



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di studio in Ingegneria Civile - laurea magistrale

TESI DI LAUREA

**Definizione delle condizioni meteomarine
e ambientali per la realizzazione di un
marina nel lago di Garda**

Laureando

ALESSANDRO AVANZINI

Relatore

Chiar.mo prof. ing. PIERO RUOL

ANNO ACCADEMICO 2012 - 2013

INDICE

1	INTRODUZIONE	pag.	3
2	IL LAGO DI GARDA NEI SUOI ASPETTI GENERALI		
2.1	Generalità	õ	7
2.2	Correnti e sesse	õ	8
2.3	Temperatura delle acque	õ	9
2.4	I venti	õ	11
2.5	La navigazione sul lago di Garda	õ	15
2.5.1	Servizio pubblico	õ	16
2.5.2	Attività sportiva	õ	16
2.5.3	Diporto	õ	17
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE		
3.1	Individuazione dell'area di intervento	õ	18
3.2	Peculiarità dell'area	õ	22
4	LIVELLI E BATIMETRIE		
4.1	Il rilievo e la regolazione dei livelli del lago	õ	25
4.2	Analisi dei livelli del lago	õ	29
4.3	Batimetrie	õ	34
5	ANALISI DEI DATI ANEMOMETRICI		
5.1	Premessa	õ	37
5.2	Raccolta dati	õ	38
5.3	Analisi statistica dei dati	õ	41
6	ANALISI DEL MOTO ONDOSO		
6.1	Fetch	õ	48
6.2	Descrizione del metodo utilizzato	õ	52
6.3	Considerazioni sui valori di velocità da utilizzare nell'analisi	õ	54
6.4	Applicazione del metodo SMB e risultati ottenuti	õ	57

7	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO		
7.1	Le origini del lago di Garda	õ	63
7.2	Caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area in esame	õ	65
8	IPOTESI DI PROGETTO DEL MARINA		
8.1	Premessa	õ	69
8.2	Configurazione dell'area portuale	õ	70
8.2.1	Posizionamento del marina rispetto all'attuale linea di riva	õ	70
8.2.2	Posizionamento del canale di accesso	õ	72
8.2.3	Numero, tipologia e sistema di ormeggio delle imbarcazioni	õ	75
8.2.4	Profondità del fondale	õ	78
8.3	Tipologia strutturale di banchine e moli fissi	õ	79
8.4	Le banchine e i moli	õ	85
8.4.1	Le banchine	õ	85
8.4.1.1	Banchina costituita da palancolata a sbalzo	õ	85
8.4.1.2	Banchina costituita da palancolata tirantata	õ	88
8.4.2	Il molo esterno	õ	90
8.4.2.1	Riflessione	õ	92
8.4.2.2	Profondità di infissione delle palancole	õ	96
8.4.2.3	Tirantatura provvisoria delle palancole	õ	96
8.4.2.4	Capacità portante delle palancole	õ	97
8.4.2.5	Analisi di stabilità globale del molo esterno	õ	100
8.5	I pontili galleggianti	õ	104
8.6	Opere accessorie e di finitura	õ	105
8.7	Stima sommaria del costo di realizzazione del marina	õ	107
9	CONCLUSIONI	õ	111
	BIBLIOGRAFIA	õ	114

Nell'era della globalizzazione la risorsa turismo è destinata a diventare uno dei principali motori dello sviluppo economico.

In aree poco industrializzate assorbe forza lavoro sia direttamente, che con l'indotto che si viene a creare e rappresenta quindi un'opportunità per piccole e medie imprese, favorendo crescita e nuova occupazione.

Nei Paesi dell'Unione Europea e in molti paesi emergenti dell'area mediterranea, si registra un crescente sviluppo della domanda di turismo nautico, cui corrisponde un puntuale adeguamento dell'offerta di ormeggi e servizi.

Sul lago di Garda, dove il turismo "convenzionale" rappresenta già da molti anni una risorsa importante, questa opportunità non si è ancora trasformata in un beneficio immediato. È possibile valutare l'attuale offerta di ormeggi sul Garda, misurando la densità di posti barca esistenti (tab. 1.1) rispetto a :

- Estensione delle coste

La sponda Bresciana ha densità superiore rispetto alle altre provincie. Per ogni km di costa sono presenti 38 posti barca. La riva Veronese ha densità pari a 31, mentre nella Trentina, ove è vietata la circolazione delle imbarcazioni a motore, è pari a 24.

- Capacità ricettiva alberghiera

L'indice di posti barca rispetto alla capacità ricettiva alberghiera è di 1/5 per la sponda Brescina, 1/12 per la Veronese e 1/27 per la Trentina.

	Posti barca (PB)	Posti letto (PL)	Km	Densità PB / PL	Densità PB / Km
Sponda Veronese	1.890	23.628	60	1/12	31,26
Sponda Trentina	375	10.255	15	1/27	24,67
Sponda Bresciana	3.400	17.710	88	1/5	38,60
Totale	5.665	51.984	163	1/9	34,75

Tab. 1.1 - densità posti barca esistenti

Il confronto tra lo stato attuale, con i dati relativi al 1990 ricavati dalla relazione degli *interventi pilota nel settore della portualità minore e della navigazione da diporto* per il lago di Garda della Regione Veneto, dimostrano come nell'ultimo decennio la costa bresciana abbia subito, prevalentemente nel settore privato, un potenziamento pari al doppio della capacità dei posti barca complessivi presenti nel 1990. L'offerta di strutture portuali private è stata notevolmente incrementata anche nella costa trentina, a discapito delle strutture pubbliche che risultano in diminuzione.

La sponda veneta è invece stata potenziata in maniera minore (tab. 1.2).

	Posti barca -90	Posti barca 2013	Incremento
Sponda Veronese	1.199	1.890	691 (58%)
Sponda Bresciana	1.698	3400	1.702 (102%)
Sponda Trentina	220	375	155 (70%)

Tab. 1.2 - incremento posti barca 1990 - 2013

Allo stato attuale si stima che, nell'ambito della Comunità del Garda, la richiesta di posti barca abbia un valore orientativamente pari a 5/6 volte quello dell'offerta.

esistono le potenzialità per uno sviluppo ragionato delle strutture portuali da diporto; in quest'ottica l'Amministrazione Comunale di Bardolino (VR), paese che sorge sulla riviera orientale del lago di Garda, ha avviato nell'anno 2004 uno studio di prefattibilità per la realizzazione di una nuova struttura portuale.

