interno della filiera *Tapes*.

Prodotto lordo vendibile e scenari produttivi

La Produzione Lorda (PLV) del segmento primario *Tapes*, nel Delta polesano e nel triennio 2006-2008, è stata stimata a due livelli di prezzo:

- 2,4 €/kg, che corrisponde al prezzo medio alla produzione a fine 2009; a questo livello di prezzo la PLV risultava 25,242 milioni di €;

- 3,0 €/kg, corrispondenti al prezzo medio del triennio 2006-2008; in tal caso la PLV risultava 31,553 milioni di €.

Il calcolo della PLV a due livelli di prezzo mette in rilievo gli effetti della crisi del settore al momento dell'indagine. Si tratta di una crisi ritenere abbastanza ricorrente che, a nostro giudizio, dipende sia da uno sfasamento tra domanda ed offerta con eccesso di prodotto che determina bassi prezzi delle *Tapes*, ma anche da un inadeguato potere contrattuale dei produttori a fronte di una situazione di quasi oligopolio nell'ambito della

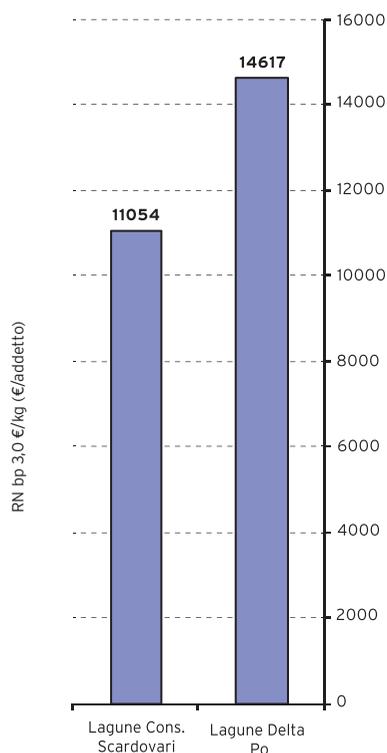
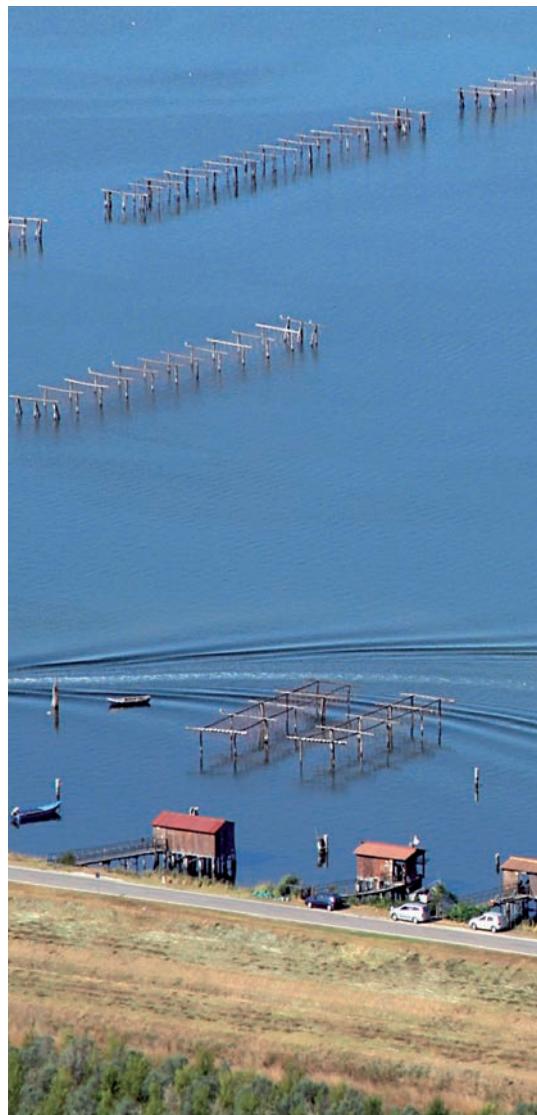


Figura 4: RN di breve periodo (*Tapes* al prezzo di 3,0 €/kg).

distribuzione. La PLV annua per addetto, valutata al prezzo di 2,4 €/kg, è stata stimata in media 13.992€, con minimo di 10.582€ per i soci del Consorzio Pescatori di Scardovari. Poiché si tratta di ricavi, non di redditi, per conoscere questi ultimi, occorre togliere i costi di produzione⁶. Tali costi sono stati calcolati, sia nella situazione di breve periodo (considerando solo quelli variabili⁷) sia in lungo periodo (costi variabili e costi fissi). Preso atto della situazione riscontrata alla fine del 2009, fu stabilito di assumere come rife-



Figura 5: allevamenti di cozze nella Sacca degli Scardovari.

rimento il parametro del Reddito Netto di breve periodo (RN_{bp}).

I costi medi variabili per addetto, nella media delle lagune, furono valutati in 2.873€ (2.173€ per i soci del Consorzio Pescatori Polesine). Sottraendo dalla PLV annua per addetto, i suddetti costi, venne calcolato il Reddito netto per addetto in breve periodo (RN_{bp}), che risultò nell'insieme delle zone 11.119 €/addetto, con un minimo di 8.409 € nelle lagune di pertinenza del Consorzio Pescatori. Evi-

dentemente questo non era un Reddito netto sostenibile; si calcolò all'epoca che occorresse una integrazione di almeno 2.500 € annui/addetto, per raggiungere la soglia di sostenibilità.

Calcolando il RN di lungo periodo, sempre a fine 2009, si vide che si scendeva a 6.000 €/addetto, cifra assolutamente improponibile per assicurare la sostenibilità economica ai pescatori. A parità di resa produttiva, è quindi il prezzo di vendita il parametro che con-

corre maggiormente a determinare le condizioni di sostenibilità economico-sociale. I nostri conteggi vennero quindi formulati in corrispondenza di 3,0 €/kg di *Tapes*. Il RN di breve periodo risultò quindi, per l'intero Delta polesano, 14.617 € annui/addetto, con un minimo di 11.054 € nelle lagune di pertinenza del Consorzio Pescatori. Soprattutto per gli attivi del Consorzio Pescatori, la venericoltura in forma esclusiva non bastava ad assicurare un livello di sostenibilità socio-economica. Per uscire dalla situazione di crisi,



Figura 6: minor PL e minor RN, in caso di mancata vivificazione delle lagune.

in parte mitigata dalla presenza sul lavoro due componenti per nucleo familiare, occorre cercare soluzioni di sviluppo.

Perdurando la crisi, si profilava un esodo occupazionale del 20% circa, con 400 occupati in meno nel solo primario. Alla luce di tale minaccia, i produttori singoli, il Consorzio pescatori di Scardovari e il Consorzio di Bonifica intensificarono

gli sforzi per promuovere la vivificazione degli ambienti lagunari, ma anche per potenziare la produzione di *Tapes* nel Delta.

Effetti degli interventi idraulici sul comparto *Tapes*

Gli interventi idraulici effettuati negli ultimi anni dal Consorzio di Bonifica Delta Po hanno conseguito soprattutto due risultati:

- mantenimento di discrete condizioni sostenibilità per la biomassa ittica,
- salvaguardia della produzione di *Tapes* nelle lagune.

È stato allora predisposto un modello che indaga sugli effetti di assenza o carenza di interventi idraulici. Secondo nostre stime, confortate anche dal parere di esperti, si sarebbe avuta a breve, in as-

senza di interventi, una regressione⁸ produttiva con perdita di prodotto (*Tapes*) stimabile dal 10% al 25%. Tale regressione avrebbe determinato scenari negativi per i produttori e per l'intera economia del Delta polesano. Si ritenne quindi che, nel medio termine, la sola conservazione non fosse sufficiente a sostenere l'economia della zona; a tal fine si auspicarono interventi volti ad aumentare la base produttiva, soprattutto in Sacca degli Scardovari.

Interventi di conservazione o vivificazione

Permettono il mantenimento delle rese produttive. Infatti, i lavori svolti dal Consorzio di Bonifica per esigenze di ordine idraulico (sicurezza), hanno determinato benefici al comparto *Tapes*.

Dati strutturali	Unità di misura	Dati progetto
Durata progetto	anni	10
Occupati	numero	2005 ⁹
Prezzo medio <i>Tapes</i>	€/kg	3,50 ¹⁰
Nuova superficie a orti	ha	240

Tabella 5: dati strutturali e ipotesi di progetto.

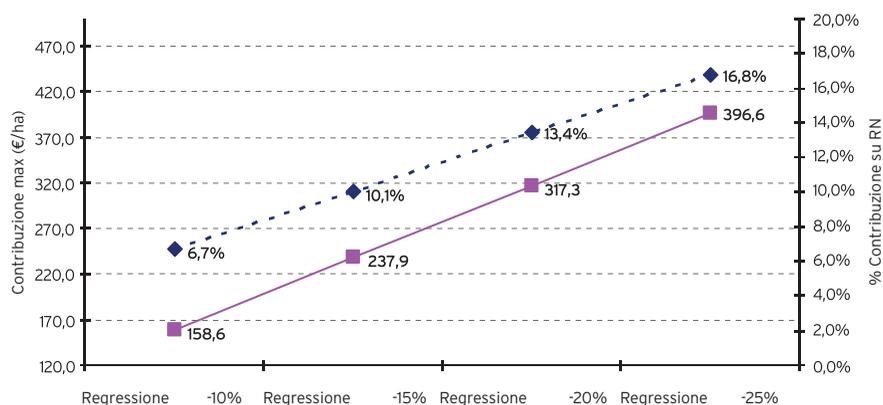


Figura 7: stima del massimo valore di conservazione della funzione produttiva ad Ha di laguna.

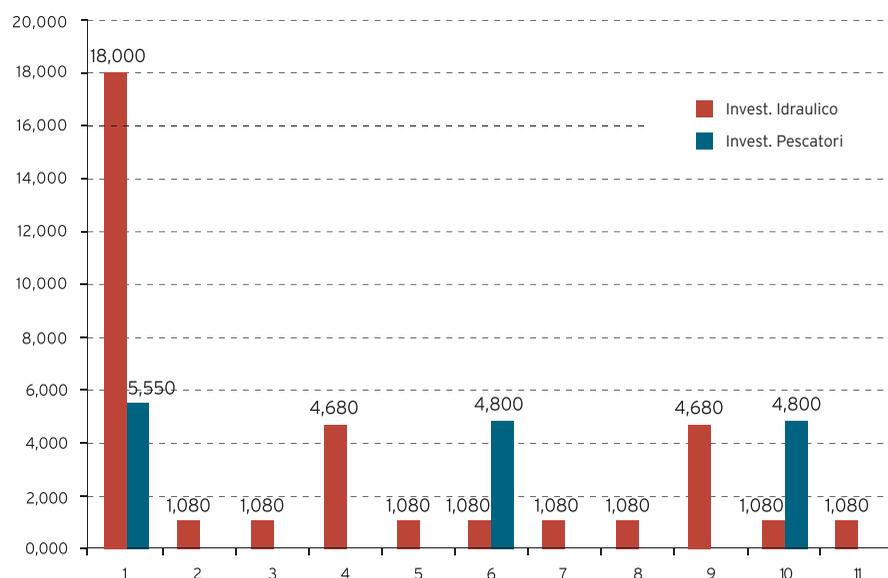


Figura 8: investimenti annui nel corso del progetto (dati in ML di €).

I costi degli interventi idraulici si sono aggirati annualmente nell'intorno di 2,5 milioni di €, con un importo complessivo di 12,5 milioni nel quinquennio. A fronte di questi oneri, al primario *Tapes*, è derivato quello che si può definire beneficio di conservazione. Nella nostra indagine si è pervenuti quindi alla stima della perdita di prodotto, che si sarebbe registrata in assenza o carenza di intervento di vivificazione. Tale stima è stata fatta a quattro livelli di possibile regressione:

- lieve (-10% del prodotto);
- medio - bassa (-15%);
- media (-20%);
- medio- elevata (-25%).

Al prezzo di 2,4 €/kg di *Tapes*, le suddette regressioni produttive avrebbero comportato una perdita di PLV da un minimo di 2,524 milioni di € annui (-10%), sino ad un massimo di 6,310. Una minor PLV comporta anche una certa riduzione dei costi variabili per cui, sottraendo dalla minore PLV, il risparmio sui costi variabili, è stato stimato il minor Reddito annuo, che va da un minimo 1,748 milioni di € all'anno, sino ad un massimo 4,369 milioni di €, a seconda del livello di re-

gressione previsto.

Occorre pure considerare che, nelle lagune, i pescatori di *Tapes* svolgono anche attività di gestione di beni collettivi con ricadute positive sulla comunità. Si è cercato allora di stimare il valore di questa gestione ambientale che, in via approssimativa, abbiamo stimato pari a un terzo del valore del minor reddito. Sottraendo dal minor RN l'importo attribuibile della gestione ambientale operata dai produttori, abbiamo stimato il puro valore di mantenimento della funzione produttiva *Tapes*. Tale valore, per gli ambienti lagunari, corrisponde al beneficio netto che ricadrebbe sul privato, a fronte degli interventi di manutenzione e vivificazione idraulica. In teoria esso corrisponde al livello massimo di contribuzione che i pescatori di *Tapes* sopporterebbero, qualora il prezzo lo consentisse, pur di conservare la loro produzione. Nella media delle lagune polesane, tale beneficio andrebbe da un minimo di 158,6 €/ha di laguna (in caso di lieve regressione⁸), sino ad un massimo di 396,6 €/ha (regressione medio-alta). Ipotesi di contribuzione privata di tale

entità, al momento dell'indagine, non erano però compatibili con la capacità di esborso dei produttori. Si ritenne opportuno rinviare ogni ipotesi contributiva a momenti migliori. Il problema della bassa redditività per addetto restava però irrisolto all'epoca. Per accrescere i redditi si poteva pensare, solo in teoria, a interventi sul prezzo e sul potere contrattuale dei produttori.

Ritenemmo pertanto opportuno indirizzare i produttori verso un ampliamento della base produttiva, che doveva però essere compatibile, sia con la conservazione ambientale che con la dinamica della domanda di *Tapes*. Avvalendosi di un modello di domanda-offerta predisposto per il mercato nazionale delle *Tapes*, si prevede che il rapporto tra domanda e offerta avrebbe potuto normalizzarsi nello spazio di tre-cinque anni. Alla fine di tale periodo si ipotizzava l'assorbimento di una maggiore produzione, dell'ordine del 15-25%. I venticoltori del Delta del Po veneto, in considerazione anche dell'elevata qualità del loro prodotto, avrebbero potuto assicurarsi una discreta quota della maggiore domanda.

Anni Progetto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Totale
Opere idrauliche	18,000	-	-	3,600	-	-	-	-	3,600	-	-	25,200
Manutenzioni progetto	-	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	9,000
Spese generali progetto	-	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	1,800
Totale Consorzio Delta Po	18,000	1,080	1,080	4,680	1,080	1,080	1,080	1,080	4,680	1,080	1,080	36,000
Investimento Barchini	2,880	-	-	-	-	2,880	-	-	-	2,880	-	-
Investimento motori	1,920	-	-	-	-	1,920	-	-	-	1,920	-	-
Investimento cavane	0,750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale invest. pescatori	5,550	-	-	-	-	4,800	-	-	-	4,800	-	15,150
Carburanti (+40%)	-	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	16,151
Manutenzioni barchini	-	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	3,655
Manutenzioni cavane	-	-	-	-	-	0,150	-	-	-	-	-	0,150
Altri costi privato	-	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	1,665
Totale costi gestione privato	0,000	2,147	21,622									
Totale costi progetto	23,550	3,227	3,227	6,827	3,227	8,177	3,227	3,227	6,827	8,027	3,227	72,772
Integrazione reddito pescatori (2500€/anno per addetto)	-	5,013	5,013	5,013	5,013	5,013	5,013	5,013	5,013	5,013	5,013	50,125
Totale flussi a detrarre	23,550	8,240	8,240	11,840	8,240	13,190	8,240	8,240	11,840	13,040	8,240	
Ricavi progetto sviluppo	0,000	4,200	6,300	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600	111,300
Intervento pubblico su opere idrauliche	11,700	-	-	2,340	-	-	-	-	2,340	-	-	16,380
Totale flussi attivi	11,700	4,200	6,300	14,940	12,600	12,600	12,600	12,600	14,940	12,600	12,600	127,680
VAN i= 0%	-11,850	-4,040	-1,940	3,100	4,360	-0,590	4,360	4,360	3,100	-0,440	4,360	4,783
VAN i= 4,1% - TRI =4,136%	-11,850	-3,879	-1,789	2,745	3,708	-0,481	3,419	3,283	2,242	0,305	2,907	0,000

Tabella 6: matrice costi-benefici del progetto
(dati in Milioni di €).

	P.L. totale (ML di €)	P.L. polesano ML di €	% P.L. polesano	V. A. totale (ML di €)	V.A. polesano ML di €	V.A. extra polesano (ML di €)	% V.A. polesano
Tapes primario	25,242	25,242	100%	20,194	20,194	0	100%
Tapes secondario	12,095	9,07	75%	7,256	5,441	1,815	75%
Tapes primario + secondario	37,337	34,312	92%	27,449	25,634	1,815	93%
Tapes terziario	10,518	2,104	20%	5,259	1,052	4,207	20%
Tapes filiera	47,855	36,415	76%	32,708	26,686	6,022	82%

Tabella 7: PL e VA, con prezzo 2,4 €/kg
Tapes, nei tre segmenti di filiera¹⁴.



Figura 9: nel loro lavoro, i pescatori e/o allevatori di *Tapes*, utilizzano natanti (barchini) che imbarcano di norma due addetti.

Interventi di sviluppo produttivo

Per progettare l'ampliamento della base produttiva fu analizzata la filiera *Tapes* nel distretto polesano. Di seguito, si riassumono gli elementi fondamentali di questa.

Primario

Il 63% delle *Tapes* del Delta polesano è conferito agli impianti del Consorzio Pescatori del Polesine. Nelle zone ove non opera questo Consorzio, le *Tapes* sono depurate fuori zona, o vendute a operatori commerciali che proseguono le operazioni presso idonei centri. L'ampliamento della base produttiva necessita, sia di interventi idraulici a cura del Consorzio di Bonifica sia di investimenti di privati pescatori (barchini, cavane, attrezzature di pesca, ecc.). A fronte di questi interventi sono stati stimati i flussi addizionali di prodotto *Tapes* ed i relativi costi. La nostra ipotesi progettuale ha due assunti:

- aumento del Reddito Netto degli addetti,

- cofinanziamento dell'investimento da parte dei pescatori.

Il RN per addetto in breve periodo era stato calcolato pari a 11.119€ annui. Con l'aumento dell'area produttiva (240 ettari), assumendo una resa media di *Tapes* di 1,5 kg/m², si stima una maggiore produzione annua di 3.600.000 kg di *Tapes*, che consentirebbe un maggior RN annuo di 2.500€/addetto, cifra che centrerebbe l'obiettivo del RN sostenibile auspicato.

Secondo le nostre ipotesi occorrerebbe però un intervento pubblico del 65% sui costi delle opere idrauliche. Come da tabella che segue, il progetto richiederebbe, nell'arco di un decennio, un investimento idraulico di 36,0 ML di €. Per i barchini, le cavane e le altre attrezzature di pesca, l'investimento a fine periodo sarebbe invece 15,15 ML di €. Uno degli aspetti cruciali del progetto è la nuova occupazione. Si ipotizza che la produzione addizionale di *Tapes* sia

destinata all'aumento della redditività degli attuali addetti, pur assicurando al comparto un certo turnover basato sulla dinamica demografica e sui recessi dall'attività.

Secondario

Nelle zone ove non opera il Consorzio Pescatori, e dove la vendita delle *Tapes* ad operatori commerciali è consolidata, si potrebbero mantenere le modalità del passato; in tal caso non servirebbero nuove strutture per far fronte al programmato aumento di produzione. Poiché si ipotizza che gli interventi riguardino le lagune di pertinenza del Consorzio Pescatori, questa azienda consortile si troverebbe di fronte a tre soluzioni:

- vendere il surplus di prodotto prima di lavorarlo;

- lavorare le nuove *Tapes* presso gli impianti di Scardovari, senza realizzare ampliamenti strutturali;

- ampliare gli impianti esistenti.

Nel primo caso non si vedono particolari problemi, salvo una certa perdita di valore aggiunto territoriale; nel secondo si potrebbero avere economie di scala poiché diminuirebbero i costi fissi per chilogrammo di prodotto; nel terzo, il Consorzio Pescatori dovrebbe affrontare investimenti di tipo industriale, acquisendo nuove tecnologie e ottimizzando l'organizzazione.

Terziario

Il segmento è distinto in trasporti, commercializzazione e servizi alle imprese. Per i primi non dovrebbero sussistere grandi difficoltà, in quanto nel Delta del Po operano diverse ditte attrezzate di alto livello nazionale ed in grado di affrontare senza problemi un aumento di produzione come quello

ipotizzato. Per la commercializzazione, sia essa a valle del pescatore o a valle del prodotto lavorato (caso Consorzio Pescatori), si può fare un ragionamento analogo: gli operatori del Polesine e/o del Basso Veneto non avrebbero difficoltà ad assorbire un aumento della produzione di *Tapes* sino al 30% circa.

Sulla necessità di ampliare la rete dei servizi alle imprese occorre una valutazione un po' allargata: trattasi di servizi che vanno organizzati nell'ottica di distretto. Si ritiene quindi opportuno investire in ricerca, assistenza tecnica e monitoraggi (capitale umano piuttosto che attrezzature), investimenti che servirebbero non soltanto alla nuova produzione, ma anche alla valorizzazione di quella attuale.

Per la quantificazione dei costi di cui al grafico precedente ci si è avvalsi di informazioni raccolte presso i principali attori della filiera *Tapes* polesana. Il modello costi e benefici che segue è stato predisposto in modo flessibile, per poter

variare alcuni suoi elementi mantenendo costanti i valori di altri. Con simulazioni discontinue si potranno valutare, a parità di condizioni, diversi livelli di ricaduta come il reddito degli addetti, la forza lavoro sostenibile e il tasso di rendimento interno (TRI) atteso. Avvalendosi dei dati di cui sopra e tenendo conto delle ipotesi progettuali elaborate dai tecnici del settore, è stata predisposta la matrice dei costi e benefici (Tabella 6), che mette in evidenza come il progetto sia in grado di ripagare, nel decennio della sua durata economica, sia gli investimenti idraulici sia gli investimenti del privato, ipotizzando però che la collettività intervenga sul 65% del costo delle opere idrauliche. Il tasso di ritorno (TRI), al netto di tale contribuzione, tenuto conto anche dell'integrazione di reddito da assicurare ai pescatori, risulterebbe, con un prezzo medio 3,5 €/kg di *Tapes*, pari al 4,1%¹¹. Oltre ai benefici del progetto, i pescatori, pur esponendosi a maggiori rischi tecnici e di gestione, potrebbero usufruire anche di un surplus di reddito derivante dal maggior prezzo di mercato.

BENEFICI DEI PRIVATI	BENEFICI SOCIALI	BENEFICI AMBIENTALI
Maggiore reddito nel primario; migliori condizioni di vita per i pescatori	Stabilità occupazionale nel Delta polesano	Conservazione risorse naturali in sinergia con gli ambiti produttivi lagunari
Maggiore sicurezza gestionale per i Consorzi Pescatori	Qualificazione capitale umano nella molluschicoltura	-
Benefici economici per le imprese di lavorazione dei molluschi	Maggiore occupazione	-
Benefici economici per le imprese che forniscono mezzi produttivi ai pescatori	Stabilità occupazionale	-
Benefici economici alle imprese di servizio (trasportatori, depuratori diversi dal Consorzio, distribuzione)	Stabilità occupazionale	-
Benefici economici per le imprese a valle (assistenza tecnica, credito)	Capitale umano sociale; sviluppo di attività di servizio legate alla filiera.	-
Benefici per gli operatori del turismo e della ristorazione	Sviluppo turismo ambientale; sviluppo turismo gastronomico	Maggiore consapevolezza e maggior attenzione ai valori ambientali
Ricadute a livello territoriale complessivo e sostegno alla multifunzionalità	Percezione di una migliore immagine del territorio del Delta	Valorizzazione delle lagune del Delta polesano come entità ecologiche e produttive

Tabella 8: ricadute sulla filiera delle *Tapes*.

