

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

PORTO TURISTICO DI MARINA DI PISA

Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

INDICE

1	Premessa	3
2	Introduzione: le soluzioni progettuali precedenti	3
3	Linee guida della progettazione.....	6
4	La configurazione portuale di Piano di Recupero	7
5	Le principali implicazioni degli studi idraulici e marittimi.....	9
5.1	Funzionalità e sicurezza dell'accesso	9
5.2	Manutenzione del canale dragato	16
5.3	Sovralzo dei livelli	17
5.4	Qualità delle acque portuali	18
5.5	Agitazione interna portuale	18
5.6	Impatto sulla dinamica litoranea	19

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
 BORELLO S.p.A.		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

1 Premessa

La complessità della dinamica dell'intersezione del fiume Arno con il mare e la vicinanza del previsto porto, richiede un'attenta ed approfondita analisi delle complesse interazioni che si verificano nel sito e di come la funzionalità e la sicurezza del contiguo approdo possano essere garantite. Allo stesso tempo i principi di salvaguardia ambientale del sito costituiscono riferimento e vincolo nell'individuare una soluzione con minima, se non assente, interazione con il sistema attuale e tendenziale. Il presente documento riassume le evidenze ed analisi relative alla configurazione portuale di riferimento anche in relazione alle osservazioni della conferenza dei servizi sull'operatività portuale.

2 Introduzione: le soluzioni progettuali precedenti

Durante la sua più che ventennale vita progettuale, il porto turistico di Marina di Pisa si è evoluto secondo due assi principali: quello del layout delle opere interne e quello della disposizione ed orientamento dell'imboccatura portuale.

Nel progetto presentato da Borello S.p.A. nel 1994, riportato Figura 1, l'imboccatura è posta ad Ovest della barra fluviale dell'Arno ed orientata verso Nord-Ovest. La barra come noto è animata da forte dinamismo ma si localizza mediamente in prossimità di una retta ideale Nord Sud passante per la testata del molo Nord della foce (riva destra del fiume Arno). Un principio informatore di questa soluzione era quello di lasciare i natanti al largo della barra, evitandone così il suo attraversamento, manovra notoriamente pericolosa in condizioni di mareggiata.

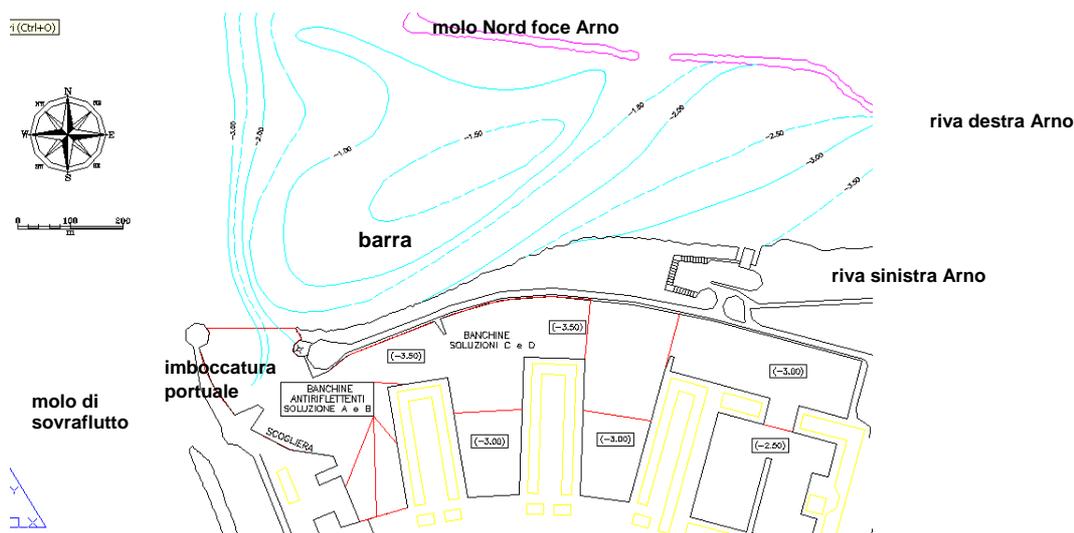


Figura 1 – Il layout portuale del 1994 con imboccatura lato fiume al largo della barra

Le opere interne prevedevano un avamposto a scogliera e la realizzazione di banchine disposte attorno alla direttrice Nord Sud ed intestate in prosecuzione ideale delle vie cittadine. Il canale d'accesso correva lungo la riva sinistra del fiume Arno.

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
 BORELLO S.p.A.		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

Tuttavia tale soluzione non fu scevra da osservazioni: la prima è che la rotta di accesso si riteneva potesse divenire poco percorribile in occasione di eventi significativi da Libeccio (traversia principale), che avrebbero forzato i natanti al traverso sospingendoli verso la zona di intensi frangenti proprio in prossimità della barra che si voleva evitare; problematica peraltro comune a tutti i porti a bacino con molo di sovraflutto ortogonale al settore di traversia principale. La seconda è che il molo di sovraflutto avrebbe costituito un restringimento di sezione influenzando il regime di deflusso del fiume Arno e avrebbe turbato il regime litoraneo dei sedimenti con conseguenze sull'equilibrio dei litorali adiacenti.

Si ritenne allora di perseguire una soluzione con l'imboccatura sempre in fregio al fiume Arno ma ridossata rispetto al mare ed all'interno della zona di dinamismo della barra fluviale. Tale soluzione è riportata in Figura 2, presa dal Progetto Unico di Fattibilità del 1998 di Borello S.p.A. L'opera prevedeva un canale di accesso dragato a -2.80 m per consentire l'ingresso dei natanti (fino a 15 m di lunghezza) attraversando la barra: in tal modo le ondate di Libeccio non sarebbero più state trasversali alla rotta di ingresso, mentre l'ingresso al porto sarebbe avvenuto in condizioni di calma ondosa. L'intenso dinamismo dei sedimenti in occasione delle mareggiate e delle piene avrebbe comportato un prevedibile riempimento del canale stesso, rendendo quindi la manutenzione e la garanzia delle profondità richieste di non semplice gestione.



Figura 2 – Il layout portuale del 1998 con imboccatura lato fiume a monte della barra e canale dragato di accesso

La qualità dell'acqua sarebbe stata non adeguata per due motivi principali: (i) l'apporto di acque di non sufficiente qualità dall'Arno (unico input) (ii) la configurazione ad isole ed anse delle banchine interne che avrebbe creato estese zone di calma senza sufficiente ricambio idrico. Da

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
 BORELLO S.p.A.		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

qui la necessità di una apertura lato mare ed un impianto di pompaggio per la vivificazione delle acque.