Nel 2006 la medesima Amministrazione ha affidato allo Studio dell'arch. Marco Ardielli di Verona l'incarico di elaborare un masterplan per la riqualificazione urbanistica di un'ampia area a nord del centro storico di Bardolino, ed è nell'ambito di questo piano che è stata ipotizzata la creazione di una nuova struttura per la nautica da diporto.



Fig 1.1 - Estratto della proposta progettuale dell'arch. Ardielli

Unale di Bardolino esistono due porticcioli, prevalentemente utilizzati per barche a motore, e una serie di boe dormeggio per le barche a vela, per un totale di 284 posti barca. La proposta del piano Ardielli è stata quella di realizzare un marina da 300-350 posti barca, in grado quindi di raddoppiare l'offerta per soddisfare una domanda sempre più insistente.

Lo scopo di questa tesi, sulla linea della proposta dell'arch. Ardielli, è quello di sviluppare uno studio che consenta di definire i criteri generali da porre alla base di un eventuale progetto di un marina da realizzare sulla sponda bardolinense del lago di Garda, partendo dall'esame delle condizioni meteo-marine ed ambientali che interessano la suddetta località.

È stata inizialmente effettuata la raccolta del maggior numero possibile di dati anemometrici relativi alla zona in esame; in particolare, alcuni dati sono stati ricavati dalla Carta del Lago di Garda, elaborata dall'Istituto Geografico Militare di Firenze, e molti altri da fonti sul web (sito di meteogarda.it); ulteriori dati e preziose informazioni sono stati forniti da organismi istituzionali (Comune di Bardolino, Genio Civile di Verona, Ispettorato di Porto di Verona, AIPO).

Si è passati poi a valutare e a riprodurre numericamente l'andamento del moto ondoso sia al largo che in prossimità del paraggio di Bardolino fino in corrispondenza della zona di frangimento delle onde, utilizzando il metodo SMB.

Sulla base dei risultati ottenuti è stato infine possibile definire un ipotetico assetto planimetrico del marina, individuare una possibile tipologia strutturale dei manufatti e procedere ad un loro dimensionamento di massima.

GARDA NEI SUOI ASPETTI GENERALI

2.1 - Generalità

Il lago di Garda, o Benaco, situato al confine tra Lombardia, Veneto e Trentino Alto Adige, si estende per una superficie complessiva di circa 370 Km², con una lunghezza massima di 51,6 Km e una larghezza massima di 17,2 Km; presenta un perimetro di 158,400 Km, una profondità massima di 346 metri e un volume d'acqua di circa 50.000 milioni di m³.

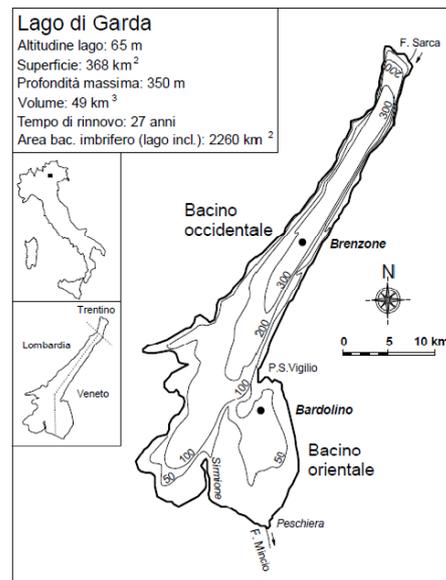


Fig. 2.1 - Immagine aerea del lago di Garda Fig. 2.2 - Il Garda e le sue caratteristiche

Il maggior immissario è a Nord, presso Riva del Garda (il fiume Sarca) e ha un solo emissario a Sud, presso Peschiera del Garda (il fiume Mincio).

Le sponde gardesane si sviluppano per circa 88 Km nella provincia di Brescia, per circa 60 Km nella provincia di Verona e per i rimanenti 15 Km nella provincia di Trento.

atterizzata dalle presenza di piccoli centri di particolare pregio, che vantano importanti tradizioni storiche, culturali e turistiche. In ogni comune è presente almeno un piccolo porto storico, nella maggior parte dei casi non suscettibile di ampliamento. I nuovi porti, pertanto, vengono spesso localizzati in aree esterne al centro storico, ma in contiguità con le espansioni recenti.

2.2 - Correnti e sesse

Le direzioni delle correnti sono molteplici, ma predominanti su tutte sono quelle che seguono l'asse maggiore del lago; tali direzioni sono generalmente contrarie alle linee dei venti.

Le acque vengono spinte dal vento verso un determinata direzione e, appena questo cessa, c'è un ritorno della massa fluida che ristabilisce l'equilibrio preesistente.

Altra formazione di correnti avviene per lo spostamento di enormi masse d'acqua di diversa temperatura, così come avviene per le perturbazioni atmosferiche. È da tener presente che tutte le correnti superficiali (per 2 ÷ 4 m. di profondità) creano, per reazione fisica, altre correnti che arrivano fino a 10 ÷ 12 m. sotto di esse; se poi le correnti originate dai venti si sovrappongono, il loro effetto arriva fino a 30 ÷ 35 m. di profondità.

Le sesse sono oscillazioni libere di una massa d'acqua in un bacino chiuso, che si ripetono con decrescente ampiezza e continuano anche dopo la cessazione delle cause che le hanno determinate.

in altri laghi europei, si ha l'impressione di assistere ad un moto di marea che può andare da pochi minuti a molte ore, a seconda della forma e della grandezza del lago.

Causa di tale fenomeno è l'azione momentanea dei venti, in concomitanza alla differenza di pressione atmosferica ai due estremi. La durata delle oscillazioni dipende dalla forma e dalla grandezza del bacino; per il Garda si registrano periodi da 16 a 43 minuti ed ampiezza delle oscillazioni fino a 20 ÷ 30 centimetri. Le registrazioni sono fatte con limnimetri, che sono apparecchi simili a mareografi. Le onde stazionarie si riscontrano maggiormente sull'asse longitudinale del bacino e, solo in occasioni molto rare, si sviluppano anche sull'asse trasversale.