La filiera dei molluschi nel Polesine

Di seguito si ci occupa del Prodotto Lordo (PL) e del Valore Aggiunto (VA)¹² della filiera delle *Tapes* nel Delta polesano, scomponendola nei suoi tre segmenti. Il PL del primario è stato stimato 25,242 milioni di euro, al prezzo di 2,4 €/kg¹³, e 36,812 milioni a 3,5 €/kg. Il PL del secondario è stato calcolato a partire dal bilancio di gestione di un impianto che effettua lavorazione e vendita dei molluschi all'ingrosso; in questa fase di filiera - dal prodotto in sacchi sulla banchina, sino al carico su automezzi - si registra un costo unitario di 0,50 - 0,60 €/kg per le *Tapes* depurate e di 1,0-1,3 €/kg per quelle già poste in sacchetti.

Poiché nel Delta Polesano si producono annualmente 10.517,6 tonnellate di *Tapes*, il PL del secondario è stato stimato 12,095 milioni di €.

Il PL aggregato (primario più secondario), ammonta quindi a 37,337 milioni di €, mentre salirebbe a 48,907 milioni spuntando un prezzo medio di 3,5 €/kg.

Il PL del segmento distributivo posto immediatamente a valle della lavorazione è stato stimato in media 1,0 €/kg di *Tapes*, e non comprende ancora l'ultimo anello distributivo (GDO, pescherie e altre rivendite al minuto). Applicando questo valore unitario alla quantità di *Tapes* interessata alla prima fase di commercializzazione, si stima un PL terziario di 10,518 milioni di €. Per l'intera filiera delle *Tapes* polesane, il PL 47,855 ML di €, e 59,425 nel caso di spuntare un prezzo di 3,5 €/kg.



Figura 10:
lavorazione e
preparazione dei
molluschi per la
commercializzazione.



Figura 11: fasi della lavorazione.

Figura 12: attraverso le cooperative e la conseguente pianificazione del lavoro dei singoli, si può assicurare una raccolta sostenibile dei molluschi.

Successivamente è stato calcolato il Valore Aggiunto (V.A.) che, nel caso di 2,4 €/kg di *Tapes*, risulta 20,194 milioni ML di € nel primario, 7,256 milioni nel secondario e 5,259 milioni nel terziario. Sommando i tre segmenti si arriva a un V.A. di 32,708 milioni, che salirebbe, con un prezzo medio di 3,5 €/kg, a 41,965 ML di €, con un balzo in avanti del 28% rispetto alla situazione dell'anno 2009.

In tabella 7 si illustrano il P.L. e il V.A. della filiera delle *Tapes* polesane nell'anno 2009. Inoltre, nella stessa tabella, si indica il Valore territoriale delle *Tapes*, ossia quello che compete agli operatori e alle ditte del Polesine. Un'ulteriore considerazione riguarda le possibili economie della filiera. È prevedibile che, realizzando una maggior produzione, si abbia riduzione dei costi unitari nel segmento della lavorazione. Ad esempio, se venisse ampliato questo segmento a Scardovari, si stima un costo unitario medio per le nuove immobilizzazioni di 0,50 €/kg di prodotto, contro 0,66 €/kg in caso si facciano impianti ex novo, ciò evidenzia un discreto vantaggio a investire nella sede attuale.

Impatto socio-economico delle *Tapes* nel Delta polesano

Gli interventi ipotizzati, sia a fini di conservazione lagunare sia di ampliamento del comparto *Tapes*, generano un maggiore reddito nel primario, una maggiore occupazione nel comparto delle lavorazioni (20-25 nuove unità¹⁵), oltre a indubbi benefici sociali. Nei comuni del Delta interessati alla filiera delle *Tapes*, queste ricadute concorrono a migliorare sensibilmente la stabilità sociale. Si può inoltre rilevare che i benefici economici dei privati, quelli sociali ed anche quelli ambientali, non hanno confini ben definiti.

I progetti di sviluppo e di conservazione, oltre a coinvolgere direttamente e indirettamente una larga parte della comunità polesana, rivestono un'importanza strategica anche per il Basso Veneto, e si può concludere che i benefici derivanti ai pescatori, alle imprese e alle comunità del Delta giustificano ampiamente gli ipotizzati costi di intervento pubblico. Lo schema finale evidenzia le possibili ricadute relative a

questi interventi. Un ulteriore dato che emerge dalla ricerca è l'elevato livello di compatibilità tra la venericoltura e altre attività del primario. I pescatori di *Tapes* svolgono spesso, in misura secondaria, anche altre attività. Al momento della ricerca, secondo nostre stime, i 1804 addetti avevano 1.269 posizioni di multifunzionalità. La compagine più numerosa, con 949 persone, era quella delle attività ittiche (mitilicoltura, piccola pesca interna e pesca marittima).

Si può quindi sintetizzare che la pesca alle *Tapes* fornisce un importante sostegno alla sopravvivenza degli antichi mestieri delle acque; inoltre, l'integrazione di reddito proveniente dalla pesca tradizionale e dalla mitilicoltura, risulta decisiva per la sostenibilità economica dei venericoltori, e questo risulta determinante nei periodi di crisi. D'altra parte, lo scarso reddito della pesca tradizionale, senza la venericoltura, condannerebbe l'attività alla scomparsa. Mettendo insieme tutti i mestieri in cui, in qualche modo, sono impegnati i pescatori di *Tapes*, si arriva a così a un 70% di posizioni operative secondarie, dato sottolinea anche la grande flessibilità occupazionale dei pescatori del Delta. Grazie a questa multifunzionalità essi tutelano mestieri che non si reggerebbero più in modo autonomo. Anche per questo, gli interventi di vivificazione delle lagune forniscono benefici sociali essenziali allo sviluppo sostenibile dell'area.



¹ (Barnes, 1980; Knox, 1986; Odum, 1988).

² Si tratta di una specie asiatica già introdotta lungo le coste americane negli anni 1930-1940 e in seguito giunta in Europa alla fine degli anni '70.

³ I dati delle nostre stime sono leggermente inferiori a quelli forniti da Turolla (Eduardo Turolla - L'allevamento della Vongola verace nel delta del Po, Istituto Delta Ecologia Applicata, Ferrara, 2008). Nella nostra indagine la produzione totale di *Tapes* è stata ottenuta sommando i dati effettivi del Consorzio Pescatori (conferimenti medi nel triennio 2006-2008), ai dati stimati nelle zone di Caleri-Marinetta e della Laguna della Vallona. Questi ultimi erano stati raccolti anche nel corso di una precedente ricerca condotta assieme al prof. R. Rossi dell'Università di Ferrara, relativa al progetto sulla filiera ittica polesana. Per risalire ai dati produttivi odierni di Caleri e di Vallona è stato applicato, ai dati precedenti, un coefficiente medio di espansione, che tiene conto dell'aumento medio verificatosi su tutta l'area.

⁴ A livello nazionale la produzione del Consorzio Pescatori rappresenta circa il 13% di tutto il volume produttivo.

⁵ I dati sull'occupazione illustrati in tabella 2 sono aggiornati a fine anno 2009. Essi non comprendono i 200 pescatori del Delta che hanno già fatto richiesta di rilascio del permesso di pesca alle *Tapes*: fra questi ci sono circa 60 donne costituite in Cooperativa.

⁶ Tali costi sono stati calcolati in riferimento a "natanti standard" operanti 250 giornate annue con due persone a bordo.

⁷ I costi variabili sono quelli che variano al variare della produzione e, in teoria, risultano nulli quando la produzione cessa. Nei barchini, alla voce costi variabili, sono conteggiati i costi dei carburanti e delle manutenzioni, sia del motore sia dello scafo. Sono costi fissi di gestione quelli che non dipendono direttamente dal volume produttivo (ammortamenti, spese generali e assicurative). Il costo del lavoro non è computato giacché va a rappresentare un pezzo del reddito netto (RN) degli operatori, assieme agli interessi sui capitali e all'eventuale profitto.

⁸ Per regresso produttivo si intende una minore produzione annua di *Tapes* che viene calcolata in questo rapporto in relazione al dato medio del triennio 2006-2008.

⁹ A fine 2009 gli occupati erano 1805; nelle previsioni di progetto si è tenuto conto anche delle 200 unità in attesa di ingresso.

¹⁰ Prezzo medio *Tapes*, previsto in relazione alle quotazioni recenti (2011-2012) e alle previsioni di mercato

¹¹ Saggio di ritorno che si suppone all'incirca uguale al costo del denaro, qualora i pescatori facciano ricorso a prestito bancario agevolato.

¹² Sia pure in modo improprio si indica con il termine di valore aggiunto l'insieme delle remunerazioni afferenti al fattore lavoro, al capitale e al management, al lordo degli ammortamenti dei capitali durevoli e delle imposte.

¹³ Prezzo al momento dell'indagine (fine 2009).

¹⁴ In questa sede, per il settore primario usiamo computare, la PLV anziché il Valore aggiunto; si tratta di una forzatura metodologica che non inficia comunque la validità del modello di analisi proposto.

¹⁵ L'investimento aggiuntivo comporterebbe 20-25 nuovi addetti nel secondario, con un'immobilizzazione media nell'intorno 100.000 €/addetto; valore che è abbastanza contenuto poiché, nella nostra ipotesi, si usufruirebbe delle economie scala e di relazione con l'impianto già esistente a Scardovari.

Bibliografia

- A.P.I. (2003): Acquacoltura A.P.I. informa, Anno XVII, n°11.
- AA.VV., (2005). La filiera della vongola *Tapes philippinarum* in Italia. A cura di Boatto V., Pellizzato M., Milano, Franco Angeli Ed., 185 pp.
- AA.VV., (1990). *Tapes philippinarum*. Biologia e sperimentazione. Regione del Veneto, ESAV, 299 pp.
- Boatto V., Silvestri S., Rossetto L. (2005). Analisi economica della filiera di *Tapes philippinarum*, in: Boatto V., Pellizzato M. (a cura di), La filiera della vongola, Milano, Franco Angeli Ed., 185 pp.
- Cesari P., Pellizzato M. 1985 - Molluschi pervenuti in Laguna di Venezia per apporti antropici volontari o casuali. Acclimazione di *Saccostrea commercialis* (IREDALE & ROUGHLEY, 1933) e di *Tapes philippinarum* (ADAMS & REEVE, 1850). Boll. Malacologico, 21(10-12):237-274.
- Donati F., Vasciaveo M., Zoppelletto M., (1998), Environmental and multi-functional management of lagoons and coastal wetlands, *Aquaculture and water: fish culture, shellfish culture and water usage*, Atti Conferenza Internazionale Aquaculture Europe, Bordeaux 1998, European Aquaculture Society, Special Publication no. 26, 1998
- Donati F., Vasciaveo M., 1998, Sistemi per la gestione integrata degli ambienti lagunari e vallivi, Volume Atti Conferenza: "Le ricerche sulla pesca e sull'acquacoltura nell'ambito della legge 41/82", Roma, 1998, Vol. 5, fasc. 3.
- Donati F., Agostini P., Costi e benefici della vallicoltura in Italia, *Il pesce*, n. 1/1992.
- Donati F., valutazione delle funzioni economiche nelle valli da pesca, *Genio Rurale*, n. 5/1992
- ICRAM (1994): Guida pratica di mitilicoltura. Ed. ICRAM.
- ICRAM (2004): Pesca ed ambiente in laguna di Venezia e nell'Alto Adriatico. Ed. Il Leggio, Chioggia.
- Ismea (2002): Elaborazione su dati API ICRAM. Filiera Acquacoltura, Roma.
- Ismea (2005), Filiera pesca e acquacoltura - Roma
- Ismea (2006), Il settore ittico in Italia e nel mondo: tendenze recenti, Roma
- Ismea (2007), Il settore ittico in Italia e nel mondo: tendenze recenti, Roma
- Ismea (2007), Outlook dell'agroalimentare italiano -Rapporto annuale- Indicatori del sistema agroalimentare italiano volumi I e II, Roma
- Mipaf (2005), Azione di monitoraggio delle produzioni ittiche dell'acquacoltura Italiana (reg. CE N°1263/99 e 2792/99 SFOP) - seconda relazione intermedia anno 2003
- Paesanti F., Pellizzato M., 2000. *Tapes philippinarum*. Manuale di divulgazione. Serie acquacoltura. Padova, Veneto Agricoltura, 2ª Ed., 74 pp.
- Prioli G. (2000): Censimento nazionale sulla molluschicoltura. Consorzio UNIMAR. Quaderni Provincia di Venezia, 2000. Piano per la gestione delle risorse alieutiche delle lagune della Provincia di Venezia. Benevento, Sannioprint Ed., 102 pp.
- Rossi R., (1996). Allevamento di vongola verace filippina (*Tapes philippinarum*): gestione della semina e del trasferimento in campo naturale per la ottimizzazione del raccolto. Ministero delle Politiche Agricole. III Piano Triennale (DM 04/92 del 18.02.1993)
- Rossi R., (2000). Elementi di valutazione ecologica, economica e sociale per fronteggiare la flessione produttiva di vongole filippine nell'Alto Adriatico. Ricerca 5C02, V Piano Triennale.
- Rossi R., 2000. Gestione produttiva della Sacca di Goro (Delta del Po): analisi dei parametri ambientali, biologici e socioeconomici per la valutazione del regime concessorio. Ricerca 5C04, V Piano Triennale.
- Spencer E.E., 2005. World shellfish production keeps growing. *Fish Farming International*, 32 (1):38.
- Turolla E., 2008. L'allevamento della vongola verace nel Delta del Po. Grafiche Adriatica, 96 pp. Università di Trieste - Dipartimento di Biologia, 2005. Identificazione di linee guida per lo sviluppo di forme di acquacoltura responsabile ed ecocompatibile di *Tapes philippinarum* (ADAMS & REEVE, 1850) nelle lagune dell'Alto Adriatico. Ricerca 6-C-70. Ministero per le Politiche Agricole e Forestali. Relazione finale.



Figura 13:
molluschicoltura
nella Sacca degli
Scardovari.

UILA (2006), Un nuovo futuro per la pesca italiana. Serve innovare per ridurre i consumi, ciclostilato presentazione ricerca curata da Cres e Osservatorio nazionale della pesca, Giulianova Lido (Te), 31 ottobre 2006.

Regolamento (CE) n. 708/2007 del Consiglio dell'11 giugno 2007, relativo all'impiego in acquacoltura di specie esotiche e di specie localmente assenti.

Zentilin A., Corso G. I., Zanutti G., Pelusi P., Orel G., 2003. Criteri per attività di pesca ed allevamento sostenibili nella laguna di Marano e Grado (UD). I Quaderni di Venezia per l'Europa "La pianificazione territoriale di un'area S.i.c.: verso i piani di gestione e conservazione", Venezia (UD), 18 gennaio 2003, 12 pp.

_STUDI E RICERCHE ELEMENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA NELLA STABILIZZAZIONE DELLO SCANNO DI SACCA SCARDOVARI

ANDREA BONOMETTO

Ingegnere ambientale

LORENZO BONOMETTO

Presidente Società Veneziana
di Scienze Naturali

PIPPO GIANONI¹

Docente IUAV Venezia e Ingegnere consulente
ambientale Dionea Sa/Terrasrl

La stabilizzazione dello Scanno che chiude Sacca Scardovari è un obiettivo prioritario nell'ambito dei lavori di vivificazione della Sacca stessa promossi dal Consorzio di Bonifica Delta Po, nel quadro più complessivo degli interventi di manutenzione delle lagune. Il presente articolo rappresenta la sintesi di una ricerca propositiva e operativa sull'evoluzione dello scanno e sulle possibili integrazioni progettuali tra aspetti idrodinamici, ambientali e gestionali, finalizzate in particolare alla sua riqualificazione partendo dalla conoscenza dei dinamismi che caratterizzano in natura gli analoghi sistemi costieri (Gianoni *et al.*, 2010).

La Sacca di Scardovari e il suo scanno

Lo scanno di Sacca Scardovari deve la sua configurazione attuale a rifluimenti di sedimenti dragati e ripropone, in posizione più interna, il preesistente "Scanno del Palo", che si protendeva come penisola a partire dal litorale a nord-est (noto come "Punta Barricata"). Per questo nel presente lavoro si parla di "Scanno del Palo" quando si fa riferimento alla situazione pregressa, e di Scanno di Sacca Scardovari quando ci si riferisce alla geografia successiva ai rifluimenti che hanno originato l'assetto attuale.

La genesi dello scanno del Palo risale agli ultimi anni del secolo XIX quando, a causa del rapido avanzamento verso sud delle foci del Po di Tolle e del Po di Gnocca, si venne a formare un secondo bacino più esterno (Sacca di Bottonera), collegato idraulicamente con la Sacca degli Scardovari tanto da costituire una laguna unica.

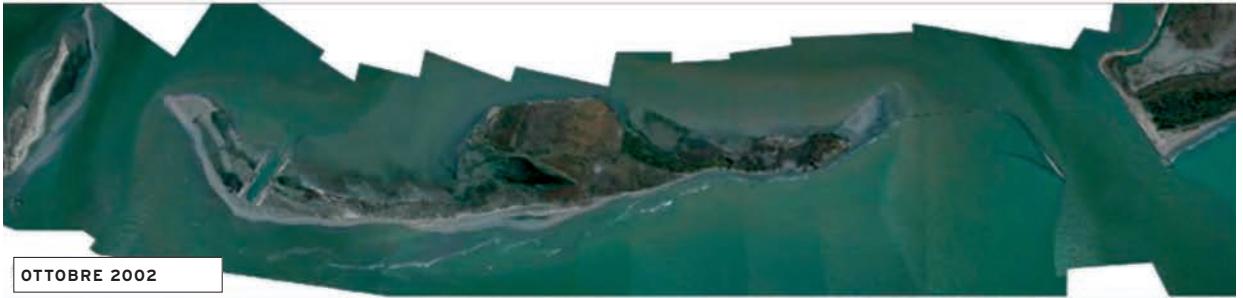
L'avanzamento delle foci dei suddetti rami del Po si è arrestato nel corso del 1900, principalmente per gli effetti con-

giunti della subsidenza e dei minori apporti solidi fluviali. Per gran parte del secolo la laguna novecentesca è stata caratterizzata da una configurazione planimetrica corrispondente nel perimetro a quella riconoscibile oggi. Se però i margini del bacino, ad eccezione di alcune aree sul lato occidentale, corrispondono a quelli che si riscontrano attualmente, la morfologia interna è sostanzialmente diversa, essendo caratterizzata in passato lungo i margini stessi da vaste aree emerse oggi interamente scomparse e da fondali molto più strutturati di quelli attuali. Inoltre è profondamente mutata la conformazione attuale degli scanni che separano la laguna dal mare, che hanno continuato a subire negli anni successivi modifiche anche considerevoli, arretrando progressivamente nel tempo. L'esame delle carte storiche fa emergere come a partire dai primi '50 anni del ventesimo secolo la posizione, la forma e le dimensioni dello Scanno del Palo abbiano subito continue modifiche, indici di condizioni di equilibrio precario e dinamico soggette da un lato alle variazioni stagionali ed annuali delle mareggiate, dall'altro alle mutevoli intensità del trasporto solido fluviale e litoraneo.

L'azione combinata della subsidenza, delle mareggiate violente, degli interventi di difesa promossi da diversi enti e dei fenomeni erosivi lungo la costa è stata all'origine degli importanti dinamismi che hanno modificato in modo sostanziale lo scanno nel corso degli ultimi decenni, con un graduale ritorno negli anni recenti verso una configurazione più vicina a quella di fine '900, principalmente per effetto degli interventi in atto da parte del Consorzio Delta Po Adige che da un lato hanno mirato alla ricostruzione mediante ripascimento di uno scanno analogo a quello preesistente del Palo, dall'altro mantengono l'officiosità della Bocca Sud

Figura 1: evoluzione dello scanno della Sacca degli Scardovari (Foto Consorzio Bonifica Delta Po).

¹ Andrea Bonometto: responsabile degli aspetti geomorfologici e di ingegneria naturalistica; Lorenzo Bonometto: responsabile degli aspetti ecosistemici e faunistici; Pippo Gianoni: responsabile del coordinamento, dell'impianto metodologico e degli aspetti ecosistemici. Questo lavoro si è avvalso anche della competenza dell'Ing. Bruno Matticchio, che ha collaborato allo studio per gli aspetti morfologici e idrodinamici in base ai risultati già descritti nel Quaderno numero 0 di Cà Vendramin (Matticchio, 2009).



OTTOBRE 2002



DICEMBRE 2004



OTTOBRE 2006



AGOSTO 2008



GIUGNO 2010



Figura 2a: tronchi spiaggiati e allineamenti di cespi di *Spartina juncea* lungo la battigia. (foto L. Bonometto, 2009).

nella sua attuale posizione mediante periodici interventi di dragaggio e di spostamento delle sabbie (Matticchio, 2009). In generale nelle evoluzioni in atto i fenomeni erosivi prevalgono su quelli deposizionali, in un'area che complessivamente risulta essere tuttora in abbassamento, con andamenti molto differenziati in corrispondenza delle due bocche e delle superfici antistanti lo scanno:

- a nord si osserva un sensibile abbassamento dei fondali nel tratto tra la foce del Po di Tolle (Punta Barricata) e la Bocca Nord, verosimilmente a causa di un deficit di apporti di sedimenti dovuto in primo luogo alle ridotte portate liquide (e quindi anche solide), rispetto al passato, provenienti dal ramo meridionale del Po di Tolle (foce di Punta Barricata);

- davanti alla linea di difesa dello scanno, dove i fondali sono caratterizzati da un sistema di barre, le recenti indagini batimetriche indicano come le barre mi-

grino con una notevole celerità, mantenendo nell'insieme abbastanza stabili le quote del fondo attorno a valori dell'ordine di -2.5 - -3.0 m s.l.m. ma provocando forti punti di discontinuità con rischi importanti per la stabilità del fronte dello scanno;

- nella fascia litoranea attorno alla Bocca Sud è in atto qualcosa di molto diverso, ovvero una chiara tendenza alla migrazione verso ovest dell'asse del canale di bocca con deposito di materiale. Questa evoluzione è connessa anche agli interventi di dragaggio attuati dal Consorzio, che tendono a limitare la tendenza del canale stesso ad addossarsi allo scanno meridionale e alle terre emerse della Punta del Polesine, cercando un punto di equilibrio dinamico capace di garantire il mantenimento dell'officiosità della bocca sud a favore della circolazione delle correnti mareali.

Il "Progetto Generale di sistemazione

idraulica e di risanamento idrogeologico della Sacca degli Scardovari", predisposto nel 1994 dal Consorzio di Bonifica Delta Po Adige nell'ambito del "Programma integrato mediterraneo per le zone lagunari dell'Adriatico settentrionale (Reg. CEE 2088/85)", ha dato avvio a una serie di interventi per la stabilizzazione dello scanno e la vivificazione delle lagune. Nel 1997 furono realizzati l'apertura della nuova Bocca Nord, il parziale dragaggio dei canali che da essa si dipartono e la realizzazione di un rilevato a quota intertidale ed emersa (indicato, impropriamente, come "barena") nella parte centrale della Sacca. In seguito, a partire dal 2003, il Consorzio ha intrapreso i lavori per il ripristino e la stabilizzazione dello



Figura 2b: rilevato sabbioso artificiale caratterizzato da anomalie vegetazionali (foto L. Bonometto, 2009).