Nello stesso progetto del 1998, Borello presentava anche una soluzione con imboccatura ad ovest della barra, naturale estensione della soluzione del 1994. Essa viene riportata in Figura 3. Il molo foraneo indicato come *Dighe Sud* in figura 3 ha un aggetto minore nel campo idrodinamico del fiume Arno, mentre il molo foraneo indicato come *Dighe Nord* risulta leggermente più avanzato rispetto alla soluzione del 1994. Mentre tale soluzione presentava una migliore qualità delle acque interne in virtù di uno scambio con il mare più diretto (pur se sempre in fregio all'Arno), essa rappresentava comunque una variazione (avanzamento) del contorno attuale delle opere di difesa con un impatto sia sul regime dei sedimenti che su quello idrodinamico del fiume.



Figura 3 – Il layout portuale del 1998 con imboccatura lato fiume a valle (ad Ovest) della barra

La soluzione proposta da Borello S.p.A. nel 2002, e riportata in figura 4, prevede l'imboccatura in fregio all'Arno e posta a monte (ad est) della barra. Riprende quindi la soluzione del 1998 per le opere esterne, mentre razionalizza le opere interne recependo un input di continuità con il tessuto urbano di Marina di Pisa. La migliore comunicazione idraulica all'interno dello specchio portuale migliora la circolazione e quindi la qualità delle acque, che comunque resta ancorata alla qualità delle acque portate dal fiume Arno.

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

Fatta questa premessa, i tre pilastri guida nella redazione del progetto in corso sono:

- garantire fruibilità e soprattutto sicurezza, continua nell'anno, dell'imboccatura portuale e del suo accesso sia per le imbarcazioni minori, sia per le maggiori;
- non impattare, e se possibile migliorare, il regime idrodinamico costiero e fluviale e non interferire con l'equilibrio delicato e complesso del tratto di costa in cui sfocia l'Arno. Su questo punto si vuole mettere subito in evidenza che il miglior modo per non avere nessun impatto è, quando le condizioni lo consentano, di rimanere all'interno dell'involuppo dei contorni esterni dell'esistente;
- adottare tutti i dispositivi che assicurano la pulizia delle acque, l'assenza di fenomeni di inquinamento di qualsiasi genere ed il risparmio energetico. Lo stesso P.A.I. del bacino del fiume Arno richiede che per il 2007 la quantità di ossigeno disciolto portata dal fiume sia almeno pari a 7 mg/l.

Più in generale, progettare un'opera sostenibile dal punto di vista ambientale, tecnico ed economico.

4 La configurazione portuale di Piano di Recupero

La configurazione portuale analizzata presenta l'imboccatura lato fiume a monte (est) della barra fluviale, in fregio alla riva sinistra dell'Arno. La posizione dell'imboccatura è quella già proposta nel 1998 e nel 2002. La presente soluzione, riportata in figura 4, è quindi una naturale evoluzione della soluzione del 2002, approvata dalla Conferenza dei Servizi del 8/09/2003 ai sensi del DPR 509/97. Presenta un diverso mix e volume di posti barca, spostato lievemente verso le imbarcazioni di dimensioni maggiori (III-IV classe, il segmento maggiormente in crescita) e con maggiore attenzione alla valorizzazione delle preesistenze storiche. La soluzione prevede la realizzazione di un canale di accesso che, per garantire la fruizione in condizioni di sicurezza anche delle imbarcazioni di maggiore lunghezza previste (VII classe, da 18 a 21 m) e quindi di maggiore volume di carena, dovrà essere dragato a -4.0m. Il mantenimento di tali profondità di dragaggio del canale di accesso è fondamentale per garantire l'accesso alle imbarcazioni maggiori e come tale necessita di particolare attenzione nel corso della vita dell'opera. All'interno l'area portuale viene dragata a -3.5m.

L'andamento planimetrico della banchina in fregio alla riva sinistra dell'Arno non è stato regolarizzato per conferire alla presente soluzione il minimo impatto sui contorni esterni dell'intervento. Tale intervento è però auspicabile visto che sarà comunque necessario intervenire per bonificare la riva sinistra che ad oggi appare in condizioni estremamente irregolari e in stato di degrado. A tal proposito è stato eseguito in un tratto un intervento di rifiorimento e regolarizzazione proprio in prossimità di Via Maiorca ad opera del Comune di Pisa. Nella banchina oltre l'imboccatura sono stati previsti parcheggi interrati e nascosti alla vista da aree verdi e da una passeggiata pedonale alla quota +4.0 m, massima altezza della

MARINA DI PISA  BORELLO S.p.A.	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

sezione, che si unisce con continuità al lungomare. I parcheggi sono asserviti ai fruitori dei posti barca.

Per dare continuità al tessuto stradale urbano è stato previsto un pontile in prosecuzione virtuale di via Sirenetta: grazie alla modellazione dei nuovi volumi sarà anche possibile godere della vista dei natanti già dalle vie urbane esterne all'insediamento.

Al fine di valorizzare la preesistenza del fortino, lo stesso pontile in prosecuzione della Via Sirenetta è stato articolato attorno al segno planimetrico del fortino riproposto con funzioni ricettive. Il pontile è realizzato su pali per garantire il massimo ricambio idrico fra le diverse masse idriche portuali (Est ed Ovest del fortino).



Figura 5 – Soluzione con imboccatura lato fiume a monte (est) della barra e canale di accesso. Soluzione presentata nel Piano Attuativo Definitivo del novembre 2005 (sopra) e soluzione presentata nel Piano di Recupero del marzo 2006 (sotto).



MARINA DI PISA 	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

5 Le principali implicazioni degli studi idraulici e marittimi

5.1 Funzionalità e sicurezza dell'accesso

La soluzione prevede l'ingresso attraverso il tratto terminale del fiume Arno e la barra fluviale. L'intenso dinamismo della barra fluviale è da sempre stato oggetto di monitoraggio. Recentemente (maggio 2004) la Borello S.p.A ha condotto una nuova campagna di rilievi batimetrici dell'area. La ricostruzione storica dell'andamento del profilo di barra, comprensiva della recente campagna 2004, è riportata nella seguente figura 6.