2.3 - Temperatura delle acque

Le acque del lago di Garda sono acque generalmente miti, non raggiungono mai temperature estremamente basse (vi è un solo caso rilevato nel 1970, in cui venne registrata una temperatura superficiale molto prossima allo zero, con fenomeni localizzati di solidificazione dell'acqua). La temperatura media superficiale è di circa 12°C; a 100 m di profondità la temperatura media dell'acqua è di 8°C. In particolare la temperatura superficiale può subire notevoli variazioni, a seconda del periodo dell'anno in cui viene registrata: a dicembre, infatti, si raggiungono di media i 6°C, mentre ad agosto il picco coincide con una temperatura superficiale pari a 27°C.

Al fine di una migliore comprensione della variazione di questi dati, sono state eseguite delle misurazioni in un punto ben definito del lago. Il luogo prescelto è situato presso la spiaggia delle "Rivette" di Barbarano, nel comune di Salò, in provincia di Brescia, lungo la sponda occidentale del lago. La misurazione della temperatura dell'acqua è stata effettuata a 50

piuttosto tranquilla, poco esposta a venti, correnti ed onde. Il fondale è a circa -20 metri. Quando non è stato possibile raggiungere con una imbarcazione quella zona per cause di forza maggiore (forti venti, burrasca, etc.), la misurazione è stata effettuata nella zona antistante il lungolago di Gardone Riviera, a circa 500 metri a nord, in luogo con analoghe caratteristiche del precedente (distanza da riva, profondità del fondale, etc.).

Si è provveduto ad effettuare almeno una registrazione a -30 cm e a -300 cm ogni decade del mese; nel caso di più misurazioni, è stato considerato un unico valore ottenuto come media aritmetica.

Il grafico di seguito riportato (fig. 2.3) riporta l'andamento dei dati analizzati.

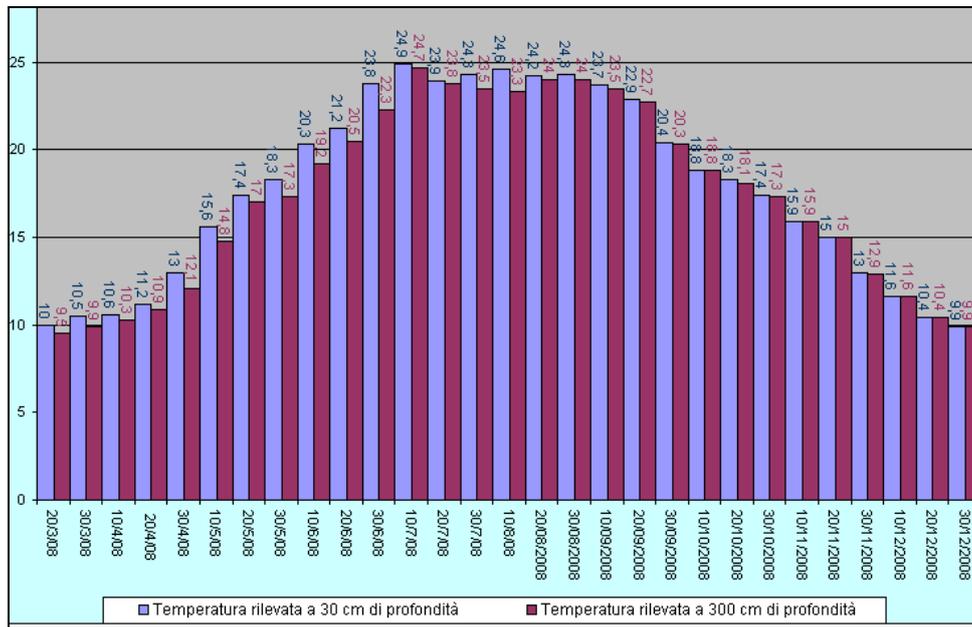


Fig. 2.3 - Andamento temperatura dell'acqua a diverse profondità e in diversi periodi

La temperatura dell'acqua nel medio-basso lago risulta sostanzialmente diversa da quella dell'alto lago, generalmente più freddo a causa

arca che trasporta acque provenienti da ghiacciai, ma anche a causa della limitata superficie del bacino in quella zona. La superficie esposta ai raggi solari, infatti, è marcatamente minore rispetto al basso lago, dove le acque si aprono in un golfo. (fig. 2.4).