Scanno tramite la realizzazione di una scogliera difensiva sul lato verso il mare e di una struttura filtrante sul lato a laguna (recentemente rinforzata, anche questa, con elementi in scogliera), colmando le superfici comprese tra questi elementi con il materiale proveniente dai dragaggi lagunari.

Questi interventi sono tutt'ora in fase di ultimazione, come visibile dalla Figura 1. Gli interventi per la ricostruzione e stabilizzazione dello scanno, nella nuova localizzazione tra le due attuali bocche a mare, sono di primaria importanza per il mantenimento della separazione tra ambiente lagunare e marino e della circolazione delle correnti mareali necessarie alla vivificazione delle lagune; condizione, questa, indispensabile anche per la produttività alieutica. Un'eventuale eliminazione o forte riduzione dello scanno porterebbe a una radicale trasformazione del sistema laguna della Sacca, in particolare per la Sacca della Bottonera

che diverrebbe un braccio di mare. Gli interventi sull'assetto della linea di costa eseguiti nel passato, sia quelli di stabilizzazione dello scanno risalenti alla fine degli anni '80, sia il taglio dello scanno stesso per l'apertura della Bocca Nord, hanno dimostrato come l'inserimento di opere rigide, a maggior ragione in un sistema complesso e attivo come quello del Delta, possa innescare rapidi processi evolutivi, ripascitivi e demolitivi, connessi con l'intensa dinamica del trasporto litoraneo sotto costa. Per questo le future opere di difesa a mare dovranno essere adeguatamente individuate e progettate sulla base di una valutazione complessiva del sistema su cui incidono, ed essere preferibilmente accompagnate da interventi pilota a carattere sperimentale, seguiti da adeguati programmi di monitoraggio, per verificare l'efficacia rispetto ai risultati attesi e al tempo stesso i possibili impatti negativi sui litorali adiacenti.

È prevedibile d'altra parte che il man-

tenimento della configurazione dello scanno, incluse le due bocche, resti comunque dipendente nel tempo da due fattori: il completamento delle opere di costruzione dello scanno, compresa la stabilizzazione delle parti emerse con interventi di ingegneria naturalistica; la gestione di periodiche attività di manutenzione e di dragaggio dei canali e delle bocche, fonti di sedimenti da gestire sempre in modo differenziato e finalizzato come ricariche per le azioni e i processi ripascitivi.

Lo scanno, pensato negli anni '80, nasce quale opera artificiale funzionale a un progetto di vivificazione della laguna, con ripercussioni multifunzionali (in pri-

mo luogo ambientali, economiche produttive, naturalistiche). In quanto tale è necessario che la sua gestione ne garantisca una sufficiente stabilità spaziale, tramite una manutenzione costante e periodica (pena la perdita dello scanno e l'alterazione complessiva del sistema lagunare). La gestione di questo ambiente secondario deve, dove possibile, integrarsi con le forzanti e le dinamiche naturali del sistema complessivo, riducendo in tal modo gli sforzi ed oneri di manutenzione ed accentuandone le capacità autoconservative conformi agli analoghi sistemi naturali. Questo approccio comporta un importante sforzo conoscitivo, che richiede il monitoraggio di processi evolutivi spesso non lineari, e impone di attenersi ad un concetto di manutenzione flessibile, continuamente adattabile alle nuove situazioni.

Stato attuale dello Scanno di Scardovari²

I caratteri attuali dello Scanno sono la risultante di fenomeni evolutivi indotti dagli interventi antropici (dragaggi, refluentamenti e alcuni rimodellamenti) e dai dinamismi spontanei attivatisi su questi. Ne è derivato un complesso eterogeneo di ambienti in cui, a partire da condizioni lontane da quelle naturali, si sono innescati su superfici anche estese processi spontanei tendenti ai caratteri ambientali tipici dei lidi, che stanno progredendo in più tratti con tempi e modalità diverse. Lo Scanno, pur rimanendo in prevalenza, per la sua stessa origine, un ambiente "secondario" con anomalie nei popolamenti, nei dinamismi e nella ge-

omorfologia, presenta già alcuni habitat di interesse naturalistico ed evidenzia potenzialità tali da far ritenere perseguibile l'obiettivo di portare il sistema ad un assetto conforme ai caratteri naturali degli ambienti litoranei del Delta.

Specificità ambientali e dinamismi morfogenetici in atto

Una specificità di primaria importanza, conseguenza diretta dell'origine dello scanno, si riconosce nei caratteri geopedologici, nettamente divergenti rispetto agli scanni e ai lidi naturali. A differenza di quelli naturali, formati per accumulo di sabbia selezionata e classata dalle energie marine ed eoliche, lo scanno di Sacca Scardovari presenta sedimenti eterogenei a granulometrie molto diverse, con sabbie, conchiglie e componenti limo-argillose in stratificazioni differenziate conseguenti alle qualità e alle localizzazioni dei materiali rifluiti nelle varie fasi. Solo nei fronti spianati e rimodellati dall'azione delle onde e del vento lo scanno evidenzia, almeno nello strato superficiale, sedimenti parzialmente selezionati, con grandi differenze tra le superfici lato mare, nelle quali le energie meteomarine producono profondi e rapidi effetti rimodellanti selezionando le granulometrie e favorendo l'avvio di processi morfogenetici più conformi al luogo, e quelle sul versante laguna, ove le energie attenuate incidono sulle colmate per profondità e con esiti più modesti.

Conseguenza diretta di ciò si riconosce nelle anomalie vegetazionali rispetto alle ben note successioni proprie degli scanni naturali (vedi, ad esempio: Gehu *et al.*, 1984; Fiorentin R., 2007), con presenze di specie ruderali e nitrofile e con popolamenti interni difformi da quelli dunali. Anomalie con implicazioni importanti anche ai fini della stabilità, dato che

resistenza e resilienza delle dune litoranee sono assicurate proprio dai rapporti peculiari tra la geomorfologia e la vegetazione propria dell'habitat.

Va anche ricordato che i litorali sabbiosi alto adriatici presentano, nel loro complesso, peculiarità derivanti dalla collocazione geografica. La localizzazione a nord di un mare stretto e poco profondo, in una costa interessata dagli effetti refrigeranti e addolcenti delle acque fluviali, implica un'attenuazione dei caratteri mediterranei, con assenze tra l'altro di alcune specie vegetali tipiche rispetto a quanto riscontrabile altrove nelle coste italiane; di contro, in analogia con gli altri litorali mediterranei e a differenza di quanto si osserva nella costa europea atlantica, la prolungata siccità estiva che caratterizza il nostro clima fa sì che il rapporto tra la vegetazione e l'umidità del suolo richieda, per superare i periodi critici, connessioni più profonde tra vegetazione e sabbie delle dune, assicurate dagli apparati radicali e, come nel caso di *Ammophila*, dalle risalite capillari di umidità lungo i fasci di fusti sepolti (Bonometto, 1992). Aspetto, questo, dalle evidenti implicazioni tecniche.

È anche da ricordare che la posizione geografica del litorale veneto, in un'area di cerniera e transizione tra le vicine Alpi, il Mediterraneo e le porte dell'Europa orientale, determina ulteriori peculiarità florofaunistiche, in un ecosistema in cui, oltre ad alcune specie endemiche, confluiscono specie delle steppe continentali ed asiatiche, specie alpine e specie mediterranee per le quali le nostre dune rappresentano i limiti geografici dei rispettivi areali (Bonometto, 1992; Fiorentin R., 2007a,b). Questa grande e particolarissima diversità, in un sistema ecotonale a più scale, rappresenta un termine di riferimento irrinunciabile quando si valutano

² Il presente lavoro si basa prevalentemente su uno studio effettuato negli anni 2009-2010. Alcune caratteristiche dello Scanno hanno subito in seguito ulteriori evoluzioni per dinamiche naturali e per i refluentamenti avvenuti, con alcune modificazioni rispetto al periodo di indagine.

le linee progettuali, lo stato attuale e i dinamismi nei nostri habitat dunali.

Le anomalie sedimentologiche/vegetazionali presenti sullo scanno, e al tempo stesso le insorgenze di dinamismi positivi, originano grandi differenziazioni, tanto che si possono attualmente riconoscere nello scanno settori eterogenei come conseguenza di più fattori. Tra questi: i diversi caratteri sedimentologici dovuti, nei diversi tratti, ai rifluimenti pregressi; le quote, i profili e le profondità delle colmate realizzate; le conseguenti diversità negli assetti vegetazionali affermatosi spontaneamente; le localizzazioni rispetto agli eventi meteomarinari e alle escursioni di marea; le quote e localizzazioni dei rifluimenti in corso; le diverse ridistribuzioni dei sedimenti dovute ai dinamismi spontanei sopraggiunti; i recenti interventi di rimodellamento, protezione e piantumazione; gli effetti indotti dalle scogliere antistanti.

Le peculiarità sopra evidenziate sono all'origine anche di specifiche criticità in ambito faunistico. Le estese superfici di origine artificiale costituiscono siti privilegiati per la nidificazione dei gabbiani reali, presenti con una numerosissima colonia che esercita un grave impatto sulla restante avifauna data la loro attitudine a predare i nidiacei delle altre specie e comunque ad escluderle; al tempo stesso l'insularità ostacola le colonizzazioni da parte dell'erpetofauna e teriofauna autoctone. A tale proposito vale la pena osservare, come termine di confronto, quanto avviene nel vicino scanno a sud-ovest, caratterizzato da rilevanti sistemi di dune embrionali attive: queste favoriscono un'importante presenza di fraticelli, capaci di proteggersi grazie all'elevato numero di coppie che consente alla colonia di difendere i nidi tenendo lontani i gabbiani.

Un importante aspetto specifico, comune agli scanni del Delta, è dato dall'esigua profondità, che avvicina in misura talora vistosa i versanti lato mare e lato laguna come ben visibile in Figura 4. Da una preliminare analisi dei recenti rilievi morfologici effettuati sui litorali del Delta (Regione del Veneto, 2009), si osserva come sia necessaria, a titolo orientativo, una profondità degli scanni di circa 300-350 m per raggiungere assetti stabilizzati ospitanti adeguate successioni ecologiche. Il limite dato dalla profondità esigua dello scanno, sommato alle anomalie sedimentologiche e morfologiche, condiziona il possibile sviluppo verso l'interno delle tipiche successioni ecologiche litoranee, e quindi la formazione degli habitat maturi di duna stabilizzata. Nei litorali sabbiosi naturali, procedendo dal mare verso l'interno, si incontra di regola una tipica serie di fasce ambientali via via più mature, dalla battigia alle dune embrionali, ai primi cordoni di dune fino alle dune interne stabilizzate intercalate da bassure più o meno umide. Questa successione si riconosce nello scanno di Scardovari in modo molto parziale e anomalo; sono però presenti alcune peculiarità di pregio, e si riconoscono buone possibilità di intervenire per orientare i processi verso assetti conformi a quelli naturali.

In sintesi, procedendo dal mare verso l'interno, la successione ambientale presenta le seguenti caratteristiche, comprensive di anomalie e peculiarità. La fascia di battigia evidenzia nello scanno un'importante valenza dovuta agli estesi allineamenti di tronchi spiaggiati alla quota raggiunta dalle mareggiate invernali (Figura 2a): una condizione propria degli arenili antichi, oggi quasi ovunque perduta a seguito delle "pulizie" delle spiagge, che crea habitat specifici ed esercita importanti funzioni di cattura e

trattenimento delle sabbie. Una specificità che differenzia lo scanno rispetto agli altri del Delta, connotandone la battigia, è inoltre il suo carattere in qualche misura "lagunare" anche del versante a mare, verosimilmente connesso alla posizione più interna rispetto al preesistente "Scanno del Palo" e dalla presenza a mare di una scogliera protettiva parallela alla linea di costa. Un effetto di ciò è stato riscontrato in insoliti popolamenti autunnali di *Spartina juncea* (Figura 2a, sinistra) nella fascia usualmente raggiunta dalle maree e delle onde, con visibili effetti di stabilizzazione delle sabbie.

La fascia corrispondente alle dune embrionali evidenzia nello scanno formazioni solo iniziali, con estesi popolamenti di *Cakile maritima* accompagnata in più tratti, a sud-ovest, da *Spartina juncea*, da rade presenze di *Agropyron juncea* (= *Elymus farctus*) e da specie alofile, con particolare frequenza di *Inula chrithmoides*. La fascia corrispondente al primo cordone di dune è assente quale formazione spontanea, dal momento che i rilevati sono il risultato non di processi morfogenetici avvenuti per deposizione progressiva di sabbie classate, bensì per accumuli artificiali di sedimenti eterogenei (Figura 2b, destra) su cui solo di recente si è intervenuto con rimodellamenti naturaliformi.

Da ciò le anomalie nelle quote, nei dinamismi e nella vegetazione: sono assenti come spontanee le specie più tipiche delle prime dune, tra cui *Ammophila arenaria* (= *A. ittoralis*) e *Calystegia soldanella*, mentre l'ambiente è oggi dominato da presenze arretrate di *Cakile* associata a Chenopodiacee ruderali-nitrofile (soprattutto *Atriplex tatarica*) in popolamenti a tratti coprenti. La formazione di un ambiente analogo al primo cordone di dune è però obiettivo perse-

guibile, come chiaramente evidenziato dagli esiti recenti di alcune piantumazioni di *Ammophila* atte ad attivare i tipici dinamismi morfogenetici e vegetazionali.

Ancora più evidente è l'assenza di dune stabilizzate. Anche nell'area centro-orientale, ove la profondità dello scanno ne consentirebbe teoricamente la presenza, queste sono sostituite da un'alta spiagnata di origine artificiale, dominata verso mare da sabbie e più all'interno da terreni imbibiti in inverno e primavera e compatti in estate, con estesi fragmiteti intercalati da vegetazione nitrofila e da elementi propri dei suoli con escursioni estreme di umidità. Si tratta di un ambiente privo di carattere dunale, anche se piccoli nuclei di specie di duna e retroduna indicano una potenziale tendenza positiva.

A maggior ragione mancano le dune boscate (la vegetazione arbustiva e arborea è limitata a pochi tamerici di impianto artificiale, mentre perfino *Amorpha fruticosa*, inizialmente presente, è bloccata nello sviluppo), tanto da far ritenere che condizioni analoghe a quelle naturali possano essere ottenute in tempi vicini solo attraverso rimodellamenti, con localizzati adeguamenti pedologici, necessari per poter prevedere inserimenti di elementi vegetali propri delle dune boscate. Diverso è il caso delle bassure retrodunali. Assenti come ambienti umidi a bassa salinità (si ritrovano solo alcune depressioni a giunchi frammiste al canneto), sono ampiamente presenti come habitat alofili in superfici anche estese inserite nello scanno e contigue a questo, in raccordo con le superfici intertidali di transizione verso la laguna.

Zonizzazione dello scanno³

Per effetto delle modalità e delle fasi realizzative, lo scanno presenta nella sua

estensione settori caratterizzati da grande diversità nelle valenze e nelle criticità. L'estremità ovest (Figura 3, settore a) è caratterizzata da quote molto basse. Presenta un'elevata valenza naturalistica, con arenili soggetti a dinamismi geomorfologici e vegetazionali in larga misura naturali da cui deriva una formazione di dune embrionali con bassure alofile strutturate e differenziate, includenti anche uno stagno salmastro. La massiccia presenza di tronchi spiaggiati accresce i valori di naturalità e stabilità dell'arenile; mentre la sola superficie a quota più elevata è data, in una striscia interna, dall'estremo lembo ovest delle estensioni terrose che caratterizzano le aree successive. L'area non richiede allo stato attuale interventi prioritari, risultando sufficiente la manutenzione degli assetti e dei dinamismi in atto.

Lasciata l'estremità ovest si attraversa una lunga strozzatura (Figura 3, settore b) in corrispondenza della quale, prima dei rifluimenti verso mare, lo scanno si assottigliava fino a ridursi ad un diaframma terroso ricoperto di vegetazione discontinua ruderale-nitrofila e prativa (Figura 4). Nel versante interno, concavo, risulta particolarmente importante la fascia di transizione verso le acque lagunari, dominata da un'estesa superficie a bassissima profondità con formazione a ridosso del rilevato di bordi e lingue intertidali in progressivo avanzamento. Il lato a mare è stato oggetto di un recente esteso rifluimento, che ha attenuato le criticità dovute in precedenza all'estrema sottigliezza dell'istmo.

L'area che segue (Figura 3, settore c) si caratterizza per la presenza di un ampio e profondo rilevato artificiale (Figura 3, c1), le cui quote eccessivamente elevate e scarsamente differenziate hanno indotto dinamismi anomali rispetto a quelli

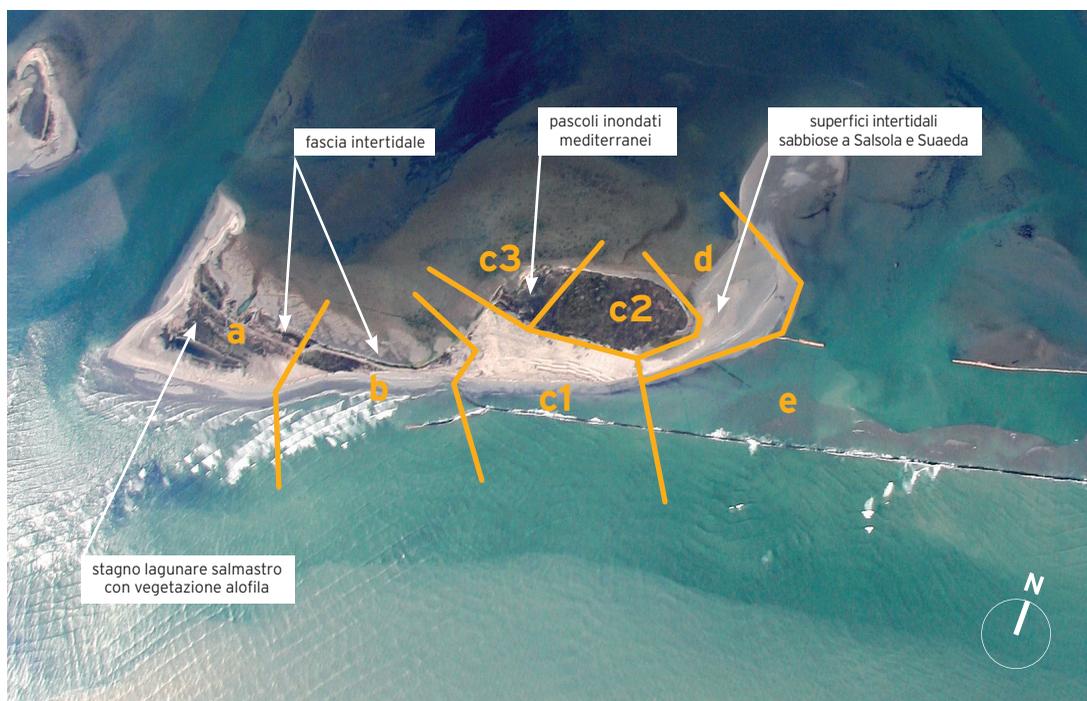
naturali di riferimento.

Recenti rimodellamenti nel terrapieno fronte mare hanno evidenziato importanti potenzialità correttive attivabili mediante riduzioni di quota, spostamenti di sedimenti, immissioni di strutture leggere associate a piante di duna con cui innescare i tipici processi edificativi. Dietro al terrapieno sabbioso si estende, a quota poco più bassa, l'estesa superficie confinante con la laguna, dominata da vegetazione nitrofila e canneto (Figura 3, c2); questa degrada bruscamente nell'angolo ad ovest, raggiungendo quote intertidali su cui si è sviluppato un pregiato sito alofilo (Figura 3, c3).

La superficie dello scanno dovuta ai precedenti rifluimenti termina, all'estremità est, con superfici sabbiose a bassa quota e con lingue intertidali protese verso la Sacca (Figura 3, settore d). La vegetazione pioniera si limita in queste a presenze di *Cakile* e *Phragmites*, sostituite nel lato laguna da popolamenti alonitrofilo a *Suaeda* e *Salsola*. Da osservare come l'orientamento dell'area porti a prevedere nel vicino futuro, dopo che sarà rifluita interamente la prevista superficie verso mare, una notevole profondità dello scanno in corrispondenza di questo settore, che potrà consentire, partendo da una condizione attuale quasi naturale, un orientamento della successione ecolo-

³ La situazione descritta fa riferimento al 2009. Rispetto a detto anno, a fine 2012 l'assetto è simile a quanto osservato nei primi settori evidenziati. Alcune variazioni hanno riguardato: il settore a, per ulteriore deposito di materiali sabbiosi; il settore b, per un intervento di chiusura delle celle di sasso e conseguente importante ripascimento, che ha ampliato in misura molto significativa l'estensione verso mare e quindi la stabilità; il settore c, in cui è in atto il riempimento che nel 2009 era agli inizi. Nella primavera 2013 è previsto un monitoraggio dello stato, considerando anche che le mareggiate invernali modificano periodicamente la situazione, e un confronto delle evoluzioni sui transetti.

Figura 3: zonizzazione dello scanno sulla base delle diverse caratteristiche morfologiche (in rosso) e individuazione delle superfici alofile esaminate nel testo (Foto aerea consorzio bonifica DeltaPo, stato 2009).



gica fino ad habitat interni.

L'ultimo settore, parallelo e allungato, è al momento in fase di realizzazione (Figura 3, settore e). Consiste nella superficie delimitata dai due allineamenti di scogliere, entro la quale sono in corso i rifluimenti che porteranno lo scanno alla dimensione e alla forma di progetto. Importante notare come la punta all'estremo est della superficie (non visibile nella figura), rifluita a fine 2009 con sedimenti in gran parte limosi, a seguito delle mareggiate invernali che hanno dilavato le componenti fini lasciando quelle sabbiose, abbia rapidamente evidenziato una colonizzazione conforme al carattere di arenile naturale, con una consistente presenza di *Cakile*.

Gli habitat dello scanno nelle cartografie naturalistiche

Queste diversità trovano riscontro nelle cartografie naturalistiche. La carta

regionale degli habitat finalizzata a riconoscere le tipologie definite in riferimento alla Direttiva 92/43/CEE, evidenzia chiaramente come le valenze riconducibili alla direttiva stessa siano concentrate alle estremità dello scanno; non classifica invece le vaste aree del terrapieno centrale, date le anomalie che ne sviliscono le qualità e impediscono una qualificazione degli habitat ai sensi della Direttiva.

Il terrapieno è definito invece nella carta degli habitat del Consorzio Delta Po (Figura 5), elaborata nell'ambito dei lavori di analisi riferiti al valore ecologico delle lagune (Pagnoni *et al.*, 2009)⁴. In questo elaborato il profondo fronte sabbioso e la superficie retrostante (corrispondenti ai settori c1 e c2 della Figura 3) sono indicati, rispettivamente, come "sabbie di scavo non vegetate" e "comunità di erbe nitrofile antropogeniche".

Va sempre ricordato che gli ambienti sabbiosi litoranei, sia naturali che artifi-

ciali, sono soggetti a rapide trasformazioni per evoluzioni spontanee o indotte. Queste investono tutti gli habitat dello scanno, con particolare velocità per le superfici fangose o sabbiose legate a sistemi deposizionali attivi; ciò significa che, per salvaguardare le biocenosi meritevoli di tutela, più che la salvaguardia di luoghi precisi desunti dalle cartografie è importante che siano garantiti i fattori e i processi in grado di riproporre nel tempo, anche in localizzazioni spostate, le condizioni funzionali proprie degli habitat lagunari. In questo quadro evolutivo la situazione attuale, rispetto a quella descritta nelle due cartografie citate, merita qualche aggiornamento.