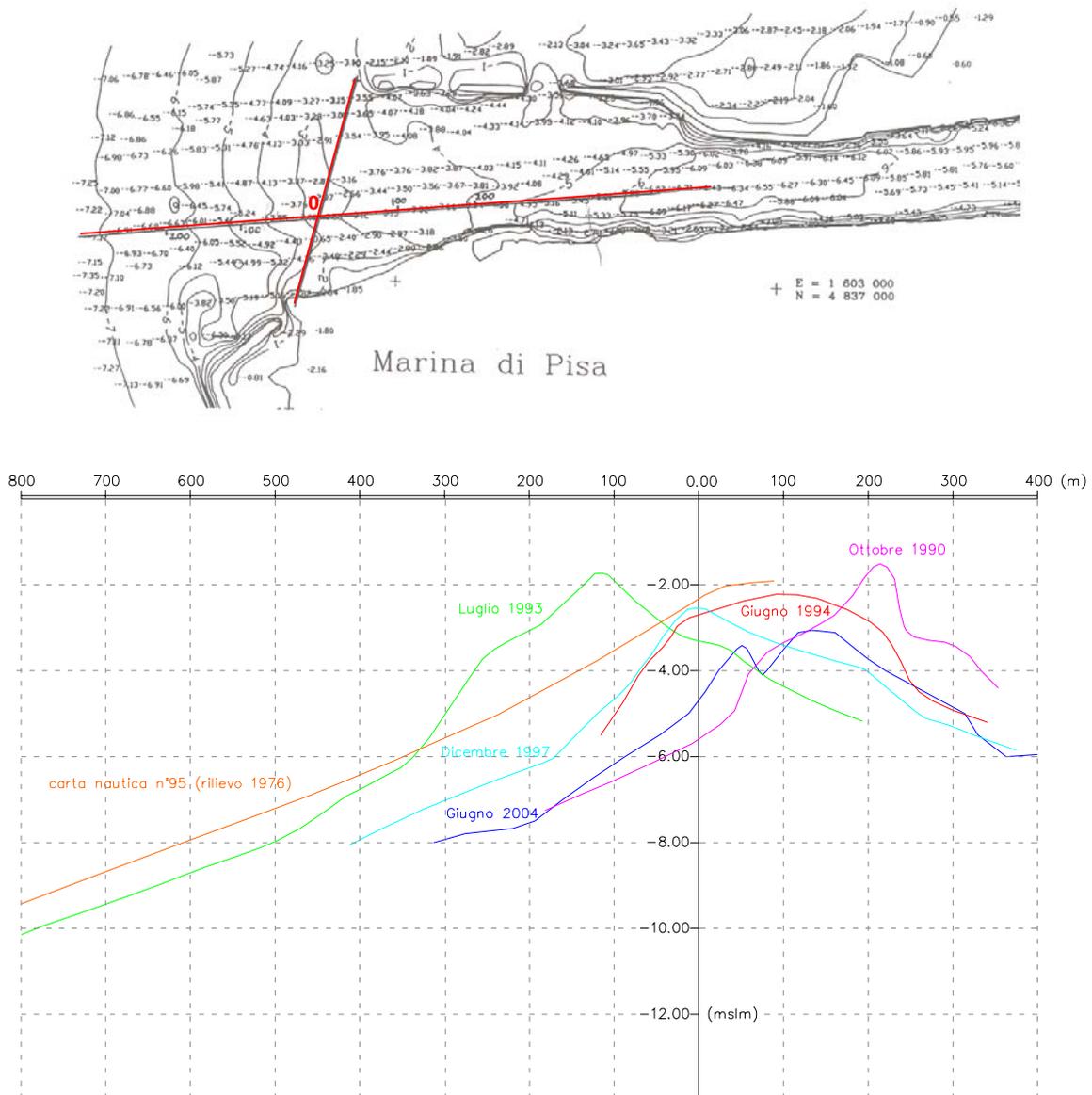


Figura 6 – Ricostruzione storica del profilo di barra in foce d'Arno

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

Il dinamismo della barra è testimoniato dalla variabilità della posizione della cresta che nei vari anni ha oscillato con escursioni planimetriche anche maggiori di 200 metri ed escursioni di profondità di oltre un metro, senza mai scendere al di sotto dei tre metri rispetto al livello medio marino, ed arrivando anche a profondità inferiori ai due metri.

E' noto ai diportisti e operatori commerciali che transitano lungo l'Arno che *"in condizioni di Libeccio non si entra"* (dentro l'Arno). Tale condizione (leggi *"frangenti sulla barra"*), ha una frequenza di accadimento significativa e problematica rispetto ad una corretta fruizione degli approdi.

Nel prosieguo pertanto si è cercato di quantificare, tramite opportuna modellazione matematica e statistica, che cosa vuol dire condizione di inagibilità e quale è la sua frequenza di accadimento in un anno medio. Il punto di partenza è che la presenza di onda frangente sulla barra rende impossibile o meglio pericoloso l'attraversamento della barra stessa ad opera di un natante.

Per visualizzare tali condizioni di inagibilità e per una prima comprensione intuitiva del lungo percorso di modellazione delle condizioni di frangimento del moto ondoso, nella successiva tavola 1 è riportata una foto aerea della recente mareggiata del 7 aprile 2004 (con altezza significativa $H_s=3.8$ m e tempo di ritorno prossimo ai 4 mesi) assieme ai risultati della ricostruzione dell'evento tramite modellazione matematica. Si pone l'attenzione sulla zona di frangimento in corrispondenza dell'imboccatura portuale. Nel grafico della ricostruzione dell'evento le curve di livello dell'energia dissipata nella simulazione matematica rappresentano le zone di frangimento visibili in fotografia.