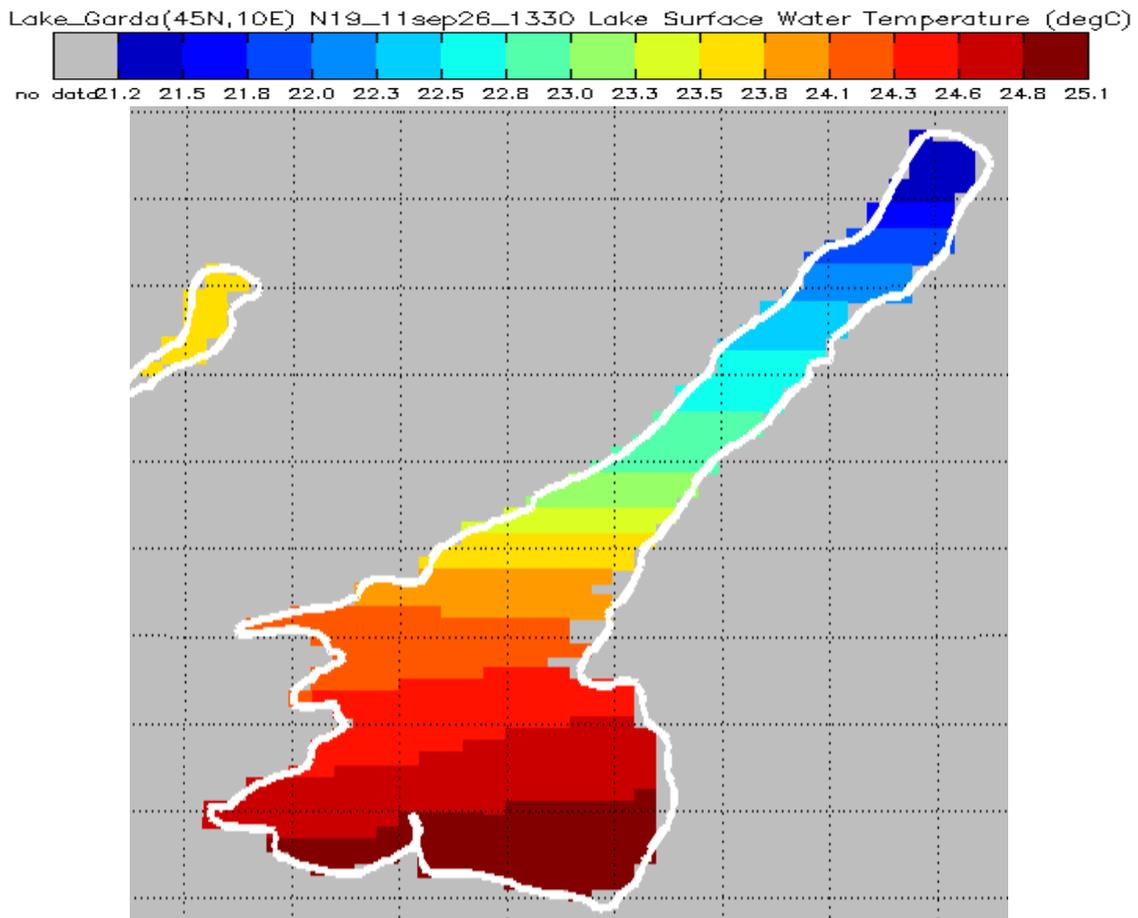


Fig. 2.4 - Temperatura della superficie lacustre

2.4 - I venti

Il vento è generato da una differenza di pressione atmosferica da attribuirsi a una differenza di temperatura ed ha un andamento di traslazione da zone in cui la pressione atmosferica è maggiore a zone in cui è inferiore.

dei venti principali:

- **Pelèr** (o **Sover** o **Vènt de Sòra**): è un vento costante caratteristico del Lago di Garda, proveniente da Nord e che interessa quasi tutto il lago, soprattutto l'alto ed il medio Garda. Soffia dalle prime ore della notte (2-3) fino a circa mezzogiorno (11-12) e si rafforza dopo il sorgere del sole a causa dell'aumento della temperatura. Nella parte orientale del medio Garda è un po' più forte e in estate può raggiungere velocità fino a 15 m/s con conseguente formazione del moto ondoso. Viene sfruttato per la pratica del windsurf da numerosi appassionati che escono all'alba nei pressi di Limone o di Malcesine.
- **Ora**: dal latino "aura" cioè "vento", è una brezza di valle proveniente dalla pianura Padana che spira da Sud poco dopo la caduta del Peler (12-13) sino al pomeriggio inoltrato. Interessa in maniera significativa il medio e soprattutto l'alto Garda dove acquista velocità per effetto Venturi, dovuto alla particolare conformazione a "forma di imbuto" del lago e delle montagne circostanti; il basso Garda risulta solitamente poco interessato, soprattutto nei mesi estivi. È meno intenso del Peler e dell'Ander, abitualmente raggiunge una velocità tra i 5-6 m/s anche se nei mesi estivi, nel quale è più intenso, può arrivare a velocità di 10-12 m/s originando un rilevante moto ondoso soprattutto nell'alto Garda. Viene sfruttato nelle ore pomeridiane da catamarani, windsurf e barche a vela che navigano nelle acque all'altezza di Torbole.
- **Ponal**: è un vento tipicamente estivo, di forte intensità e irregolare. Soffia dalla valle di Ledro nelle ore mattutine e nelle ore serali seguendo il solco del torrente Ponale da cui ne deriva il nome. È portatore talvolta di fortissimi temporali, a Riva del Garda si dice che *òlè pericolos perché l'fa la spasaoraö* (scopa via tutto).

'pisoca): è un vento proveniente da Nord tipicamente invernale, originato da un forte abbassamento della temperatura spesso dovuto ad intense precipitazioni a carattere nevoso. Può raggiungere velocità fino a 20 m/s e dare luogo ad un forte moto ondoso. È conosciuto dai pescatori per la caratteristica di soffiare per tre giorni consecutivi.

- **Libeccio** (o **Ander**): il termine proviene dal verbo andare, predomina nel periodo che va da marzo-aprile a settembre-ottobre. È difficile stabilire da dove esattamente esso provenga; generalmente da Sud-Ovest, spira nel primo pomeriggio e si protrae solo per poche ore interessando soprattutto il basso Garda. A volte può però raggiungere l'alto Garda e soffiare anche di notte. Può raggiungere velocità fino a 10 m/s dando luogo ad onde irregolari soprattutto da metà lago in su. Quando l'**Ander** inizia nelle prime ore del pomeriggio porta buon tempo, se invece inizia dopo il tramonto, oppure al mattino, prelude a una variazione atmosferica.
- **Vinesa**: è un vento costante proveniente da Est Sud-Est e che soffia dalla sponda veronese verso quella bresciana. È dovuto a perturbazioni in corso nell'alto Adriatico o all'insorgenza della Bora; in tal caso se il cielo a Est Sud-Est di Peschiera diventa di colore scuro, si preannuncia l'arrivo di questo vento portatore di mal tempo. Può essere molto pericoloso per la sua forza e per il moto ondoso che origina.
- **Visentina**: è la **Vinesa** che proviene da Est, è un vento originato dal maltempo che scende da San Vigilio interessando il basso Garda.
- **Fasanella**: è un vento costante, solitamente di scarsa intensità, che si forma nel primo pomeriggio ad ovest di Fasano (fraz. Gardone Riviera) e soffia verso est fino al tramonto, raggiungendo anche il basso Garda.

Può anche incanalarsi verso l'alto Garda ed acquistare forza per effetto Venturi, originando moto ondoso a partire da Tignale. È tipico del periodo estivo, porta bel tempo e rende il lago di color verde azzurro.

- **Montes:** è un vento che spira dal Monte Baldo verso Bardolino e Peschiera. È una brezza estiva che insiste principalmente sul bacino orientale del lago. Spira da maggio ad agosto (dalle 10 alle 14), non è periodico e può essere portatore di cattivo tempo.

2.5 - La navigazione sul lago di Garda

Si delineano ora le caratteristiche principali della navigazione sul lago di Garda. Si ricorda che la stessa è regolamentata dalla *Disciplina del Demanio Lacuale e della navigazione sul lago di Garda* emanata dalle Amministrazioni delle tre Regioni bagnate dal lago.

È possibile suddividere le imbarcazioni che navigano sul Garda in tre categorie in base alla loro destinazione:

- pubblica (navi, traghetti, battelli che collegano in modo puntuale e continuativo tutti i comuni rivieraschi);
- sportiva, è il caso di ricordare la tradizione velistica del Garda da cui provengono alcuni tra i più famosi campioni italiani;
- diportistica, molto numerose le imbarcazioni a vela o motore che navigano sul lago esclusivamente per diporto.