Una variazione è evidente nel terra-

⁴Nel 2008 il Consorzio ha affidato al Consorzio Ferrara Ricerche l'incarico di valutazione della naturalità e qualità degli habitat del Delta del Po. Il lavoro è stato consegnato nel 2009 e presentato in sintesi nel Quaderno Cà Vendramin nr. 0. Maggiori dettagli sono consultabili anche sul portale cartografico del Delta sil.deltapo.it/web.



Figura 4: in primo piano è ben visibile l'esiguo diaframma terroso, ancora con i film plastici di rafforzamento posizionati all'epoca della realizzazione, che separa la spiaggia dalla laguna, coperto da rada vegetazione ruderale. Lato laguna (a sinistra) si nota la presenza di superfici intertidali di transizione. L'immagine è del 2009; l'arenile artificiale lato mare è oggi molto più esteso, a seguito dei recenti rifluimenti (foto L. Bonometto, 2009).

pieno individuato come "sabbie di scavo non vegetate" (corrispondente al settore c1 della Figura 3), che in realtà ha sviluppato di recente popolamenti anche coprenti di *Cakile* e *Atriplex*. Ulteriori signi-

ficativi cambiamenti si riconoscono nel complesso dei siti alofili, nei quali i processi evolutivi hanno portato a differenziazioni rilevanti, di seguito evidenziate, tendenti ad una strutturazione conforme agli habitat naturali.

La superficie alofila nell'estremità ovest (Figura 3, a), identificata nella carta regionale come sito a "vegetazione annua pioniera a *Salicornia* ed altre delle zone fangose e sabbiose" (la carta del Consorzio Delta Po Adige vi riconosce correttamente anche uno "stagno salmastro lagunare"), presenta oggi anche tipi vegetazionali psammaalofili a carattere perenne in un ecosistema a cinture di vegetazione che ne accresce ulteriormente il valore; diversamente, una sottile superficie lato laguna nell'estremità est (Figura 3, d), identificata con la stessa tipologia nella carta regionale, conferma il carattere annuo ma non la presenza di *Salicornia*, sostituita da una vegetazione alonitrofila a *Suaeda* e *Salsola*. La su-

perficie alofila qui individuata in Figura 3 (setto c3), definita nella carta regionale come "Pascoli inondati mediterranei (*Juncetalia maritimi*)" (simile definizione è data dal Consorzio Delta Po Adige), appare oggi molto più estesa di quanto indicato nelle cartografie, raggiungendo ampiamente il margine lagunare dello scanno. La superficie ospita attualmente un complesso ecosistema, su discontinuità altimetriche conseguenti all'origine artificiale, che sintetizza pressoché tutti gli habitat alofili alto adriatici.

Nella carta regionale non è invece evidenziata nelle sue valenze, probabilmente perché allora non riconoscibile, l'incipiente e discontinua fascia intertidale sul lato laguna dall'estremo ovest fino alla concavità delimitata dalla strozzatura (Figura 3 settori a, b; Figura 4). Tale fascia alofila, riconoscibile invece nella carta del Consorzio e indice di un processo positivo in atto, presenta significativi popolamenti pionieri annuali a ridosso dello scanno, e

LEGENDA

- Sedimenti misti lagunari emergenti durante la bassa marea
- Sabbie di residui di scavo non vegetale
- Sedimenti sabbiosi marini (sabbia > 75%) emergenti durante la bassa marea
- Sedimenti sabbiosi lagunari (sabbia > 75%) emergenti durante la bassa marea
- Comunità di erbe nitrofile antropogeniche
- Vegetazione annua delle distese fangose o sabbia intertidali
- Vegetazione annua delle linee di deposito marine
- Praterie e fruticeti mediterranei con vegetazione pioniera a *Salicornia*
- Vegetazione annua pioniera a *Salicornia* e specie delle zone fangose e sabbiose
- Stagni mediterranei salmastri a *Juncus* (*Juncetalia maritimi*)
- Stagni salmastri lagunari

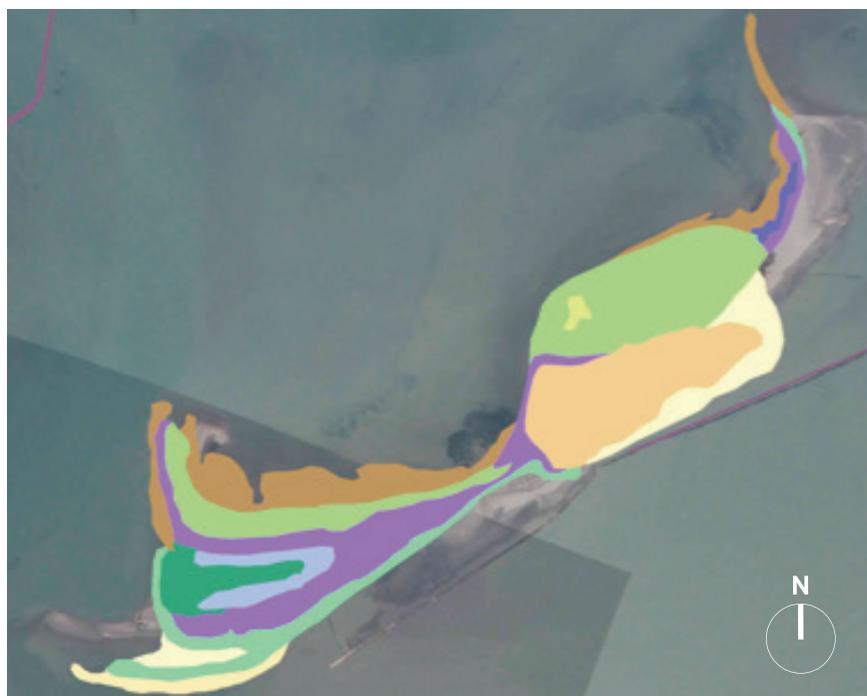


Figura 5: lo scanno di Scardovari nella Carta degli Habitat (Pagnoni *et al.*, 2009) da GIS DeltaPo.

si estende per notevole ampiezza con pregiati fondali limosi e sabbiosi soggetti ad escursione di marea. Questa situazione, descritta nel 2010 (Gianoni *et al.*, 2010), ha già subito cambiamenti legati ai lavori ed ai dinamismi naturali in atto (in particolare alle importanti mareggiate degli inverni 2011 e 2012), attualmente oggetto di monitoraggio per verificarne stabilità e consistenza.

La situazione attuale dello scanno conferma comunque nella sostanza, con alcuni elementi nuovi, le analisi effettuate nel 2009. Le osservazioni su cambiamenti avvenuti in tempi brevi ci impongono di ricordare come, in ambienti caratterizzati da accentuate dinamiche evolutive, la presenza o

assenza di habitat di pregio è legata soprattutto alle condizioni quadro che stanno alla base dei dinamismi evolutivi propri di quei sistemi ambientali. Un habitat può dunque essere presente oggi e assente domani a causa di fenomeni erosivi; ma l'importante è verificare che siano presenti le condizioni potenziali per una sua riformazione spontanea. Si tratta dunque di superare la sola visione legata alla presenza/assenza in un tempo dato, valutando invece la potenzialità sull'arco di uno spazio temporale e geografico più ampio.

La stabilizzazione degli scanni

Sul tema della gestione e ripristino degli scanni, e dei litorali più in generale, diverse sono le esperienze sia in Italia che a livello internazionale. Tra i grandi programmi di ripristino in corso basti citare come esempio quello sulle *Barrier Islands* lungo le coste del Golfo del Messico, in particolare nei pressi del Delta del Mississippi, quale componente strategica per la di-

fesa dell'intero sistema estuarino (Khalil, 2008; Louisiana Coastal Wetlands Conservation and Restoration Task Force and the Wetlands Conservation and Restoration Authority, 1998). Nel ripristino degli ambienti litoranei un approccio oggi largamente condiviso consiste nella ricerca di soluzioni che si integrino con le dinamiche naturali, favorendo e orientando i processi morfogenetici con l'obiettivo di assicurare per quanto possibile le capacità auto-conservative (omeoretiche) dell'ambiente, portando il sistema spiaggia-duna ad un equilibrio dinamico tra fattori erosivi e costruttivi (Rosati, 2009; Thompson, 2011). Questo tipo di approccio alla gestione e al ripristino dei sistemi dunali litoranei, finalizzato ad assicurare flessibilità e capacità di adattamento alle variazioni delle condizioni ambientali, assume oggi particolare importanza in previsione dell'innalzamento del livello del mare e dell'intensificazione degli eventi meteo marini legati ai cambiamenti climatici.



Le soluzioni progettuali previste per lo scanno di Scardovari rientrano in questo quadro, mirando a favorire ed orientare i dinamismi morfogenetici ed ecologici, presenti e potenziali, verso condizioni di equilibrio dinamico caratterizzate il più possibile da resistenza e resilienza. Nell'applicazione di questi criteri al ripristino dei sistemi litoranei sono da tenere presenti due importanti fattori limitanti: la disponibilità di ricche naturali di sedimenti, derivanti dal trasporto solido lungo costa e dal trasporto eolico; la presenza di spazi sufficienti per l'instaurarsi delle successioni ecologiche previste (Nordstrom, 2008).

Il primo fattore rappresenta un aspetto critico in gran parte degli ambienti costieri, non solo italiani, in quanto i diffusi interventi volti alla stabilizzazione e regimazione dei bacini idrografici, e i prelievi di inerti dai corsi d'acqua, hanno ridotto fortemente il trasporto solido a valle (Simeoni *et al.*, 2007). Questo richiede spesso, negli interventi di ripristino di ambienti costieri, ripascimenti del litorale mediante apporto di sedimenti, con eventuali movimentazioni per orientare l'evoluzione dei profili. Nel caso specifico della Sacca di Scardovari la disponibilità di sedimenti per il ripascimento deriva da una

Figura 6a: in alto, esempio di disposizione a doppia fila di strutture frangivento a zig-zag, Stone Harbor, New Jersey (foto tratta da www.flickr.com; autore: Makz, 2006).



Figura 6b: disposizione di pennelli frangivento posizionati al piede delle dune esistenti, per intercettare il trasporto eolico da vento di Bora, trasversale alla linea di costa (Alberoni, Venezia). (foto: A. Bonometto, 2012).

Figura 6c: dettaglio di uno dei moduli frangivento e del deposito di sabbia (foto: A. Bonometto, 2012).

gestione integrata del sistema scanno-sacca, che prevede il riutilizzo a tal fine del materiale derivante dai dragaggi attuati per il mantenimento dell'officinità idrodinamica delle bocche e più in generale della sacca.

Questa origine comporta inevitabilmente l'utilizzo di sedimenti a granulometria diversa, anche molto fine, variabile in relazione alle localizzazioni e profondità dei dragaggi; il che crea elevate criticità ed impone, se si vuole tendere ad evoluzioni morfogenetiche conformi alla naturalità e funzionalità delle dune, di usare i sedimenti stessi secondo criteri

differenziati nelle localizzazioni e nelle stratificazioni, favorendo ove possibile i processi di classazione ed evitando i fenomeni di corazzamento o compattazione che limitano, fino ad impedirlo, il trasporto eolico (Nordstrom, 2008; Gianoni *et al.*, 2010). Il secondo fattore limitante per lo sviluppo della successione ecologica completa sugli scanni del Delta è dato dalla scarsa profondità degli scanni stessi, talora aggravata dalla sottrazione di spazio dovuta ad infrastrutture e più in generale all'uso antropico del territorio; a questo sono da aggiungere, come nel presente caso, fenomeni erosivi naturali localmente molto marcati.

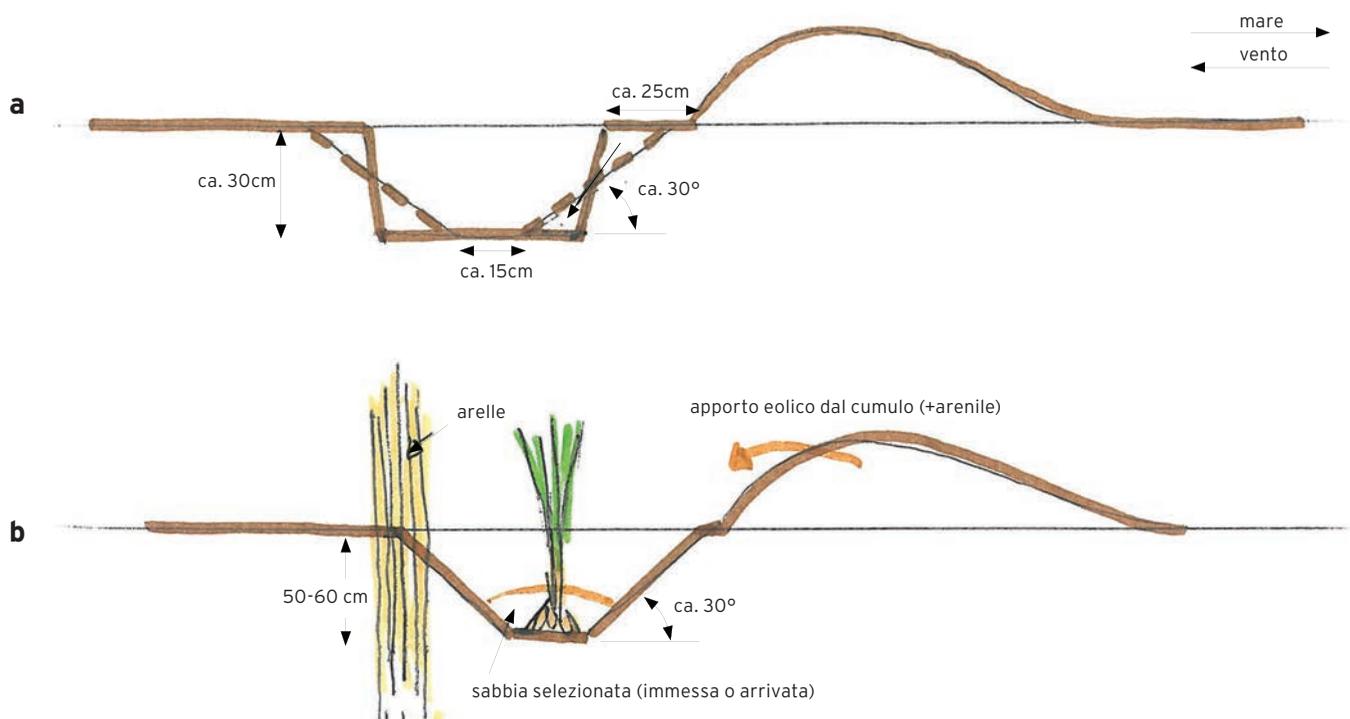


Figura 7: esempio di impianto di *Ammophila* nell'alto arenile. Fasi di impianto (a, b) e sviluppi attesi (c,d). In marrone scuro, profilo delle sabbie da rifluimento presenti al momento dell'impianto; in marrone chiaro, profilo delle sabbie classate di apporto eolico.

L'instaurarsi di una successione ecologica sufficientemente evoluta, tale da garantire la funzionalità ecosistemica dell'ambiente, rappresenta comunque un presupposto fondamentale per il successo di questi interventi; quantomeno sul versante lato mare, dove è particolarmente importante dal punto di vista

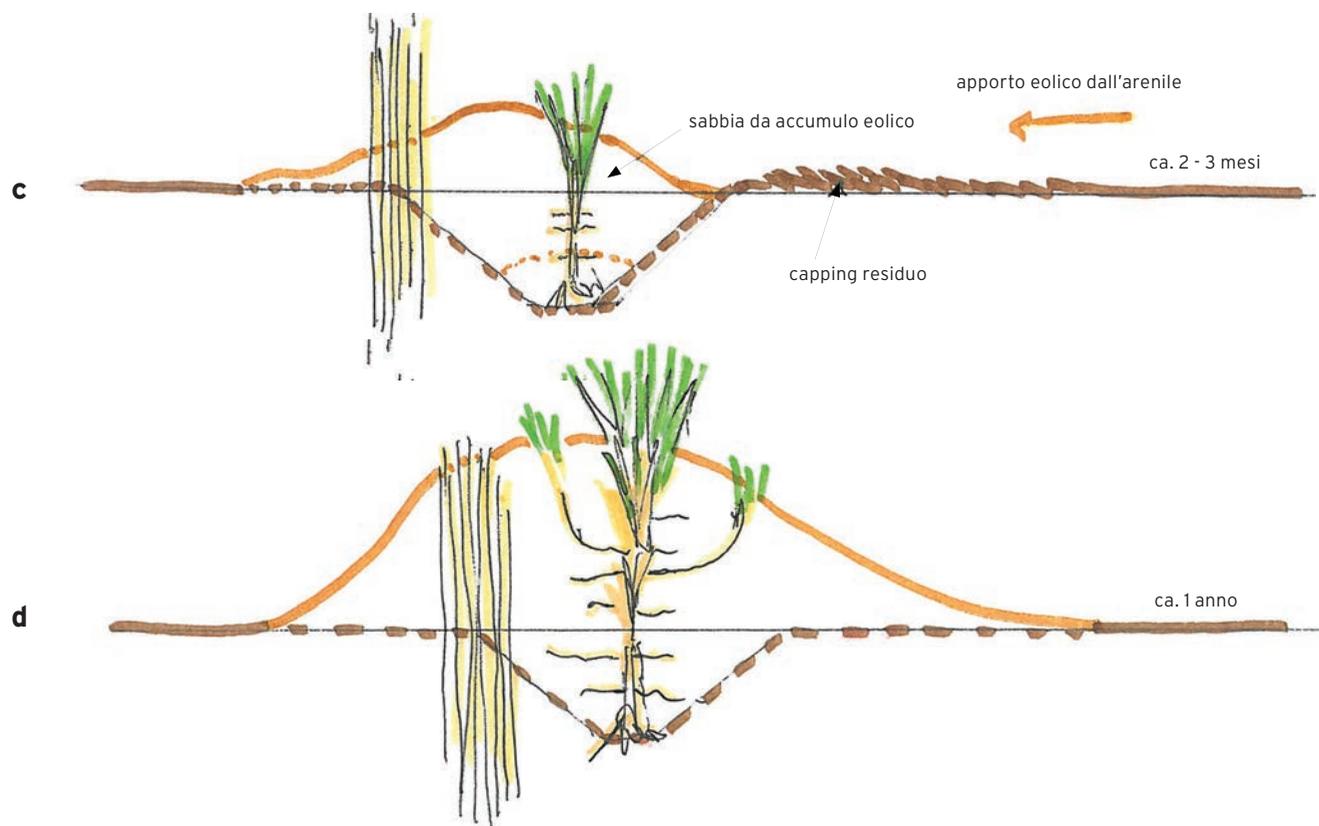
morfologico e funzionale la formazione di una adeguata zona attiva che vada dalle prime associazioni pioniere fino alle dune "grigie". Va infatti sottolineata l'assoluta importanza di questi ambienti dunali per la funzionalità morfologica, sia per la loro capacità di dissipare il temporaneo aumento dell'energia delle onde durante le mareggiate più intense (Thompson, 2011), sia per l'effetto di "serbatoio di sedimenti" per gli scambi ripascitivi con la spiaggia e per il ripristino naturale delle quote e delle morfologie in caso di erosioni da eventi meteorologici eccezionali. Inoltre, la presenza di cordoni di dune negli scanni limita i fenomeni di *overwash*, evitando la conseguente perdita di sedimento, la creazione di instabilità e l'apertura di breccie.

In linea generale negli scanni devono essere valutate e progettate soluzioni

differenziate per i versanti lato mare, per le superfici interne e per i versanti lato laguna, in funzione delle diverse forzanti idrodinamiche ed eoliche che inducono e guidano i processi evolutivi. I principali criteri di intervento proposti per lo Scanno di Scardovari sono i seguenti.

- Sul versante lato mare, per tutta la profondità direttamente interessata dai dinamismi meteo marini e dal trasporto eolico di sabbia, dopo la realizzazione delle strutture di base per la formazione dello scanno (scogliera e refluenti), gli interventi dovranno essere finalizzati ad orientare e favorire i fattori morfogenetici costruttivi conformi a quelli naturali. Il profilo finale di equilibrio dovrà quindi essere raggiunto grazie ai processi spontanei di ricarica indotti da detti interventi.

- Nelle superfici interne dello scanno, corrispondenti alla fascia occupata in natura dalle dune stabilizzate, gli inter-



venti porteranno ad assetti quasi finali, lasciando ai dinamismi spontanei (molto attenuati per l'assenza di sensibile ricarica di sabbia) effetti di solo assestamento delle morfologie.

- Nel versante lato laguna gli ambienti di transizione saranno progettati prevedendo realizzazioni che portino ad assetti morfologici vicini a quelli finali attesi, lasciando ai dinamismi mareali lagunari funzioni rimodellanti essenzialmente di perfezionamento e di espansione delle superfici intertidali.

Diverse modalità di intervento devono essere adottate in relazione alle morfologie e alle caratteristiche sedimentologiche attualmente presenti sullo scanno, derivanti dagli interventi attuati nel passato e dai processi evolutivi indotti (Figura 3). Nello specifico, l'elemento che in primo luogo differenzia lo scanno al

proprio interno, imponendo opportune strategie di intervento, è dato dall'eterogeneo rilevato artificiale presente nella parte centrale (Figura 3, C1), che richiede tratto per tratto specifiche valutazioni in relazione alle seguenti variabili:

- distanza tra i vari punti del rilevato in esame e il mare (che può risultare adeguata, eccessiva o esigua);

- morfologia (quote, profondità, pendenze, ecc.) e dinamismi del rilevato rispetto alle condizioni naturali (importante valutare se si sia vicini o lontani da condizioni di equilibrio dinamico naturale);

- caratteristiche sedimentologiche della sabbia (verificando soprattutto se si è in presenza di sabbia selezionata, di sedimenti non selezionati con presenza di componenti limose o argillose e di scheletro);

- processi in atto di erosione/asporto, o di ricarica eolica di sabbia, nei fronti e

nelle superfici dei diversi tratti.

Tali variabili sono di primaria importanza per l'individuazione delle strategie d'intervento da adottare, poiché differenziano le superfici consentendo di riconoscere quelle in cui sono sufficienti interventi minimi, basati sul principio di favorire processi eco-morfologici conformi a quelli naturali, e quelle in cui risultino necessari interventi più consistenti quali, ad esempio, ripascimenti e/o movimentazione di sedimenti. Per l'innescare dei processi morfogenetici orientati verso la formazione della successione ecologica tipica di ambienti litoranei si può ricorrere ad alcune tipologie di intervento, largamente diffuse e spesso utilizzate in modo sinergico:

- apporto e movimentazione di sedimenti, con modellamento delle superfici;
- inserimento di strutture frangiven-

to atte a interferire con l'asporto-trasporto-accumulo eolico di sabbia;

- immissione delle specie vegetali basilari nell'attivazione dei processi morfogenetici edificativi e consolidanti.

L'apporto con eventuale movimentazione di sedimenti, oltre che finalizzato al ripascimento dell'arenile, può essere utilizzato per accelerare i processi di ricostruzione dei cordoni dunali. A tal fine i rilevati vanno realizzati possibilmente a quote di progetto inferiori a quelle attese, in modo che queste ultime vengano raggiunte grazie alla successiva deposizione di sabbie selezionate dal trasporto eolico.

Strutture rigide possono essere utili per proteggere i ripascimenti dalle mareggiate più intense e per intercettare il trasporto solido lungo costa, ma vanno accuratamente pianificate e progettate tenendo presenti gli effetti su ampia scala per non interferire negativamente, aggravandoli, con i problemi di erosione a valle. Inoltre, l'impiego di strutture rigide può risultare necessario per limitare e confinare la mobilità degli scanni in funzione di specifiche esigenze: nel caso dello scanno di Scardovari, per garantire l'efficacia idrodinamica delle bocche limitandone l'interramento.