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

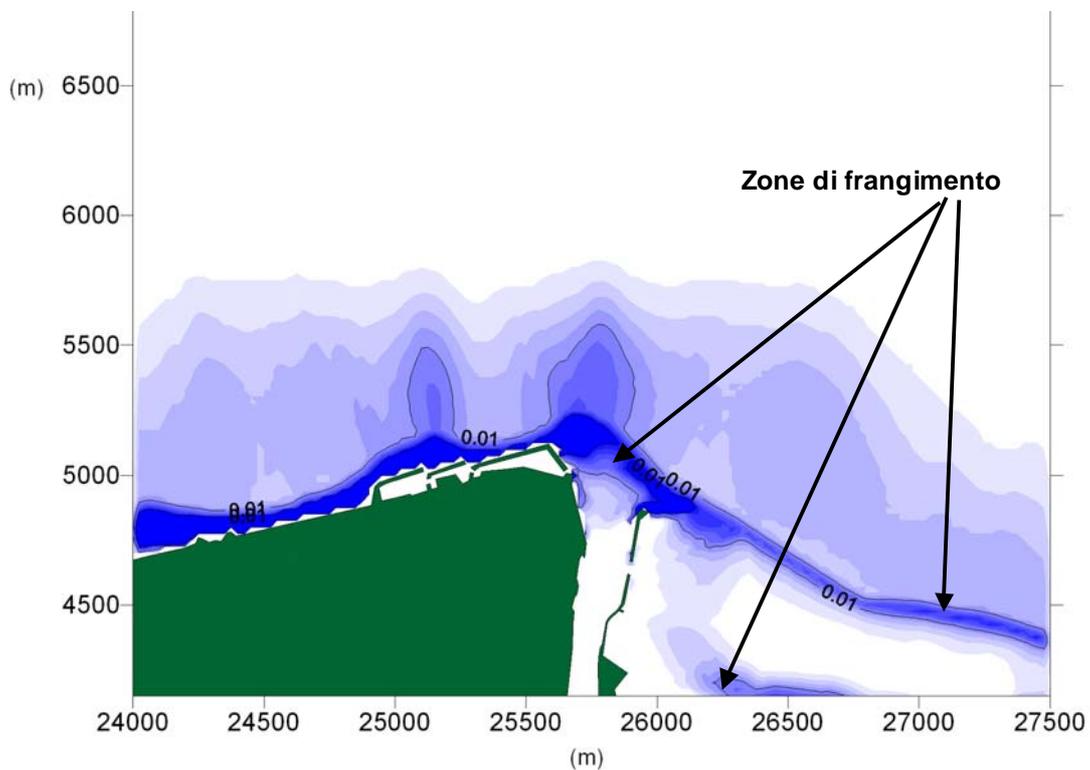
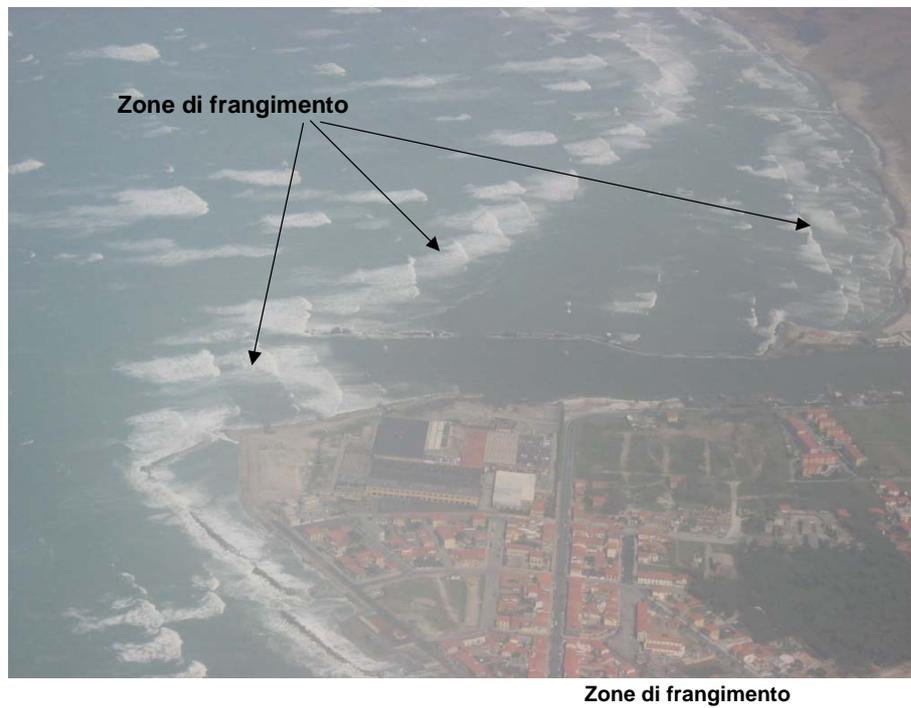


Tavola1 – Visione aerea della mareggiata del 7 aprile 2004 ($H_s=3,8$ m) e simulazione con modelli matematici dell'evento.

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi					
		Data: marzo 2006					
		PCP	PRO	04	BOR	R	020

Nella seguente figura 7 è riportata la logica con la quale si è cercato di dare la risposta quantitativa cercata.

Si è in primis ricostruito il clima del moto ondoso (curve di durata direzionali) ed il regime delle portate del fiume Arno. Successivamente si sono simulati i campi idrodinamici indotti dalle diverse portate fluviali e si sono valutati gli effetti che tali portate, assieme ai fondali ed alle opere, hanno sulla propagazione del moto ondoso. Si sono in tal modo ricostruite le condizioni di frangimento che possono occorrere per le combinazioni portata Q – altezza significativa H_s in prossimità della barra. Tramite opportuni criteri energetici legati alla dissipazione da frangimento è stato quindi possibile definire quali sono le combinazioni Q - H_s che danno origine alla non praticabilità della foce e quindi del porto. La lunga serie storica di misurazioni di livelli, portate ed altezze d'onda ha quindi permesso di assegnare una significatività statistica a tali condizioni, vale a dire quanti sono i giorni/anno e giorni/stagione di inagibilità. E' indubbio che la presenza di intensi frangenti, non rende solo l'ingresso inagibile, ma provoca anche una deposizione di sedimento all'interno di un eventuale canale dragato. Mentre il verificarsi di tale fenomeno è deterministicamente certo, la quantificazione dei volumi mossi e la loro dinamica è di tale complessità da rendere il compito non percorribile non solo da un punto di vista ingegneristico ma anche scientifico. Le implicazioni di tali condizioni verranno riprese ed analizzate nel seguito del presente documento.