Per ognuna di queste categorie vengono di seguito descritte le principali caratteristiche che le contraddistinguono.

Il servizio di navigazione pubblica è gestito dall'Ente Gestione Governativa Laghi ó Esercizio Navigarda, mediante grosse imbarcazioni che attraversano sia longitudinalmente che trasversalmente il lago, creando collegamenti puntuali e continui tra le località.

I collegamenti sono soggetti a variazioni stagionali (con ovvio incremento nel periodo estivo) e sono operati con mezzi veloci e battelli anche di grandi dimensioni che. In alcuni casi, consentono anche il trasporto di mezzi gommati.

Sempre nel periodo estivo sono presenti offerte di minicrociere che incrementano ulteriormente il traffico di navigazione pubblica.

2.5.2 - Attività sportiva

Canoa e canottaggio sono ampiamente praticati ma, l'attività sportiva per eccellenza che si svolge sul Garda è la vela, soprattutto nel medio-alto lago. Negli anni questa attività ha avuto uno sviluppo notevole e attualmente interessa un numero elevato di imbarcazioni: si va dalle flotte di windsurf alle grandi imbarcazioni a vela che ogni anno si danno appuntamento per partecipare alle numerose e importanti regate che si svolgono su lago, la più importante delle quali, denominata "Centomiglia", fa parte del circuito dei grandi eventi internazionali della vela sportiva.

Le differenti caratteristiche dei venti che variano a seconda delle zone, costituiscono una palestra ideale per la pratica dello sport della vela, coinvolgendo molte imbarcazioni, gran parte delle quali sono presenti sul lago tutto l'anno. Leggendo i resoconti delle regate più famose non è

ni di situazioni di traffico intenso (nel senso più automobilistico del termine).

2.5.3 - Diporto

La flotta da diporto che naviga sul Garda è composta da imbarcazioni che appartengono a tipologia anche molto differenti tra loro. Si va da piccoli gozzi in legno a veloci motoscafi e dai day cruiser (a motore o vela) a veri e propri cabinati.

Il traffico diportistico è presente in maniera diffusa anche perchè le distanze modeste consentono di compiere, nell'arco di una giornata, gite che attraversano gran parte del lago.

Ovviamente anche per questa fascia di utenti delle acque del lago si registra il maggior numero di presenza durante la stagione estiva.

Con riferimento a quest'ultima va evidenziata la necessità di poter disporre di un numero sufficiente di scali per varo e alaggio che consentano la movimentazione e la manutenzione delle imbarcazioni.

3.1 - Individuazione dell'area di intervento

Bardolino è una delle più importanti e famose mete turistiche del lago di Garda; il suo territorio si colloca in posizione mediana lungo la sponda orientale del lago di Garda, nel tratto di sponda veronese, in una zona di transizione fra i caratteri morfologici dell'Alto e del Basso Lago; sorge ai piedi delle colline moreniche, ricche di vigneti ed oliveti, e si protende sull'acqua con due pittoresche punte, Punta Mirabello e Punta Cornicello, generate dai trasporti solidi di due torrenti che confluiscono in lago, rispettivamente il Valsorda e il San Severo, e che modellano la costa con un susseguirsi di ampie insenature (fig. 3.1).



Fig. 3.1 - il capoluogo del Comune di Bardolino

È connotato dalla presenza di una rete stradale di primaria importanza, legata alla valenza turistica del Garda, polo attrattore di ordine nazionale, e

situata all'intersezione tra il corridoio pedealpino padano e la dorsale centrale, che collega il Brennero al centro-sud Italia (fig. 3,2).

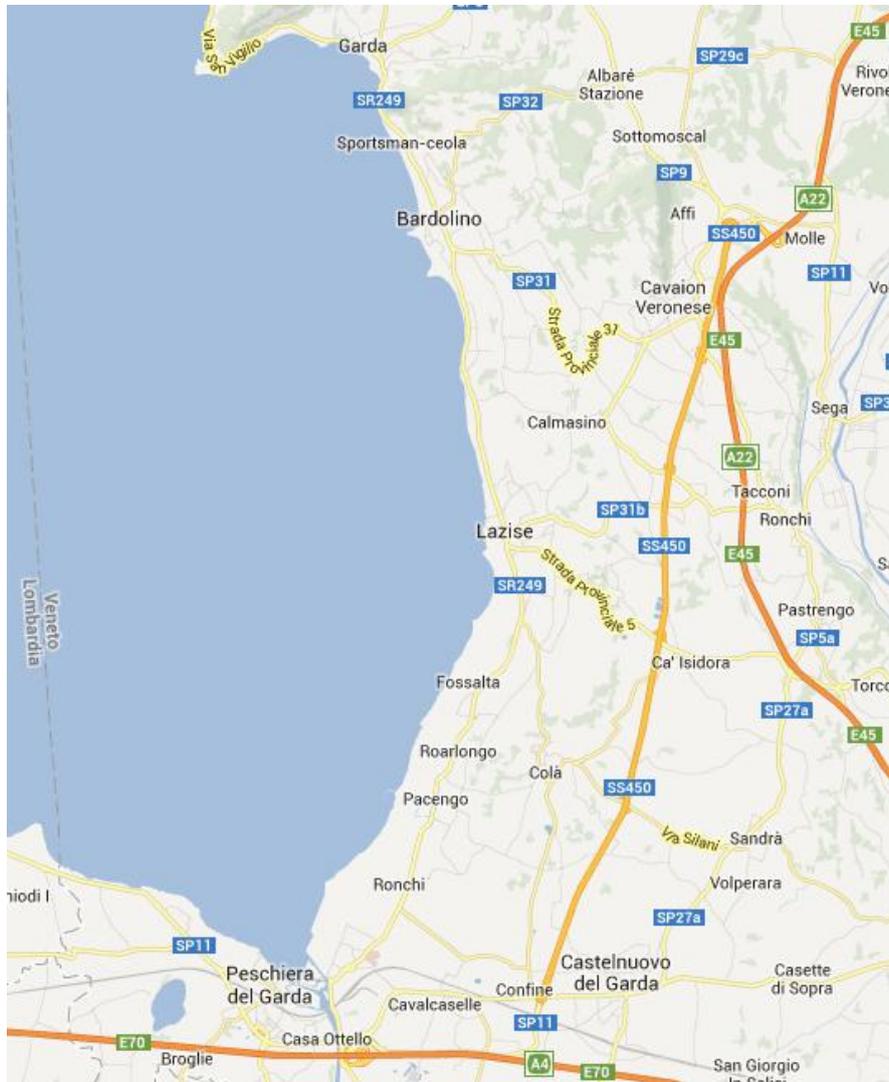


Fig. 3.2 ó Estratto della carta stradale d'italia

Le infrastrutture di interesse sovregionale sono la Strada regionale n. 249 Gardesana Orientale, che percorre la costa orientale del lago di Garda e la collega alla Provincia di Mantova, e la n. 450, parallela alla Gardesana nell'entroterra, che rappresenta il collegamento diretto tra i caselli di Peschiera sull'A4 (Torino-Venezia) ed Affi sulla A22 (del Brennero), con