Strutture frangivento

Per innescare e/o per accelerare i processi morfogenetici legati alle energie eoliche l'impiego di strutture frangivento, in grado di "catturare" e trattenere la sabbia trasportata dal vento, rappresenta un metodo a basso costo largamente diffuso. Tali strutture riducono localmente la velocità del vento e originano piccoli vortici dissipativi, favorendo la deposizione dei sedimenti

e quindi la formazione delle dune. Affinché le dune inizino a formarsi e si possano sviluppare con il previsto innalzamento di quota devono essere soddisfatti alcuni requisiti fondamentali (Khalil, 2008):

- deve essere disponibile una zona di ricarica per il trasporto eolico sufficiente estesa, costituita da una fascia di spiaggia non o poco vegetata e non satura (usualmente asciutta);

- la velocità del vento deve eccedere per periodi sufficienti la soglia necessaria per la mobilitazione e il trasporto del sedimento;

- la profondità, inclinazione e quota della spiaggia devono essere tali da dissipare l'energia delle onde incidenti sulle dune in neo-formazione. Viceversa, quote troppo elevate limitano l'interazione della spiaggia con le forzanti idrodinamiche marine e riducono fino ad impedirle la continua ricarica di sabbia e la strutturazione del sedimento, portando in alcuni casi a fenomeni di corazzamento dell'arenile (Nordstrom, 2008).

In letteratura sono presenti numerose tipologie di strutture frangivento, le cui caratteristiche differiscono principalmente per materiali (es., palizzate di legno, cannucciato, fascinate in ramaglie o in *Spartina versicolor*, ecc.), per orientamento (rettilinee, inclinate, a pennelli, a zig-zag, aperte o a celle chiuse - v. esempi in Figura 6), per altezza (generalmente da 50 cm a 1.2 m) e per numero di file.

L'unico parametro su cui sembra esserci una sostanziale convergenza è la porosità, indicata come ottimale in valori compresi tra il 40 - 60% (Coastal Engineering Research Center (CERC), 1984; Khalil, 2008; Nordstrom, 2008; Florida Department of Environmental Protection, 2006; Grafals-Soto e

Nordstrom, 2009). In base alle esigenze sito-specifiche, e al confronto con le diverse tecniche disponibili in letteratura, nei paragrafi successivi vengono proposte alcune possibili soluzioni ritenute idonee per la formazione di sistemi di dunali nello Scanno di Scardovari.

Utilizzo della vegetazione a fini morfogenetici

La piantumazione di vegetazione psammofila negli interventi di ripristino di dune, spesso associata all'inserimento di strutture frangivento, viene effettuata con due diverse finalità, in più casi contestuali e interdipendenti:

- attivare, sostenere, accelerare i processi di edificazione e stabilizzazione dei sistemi dunali, per lo più nelle fasce delle dune embrionali e dune "bianche", favorendo la cattura delle sabbie e il conseguente consolidamento assicurato dagli apparati radicali;

- svolgere una funzione antierosiva a protezione delle dune esistenti, soprattutto nei primi fronti ove la profondità dell'arenile è carente (condizione che può far prevalere gli effetti eolici erosivi su quelli costruttivi, o addirittura far arrivare alle dune le mareggiate invernali), ma anche in superfici più interne dove mutate condizioni ambientali espongono a venti anomali ambienti pregiati anche di duna grigia.

Nei litorali adriatici le due specie più importanti ai fini morfogenetici sono *Ammophila littoralis* e *Elymus farctus* (Thompson, 2008; Speranza *et al.*, 2009; Bonometto, 1992), grazie alle funzioni edificatrici e stabilizzatrici. Importanti differenze, ecologiche e quindi tecniche, si riconoscono nelle localizzazioni prevalenti e nei ruoli delle due specie:

- *Elymus farctus* *supsp. farctus* (= *Agropyron junceum* = *Elytrigia juncea*)

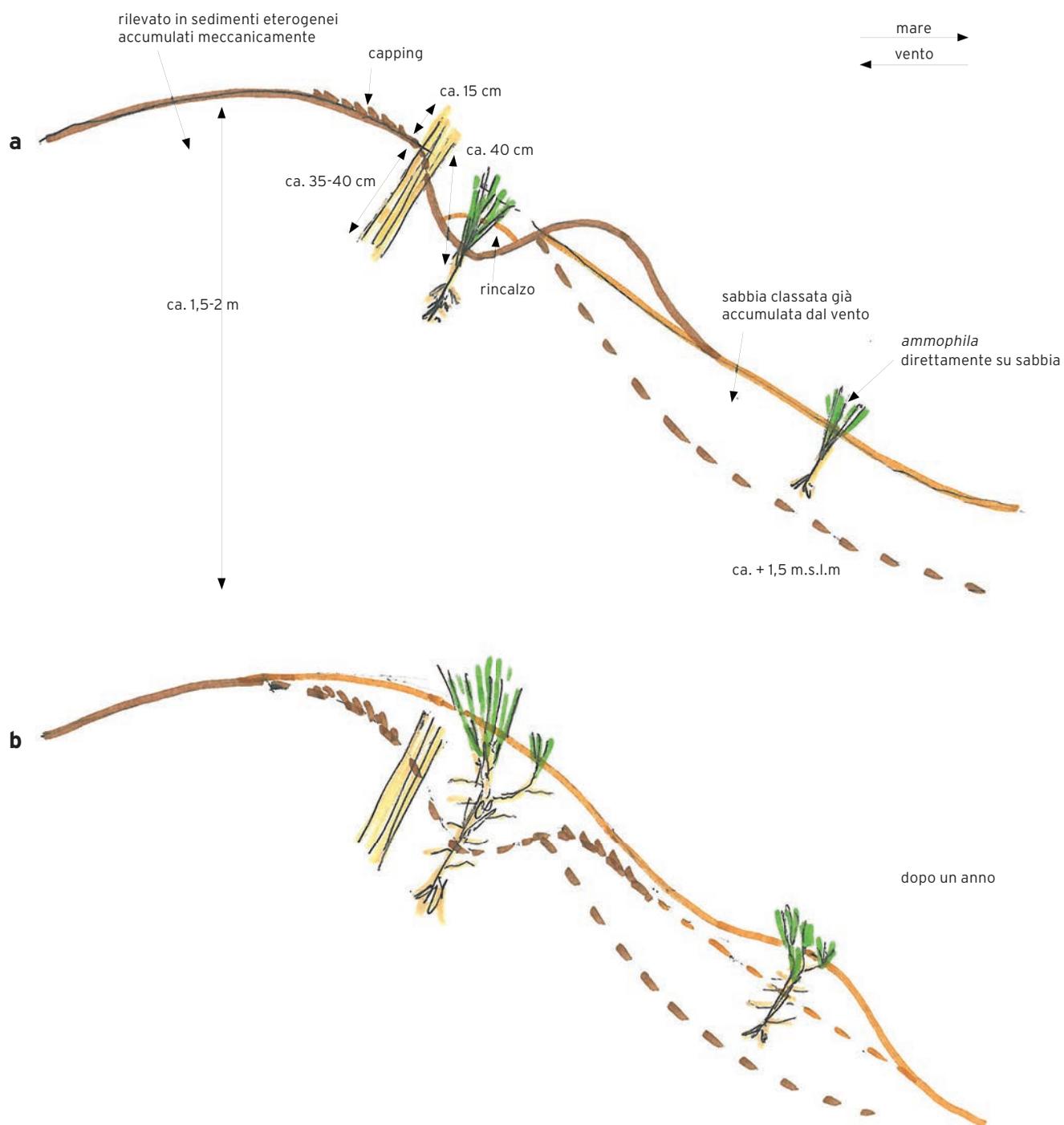


Figura 8: fase iniziale ed evoluzione al primo anno di impianti di *Ammophila* su rilevati artificiali. Per i colori delle sabbie vedi Figura 7.

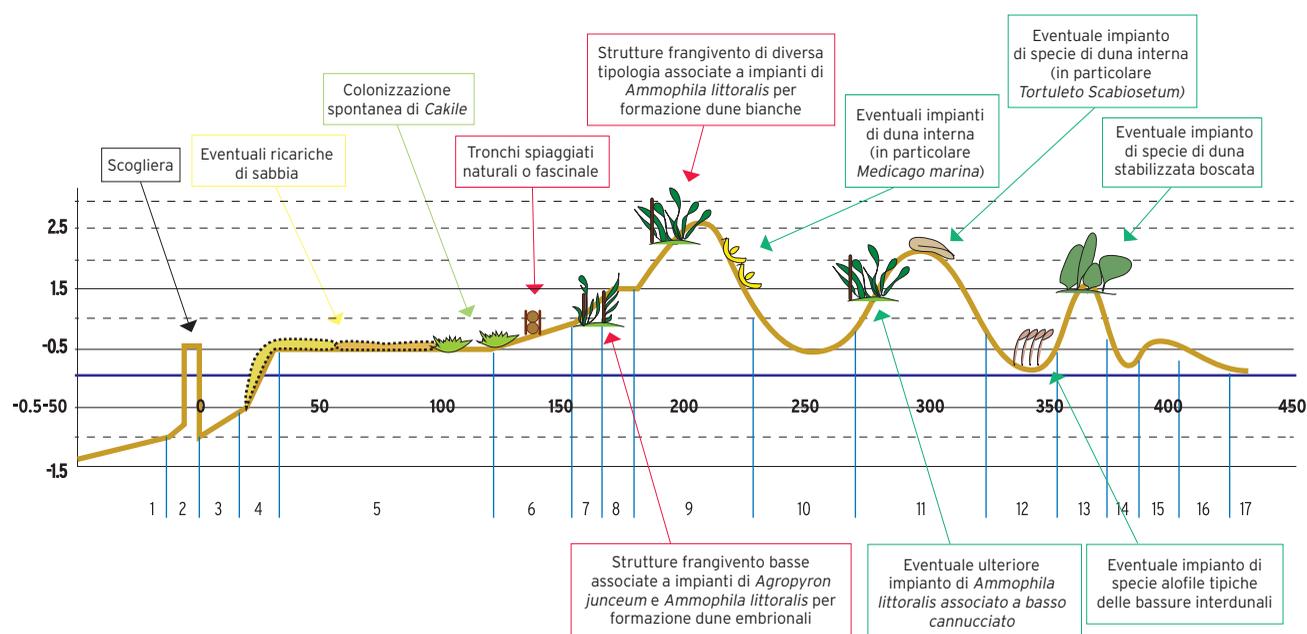


Figura 9: transetto tipo, con schematizzazione della morfologia di partenza, cui tendere ove possibile mediante rifluimenti e rimodellamenti, e degli interventi successivi orientati verso l'ottenimento (almeno potenziale) di una successione ecologica conforme a quella naturale (elaborazione propria). I numeri in carattere grassetto corrispondono in metri, a scala diversa, alle quote sul medio mare e alla distanza dalla scogliera; i numeri in carattere normale alla sequenza dei diversi elementi o ambienti, secondo la successione seguente.

1: mare;
2: scogliera artificiale;
3: superficie sommersa tra scogliera e arenile;
4: bagnasciuga (fascia intertidale);
5: arenile e fascia di prima colonizzazione;
6: prima duna embrionale;
7: duna embrionale a prevalenza di *Agropyron*;
8: duna embrionale con prima presenza di *Ammophila*;
9: duna bianca;
10: prima bassura interdunale;
11: prima duna grigia;
12: bassura interdunale umida;
13: duna consolidata boscata;
14: bassura alofila;
15: ondulazione terminale;
16: margine lato laguna;
17: superficie lagunare intertidale e acquea.

è specie edificatrice importantissima per l'innesco dei processi di colonizzazione e formazione delle dune embrionali a partire dalle prime quote e distanze dal mare non raggiunte dalle usuali mareggiate. La localizzazione fronte mare è favorita da una buona tolleranza all'aerosol marino e ad eventuali rapidi contatti con l'acqua salata. Specie guida dello *Sporobolo arenarii - Agropyretum juncei* presenta, oltre alla maggiore resistenza alla salsedine, minori esigenze riguardo agli apporti sabbiosi rispetto a *Ammophila*, risultando idonea anche per il restauro di diversi settori di duna. *Elymus* è frequentemente associato a *Calystegia soldanella*, assente nello scanno, che in natura crea nei pendii meno accentuati superfici coprenti aderenti al suolo.

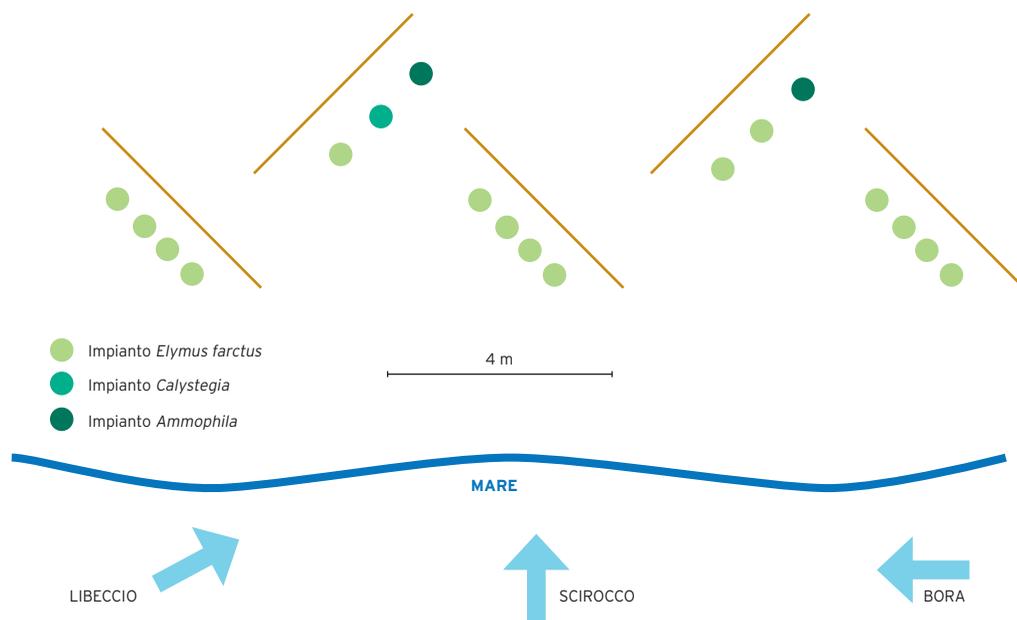
- *Ammophila arenaria* subsp. *australis* (= *Ammophila littoralis*) è la principale specie edificatrice, artefice dell'equilibrio dinamico ed evolutivo tra sabbie, vento e vegetazione che porta all'edificazione naturale e al consolidamento delle dune. Specie guida del *Echinopho-*

ro spinosae - Ammophiletum arenariae, subentra ad *Elymus* alle distanze e quote in cui normalmente sono attenuati gli effetti diretti della vicinanza al mare.

La buona riuscita degli interventi di impianto è legata ai caratteri biologici ed ecologici delle specie, primo tra tutti alla necessità, per *Ammophila*, di una sepoltura graduale in sabbia a granulometria selezionata, pregiudiziale per svilupparsi e quindi far sviluppare la duna. Infatti la crescita della pianta è subordinata all'emissione, dai nodi del fusto, di palchi di radici secondarie, oltre che di rizomi e stoloni che consentono il successivo accostamento con ampliamento della copertura. La formazione di nodi radicati segue in natura il seppellimento della pianta, con una fittezza (e quindi capacità di "armare" la duna) correlata all'entità della sommersione periodica da parte della sabbia.

L'omogeneità granulometrica degli accumuli eolici di sabbia assume par-

Figura 10: schema indicativo di della configurazione di intervento finalizzata allo sviluppo di dune embrionali, con l'impiego di strutture frangivento alte 50 cm e impianto di vegetazione (la distanza dal mare non è in scala) (elaborazione propria).



icolare importanza per la specie e le sue funzioni, conferendo al substrato i caratteri fisici e chimici (permeabilità-drenaggio, porosità, ossigenazione) necessari per il suo buon sviluppo; in assenza di detti caratteri manca la crescita e si instaurano fenomeni anomali o degenerativi (la presenza di componenti limo-argillose, che in asciutto si presentano come polveri, trattiene infatti l'umidità e, occludendo gli interstizi, ostacola l'ossigenazione, innescando processi di marcescenza analoghi a quanto si osserva in natura nei cespi senili più interni).

Ciò si è già verificato, anche in importanti estese esperienze altoadriatiche, in impianti su sabbie refluite non selezionate e/o in superfici prive di sufficiente ricarica eolica. Il previsto ampio utilizzo di *Elymus* e *Ammophila*, cui può essere aggiunta *Calystegia*, richiede un opportuno all'estamento di specifici vivai, al fine di garantire congrue disponibilità di esemplari senza dover ricorrere ad eccessivi prelievi in ambiente. Con l'occa-

sione i vivai potranno essere organizzati anche per la produzione delle principali specie che in natura si accompagnano, con effetti sinergici, alle tre sopra esaminate, fino alle specie finalizzate alla rinaturazione delle dune stabilizzate, delle dune boscate e delle bassure interdunali.

Tipologie di impianto nell'area dello scanno

L'aderenza degli interventi ai caratteri biologici ed ecologici di *Ammophila*, in particolare al fatto che la specie richiede obbligatoriamente, per assicurare gli effetti edificativi, una sepoltura graduale in sabbia a granulometria selezionata, può essere assicurata in fase di impianto con interventi anche semplici; variabili importanti sono date in questi casi, nel sito in esame, dalla pendenza delle superfici (arenile e versanti dei rilevati) e dall'eventuale presenza di sabbie già selezionate dall'azione eolica.

Per rendere possibile ovunque un impianto profondo su sabbie selezionate risultano necessarie, nelle superfici con sedimenti refluiti eterogenei, alcune semplici operazioni preliminari, consistenti semplicemente nella realizzazione di buche o trincee, di profondità corrispondente o superiore a quella di impianto, in modo che entro queste avvenga la deposizione di sabbia spinta dall'azione eolica. Sono di seguito proposte alcune tipologie operative (Figura 7 e Figura 8), diverse a seconda che si impiantino cespi isolati o allineamenti e che gli impianti avvengano su superfici poco inclinate (come nell'alto arenile) o molto inclinate (come nei versanti dei rilevati artificiali). In tutti i casi gli ingredienti si ripetono: scavo di buche o trincee di profondità e larghezze idonee; cumuli sopravvento ottenuti posizionando la sabbia rimossa; elementi in cannucchiato (o analoghi) quali trappole per la sabbia. In entrambi gli esempi è previsto l'utilizzo come unità di impianto

di gruppi di tre-cinque fusti radicati, meglio se comprensivi di parti di rizoma con più nodi, ottenuti smazzando i cespi prelevati in vivaio o in ambiente. Gli interventi devono essere calibrati in funzione ai caratteri sito-specifici dello scanno con soluzioni leggermente adeguate di volta in volta al sito e al periodo di impianto.

Impianto di *Ammophila*, e sviluppi attesi, nell'alto arenile su sabbie eterogenee rifluite.

Nell'alto arenile l'impianto di *Ammophila* (unitamente ad *Elymus* ed eventualmente a *Calystegia*) avviene su superfici ad inclinazione molto leggera, con funzione di attivare la formazione di un primo allineamento di dune embrionali. L'obiettivo suggerisce qui l'utilizzo di strutture di supporto leggere, capaci di avviare i processi attesi integrandosi in tempi brevi; e la conformità a quanto avviene in natura induce a proporre schemi di impianto radi, con cespi singoli distanziati o con brevi allineamenti a partire da una quota sensibilmente inferiore ai due metri; sarà la successiva crescita dei sistemi pianta/sabbia a determinarne la fusione dei cespi e a fare raggiungere i due metri di quota, in una duna embrionale armata e connessa agli strati profondi grazie alle parti delle piante progressivamente sepolte.

In Figura 7 sono esemplificate le fasi di impianto (a,b) e la schematizzazione degli sviluppi attesi (c,d). L'esempio è riferito all'impianto di singoli allineamenti di *Ammophila*; soluzioni analoghe potranno prevedere un doppio allineamento mediante la realizzazione di una duplice trincea con cannucciato nel mezzo, in modo da sfruttare per la formazione delle prime ondulazioni tanto i cumuli di sabbia che si creano sulle arelle a ridosso del fronte esposto al vento, quanto quelli sul retro dovuti ai vor-

tici sottovento.

Fase 1 (Figura 7, a): Scavo di una buca (o trincea se per un allineamento di piante), con accumulo sopra vento (lato a mare) della sabbia rimossa (questo cumulo sarà la prima sorgente di sabbia per il riempimento progressivo della buca per effetto del trasporto eolico). La profondità richiesta è di circa 30 cm; per la larghezza occorre aver presente che la sezione andrà incontro a rapido cedimento dei bordi fino ad assestarsi su inclinazioni indicativamente di 30° ("naturale declivio" della sabbia).

Fase 2 (Figura 7, b): Va posizionato sul fondo un primo volume di sabbia selezionata (prelevata da fonte vicina o ottenuta per setacciamento), fino ad uno spessore di 10-15 cm. (Questa operazione può essere omessa se la fossa è stata realizzata con un anticipo sufficiente alla formazione di un pari accumulo spontaneo per effetto del trasporto eolico; può anche essere omessa se le piante da posizionare sono già in un contenitore immediatamente degradabile riempito con una congrua quantità di sabbia selezionata). Entro la sabbia selezionata del fondo va effettuato l'impianto, rincalzandolo sempre con questa ed eventualmente sorreggendolo con una singola cannuccia. Sottovento, a circa 25-30 cm dalla pianta, va infisso verticalmente un cannucciato che fungerà da trappola per la sabbia fin che questa funzione sarà assicurata dal cespo stesso dopo il primo accrescimento. Il cannucciato, alto 100÷120 cm e dimensionato alla buca o alla trincea, andrà infisso per poco più di metà, sporgendo di 40÷60 cm (su piante singole preferibile una concavità verso mare).

Fase 3 (Figura 7, c): A circa 2-3 mesi dall'impianto (variabili a seconda dell'epoca di impianto, del clima dell'anno e

PRINCIPI E FINALITÀ

1. Garantire la presenza dello scanno a mare e dell'idrodinamismo.
2. Tutelare e consolidare le valenze ambientali esistenti.
3. Recuperare le funzioni ecologiche (ambiti di transizione, reticolo, dinamismi).
4. Attivare meccanismi di diversificazione degli habitat pregiati.

AMBITI DI INTERVENTO

- A** Consolidare e migliorare la struttura ed il dinamismo degli scanni.
- B** Tutelare e favorire le dinamiche neoformative di aree barenicole e di transizione ai margini della laguna.
- C** Recuperare gli habitat e le funzioni di transizione tra spazi d'acqua e terra tramite interventi di strutturazione dell'argine sia verso acqua (barene, velme, ecc.) sia verso terra (boschi, siepi, zone umide dolci, ecc.).
- D** Creare un biotopo d'acqua dolce in laguna tramite immissione controllata delle acque di bonifiche e creazione di un marginamento sommerso.
- E** Migliorare e valorizzare i collegamenti ecologici con gli ambienti situati nell'antrotterra.
- F** Garantire e migliorare l'idrodinamismo all'interno della laguna in funzione degli obiettivi ecologici differenziati per le due sotto-lagune.
- G** Rafforzare gli elementi strutturali e funzionali di separazione/transizione tra le due sotto-lagune (relazione con D).

Figura 11: quadro complessivo degli interventi per il recupero della Sacca degli Scardovari (elaborazione propria).



E

F

C

D

G

C

F

A

B



dell'intensità della ricarica eolica) il processo dovrebbe essere ben avviato. Sono attesi infatti: il già avvenuto riempimento della buca o trincea, per effetto della sabbia spinta dal vento proveniente dal cumulo adiacente e dall'arenile; una prima ondulazione a ridosso delle arelle, coprente in parte anche *Ammophila*; un buon attecchimento della pianta, superato lo shock da trapianto, con avvio del processo di formazione di radici secondarie. (In corrispondenza del cumulo dovrebbe essere rimasto solo uno strato di conchiglie dissepolti, di cui può essere opportuna la rimozione). È molto importante che quanto atteso si affermi entro l'estate in modo che la pianta, messa a dimora possibilmente a fine inverno-inizio primavera, sia in grado di far fronte agli effetti congiunti della siccità e delle escursioni termiche estive.