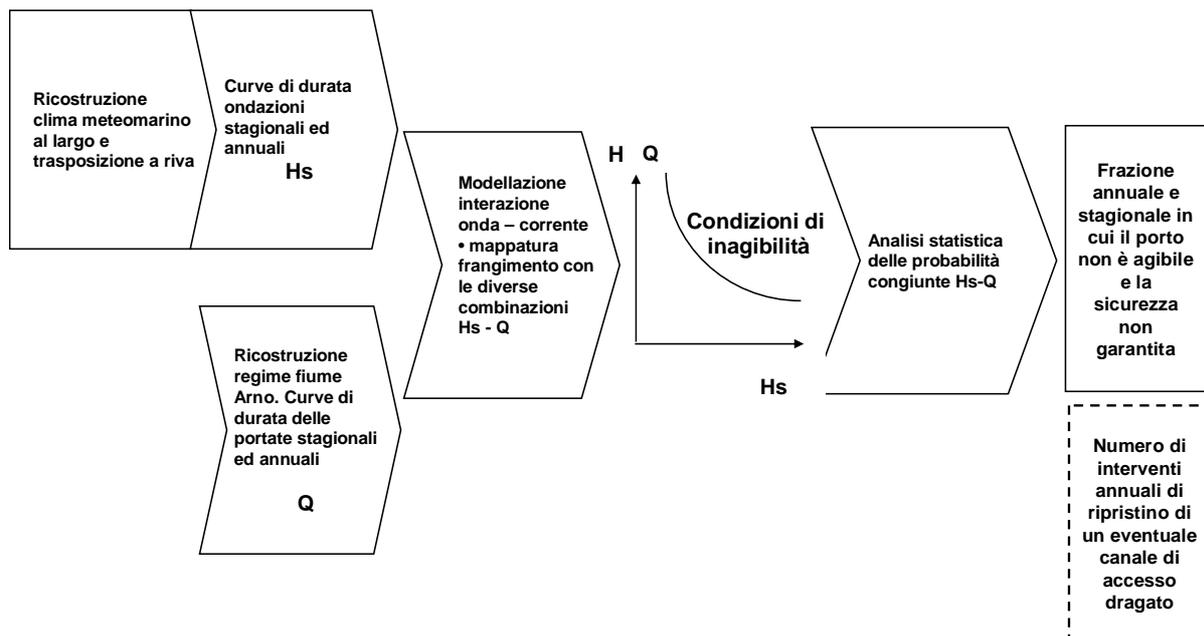


Figura 7 – Studio della frequenza dell'inagibilità portuale

Nelle figure 8 e 9 sono rispettivamente riportate le curve di durata annuale delle altezze d'onda al largo del sito di Marina di Pisa e delle portate. Analoghe curve sono state elaborate per le quattro stagioni. Nella figura 8 è anche riportata in forma di rosa annuale il clima ondoso del sito di Marina di Pisa. Tale clima è stato ottenuto dall'elaborazione statistica delle registrazioni dell'ondametro al largo di La Spezia, facente parte della Rete

MARINA DI PISA  BORELLO SpA.	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

Ondametria Nazionale, trasposte alla batimetria -10m di fronte a Marina di Pisa tramite opportuni modelli matematici di trasposizione. Dall'analisi della rosa si apprende subito come le ondate più importanti ($H_s > 1.0$ m) siano in prevalenza provenienti da Libeccio, con una frequenza di accadimento pari all'83%. Se si considerano poi le mareggiate estreme con $H_s > 2.0$ m tale frequenza sale al 92%. La curva delle durate della figura 8, comprendente tutte le direzioni, si confonde con quella relativa al settore di Libeccio per i valori di interesse della presente analisi.

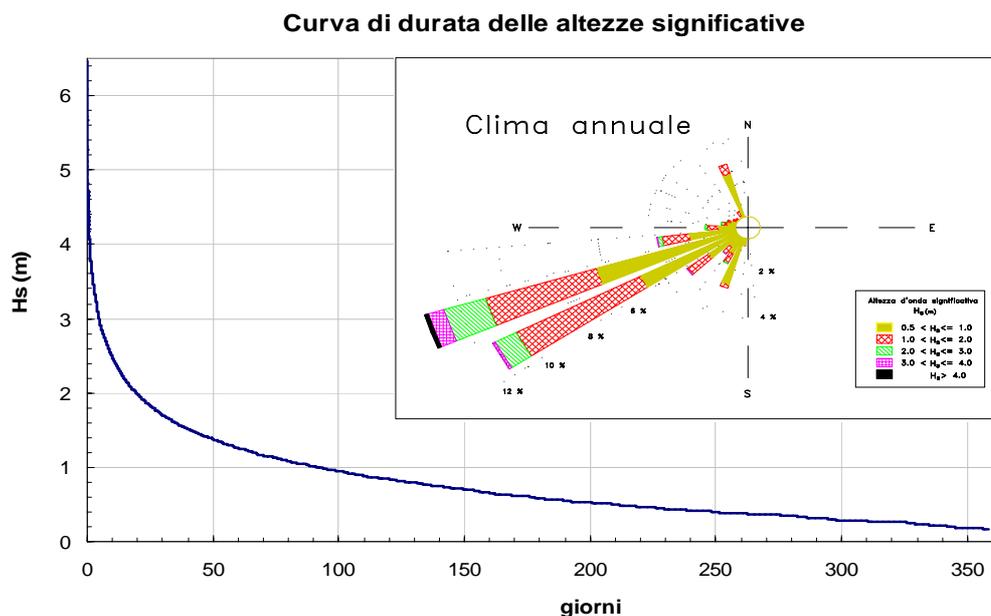


Figura 8 – Clima annuale ondoso Curva di durata dell'altezza significativa H_s al largo di Marina di Pisa

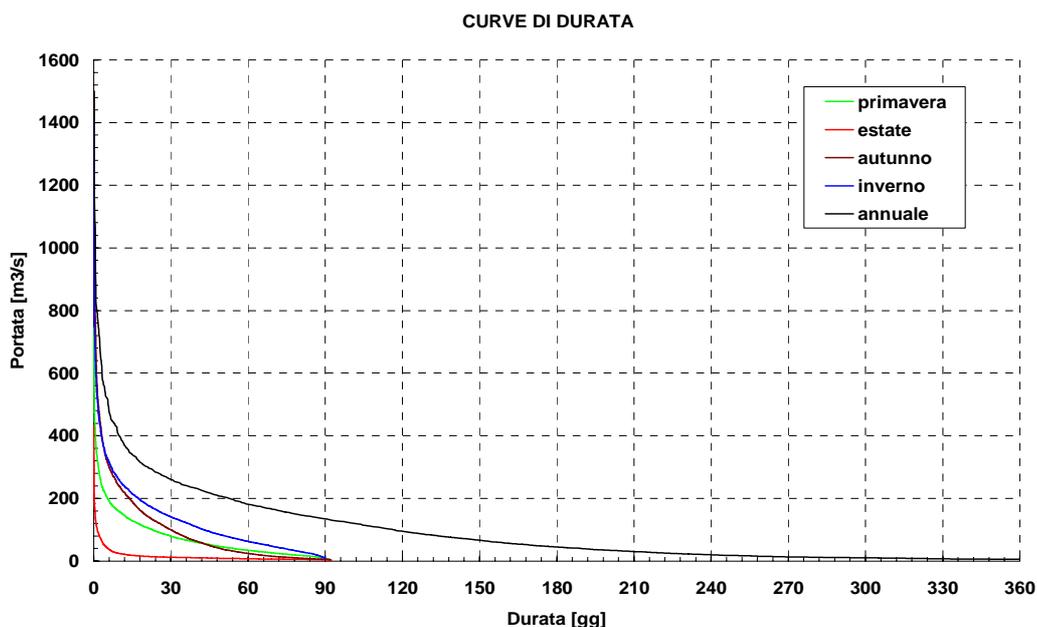


Figura 9 – Curva di durata delle portate giornaliere del fiume Arno (staz.idr.S.Giovanni alla Vena)