assi da e per il Basso Garda; a livello locale

sono presenti le Strade Provinciali n. 5, 31 e 31b che mettono in comunicazione il territorio comunale con le due importanti arterie stradali sopra citate.

L'area in esame ricade nell'ampia insenatura situata a Nord del capoluogo del Comune di Bardolino, in corrispondenza del campeggio comunale e in prossimità del fabbricato sede del Centro Nautico Bardolino e della relativa area di pertinenza.

Tale insenatura è delimitata a sud dalla sopra citata Punta Cornicello e a nord da Punta S. Vigilio, per cui ne risulta relativamente ridotto il cosiddetto settore di traversia, ovvero il campo che definisce gli angoli sotto i quali spirano i venti capaci di generare agitazioni ondose più o meno pericolose; nel caso specifico il settore di traversia è definito dalle due semirette che si staccano dall'area in oggetto (punto \tilde{L}) e sono tangenti alle due punte; il moto ondoso viene quindi generato dai venti spiranti entro il settore visualizzato nella seguente immagine (fig. 3.2).

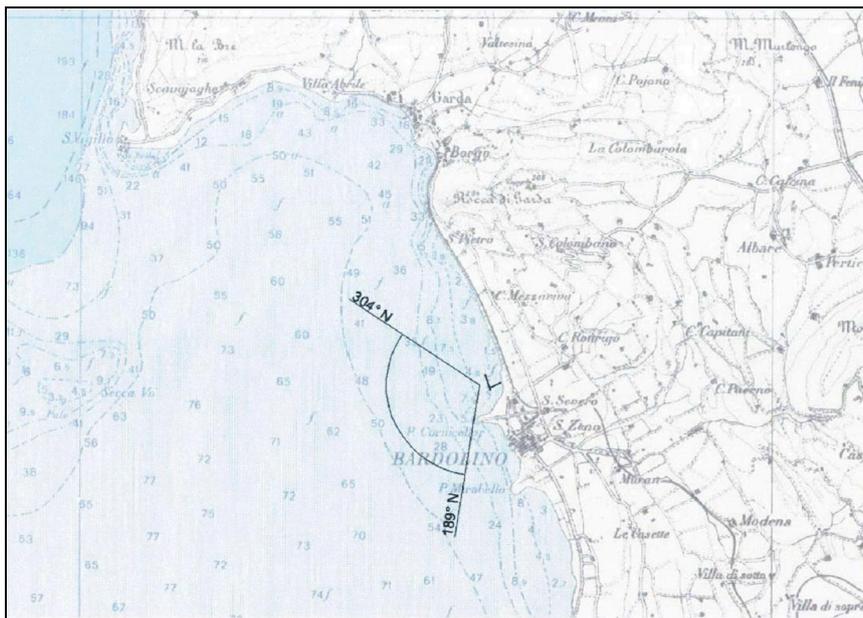


Fig. 3.2 - settore di traversia relativo al paraggio di punta Cornicello

prevedere una striscia di territorio compresa tra il lago e la lunga passeggiata pedonale, ex sede di una linea ferroviaria locale dismessa negli anni 60, che congiunge Bardolino al capoluogo del comune limitrofo di Garda.

L'area presenta caratteristiche diversificate, passando da una riva completamente cementata nel tratto compreso tra Punta Cornicello ed il Centro Nautico, ad una riva più naturale con presenza di canneto nel tratto compreso tra il Centro Nautico fino al confine a Nord con il Comune di Garda (fig. 3.3).

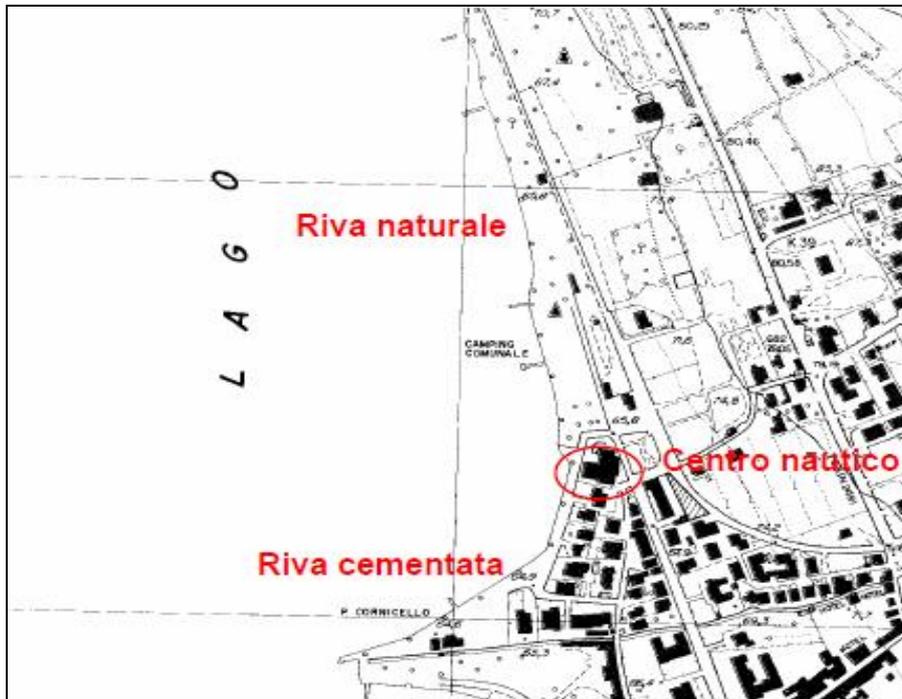


Fig. 3.4 - Area di intervento

Attualmente l'area suddetta è caratterizzata dalla presenza di un campo boe predisposto dal Comune di Bardolino, entro il quale sono ormeggiate con boa circa un centinaio di imbarcazioni.