Fase 4 (Figura 7, d): A circa 1 anno la duna sarà sensibilmente cresciuta per effetto delle deposizioni eoliche invernali, fino a ricoprire totalmente o quasi le arelle. Lo sviluppo di *Ammophila*, apparentemente fermatosi a fine autunno ma realtà proseguito nell'inverno come crescita e differenziazione della parte ipogea, consente l'accestimento primaverile e con questo il massimo accrescimento. La duna embrionale dovrebbe arrivare all'estate con una crescita di almeno 60 cm; le arelle dovrebbero essere sepolte, per cui lo sviluppo successivo avrebbe carattere totalmente naturale; il cespo di *Ammophila* dovrebbe essere largo e denso, con sviluppo in profondità di rizomi-stoloni e primo avvio alla formazione per via vegetativa di elementi collaterali.

Impianto di *Ammophila*, e sviluppi attesi, nei rilevati artificiali su sabbie eterogenee rifluite

Questa condizione riguarda in particolare i rilevati rimodellati con morfologie

più vicine a quelle delle dune naturali, nei quali si osserva una diversità di effetti dovuti al vento tra il pendio e la sommità. Molti tratti del pendio presente nello scanno evidenziano una consistente deposizione di sabbia portata e selezionata dal vento, anche con spessore superiore ai 20 cm, tale da consentire un impianto diretto di *Ammophila* (Figura 8); la sommità dei versanti evidenzia al contrario verso mare gli effetti dell'erosione eolica, con esposizione dei sedimenti rifluiti e locale effetto di corazzamento che blocca i dinamismi morfogenetici. Sotto queste sommità è particolarmente utile un impianto di *Ammophila*, al fine di innescare anche sul colmo la deposizione di sabbia e la conseguente crescita della duna. Il principio per ottenere un buon attecchimento e sviluppo dei cespi è analogo a quello esaminato nella tipologia precedente, con alcune differenze dovute all'inclinazione e alla quota. Si tratta di realizzare delle buche appena sotto il colmo (non trincee, per non innescare effetti di franosità) a ridosso delle superfici segnate dall'erosione (Figura 8, a), con una profondità maggiore rispetto alle tipologie precedenti, dovendo compensare la maggior disidratazione dovuta all'esposizione al vento e il maggior drenaggio dovuto alla quota e all'inclinazione.

Lo scavo avviene su un pendio e questo costringerà ad una maggior verticalità della parete a monte, il cui cedimento dovrà essere impedito mediante infissione prima dello scavo di arelle inclinate. Le stesse piante andranno immerse con la parte sommersa inclinata (Figura 8,a), per assicurare maggior stabilità e maggior distanza delle radici dalla superficie esposta a disidratazione eolica e elevata escursione termica (massima nei pendii rivolti a sud). L'elevatissimo drenaggio della sabbia in pendio richiede un interrimento profondo, fino circa 25-30 cm, facendo

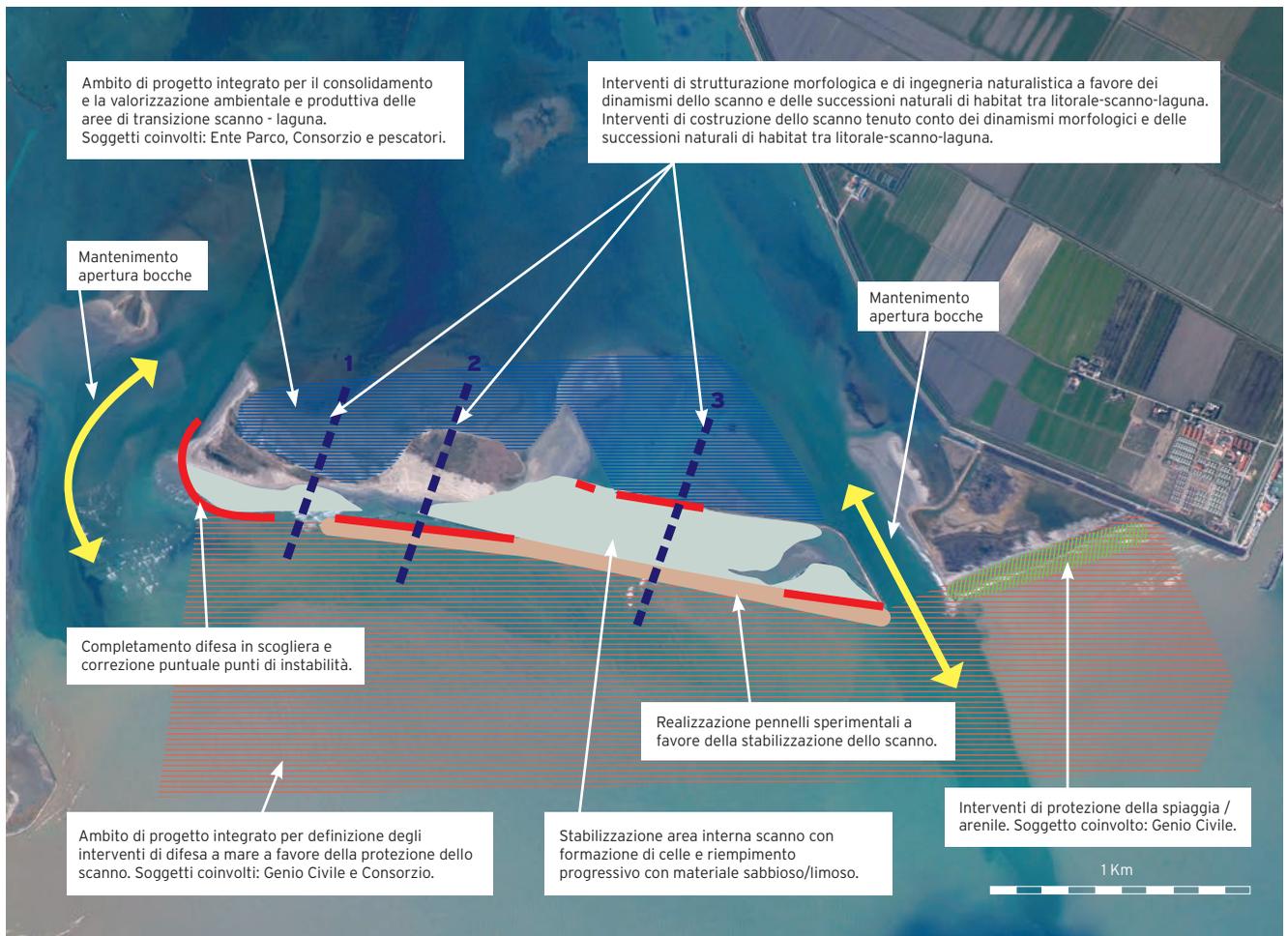
emergere solo le sommità delle piante per massimizzare le funzioni di radicamento e di ancoraggio date dallo sviluppo delle parti sommerse. Per il resto valgono le indicazioni della precedente tipologia; essendo chiaro che, posizionando cespi in singole buche, si otterranno inizialmente allineamenti frammentati e colmi ondulati (Figura 8, b), meglio se con piante leggermente sfalsate per quote, che richiederanno almeno un paio di anni per creare un fronte compatto.

Fase 1 (Figura 8, a): Profilo schematico a impianto avvenuto. Sono evidenziati: il profilo originario del rilevato artificiale (tratteggio marrone) e quello successivo alla deposizione spontanea di sabbia classata (linea beige); lo scavo di una buca, con riporto di sedimento a valle, subito sotto il colmo soggetto a erosione eolica, con cannucciato di protezione; le modalità di immissione dell'*Ammophila*, con rincalzo solo per quella posizionata nella buca.

Fase 2 (Figura 8, b): Assetto atteso dopo il primo anno, con rimodellamento della superficie grazie ad accumulo di sabbia classata (in beige), ricoprente il colmo, e con sviluppo atteso dell'*Ammophila* con palchi di radici secondarie.

Proposte di intervento per la stabilizzazione dello scanno

I criteri e le tipologie di intervento qui indicati possono essere messi in pratica secondo uno schema generale definito "trasetto tipo" riportato a pag. 74 (Figura 9), che colloca in sintesi le possibili tipologie di azioni di ripristino in funzione della successione ecologica riscontrabile e/o perseguibile in generale nello scanno. Tale schematizzazione rappresenta un riferimento di base per le fasi progettuali esecutive, con indicazione di massima degli interventi previsti per ogni singola



area. È importante tenere presente che nelle fasce ambientali 1-4 le forzanti naturali ed i processi morfogenetici successivi ai rifluimenti e rimodellamenti sono dati da fattori esclusivamente marini; nelle fasce 5-9 da prevalenti dinamismi eolici; in quelle 10-7 da processi di assestamento attenuati e stabilizzanti.

Lo schema in Figura 9 rappresenta una condizione ottimale, realistica solo in alcuni tratti dello Scanno di Sacca Scardovari. Nella realtà un fattore che condiziona diffusamente i progetti di riqualificazione ambientale connaturati alle finalità protettive sta nell'esigua profondità dello scanno (comune anche

agli scanni naturali), che limita il possibile sviluppo verso l'interno delle tipiche successioni ecologiche litoranee facendo venir meno, in gran parte dell'estensione, le distanze favorevoli agli habitat più maturi di duna interna stabilizzata. Si sottolinea come la sito-specificità e alcuni caratteri sperimentali di questi interventi rendono opportuna una implementazione graduale degli interventi e un monitoraggio costante, al fine di valutarne l'efficacia e apportare se necessario le opportune modifiche in corso d'opera. Inoltre diverse soluzioni possono essere sperimentate in fase iniziale su un primo stralcio di interventi, al fine di selezionare e mettere a punto quelle più efficienti da estendere

Figura 12: linee direttrici degli interventi di strutturazione morfologica, di protezione e di ingegneria naturalistica nello scanno e nelle aree contigue (elaborazione propria).

poi all'intero scanno.

Disposizione delle strutture frangivento e impianti di specie edificatrici

Nella fascia delle dune embrionali, al fine di favorirne lo sviluppo, si prevede, come precedentemente scritto, l'impianto di *Elymus farctus* e *Ammophila littoralis*, con eventuale aggiunta di *Calystegia*, associati alla messa in opera di strutture frangivento basse (circa 50 cm). In relazione alla direzione trasversale dei venti prevalenti caratterizzanti lo scanno (Bora e Libeccio) si ritiene opportuno in via sperimentale posizionare le arelle su due file in moduli di circa 4-5 m orientati in direzione inclinata rispetto alla costa (Figura 10), con la seconda fila orientata perpendicolarmente alla prima, al fine di aumentarne la capacità di cattura della sabbia (Nordstrom, 2008, Grafals-Soto e Nordstrom, 2009).

Le due file di arelle dovranno essere sufficientemente vicine in modo da creare dune embrionali destinate a fondersi in un unico sistema su una larghezza pari a circa 10-15 metri (Figura 9, fasce 7 e 8), tenendo presente che, come riscontrabile anche in letteratura, l'inclinazione prevista del sistema dunale crescente sarà di circa 1:4 - 1:7 (Coastal Engineering Research Center (CERC), 1984). Uno schema indicativo della configurazione di intervento finalizzata allo sviluppo di dune embrionali, con moduli orientati in relazione ai venti dominanti, è riportato in Figura 10. La diversa inclinazione dei moduli nelle due file di strutture frangivento ha lo scopo di intercettare al meglio il trasporto eolico generato dai due venti dominanti obliqui rispetto alla linea di costa (Bora e Libeccio). Inoltre, in caso di mareggiate che raggiungano la fascia delle dune embrionali, tale disposizione aiuta a limitare la formazione di correnti parallele alle strutture e la conseguente asportazione

di sabbia.

Le esemplificazioni precedentemente esaminate erano riferite alle aree dello scanno già rifluite e caratterizzate da rilevati artificiali. Diverso è il caso dei rifluimenti su superfici tendenzialmente piane (in primo luogo l'area "e" di Figura 3): in queste, nella fascia corrispondente al primo cordone di dune (fascia 9 del transetto "tipo" in Figura 9), la posa di strutture frangivento (di altezza 1-1,2 m) va eseguita su una o due file, a seconda della pendenza del rilevato ottenuto dalla movimentazione dei sedimenti e della larghezza della duna che si vuole ottenere. Nel caso di doppia fila la letteratura (es. Khalil, 2008) indica una distanza ottimale tra le stesse pari a 4 volte la loro altezza (quindi di circa 4-5 metri). La disposizione delle strutture può essere sia a moduli diagonali (di lunghezza pari a circa 10 metri), che su file a "zig-zag" (v. Figure 6a, 6b, 6c), soluzioni entrambe indicate in presenza di venti prevalenti trasversali alla linea di costa e che portano ad una morfologia più naturaliforme (Nordstrom., 2008).

Associato alla posa delle strutture è previsto l'impianto di *Ammophila* in posizione antistante e/o retrostante rispetto ai frangivento (vedi, per l'alto arenile, la Figura 7). Sempre nella fascia delle prime dune, ma in particolare nella zona del rilevato già presente, gli impianti di *Ammophila* saranno effettuati nel pendio verso mare alla base e presso la sommità dello stesso, in fossette ricavate su superfici oblique col supporto retrostante di arelle in cannucciato basse (50 cm circa) di limitata lunghezza (circa 2 m) utili anche per armare il margine superiore della fossa stessa (Figura 8).

In conformità a quanto avviene in natura si prevedono schemi di impianto di *Ammophila* radi, con cespi singoli distan-



ziati o con brevi allineamenti: sarà la successiva crescita dei sistemi pianta/sabbia a determinarne l'allargamento alla base e la conseguente fusione con quelli vicini, fino a costituire dei cordoni dunali.

Come indicazione di massima la distanza tra gli impianti può essere indicata nell'ordine di 0,75 m - 1 m, prevedendo circa 2-3 anni per la formazione di un cordone con-



tinuo. Le coperture in *Ammophila* risultano dominanti nelle nostre dune a partire da circa due metri di quota. Ciò significa che, analogamente a quanto avviene in natura, gli impianti dovranno essere effettuati a partire da una quota inferiore, in modo che la quota di due metri venga raggiunta per crescita della duna e continua emersione della specie sopra la sabbia catturata, che risulterà così armata e connessa agli strati

profondi grazie alle parti della pianta progressivamente sepolte.

Conclusioni

La stabilizzazione dello scanno degli Scardovari ha un'importanza primaria nello scenario generale degli interventi di valorizzazione della Sacca, grazie alla sua funzione pregiudiziale per il manteni-

Figura 13: parte centrale scanno, primi lavori di ingegneria naturalistica precedentemente realizzati. inverno 2011 (foto P. Gianoni).

mento della Sacca stessa. Gli interventi sullo scanno rientrano in un quadro complessivo di azioni (Figura 11) finalizzate da un lato a garantire le funzioni ecosistemiche e produttive presenti nell'area, dall'altro a migliorare le condizioni ecosistemiche complessive della Sacca, con particolare attenzione al recupero dei deficit ecosistemici.

La presenza dello Scanno di Scardovari, e la sua permanenza nel tempo, sono determinanti per assicurare le condizioni morfologiche e idrodinamiche della laguna, mantenendone le caratteristiche tipiche delle acque di transizione; ne consegue che la stabilizzazione dello scanno, almeno su una porzione centrale sufficientemente estesa, diventa obiettivo irrinunciabile per la conservazione a medio termine dell'ecosistema lagunare nei caratteri qualitativi, funzionali e produttivi che lo identificano.

Lo studio ha permesso di confermare come la formazione e gestione dello scanno necessitano di una impostazione basata su un concetto evolutivo in cui si vengono a integrare gli interventi antropici con i dinamismi naturali. In questa visione la conoscenza dei fenomeni di formazione ed erosione degli scanni e dei sistemi dunali deve essere alla base di qualsiasi intervento progettuale che miri a garantire a medio termine la presenza di complessi morfologici stabili.

Al riguardo le analisi effettuate hanno permesso di verificare i dinamismi in atto, quali basi per la definizione degli interventi volti a orientare l'evoluzione morfologica dello scanno, verso una condizione di equilibrio dinamico capace di garantire il più possibile resistenza e resilienza, e dunque maggior stabilità complessiva al sistema. In particolare appare importante porre alla base del progetto, e della realizzazione dei futuri interventi, alcuni punti chiave cui rapportarsi in modo integrato:

- la conoscenza delle tipologie di sedimenti mobilizzati è essenziale per definire le loro rilocalizzazioni nell'ambito della formazione dello scanno, in riferimento sia ai posizionamenti, sia eventualmente alle stratificazioni dei refluenti; vanno per questo previste, oltre alle classiche misure di analisi preventive, anche specifiche modalità nei capitolati d'appalto, finalizzate alla gestione flessibile dei materiali in funzione delle loro caratteristiche e delle loro destinazioni finali;

- la vegetazione ha un ruolo decisivo nell'edificazione e consolidamento degli scanni; gli interventi di piantumazione vanno pertanto pianificati tenendo conto delle condizioni generali e particolari dello Scanno e degli obiettivi a medio termine del progetto;

- le cure di orientamento e manutenzione della vegetazione di impianto devono essere previste per più anni (inizialmente 5) al fine di garantire, oltre al corretto attecchimento delle singole specie, il funzionamento del sistema, apportando qualora opportuno i dovuti correttivi;

- sono essenziali per il buon risultato di medio termine: il monitoraggio con strumenti di verifica costante dell'evoluzione morfologica (rilievi lidar); il monitoraggio dell'evoluzione vegetazionale (mediante rilievi fitosociologici su parcelle testimone, con documentazione anche sugli sviluppi e sulle coperture delle specie); le osservazioni faunistiche; le letture paesaggistiche (con documentazione fotografica delle fasi evolutive);

- le soluzioni progettuali previste, poiché mirano a favorire, orientare e potenziare i dinamismi morfogenetici ed ecologici presenti, richiedono soluzioni differenziate per il versante lato mare, per le superfici interne e per il versante lato laguna.

Negli ambienti costieri e lagunari adiacenti allo scanno gli interventi dovranno

essere integrati da progetti specifici su aree più vaste, elaborati in sinergia con gli enti competenti, finalizzati alla limitazione dei fenomeni erosivi di costa e alla valorizzazione degli spazi lagunari nel loro insieme. In un ambiente dinamico come quello degli scanni, è fondamentale superare la settorializzazione delle competenze e procedere verso una progettualità sistemica unitaria e complessiva. Sul piano progettuale l'approccio generale, conforme ai dinamismi naturali, consiste nel definire un rapporto altezza/profondità coerente con le dimensioni dello scanno, e nell'identificare i sedimenti corretti per la formazione delle strutture alle diverse quote e distanze dal mare.

Per lo più ciò equivarrà a fermarsi con i rimodellamenti e gli interventi di ingegneria naturalistica alle prime associazioni pioniere (non oltre le "dune grigie"), garantendo le strutture di sostegno necessarie all'attivazione dei processi naturali; solo nelle zone in cui lo scanno presenta maggiori profondità (250-300 m, vedi Figura 3 settore d) l'obiettivo potrà essere quello di portare le successioni ecologiche fino alla formazione di dune boscate, eventualmente comprimendo spazialmente le successioni in modo da farle rientrare nelle estensioni disponibili.

Dalle prime indicazioni progettuali e dalla prime verifiche sono emersi alcuni risultati incoraggianti, che hanno confermato in misura apprezzabile l'avvio delle dinamiche evolutive previste. Considerata però la precarietà della situazione, conseguente ai fattori di anomalia precedentemente esaminati, appare comunque necessario un monitoraggio a diverse scale nel corso delle prossime stagioni, per poter adeguare e implementare in itinere le misure progettuali ed esecutive sulla base di una verifica progressiva dell'evoluzione in atto.

Bibliografia

- Bonometto L., 1992. *Elementi per una pianificazione naturalistico ambientale della fascia litoranea nella Penisola del Cavallino*. In: *Un ambiente naturale unico. Le spiagge e dune della penisola del Cavallino*. Comune di Venezia, Grafiche Veneziane.
- Coastal Engineering Research Center (CERC) (1984) *Shore protection manual*. Ft. Belvoir, VA: US Army Corps of Engineers.
- Fiorentin R., 2007a. Linee guida gestionali per gli interventi di rinaturalizzazione. In "Progetto Life Natura -Azioni concertate per la salvaguardia del litorale veneto. Gestione di habitat dunali nei siti Natura 2000". Progetto Life O3NAT/IT/000141. pp.129-168
- Fiorentin R., 2007b. Habitat dunali del litorale veneto. In "Progetto Life Natura -Azioni concertate per la salvaguardia del litorale veneto. Gestione di habitat dunali nei siti Natura 2000". Progetto Life O3NAT/IT/000141. pp.75-128
- Florida Department of Environmental Protection. Division of Water Resource Management Bureau of Beaches and Coastal Systems, 2006. Sand Fencing Guidelines. (04/2006).
- Géhu G.M., Scoppola A., Caniglia G, Marchiori S., Géhu-Frank J, 1984. Les systèmes vegetaux de la cote nord-adriatique italienne. Documents phytosociologiques, vol. VIII, pp. 485-558. Camerino Università degli Studi.
- Gianoni P., Bonometto A., Bonometto L., Matticchio B., 2010: Interventi di sistemazione scanno degli Scardovari, Elementi ambientali e di ingegneria naturalistica per il progetto generale ed esecutivo, pag. 61, Consorzio Delta Po, 2010, inedito.
- Grafals-Soto R., Nordstrom K., 2009. Sand Fences in the Coastal Zone: Intended and Unintended Effects. *Environmental Management* (2009) 44:420-429
- Khalil, S. M. 2008. The use of sand fences in barrier island restoration: Experience on the Louisiana Coast. ERDC TN-SWWRP-08-4. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center, <https://swwrp.usace.army.mil>
- Louisiana Coastal Wetlands Conservation and Restoration Task Force and the Wetlands Conservation and Restoration Authority, 1998. *Coast 2050: Toward a Sustainable Coastal Louisiana*. Louisiana Department of Natural Resources. Baton Rouge, La. 161 p.
- Matticchio B., 2009: Evoluzione morfologica recente della Sacca degli Scardovari, Quaderni Cà Vendramin 2010 (0):18-52
- Nordstrom K. F., 2008 *Beach and Dune Restoration*. Cambridge University Press.
- Office National des Forêts (France), 2002. *Connaissance et gestion durable des dunes de la Cote Atlantique*. Manuel récapitulatif des enseignements du projet européen Life - Environnement de réhabilitation et gestion durable de quatre dunes françaises. In *Dossiers Forestiers - Office National des Forêts (France)*, n.11, 2002. Favennec J. (Direction - coordination).
- Pagnoni G.A., Bertasi F., Gianoni P. Rossi R., 2009. Il valore della naturalità e a gestione degli interventi nelle lagune del delta del Po, Quaderni Cà Vendramin 2010 (0): 56-103.
- Regione del Veneto, Segreteria Regionale Ambiente e Territorio - Unità periferica Genio Civile di Rovigo, 2009. Elaborazione dei dati LiDAR rilevati sulla costa del Delta del Po. Voli del 26 aprile 2006 e del 7 marzo 2009. Elaborazioni IPROS Ingegneria ambientale s.r.l
- Rosati, J. D. 2009. Concepts for functional restoration of barrier islands. Coastal and Hydraulics Laboratory Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-IV-74. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. <http://chl.erdcl.usace.army.mil/chetn>
- Simeoni U., Fontolan G., Tessari U., Corbau C., 2007. Domains of spit evolution in the Goro area, Po Delta, Italy. *Geomorphology* 86 (2007) 332-348.
- Speranza M., Ferroni L., Priton G., 2009. L'intervento di vegetalizzazione della duna. In *Foce Bevano: l'area naturale protetta e l'intervento di salvaguardia*. Regione Emilia Romagna, Assessorato alla sicurezza territoriale difesa del suolo e della costa protezione civile. A cura di Christian Marasmi. pp.26-28.
- Thompson R. C., 2011 *Natural habitats for coastal protection and relevant multi-stressor coastal risks*. Report and European scale overview. Theseus EU FP7 Project "Innovative technologies for safer European coasts in a changing climate". Deliverable OD3.3. Contributors: H. Heurtefeux, M. Milor, A. Bichot, S. Grosset. www.theseusproject.eu

ATTIVITÀ VARIE PROGETTO VIETNAM

LINO TOSINI

Direttore della Fondazione Ca' Vendramin

MASSIMO SARTI

Capo Consulente Tecnico Progetto IMOLA

BRUNO MATTICCHIO

IPROS Ingegneria Ambientale srl

GIAN FRANCO CASTELLI

TE.MA s.n.c.