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi					
		Data: marzo 2006					
		PCP	PRO	04	BOR	R	020

Per diversi valori significativi di portata è stato simulato il campo idrodinamico (tramite il modello ad elementi finiti SMS) generato dal fiume Arno e su di esso sono state propagate le diverse ondate climatologicamente rappresentative del sito. E' stato utilizzato il modello spettrale SWAN che propaga sotto costa un dato spettro di moto ondoso con spreading in frequenza e direzione tenendo conto degli effetti di rifrazione indotta dal fondale e dalla corrente, shoaling, attrito sul fondo, frangimento da fondale e da instabilità "white capping". E' noto dalla teoria del moto ondoso che l'energia del moto ondoso è proporzionale al quadrato dell'altezza dell'onda. Pertanto ad una dissipazione di energia corrisponde una diminuzione di altezza dell'onda; il meccanismo principe della dissipazione è il frangimento del moto ondoso. Nella figura 11 sono riportate a titolo esemplificativo le curve di livello delle percentuali di energia dissipata per frangimento per una portata dell'Arno $Q = 200\text{m}^3/\text{s}$ e per una mareggiata con $H_s=3,25$ m. L'altezza significativa (media del terzo delle altezze d'onda maggiori) attraversando la barra perde il 46% della propria energia, cioè il 68% della propria altezza, evidenza di una avanzata condizione di frangimento delle onde e quindi di inagibilità dell'imboccatura.

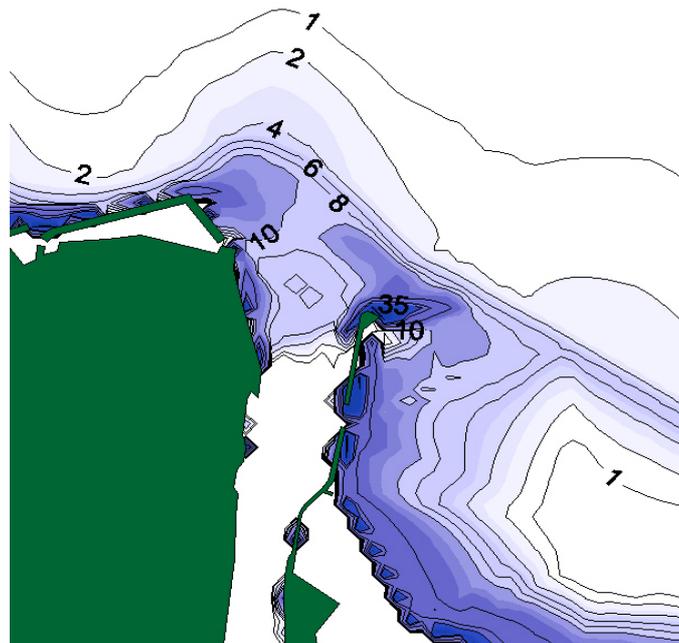


Figura 10 – il campo di dissipazione dell'energia del moto ondoso per le condizioni $Q=200\text{m}^3/\text{sec}$, $H_s=3.25$ m. Le curve di livello indicano la percentuale di dissipazione dell'energia rispetto all'energia dell'onda al largo.

Simulando tutte le combinazioni significative e verificando le condizioni di frangimento d'onda (dettagliate nella relazione tecnica) si è potuto arrivare alla definizione di una soglia nel piano $Q-H_s$ al di sopra della quale il frangimento è ampiamente sviluppato e l'ingresso nell'Arno (e quindi nel porto) non è possibile. Tale curva è segnata in rosso in figura 11. La concavità verso l'alto della curva implica che al crescere della portata Q dell'Arno frangono

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi					
 BORELLO S.p.A.		Data: marzo 2006					
		PCP	PRO	04	BOR	R	020

altezze significative della mareggiata H_s via via minori: una data altezza significativa può non essere pericolosa con basse portate, ma diventarlo con portate di piena. La curva ha un'intersezione (di tendenza) con l'asse delle H_s per $Q=0$: al di sopra di $H_s=1.90$ m l'onda è sempre in condizioni di frangimento indipendentemente dalle portate dell'Arno.

Il passo successivo è quindi quello di valutare la frequenza campionaria con la quale coppie di valori Q - H_s si sono uniti per dare "combinazioni pericolose". Sempre nella figura 11 sono riportati gli eventi giornalieri desunti dalle registrazioni giornaliere delle portate e delle registrazioni triorarie delle altezze significative (rappresentative del giorno) per gli anni che vanno dal 1991 al 2002. L'incidenza delle combinazioni pericolose risulta essere del 16% pari a 58 giorni l'anno.