Fig. 3.5 - Foto aerea che evidenzia il øcampo boeö

Tale area non è adeguatamente delimitata e distinta dall'area riservata alla balneazione; infatti il Centro Nautico confina con il campeggio comunale e alcune imbarcazioni sono ormeggiate nelle immediate vicinanze dei pontili utilizzati dai bagnanti: la realizzazione del porto consentirebbe quindi un riordino ambientale/funzionale dell'intera area.

3.2 - Peculiarità dell'area

L'area prescelta gode di alcune importanti peculiarità, messe in evidenza nella Tavola 1 che rappresenta lo stato attuale del contesto urbano in cui tale area si colloca:

- è limitrofa, e quindi in stretta relazione, con l'abitato di Bardolino; l'incremento di presenza turistica, che il nuovo porto può certamente

ulteriore sviluppo economico delle attività
ricettive e commerciali del paese;

- interessa una vasta area di proprietà comunale, attualmente adibita a campeggio, il cui utilizzo eviterà il ricorso a lunghe e onerose procedure espropriative (e il cui esito non sempre è positivo) e consentirà inoltre di realizzare il porto in posizione più arretrata rispetto all'attuale linea di riva, occupando, mediante escavazione, parte dell'area comunale; in tal modo potrà essere limitata l'espansione a lago del porto e consentire quindi una maggiore armonizzazione con il naturale sviluppo della costa lacuale e un conseguente minor impatto paesaggistico; la restante parte dell'area comunale potrebbe essere destinata ad ospitare le strutture di corredo al marina (negozi, bar, í) e aree verdi a servizio anche della popolazione locale;
- è facilmente raggiungibile mediante una adeguata rete viaria locale che la collega alle importanti infrastrutture stradali sopra citate;
- è limitrofa al grande parcheggio "Cà Nova" cui si accede direttamente dalla Strada Regionale n. 249 Gardesana Orientale.

Tali peculiarità la rendono particolarmente idonea per l'intervento in oggetto.



TAVOLA 1
CONTESTO URBANO E INFRASTRUTTURALE
DELL'ARE OGGETTO DI INTERVENTO
scala 1:5000

METRIE DEL LAGO DI GARDA

4.1 - Il rilievo e la regolazione dei livelli del lago

Il bacino idrografico superficiale che alimenta il lago di Garda è di circa 2.290 km². Il lago stesso si estende su una superficie di 368 kmq ed occupa un sesto dell'intera area del bacino. E' alimentato principalmente dalle acque del fiume Sarca e da affluenti secondari a nord e nord-ovest provenienti dallo spartiacque montano in territorio bresciano, ovvero da piccoli fiumi e torrenti che scendono verso sud-est dalla Valvestino, Valle di S.Michele, e dal lago di Ledro. Ulteriori apporti provengono dall'anfiteatro morenico a sud e da numerosi piccoli torrenti che scendono sul versante occidentale del monte Baldo in territorio veneto. Si tratta di un ristretto bacino imbrifero che assicura tuttavia un sufficiente apporto idrico al Garda.

Le precipitazioni medie annue non sono omogenee: nelle aree poste a quote inferiori esse sono comprese fra i 700 e 1000 mm, mentre quelle di alta montagna superano talora i 2500 mm. Nel bacino attuale sono presenti dei ghiacciai: Adamello, Brenta e Presanella; l'altezza massima del bacino imbrifero è di 3358 m; nel periodo invernale la copertura nevosa è considerevole su gran parte dei rilievi montuosi, compreso il monte Baldo ad est del lago.

Data la sua estensione, (è il lago più grande del territorio nazionale) ed essendo alimentato da numerosi ma piccoli affluenti, è ben difficile osservare forti cambiamenti repentini nella sua altezza idrometrica.

Peschiera del Garda è fissato alla quota di 64,027 m sul livello medio del mare.

Dopo un annoso contenzioso tra gli organi dello Stato preposti alla regolazione del lago e i numerosi utilizzatori diretti e indiretti delle sue acque, una approfondita analisi delle registrazioni all'idrometro di Peschiera ha portato a fissare in 65,05 m sul livello del medio mare la quota di piena ordinaria; tale quota è ormai universalmente riconosciuta pur essendo sensibilmente inferiore a quella di 65,59 m fissata dal D.M. 20.08.1948 n. 1170 per la delimitazione degli ambiti demaniali del laghi di Garda nelle province di Brescia; è proprio questa quota, arrotondata a 65,00 m, che nel seguito sarà considerata come quota media del lago.

Gli equilibri naturali dell'ambiente montano-lacustre sono stati fortemente modificati a partire dagli anni trenta del secolo scorso con la realizzazione della galleria tra i laghi di Ledro e Garda, della centrale idroelettrica di Molveno e da quella di Valvestino e dei loro rispettivi bacini di accumulo idrico. Inoltre nel 1960 è stata completata la galleria scolmatrice dell'Adige per evitare piene disastrose dell'Adige nella zona di Verona, usata peraltro solo in pochissime occasioni. Nel 1949 è stato completato il sistema di regolazione dei livelli sul fiume Mincio a Salionze di Monzambano, subito a valle di Peschiera del Garda, e, più a sud, negli anni '80, lo scaricatore di Governolo del Mincio in Po. Il Garda è dunque un bacino artificialmente regolamentato.

Le regole dettate dalle esigenze di mezzo secolo fa, in termini di regolazione dei livelli, non sembrano più in grado di rispondere alle mutate condizioni dei nostri giorni. Allora la priorità andava all'agricoltura ed alla

per effetto della legge Galli, la precedenza va al consumo umano e poi all'agricoltura.

Se negli anni fra il 1950 ed il 1970 il problema era quello di contenere i livelli massimi e dunque le piene evitando allagamenti e disastri, ora con mutate condizioni climatiche e grande uso della risorsa idrica succede esattamente il contrario.