LUANA STEFANON

Consorzio di Bonifica Delta del Po

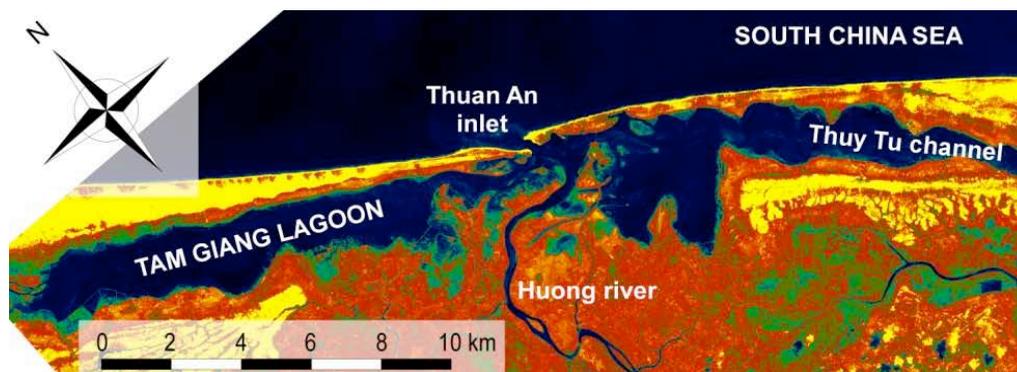
Il progetto FAO IMOLA (Integrated Management of Lagoon Activities) ha come obiettivo generale lo sviluppo di un piano di gestione sostenibile delle risorse naturali del sistema lagunare Tam Giang - Cau Hai (Hue, Vietnam). Iniziato nel 2008, attualmente è attivo nella sua seconda fase, all'interno della quale la Regione del Veneto, per il tramite del Consorzio di Bonifica Delta del Po, ha avviato un Progetto di Cooperazione Decentrata.

Il presente lavoro è finalizzato ad uno degli obiettivi prioritari del progetto IMOLA, che prevede *l'istituzione di un programma di monitoraggio ambientale del sistema e la modellazione idrologica della laguna di Tam Giang Cau Hai, da realizzare mediante metodi automatizzati di rilevamento dei parametri ambientali e rilievi sistematici della morfologia lagunare*, indispensabile per il controllo e la progettazione di interventi all'interno dell'ambiente lagunare finalizzati alla mitigazione del degrado ambientale in atto.

Alla luce dell'esperienza maturata nelle lagune costiere del delta del Po in

Italia, il presente lavoro mira ad (i) approfondire la comprensione dei meccanismi che favoriscono la circolazione interna delle correnti mareali e ad (ii) identificare le aree lagunari che più di altre sono caratterizzate da un ridotto ricambio idrico. L'indagine si è focalizzata sulla laguna meridionale, dal Canale Thuy Tu alla laguna di Cau Hai, con particolare attenzione alla bocca a mare Tu Hien. I dati cartografici e topografici di base sono stati acquisiti dalla banca dati GIS disponibile presso la struttura tecnica sede del progetto IMOLA a Hue.

È stata avviata una partnership con la Hanoi Water Resources University, che dispone di significative esperienze sugli ambiti oggetto di studio, da cui sono stati acquisiti ulteriori dati specifici (batimetrie, dati e studi idrologici idraulici, dati mareografici). Sono state inoltre attivate collaborazioni con le agenzie locali ed ottenuti i dati necessari per la compilazione di un database idro-meteorologico contenente serie storiche di registrazioni di dati meteo e livelli idrici dei corsi d'acqua per caratterizzare il regime stagionale del sistema. La parte rilevan-

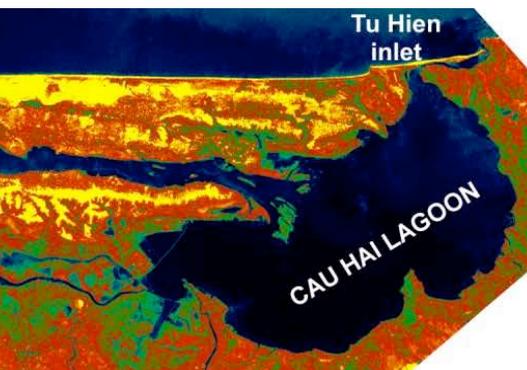


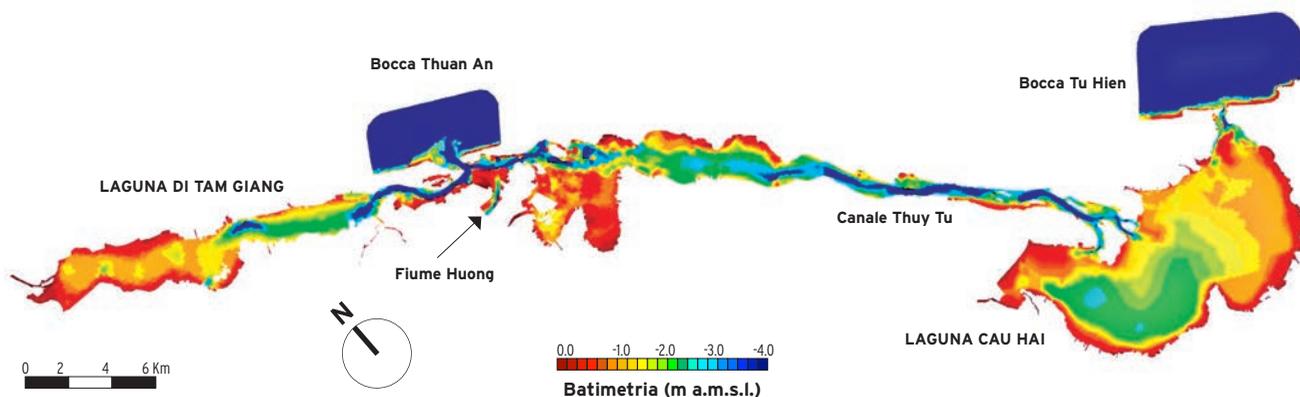
La laguna di Tam Giang - Cau Hai

te delle attività svolte è comunque consistita nella esecuzione di indagini di campo e nell'implementazione di un modello matematico idrodinamico della laguna.

Le campagne di misura, oltre a costituire il primo passo per il programma di monitoraggio ambientale previsto dal progetto IMOLA, sono principalmente servite alla raccolta del data set necessario per la messa a punto e la calibrazione del modello matematico. Le misure si sono concentrate sulla laguna Cau Hai, la bocca Tu Hien e il canale Thuy Tu. Sono stati condotti rilievi batimetrici di dettaglio, registrazioni mareografiche, misure di flusso e correnti alla bocca e nei canali principali con correntometro ADCP. Sono state effettuate inoltre misure CTD per mappare la distribuzione di temperatura e salinità nel sistema.

I rilievi sono stati effettuati nel periodo 15 - 22 Aprile 2011 da parte della ditta Te.Ma. S.n.c. di Faenza, Italia, su incarico della Fondazione Ca' Vendramin, con la collaborazione di Ing. B. Matticchio e Ing. L. Stefanon, incaricati dal Consorzio di Bonifica Delta del Po.





Il supporto logistico e l'assistenza sono stati forniti dal team IMOLA, coordinato dal prof. Massimo Sarti. Operatori locali hanno fornito le imbarcazioni e hanno partecipato direttamente alle misure (misure mareografiche e di salinità) dopo adeguato training. I dati raccolti sono stati processati e validati secondo gli standard del progetto, e resi disponibili in un database GIS.

Per le attività di analisi è stata impiegata la modellistica numerica sviluppata dall'Università di Padova, che consiste in una serie di moduli, basati su di una formulazione ad elementi finiti, che consentono di risolvere vari aspetti dell'idrodinamica delle correnti su bassi fondali in un dominio bidimensionale, inclusi livelli di marea e correnti, dispersione di soluti e movimenti di particelle galleggianti, trasporto di sedimenti e onde generate dal vento.

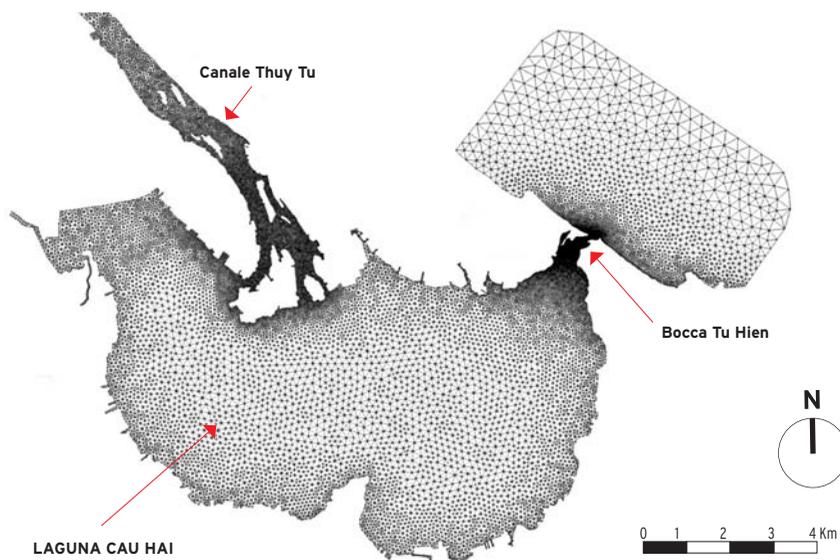
È stato impiegato anche un modulo 3D baroclinico, per simulare il moto delle correnti indotte in condizioni stratificate dovute alle differenze di salinità. Il dominio del modello è stato esteso all'intera laguna Tam Giang - Cau Hai e a delle

porzioni di mare prospicienti le bocche Thuan An e Tu Hien. La griglia computazionale è stata costruita con celle di dimensioni variabili per descrivere con maggior dettaglio la morfologia della laguna Cau Hai e della bocca Tu Hien dove è incentrato l'interesse dello studio.

Il modello è stato calibrato e verificato principalmente sulla base dei dati raccolti nella campagna di misura dell'Aprile 2011 e da altri dati raccolti durante una prece-

Dominio di calcolo del modello idrodinamico della laguna Tam Giang-Cau Hai.

Griglia del modello nella laguna Cau Hai.



dente campagna svolta da IMOLA nel Dicembre 2010, per verificarne la corretta risposta sulla propagazione dell'onda di marea, sull'entità dei flussi scambiati attraverso le bocche e attraverso il canale Thuy Tu, e sull'identificazione dei sottobacini di pertinenza di ciascuna delle due bocche. Per individuare gli ambiti della laguna Cau Hai maggiormente penalizzati dal punto di vista del ricambio idrico è stata, tra l'altro, effettuata la mappatura dei tempi di residenza.

I risultati ottenuti individuano un'area prossima alla bocca Tu Hien (circa 10 km²) che è caratterizzata da tempi di residenza molto ridotti (meno di 6 giorni) e dispone pertanto di una notevole capacità di ricambio idrico. Tempi di residenza più lunghi ma ancora relativamente contenuti (inferiori a 30 giorni) sono caratteristici di un'area interna alla laguna di estensione pari a circa 40 km².

Nella restante parte della laguna Cau Hai e lungo il canale Thuy Tu i tempi di residenza sono molto più elevati (superiori ai 2 mesi), per cui queste ampie porzioni di bacino lagunare sono caratterizzate da un'azione mareale pressoché assente e in esse la circolazione e il ricambio delle acque possono derivare esclusivamente dalla molto più debole e aleatoria azione del vento.

Il modello è stato impiegato infine per analizzare una serie di scenari che prevedono diverse configurazioni morfologiche della bocca Thuy Tu, inclusa l'ipotesi di procedere ad interventi di dragaggio della bocca. I risultati ottenuti sono funzionali ad individuare possibili interventi che possano migliorare la qualità e la circolazione dell'acqua all'interno della laguna.



_ATTIVITÀ VARIE ATTIVITÀ DELL'ASSOCIAZIONE DELTAMED NEL BIENNIO 2011-2012

LINO TOSINI

Direttore della Fondazione Ca' Vendramin

L'Associazione DeltaMed, costituitasi nel 2002 su iniziativa della Comunidad General de Regantes del Canal della Derecha del Ebro e del Consorzio di Bonifica Delta del Po di Taglio di Po, ed avente ad oggi rappresentanti appartenenti a nove diversi Delta e Zone Umide mediterranee, ha proseguito, anche nel biennio 2011-2012, la sua attività, in linea con i suoi principali obiettivi.

Nel novero delle attività intraprese vale la pena ricordare lo svolgimento, il 7 Aprile 2011, dell'Assemblea Generale di DeltaMed, nella sede della Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro e dell'Associazione DeltaMed in Amposta (Tarragona), durante la quale sono state illustrate, in via preliminare, le attività realizzate dall'Associazione nel corso degli anni 2009 e 2010, dando inoltre conto della gestione economica e dell'entrata in DeltaMed del nuovo socio Ente Parco Regionale Veneto Delta del Po. In particolare si è inoltre ricordato come l'Assemblea del 2010, che si doveva tenere ad Alessandria d'Egitto, fu rinviata a causa dell'instabilità politica di quel Paese.

Fra i temi trattati sono state di particolare interesse le informazioni da parte del dott. Badawi Tantawi (Delta del Nilo) sullo sviluppo della varietà del riso DeltaMed, in atto nel centro di ricerca egiziano di Sakha, nel quale si sta studiando la selezione di alcune varietà di riso per poter presentare quanto prima un progetto congiunto fra i rappresentanti di Spagna, Italia ed Egitto in ordine all'adattamento del riso al cambio climatico e al cuneo salino.

A seguire, il giorno 8 Aprile 2011, l'Associazione DeltaMed ha organizzato una giornata convegnistica sul "Futuro de la Agricultura en los deltas y zones hume-

des del Mediterraneo" in cui sono stati trattati temi come:

- la problematica della coltura del riso nella zone del Mediterraneo,
- la modernizzazione dell'irrigazione in Catalogna,
- il futuro della Politica Agraria Comunitaria,
- la gestione delle zone umide e dei delta (riferita all'esperienza nel delta del Po),
- le risorse idriche e l'agricoltura in Egitto,
- gli impatti e la strategia di adattamento al cambio climatico nei delta del Mediterraneo.

Nell'occasione il Presidente di DeltaMed, Manuel Masià Marsà, ha presentato al "Senador" della Comunità Autonoma della Catalogna, Sig. Joan Maria Roig i Gran, il documento firmato a Valencia nel 2003 dai diversi rappresentanti delle Regioni di DeltaMed e relativo alla "Dichiarazione della coltura del riso, come di speciale interesse nei delta e nelle zone umide con alto valore ecologico dell'Area Mediterraneo", per un impegno della stessa Comunità Autonoma di Catalogna a trasmettere tale documento al competente dipartimento dell'Unione Europea.

Nell'agosto del 2011 una delegazione, guidata dal Presidente, si è recata al Cairo per constatare sul terreno l'evoluzione della nuova varietà di riso DeltaMed che già era nella sua ultima fase di sviluppo e per la quale in seguito potranno farsi le prove definitive, atte a definirne il comportamento in Spagna e in Italia.

Il 5 Dicembre 2011 DeltaMed, in collaborazione con la Comunidad General de Regantes, ha organizzato un convegno durante la 51ª fiera agricola di Amposta nel delta dell'Ebro. Gli argomenti trattati hanno riguardato l'evoluzione delle varietà spagnole di riso in Egitto, con particolare riferimento a quelle con più



alto rendimento e tolleranti in condizioni estreme di siccità e alte temperature, e lo sviluppo di tecniche irrigue per la coltura del riso e l'uso efficiente dell'acqua in Egitto.

L'ing. Lino Tosini, rappresentante DeltaMed in Italia, ha presentato in dettaglio le trasformazioni che hanno inciso sull'evoluzione del delta del Po e i problemi di ingressione del cuneo salino, che hanno suscitato vivo interesse nei partecipanti spagnoli per le soluzioni proposte e per la relazione con le simili problematiche nel delta dell'Ebro.



Il 2012 ha visto incombere sui membri di DeltaMed le conseguenze derivanti dalle restrizioni economiche che si incontrano in tutti i paesi dell'Unione Europea ed hanno fatto sì che l'Associazione abbia ridotto l'intensità della propria azione. Ciò non di meno i membri hanno continuato a seguire l'evoluzione delle varietà di riso in Egitto.

È stato altresì avviato, in collaborazione con la Comunidad de Regantes de a Derecha del Ebro, un interessante progetto sviluppato con le scuole e volto alla conoscenza della realtà ambientale, morfologica e produttiva del delta dell'Ebro. Tale progetto, in ragione anche dei suoi buoni esiti, sarà esteso anche a tutte le altre realtà di DeltaMed.



Assemblea Generale di DeltaMed, nella sede della Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro e dell'Associazione DeltaMed in Amposta (Tarragona).

_SEGNALAZIONE TESI DI LAUREA INDAGINE SULLA DISPERSIONE INTERMAREALE NELLA LAGUNA DI VALLONA (DELTA DEL PO)

ANDREA DEFINA

Università degli Studi di Padova

Laureanda: **ALICE SGARABOTTOLO**

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

Anno Accademico 2009 - 2010

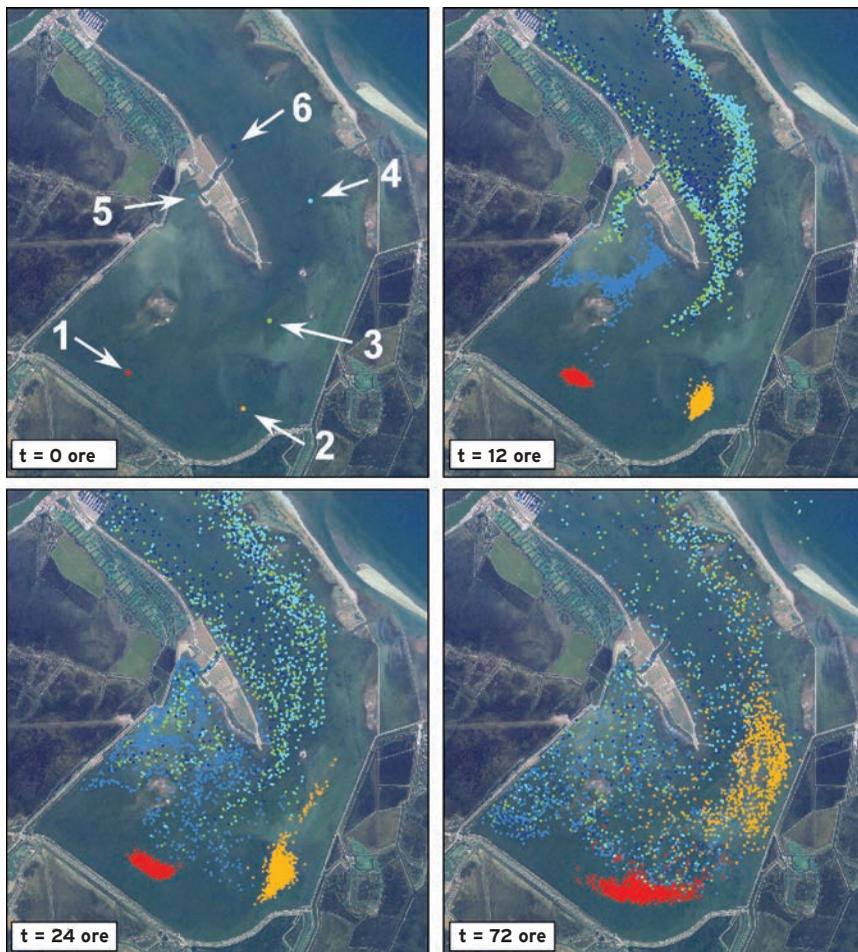
Tesi di Laurea Specialistica

La tesi affronta il problema degli indicatori idrodinamici per una stima verosimile delle capacità di ricambio idrico di bacini soggetti a marea. Fino ad oggi si è fatto riferimento al cosiddetto "tempo di residenza" che però non sempre si è rivelato un parametro significativo per l'individuazione di condizioni di criticità con riferimento al problema del rinnovo delle acque. In questo lavoro viene proposto un diverso parametro: il coefficiente di dispersione intermareale che potrebbe, affiancato al tempo di residenza, fornire utili indicazioni sullo stato di un bacino a marea e sull'efficacia di eventuali interventi ingegneristici aventi lo scopo di favorire il ricambio idrico.

Andrea Defina

Nella progettazione di interventi per la vivificazione di bacini a marea è utile disporre di indicatori idrodinamici in grado di segnalare l'efficacia dell'intervento stesso. A questo scopo, normalmente, si fa riferimento al cosiddetto "tempo di residenza". A tempi di residenza elevati sono associabili meccanismi di ricambio idrico non efficaci che, a loro volta, segnalano situazioni di sofferenza. Non sempre però questa associazione è corretta; in qualche caso, infatti, efficienti processi di scambio con l'atmosfera possono garantire una buona qualità delle acque anche in presenza di tempi di residenza relativamente lunghi. Si è pensato quindi che un utile indicatore idrodinamico, da associare eventualmente al

Figura 1: Illustrazione del processi dispersivi subiti da sei macchie immerse nella parte meridionale della laguna di Vallona.



tempo di residenza, potesse essere rappresentato dall'intensità, mediamente in un periodo di marea, dei processi dispersivi i quali misurano, in qualche modo, la vivacità del ricambio idrico e possono essere sinteticamente descritti dal coefficiente di dispersione intermareale. In questo lavoro di tesi, la valutazione dei coefficienti di dispersione intermareale è stata effettuata con riferimento alla laguna di Vallona, facente parte del sistema di bacini a marea del delta del Po, sollecitata mediante una marea sintetica semidiurna. Per la valutazione del coefficiente di dispersione intermareale si è fatto uso di un modello dispersivo di tipo Lagrangiano accoppiato ad un modello idrodinamico bidimensionale. Mediante questi modelli è stato possibile ricostruire i processi di trasporto e diffusione di "macchie" di sostanze conservative durante più cicli di marea e valutare quindi, per ogni punto di immissione delle "macchie", il coefficiente di dispersione intermareale.

Dal punto di vista operativo si è proceduto come segue. Sono state immesse all'interno della laguna un certo numero di gruppi di particelle (denominati "macchie"), ciascuno composto da un elevato numero di elementi. Sono quindi state ricostruite tutte le traiettorie delle singole particelle di ciascuna macchia determinate da un trasporto medio convettivo (con velocità fornite dal modello idrodinamico) e da spostamenti casuali di entità strettamente dipendente dal coefficiente di diffusione turbolenta; quest'ultimo è stato assunto coincidente con il coefficiente di viscosità cinematica turbolenta, variabile nello spazio e nel tempo e fornito anch'esso dal modello idrodinamico. Il confronto statistico degli spostamenti complessivi subiti da tutte le particelle di una macchia in un ciclo di marea ha consentito poi di stimare il

coefficiente di dispersione intermareale. Un esempio di come si sviluppa il processo di trasporto e dispersione per alcune macchie collocate nella parte meridionale della laguna di Vallona è illustrato in Figura 1.