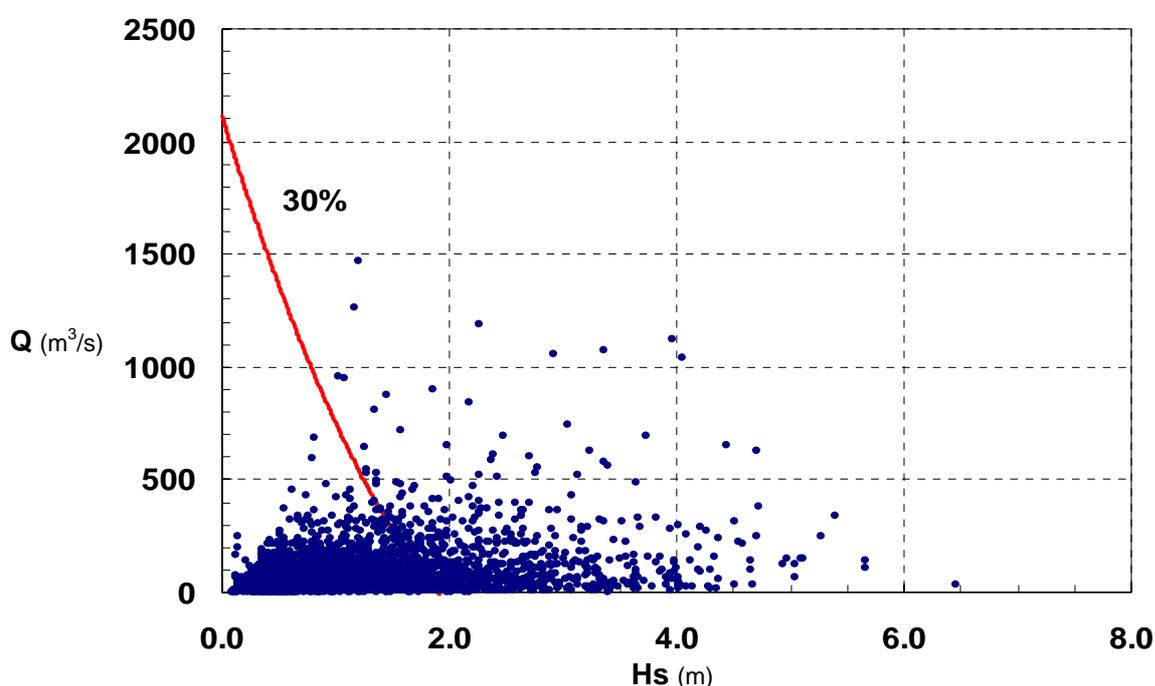


Fig. 11 – Combinazioni H_s - Q per le quali si ha inagibilità dell'imboccatura portuale. Ai punti che ricadono al di sopra della curva sono associati realizzazioni di portata Q e altezza H_s per i quali l'onda frange sulla barra e l'imboccatura non è agibile.

Nella tabella 1 successiva è riportata l'articolazione nelle quattro stagioni dell'analisi dell'agibilità dell'imboccatura, ottenuta stagionalizzando l'analisi di cui sopra.

	Agibile (%)	Non agibile (%)	Non agibile (giorni)
Inverno	79	21	19
Primavera	87	13	12
Estate	91	9	8
Autunno	79	21	19
Annuale	84	16	58

Tabella 1 – Condizioni di inagibilità della foce dell'Arno

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

Si osserva che, anche escludendo il periodo invernale ed autunnale nei rimanenti mesi che vanno da aprile ad agosto, i 20 giorni di inagibilità potrebbero essere in contrasto con una gestione moderna di un marina.

Nel presente caso però, la presenza mitigatrice del canale dragato ha il seguente fondamentale beneficio: l'innalzamento della soglia di accesso in sicurezza anche con ondate maggiori, rendendo possibile l'ingresso con le mareggiate di intensità minore che, in assenza del canale, rendono l'accesso non possibile. Conseguentemente diminuisce (ma non si azzerà) la percentuale di non agibilità della bocca d'Arno e quindi non solo del nuovo porto turistico, ma di tutto l'insediamento diportistico che risale l'Arno; tale percentuale passa dal 16% al 9%, a circa 32 giorni, 2 dei quali in estate.

La presenza del canale dragato ha infatti l'effetto benefico di far diradare il raggio d'onda (effetto delle baie) e comunque di far frangere, in asse al canale, solo le onde instabili con quel fondale, che hanno quindi un'altezza maggiore. Una semplice stima di tale effetto, basata sul criterio di frangimento di Kamphuis, indica che l'altezza d'onda significativa minima frangente aumenta di circa il 30%.

5.2 Manutenzione del canale dragato

Come precedentemente suggerito, alle condizioni di onda frangente in occasione delle mareggiate è associato un intenso dinamismo dei sedimenti ed una mobilità della barra. Il canale dragato verrebbe così sottoposto a fenomeni di riempimento. Per garantire l'accessibilità al porto saranno quindi necessari, secondo una prima stima, dragaggi stagionali sistematici, più eventuali dragaggi indotti da mareggiate eccezionali.

A questo proposito un continuo monitoraggio della barra ed un approccio cadenzato e sistematico ai dragaggi permetterà una operatività in sicurezza.

La frequenza minima degli interventi è di tre all'anno: uno nel mese di giugno per garantire la massima e completa fruibilità nei mesi estivi, un secondo al termine della "prima stagione" autunnale delle mareggiate, quindi in novembre, ed un terzo all'inizio della primavera, cioè in marzo.

Saranno presi accordi con Istituti di Analisi della qualità dei Sedimenti di riferimento e riconosciuti dal Dipartimento delle Politiche Territoriali della Regione Toscana ai fini del monitoraggio della qualità del sedime e della messa a punto di una procedura amministrativa e scientifica che renda regolare e cadenzato l'intervento di dragaggio.

Tali interventi, che si evince siano di importanza strategica per la sicurezza e l'operatività del Porto, saranno gestiti dalla stessa società che avrà la responsabilità della gestione del Porto turistico e saranno normati da una convenzione ad hoc.

Non sono peraltro tecnicamente realizzabili impianti di by-pass dei sedimenti (che prelevino cioè i sedimenti della barra e li restituiscano tramite tubazione ad esempio sul litorale a nord della foce), per la dinamicità della barra e la difficoltà ad innestare la presa in un punto chiave del profilo del canale. Si osserva a tal proposito che le soluzioni di by-pass sono fattibili in condizioni completamente differenti dalla presente, in presenza cioè di un'opera

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

aggettante sulla linea di spiaggia con un marcato effetto di intrappolamento dei sedimenti. In tali casi l'opera "pesca" in una zona con un "battente" di sedimenti sicuro e costante e scarica a valle dell'opera (ove la dizione monte e valle si riferisce al senso del trasporto solido longitudinale).

Qualora la qualità dei sedimenti lo permetta, si provvederà a disporre il materiale dragato a Nord della foce in punti opportuni del litorale, con effetti positivi, seppur di entità molto marginale, sul litorale stesso.

5.3 Sovralzo dei livelli

Lo studio delle variazioni dei livelli, dato dalla composizione della marea astronomica, del sovrалzo di vento, del sovrалzo d'onda e del sovrалzo barico, fornisce le seguenti condizioni di riferimento relativamente ai livelli massimi e minimi raggiungibili in corrispondenza dell'imboccatura portuale. Il sovrалzo che si ottiene in corrispondenza dell'imboccatura portuale si può ritenere esteso all'intero bacino portuale.

Fattore	Minimo livello (m s.l.m.m)	Massimo livello (m s.l.m.m.)
Marea	-0.19	+0.21
Abbassamento barico	-0.27	
Sovralzo barico		+0.35
Sovralzo d'onda		+0.25
Sovralzo di vento		+0.10
Rigurgito fiume Arno		
Q=1750 m ³ /s		+0.19
Livelli risultanti	-0.46	+1.10

Essenzialmente, il sovrалzo è significativo per l'effetto di una maggiore crescita del sovrалzo d'onda in prossimità della barra e del rigurgito indotto sui livelli del fiume Arno.