Qui si osserva, in particolare, che le macchie collocate in posizioni non distanti dalla terraferma lungo il bordo meridionale della laguna (macchie 1 e 2), durante più cicli di marea sono soggette a spostamenti relativamente modesti e, soprattutto, a processi dispersivi di piccola entità: si osserva infatti che queste macchie rimangono compatte e la loro espansione, se confrontata con quella delle altre macchie (in particolare delle macchie 4 e 6), può considerarsi trascurabile. Una dispersione intermedia caratterizza la macchia 5 la quale, pur essendo ubicata in una posizione iniziale idraulicamente poco attiva, risente del benefico effetto prodotto dalla corrente indotta periodicamente dalla marea lungo il varco artificiale che taglia la penisola di Santa Margherita. Lo studio ha analizzato il comportamento di circa 550 macchie, immesse nella laguna in modo spazialmente uniforme e in quattro diversi istanti durante il ciclo di marea. Per ciascuna macchia, e quindi per ciascuna posizione, è stato determinato il coefficiente di dispersione intermareale come valore medio tra quelli calcolati al variare dell'istante di immissione. Una volta stimato questo coefficiente per un gran numero di punti all'interno del bacino lagunare è stata ricostruita, per interpolazione, la mappa di Figura 2 che mostra la distribuzione spaziale del coefficiente di dispersione intermareale.

I risultati di questa indagine confermano, anche se per ora solo in modo qualitativo, la possibile significatività di questo parametro nell'individuazione di eventuali condizioni di criticità o, al contrario, di

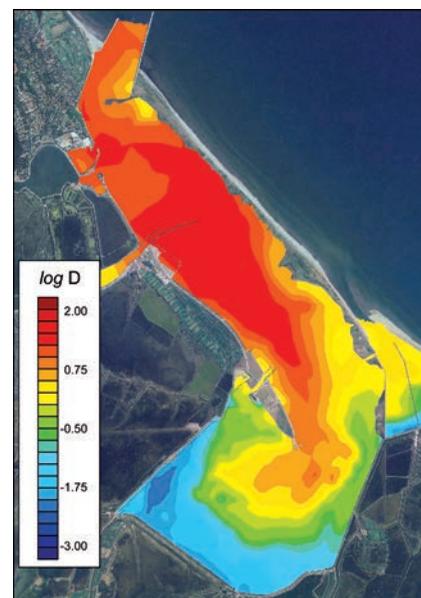


Figura 2: distribuzione spaziale del logaritmo del coefficiente di dispersione intermareale, D espresso in m^2/s . (laguna di Vallona).

buona salute con riferimento al problema del rinnovo delle acque, di particolare interesse quando ci si accinge a progettare soluzioni ed interventi ingegneristici aventi lo scopo di favorire il ricambio idrico. Il passo successivo consisterà nel verificare, quantitativamente, l'efficacia di questo parametro attraverso la valutazione dei legami esistenti tra il coefficiente di dispersione intermareale e alcuni parametri quantitativi, di tipo chimico e biologico, rilevati sperimentalmente in diversi bacini lagunari, soprattutto dell'alto Adriatico, e atti a misurare lo stato di salute delle acque.

_SEGNALAZIONE TESI DI LAUREA INTRUSIONE SALINA NEL DELTA DEL PO: PROBLEMA O OPPORTUNITÀ PER IL TERRITORIO? PROPOSTE DI ADATTAMENTO PER UN'AREA INTERREGIONALE

PIPPO GIANONI
IUAV Venezia

Laureanda: **STEFANIA GIRARDI**
Dott. in Pianificazione e politiche per l'ambiente
Università IUAV di Venezia

La tesi affronta il tema dell'intrusione salina e delle conseguenze legate ai futuri cambiamenti climatici in un'area ad alto rischio come il delta del Po, attraverso un approccio sistemico e multifunzionale, confrontando alcune realtà europee simili e identificando percorsi specifici per la scelta di misure coerenti di difesa integrata, tra parametri di adattamento e interventi tecnici di difesa. L'atteggiamento della difesa come solo atto di conservazione dello stato attuale va superato con nuovi approcci integrati tra pianificazione e progettazione, inserendo anche il parametro di adattamento all'instabilità naturale dei territori più fragili nelle politiche e nei progetti e avviando nuove esperienze di gestione del territorio improntate su modelli più flessibili e dinamici.

La tesi è stata premiata con il Premio Speciale per la Salvaguardia del Territorio al '13° Premio Ecologia Laura Conti - ICU 2012' con la vincita di una borsa di studio del concorso per tesi sullo Sviluppo sostenibile, promosso dall' "Associazione Gabriele Bortolozzo".

Pippo Gianoni

Il fenomeno dell'intrusione salina è particolarmente sentito nel Delta del Po, a causa degli effetti negativi che provoca sia in corrispondenza degli ambiti naturali che antropizzati. La volontà di studiare il tema e di comprendere se è possibile affrontare il fenomeno secondo modalità diverse da quelle ad oggi applicate, ha determinato la stesura di una tesi che si pone un quesito fondamentale: l'intrusione salina risulta esclusivamente un problema per il delta o può essere colta invece come opportunità? Sino ad oggi ha prevalso un approccio di difesa dal fenomeno, mediante l'inserimento di alcune barriere antisale all'interno degli ambiti estuari. Tali opere risultano costose, sia in termini di realizzazione che di manutenzione, oltre ad essere non pienamente efficaci.

Uno degli obiettivi di tesi è stato quindi di comprendere se questo fosse lo strumento principale da utilizzare, o se invece potesse far parte di un ventaglio di proposte, utili ad agire in modo sinergico contro il fenomeno dell'ingressione salina. La realtà odierna, anche a causa delle modificazioni graduali derivanti dai climate change, rende infatti indispensabile un intervento che adotti un approccio differente dall'esclusivo contrasto all'ingressione, che sia volto piuttosto ad un adattamento al fenomeno. L'idea, ad ogni modo, non è di intervenire esclusivamente in tal senso, bensì attraverso l'integrazione di politiche differenti che possano avere una maggiore efficacia, data la stretta connessione di questo fenomeno con altri ambiti quali: climate change, subsidenza, interventi antropici, etc. Va tenuto conto inoltre della complessità del delta, dovuta alle sue caratteristiche di contemporanea instabilità e dinamicità: sono necessarie per tanto delle soluzioni di adattamento sia a livello di piano che di singolo progetto.

L'ambito considerato è quello del delta polesano, ove si è scelto di prendere come riferimento l'area NATREG¹, in modo tale che le proposte presentate risultino maggiormente applicabili all'interno del territorio e possano al contempo fungere da esempio per contesti simili. La tesi si sviluppa mediante l'analisi degli aspetti relativi all'intrusione salina, seguita dalla descrizione del delta e delle opere attualmente esistenti o in corso di realizzazione, volte a limitare il fenomeno analizzato. Successivamente sono stati approfonditi i metodi utilizzati in altri ambiti, in particolare in Olanda e Spagna, considerati come esempi chiave per l'applicazione di misure utili alla riduzione del fenomeno all'interno del territorio in analisi. Infine è stata descritta la proposta di tesi, dove è stato esposto l'insieme di indicazioni relative all'adattamento all'intrusione salina nel Delta del Po.

Il raggiungimento degli obiettivi di tesi viene ad essere realizzato secondo la definizione di tre linee principali, a partire dallo sviluppo dei maggiori rischi cui è soggetto il delta: subsidenza, salinizzazione e rischio idrogeologico. È stato considerato dapprima il rischio di subsidenza, che è stato poi correlato a quello di salinizzazione². Ne è seguita l'elaborazione di una mappa delle aree sensibili alla salinità, tenendo conto degli habitat e dell'uso del suolo del delta. L'intersezione di queste diverse mappe ha determinato la creazione di una carta delle aree potenzialmente a rischio di salinizzazione, che associata alla carta del rischio idrogeologico e a tre diversi scenari di cambiamento climatico, ha portato all'indicazione delle aree potenzialmente a rischio nel Delta del Po.

Dalle elaborazioni ottenute è stata realizzata la carta di adattamento, che include azioni volte sia all'adattamento

all'intrusione salina che ai cambiamenti climatici (tali azioni sono visualizzabili in Figura 1). Le proposte indicate nella cartografia sono state incluse anche all'interno di un prontuario, che ha la funzione di diffondere la conoscenza del fenomeno d'ingressione salina, dei principali rischi cui è soggetto il delta e delle soluzioni applicabili. I soggetti cui è rivolto questo strumento sono sia amministratori pubblici che privati, al fine di promuovere una sensibilizzazione diffusa.

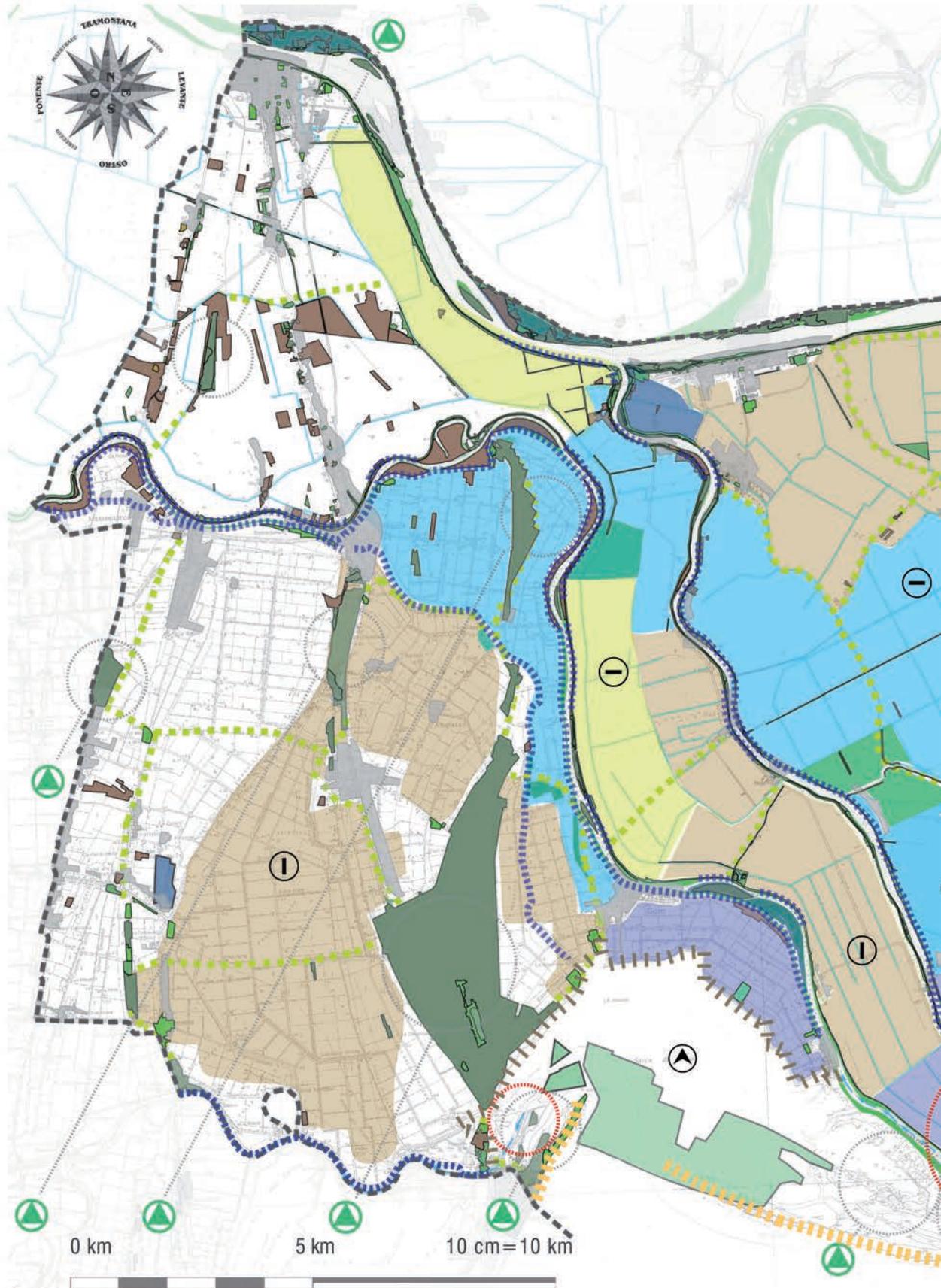
Le proposte presentate nel prontuario fanno riferimento a varie tematiche, in modo tale da evidenziare l'esistenza di un ventaglio di possibilità ampio che permetta di agire su fronti diversi, contribuendo però a realizzare il medesimo obiettivo. Oltre a proposte innovative, sono stati considerati progetti esistenti e in corso di realizzazione in relazione a vari ambiti, al fine di delineare e approfondire maggiormente alcune tematiche. Tra le proposte di maggior rilievo spiccano la necessità di applicare in modo concreto un 'Protocollo continuativo' e il controllo effettivo delle acque del bacino del Po da parte di un'autorità sovraordinata³. Viene promossa inoltre la conversione delle colture in coltivazioni meno idroesigenti e in grado di sopportare livelli più elevati di salinità, oltre alla realizzazione di bacini multifunzionali diffusi all'interno del territorio. A queste sono state associate ulteriori proposte di tipo strutturale e non, relative a varie tematiche.

Le indicazioni definite vanno ad integrarsi a progetti esistenti, come le barriere antisale, tenendo conto che queste opere possono far parte di una proposta più completa, che inglobi soluzioni di tipologia differente, incidendo anche sullo sviluppo del territorio. La scelta di non considerare un solo ambito d'applicazione per le varie proposte, deriva dalla

¹ Managing NATURAL Assets and Protected Areas as Sustainable REGional Development Opportunities, il progetto ha lo scopo di promuovere lo sviluppo interregionale sostenibile dell'area, mediante le potenzialità date dalle risorse naturali e dalle aree protette presenti.

² A causa della mancanza del dato è stato costruito secondo un metodo innovativo.

³ Proposta effettuata tenendo conto dell'attuale realizzazione del 'Piano del Bilancio Idrico' da parte dell'Autorità di Bacino del fiume Po.



Corso di laurea Specialistica in Pianificazione e Politiche per l'Ambiente - **Tesi di laurea** - A.A. 2010-2011
Relatore: **Giuseppe Gianoni** Correlatore: **Francesco Musco** Correlatore: **Lino Tosini** Candidata: **Stefania Girardi** girardiste@gmail.com



LEGENDA

- Limite dell'area di studio
Fonte: IUAV di Venezia
- Aree edificate
Fonte: ADBPO
- Priorità moderata per l'intrusione salina al fine della gestione di rilasci d'acqua dolce stoccata
Fonte: elab. personale su dati del C. di Bonifica Delta del Po
- Priorità elevata per l'intrusione salina al fine della gestione di rilasci d'acqua dolce stoccata
Fonte: elab. personale su dati del C. di Bonifica Delta del Po

- Protezione e ripascimento degli scanni
Fonte: elaborazione personale su dati del C. di Bonifica Delta del Po e Pianura di Ferrara
- Mantenimento dell'estuario ad ambito misto salino/dolce
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po
- Creazione di un ambito ecologico strutturato a mare misto salino/dolce
Fonte: elaborazione personale su dati del C. di Bonifica Delta del Po e Pianura di Ferrara.
- Priorità per le aree urbane costiere
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po
- Priorità media per le aree urbane costiere
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po
- Rinforzo del primo argine di difesa
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po
- Sistemazione degli argini fluviali
Fonte: elaborazione personale su dati del C. Bonifica Delta del Po e C. Bonifica Pianura di Ferrara
- Priorità verso la rete di scolo/promiscua
Fonte: elaborazione personale su dati del C. di Bonifica Delta del Po e Pianura di Ferrara
- Mantenimento e ampliamento delle golene
Fonte: Consorzio di Bonifica Delta del Po
- Mantenimento dei bacini d'accumulo d'acqua esistenti e connessione alla rete ecologica proposta
Fonte: IUAV di Venezia fornito dalle Prov. RO e FE
- Creazione di bacini d'accumulo d'acqua
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po
- Mantenimento dei bacini di fitodepurazione esistenti e connessione alla rete ecologica
Fonte: elab. personale su dati del Consorzio Delta del Po
- Creazione di bacini di fitodepurazione
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po e Provincia di FE
- Interventi di vivificazione delle lagune combinati con le attività economiche presenti sulla base di progetti esistenti
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po e Provincia di Ferrara
- Protezione degli ambiti lagunari
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po Provincia di Ferrara
- Mantenimento delle aree a vegetazione arbustiva, erbacea e a pioppeto esistenti
Fonte: elaborazione personale su dati delle province di Rovigo e Ferrara
- Conversione in colture meno idrosigenti con integrazione ad ambienti ecologici depressi esistenti e interventi diffusi nel territorio
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po e C. Bonifica Pianura di Ferrara
- Conversione in colture risicole
Fonte: elaborazione personale su dati del C. Bonifica Delta del Po e C. Bonifica Pianura di Ferrara
- Conversione in aree orticole
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po
- Creazione di valli da pesca
Fonte: elaborazione personale su dati del C. Bonifica Delta del Po e C. Bonifica Pianura di Ferrara
- Mantenimento dei boschi esistenti e connessione con la rete ecologica proposta
Fonte: elaborazione personale su dati IUAV di Venezia fornito da Provincia di Ferrara
- Valorizzazione di aree naturali di pregio
Fonte: elaborazione personale su dati delle Province di Rovigo e Ferrara
- Implementazione e strutturazione della rete naturale con valorizzazione degli ambienti esistenti
Fonte: elaborazione personale da rilievo LIDAR, <sil.deltapo.it/web/portolio=rilievi-lidar>
- Creazione di biotopo interno e ambito barenicolo con funzione di tamponamento della salinità
Fonte: elab. personale su dati del C. di Bonifica Delta del Po
- Misure di controllo dell'acqua potabile
Fonte: elaborazione personale su dati del Consorzio di Bonifica Delta del Po

011
l.com

**INTRUSIONE SALINA NEL DELTA DEL PO:
PROBLEMA O OPPORTUNITÀ PER IL TERRITORIO?**
Proposte di adattamento per un'area interregionale

**CARTA DI ADATTAMENTO ALLA
SALINIZZAZIONE E AI CAMBIAMENTI CLIMATICI**

necessità di fronteggiare un fenomeno ambientale complesso come l'intrusione salina, a partire da più fronti.

La multifunzionalità di alcune soluzioni proposte, ma soprattutto la varietà dei temi trattati, ha quindi lo scopo di ricoprire il maggior numero di ambiti: è infatti un problema che non ha confini. Inoltre, le proposte ricoprono sia il livello di bacino che quello locale, in modo tale da considerare i fattori che incidono a monte del delta e gli ambiti all'interno dei quali il fenomeno si verifica. Infine sono stati considerati alcuni dei piani esistenti che risultano carenti per gli aspetti attinenti l'intrusione salina, al fine di delineare i punti di possibile intervento e integrazione, utili ad un miglioramento del territorio. In particolare si fa riferimento al Piano Territoriale di Coordinamento provinciale di Rovigo, al Piano di Gestione della ZPS IT3270023 Delta del Po e al Piano di Gestione dell'area pilota nell'ambito del progetto NATREG.

La tesi si pone come obiettivo lo studio di una problematica ambientale che influenza il territorio e le acque, che di conseguenza va ad incidere di conseguenza anche sulla vita umana. L'analisi attenta di questo processo deve permettere la realizzazione di una pianificazione più accorta, al fine di risolvere in partenza determinate problematiche. È necessario sottolineare questa necessità, per garantire di conseguenza una maggior coesione nella gestione del territorio. La volontà di effettuare delle proposte che risultino utili al territorio e la mancanza di vincoli derivanti da limiti imposti dall'ambito amministrativo o burocratico, ha permesso quindi di spaziare e di rendere possibile una proposta complessiva diversa e in alcuni casi approfondita e innovativa. In conclusione, il tema trattato è di grande rilevanza, sia perché in que-

sto modo il territorio potrebbe affrontare meglio i problemi che i cambiamenti climatici comportano, sia perché una gestione diversa renderebbe possibile una produttività maggiore e migliore in relazione all'agricoltura, alla pesca e all'incremento della biodiversità.

La tesi ha permesso quindi di approfondire il tema della salinizzazione del territorio e di unificare tipologie di dati di diversa provenienza, in corrispondenza dell'ambito interregionale esaminato. Data la limitatezza degli studi relativi al tema della salinità del delta in relazione all'area considerata, va pertanto evidenziata la necessità di un monitoraggio coordinato tra le varie regioni in relazione al tema. Tra i risultati ottenuti, si evidenzia inoltre come il tema dell'intrusione salina provochi effetti prevalentemente negativi in diversi ambiti; va però rilevato come questo fenomeno possa diventare il promotore di nuovi stimoli progettuali, in grado di incrementare lo sviluppo del territorio e al contempo di raggiungere risultati efficaci anche nei confronti di altri problemi. Questo tema va pertanto colto come opportunità per il delta, al fine di un miglioramento secondo vari aspetti, che permetteranno di realizzare allo stesso tempo anche uno sviluppo ecologico, economico e sociale.

"Passo dopo passo sarà così possibile costruire un nuovo Delta."



Editore:

Consorzio di Bonifica Delta del Po
via Pordenone, 6 - 45019 Taglio di Po (Rovigo)
Tel. 0426 349711 - Fax 0426 346137
consorzio@bonificadeltadelpo.it
www.bonificadeltadelpo.it
sil.detapo.it

**Commissione Tecnico-Scientifica e di sovrintendenza
dell'attività nelle lagune del Delta del Po**

Prof. Luigi D'Alpaos, Università di Padova
Prof. Francesco Donati, Libero docente di Economia e Politica Agraria
Prof. Pierfrancesco Ghetti, Università Ca' Foscari di Venezia
Prof. Pippo Gianoni, Università IUAV di Venezia
Prof. Remigio Rossi, Università di Ferrara
Ing. Lino Tosini, direttore Fondazione Ca' Vendramin
Ing. Giancarlo Mantovani, direttore Consorzio di Bonifica Delta del Po

Produzione del volume e progetto collana:

Consorzio di Bonifica Delta del Po

Redazione:

Giancarlo Mantovani, Maria Saccon, Michela Casagrande

Progetto grafico e impaginazione:

Dasler comunicazione

Coordinamento:

Tepco S.r.l.

Traduzioni:

Stephen Trollip, con il contributo di Andrea Defina per le pagine 90 e 91.

Contributi testuali:

Alberto Agnetti, Andrea Bonometto, Lorenzo Bonometto, Maurizio Conte,
Francesco Donati, Elena Fabbro, Fabrizio Ferro, Pippo Gianoni, Giancarlo
Mantovani, Bruno Matticchio, Silvano Pecora, Angelo Rubino, Italo Saccardo,
Massimo Sarti, Tommaso Settin, Alice Sgarabottolo, Lino Tosini, Pietro
Traverso, Davide Zanchettin, Marco Zasso

Contributi fotografici:

Andrea Bonometto, Lorenzo Bonometto, Consorzio di Bonifica Delta del Po,
Francesco Donati, Fondazione Ca' Vendramin, ENEL, Pippo Gianoni, Bruno
Matticchio, www.flickr.com; autore: Makz

© 2013 Consorzio di Bonifica Delta del Po.

Tutti i diritti riservati: nessuna parte di questa pubblicazione può essere
riprodotta in alcuna forma, tramite stampa, fotocopia o qualsiasi altro
mezzo, senza autorizzazione scritta dell'editore.

È stato fatto ogni sforzo per contattare i detentori dei diritti d'autore relativi
al materiale incluso nella presente pubblicazione. Per i casi in cui non sia
stato possibile, invitiamo a contattare l'editore.



REGIONE DEL VENETO

CONSORZIO DI BONIFICA
DELTA DEL PO