Il tema del sovrалzo massimo qui riportato va inteso in relazione al calcolo del rigurgito delle piene fluviali, come condizione al contorno opportuna per il transito della piena stessa.

Infatti mentre i valori di sovrалzo di marea e barico sono presi con il massimo valore possibile, in virtù della sua presenza deterministica il primo, e dell'alta probabilità di concomitanza di evento di piena fluviale e bassa pressione meteorologica il secondo, altrettanto non può dirsi per le altre componenti.

In particolare non è significativo da un punto di vista statistico, ma soprattutto fisico, che l'evento di piena duecentennale possa presentarsi in concomitanza con la tempesta con tempo di ritorno cinquantennale e quindi con il suo associato sovrалzo barico. Stessa cosa dicasi per il vento ed il relativo sovrалzo barico.

Pertanto nella tabella precedente si è preso a riferimento il valore del sovrалzo associato all'onda con tempo di ritorno pari a 4 mesi con Hs=3.8 m (incidentalmente pari proprio alla

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
 BORELLO S.p.A.		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

tempesta del 7 aprile 2004 della Tavola 1 del presente documento) a cui è associato il sovrizzo di tempesta di 0.25 m ed un vento di intensità di 20 m/s a cui è associato un sovrizzo di 0.10 m.

Il relativo sovrizzo dovuto ad i livelli marini da considerare è pari a 0.91 m a cui va aggiunto il rigurgito della piena stimabile attorno ai 0.20 m. Il livello risultante fornisce i massimi livelli raggiungibili all'interno dello specchio portuale.

5.4 Qualità delle acque portuali

Poiché l'imboccatura del Porto è sul fiume Arno, la qualità delle acque portuali è non migliore della qualità delle acque del fiume Arno in corrispondenza dell'imboccatura. Una simulazione del fabbisogno di ossigeno è riportata nella figura 12 con riferimento le condizioni tendenziali previste per il 2007 dal P.A.I. (7 mg/l di ossigeno disciolto) del bacino dell'Arno e con forzante la sola oscillazione mareale astronomica (condizioni cautelative che trascurano gli effetti benefici del vento e del moto ondoso ai fini del ricambio idrico); dopo 2 cicli di marea si osserva che il livello dell'ossigeno all'interno del bacino è nei punti idraulicamente più distanti (zona campita in giallo in fig.12) pari al 54% della concentrazione nell'Arno.

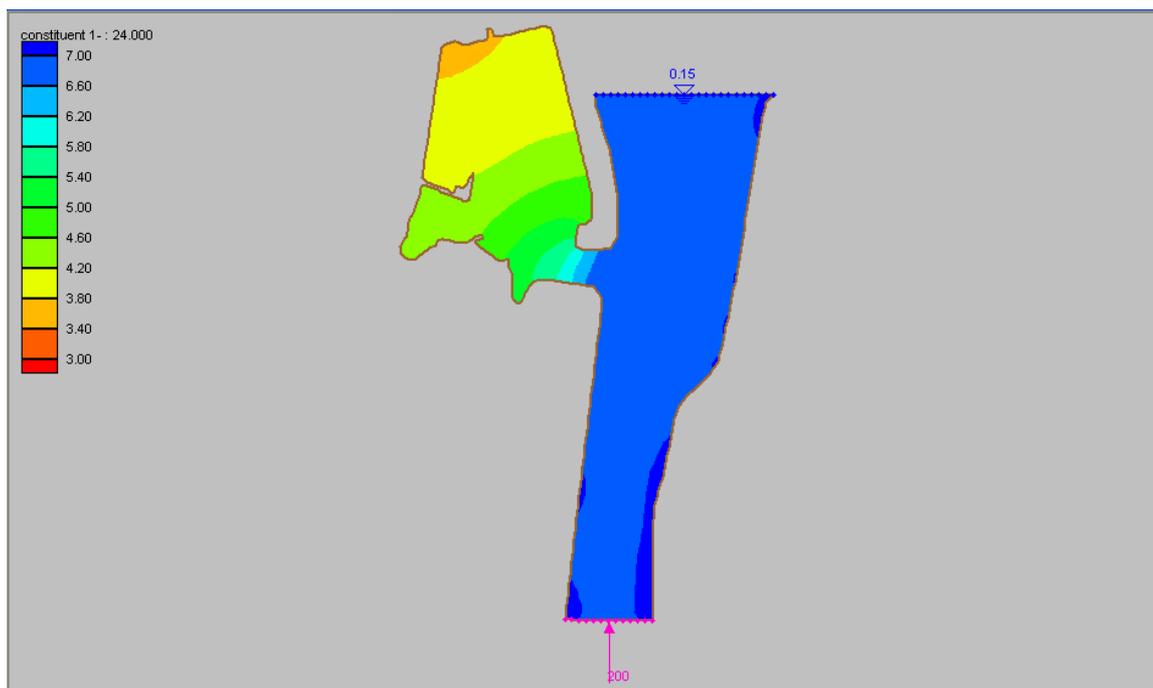


Figura 12 – Simulazione del fabbisogno di ossigeno. Concentrazione di ossigeno nel fiume Arno pari a 7 mg/l

5.5 Agitazione interna portuale

L'agitazione interna portuale è trascurabile.

MARINA DI PISA	Progettisti: Modimar Isola Architetti Studio Capolei Cavalli	Titolo: Analisi dell'operatività portuale in relazione ai fattori idraulici e marittimi						
		Data: marzo 2006						
		PCP	PRO	04	BOR	R	020	1

5.6 Impatto sulla dinamica litoranea

Il litorale da Livorno a Marina di Pisa ed, a nord dell'Arno, il litorale del Parco di San Rossore ed il suo proseguimento fino al Porto di Viareggio hanno subito profonde trasformazioni nel secolo scorso, oggetto di numerosi studi, campagne ed interventi riportati e discussi nella relazione tecnica e nello studio di inserimento ambientale. Ai fini dell'impatto delle opere portuali si osserva che l'inviluppo delle opere previste è all'interno del contorno delle opere antropiche presenti ad oggi sul territorio. I litorali hanno ad oggi "scontato" l'effetto di tali opere e l'evolvere delle linea di costa nel prossimo futuro è da imputare solamente al diminuito apporto solido del fiume Arno il cui effetto è ovviamente cumulativo nel tempo. In sintesi l'opera non rappresenta una discontinuità nell'andamento e nella rapidità di variazione dei fenomeni in atto e tendenziali e pertanto ha impatto nullo sulla dinamica costiera.