L'acqua, salvo qualche rara eccezione, negli ultimi anni è scarsa e i consumi sono spesso superiori alle disponibilità. Pertanto un futuro incerto pesa nel basso Garda sull'industria del turismo in quanto spiagge e centri balneari con bassi livelli dell'acqua potrebbero diventare lunghe distese melmose e inutilizzabili. Gli ambienti naturali quali i canneti risentirebbero pesantemente di un forte e persistente abbassamento dei livelli del lago. Si avrebbero inoltre anche ripercussioni negative sulla navigazione, soprattutto per l'attracco dei mezzi della Navigarda. Per questo i Sindaci di numerosi comuni che si affacciano sul Garda chiedono che il livello minimo del Garda venga innalzato.

La regolazione delle acque è effettuata attraverso il sistema regolatore di Salionze, sul fiume Mincio, costituito da un lungo sbarramento in muratura lungo oltre 70 metri, a più luci, chiuse da paratoie metalliche piane. Alcune aperture centrali fungono come scarico di fondo e immettono l'acqua nel fiume Mincio. Le aperture di destra alimentano il canale irriguo industriale Virgilio, mentre quella di sinistra la Seriola di Salionze.

Il fiume Mincio nei pressi della città di Mantova si allarga e forma tre laghi per poi immettersi, dopo un percorso di 75 chilometri, nel Po.

Studi idrogeologici riguardanti il bilancio idrico del lago di Garda hanno evidenziato che il bilancio afflussi-deflussi si chiude a favore dei deflussi:

svogliata nel lago dal fiume Sarca e da altri torrenti sono minori di quelle che escono. Il bilancio viene compensato da numerosi apporti sotterranei e dalle precipitazioni che cadono direttamente nel Garda.

Ogni anno nel lago entrano in media 1,8 miliardi di metri cubi d'acqua, di cui 0,8 miliardi durante il periodo irriguo. Il confronto fra questi dati e la capacità di regolazione pari a 458,5 milioni di metri cubi in regime normale, e di 660 milioni in regime eccezionale, mette in evidenza che esistono limitati margini.

In definitiva il lago di Garda rappresenta quindi un grande serbatoio naturale che riceve un afflusso di acque dal bacino del Sarca e da molti altri piccoli affluenti; queste acque, dopo essere state decantate, riscaldate e rese trasparenti, vengono restituite al fiume Mincio, e da questo al Po, e ad una serie di canalizzazioni secondarie destinate a scopi in prevalenza irrigui.

In questi delicati equilibri di masse d'acqua in entrata e in uscita, si inserirono le Società elettriche, con i bacini idroelettrici di Valvestino, Ledro e Molveno.

La Comunità del Garda, che rappresenta la maggior parte dei Comuni rivieraschi ed alcuni Comuni dell'immediato entroterra, tramite il suo rappresentante nella Commissione Ministeriale per l'esercizio della regolazione dei livelli delle acque del lago di Garda istituita con D.M. 18.06.1957, ha sempre riconosciuto la necessità e l'utilità degli impianti idroelettrici, assieme alle ragioni dell'irrigazione del Mantovano, ma ha anche richiesto con forza che la regolazione dei livelli fosse disciplinata in modo tale da garantire un valore minimo di 20 cm e un valore limite massimo di 130 cm, riferiti allo zero idrometrico di Peschiera. Tale

(A.I.P.O.) nel periodo che va dal 1995 ad

oggi. È stato quindi possibile quindi eseguire un'indagine abbastanza dettagliata dell'andamento dei livelli, al fine di definire le quote che è necessario raggiungere, per consentire l'accesso al bacino del porto alle imbarcazioni in condizioni di sicurezza.

Analizzando i dati ricevuti dall'A.I.P.O. (fig. 4.1) si osserva che l'oscillazione tra il livello massimo ed il livello minimo del lago durante l'anno è di circa 0.6 metri; si registra un minimo stagionale nel periodo Agosto-Settembre che, essendo un periodo ad elevato afflusso turistico, è caratterizzato dalla presenza di un elevato numero di imbarcazioni.

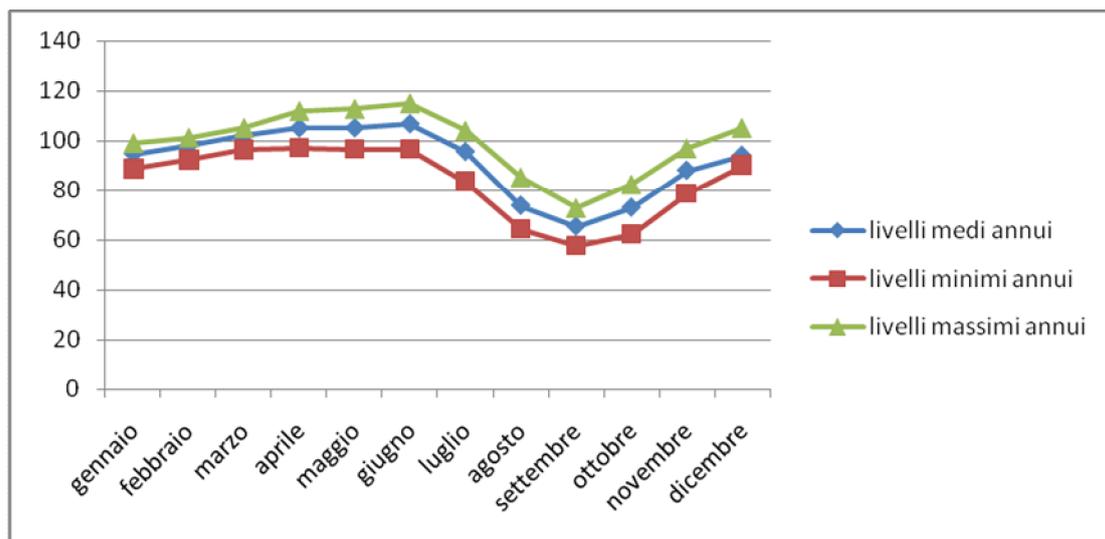


Fig. 4.1 - Andamento dei livelli medi, min. e max. mediati su un periodo di 18 anni

Nel diagramma di fig. 4.2 sono evidenziati i valori ottenuti mediando i livelli mensili di ogni singolo anno di registrazione.

Dall'analisi del grafico si evince che l'anno in cui si sono avuto i livelli più bassi è stato il 2007, in cui sono stati raggiunti mediamente tiranti idrici nettamente inferiori sia rispetto alla media degli anni di osservazione (la

ca 85 centimetri sopra lo zero idrometrico),

sia rispetto ai valori puntuali dell'intervallo considerato.

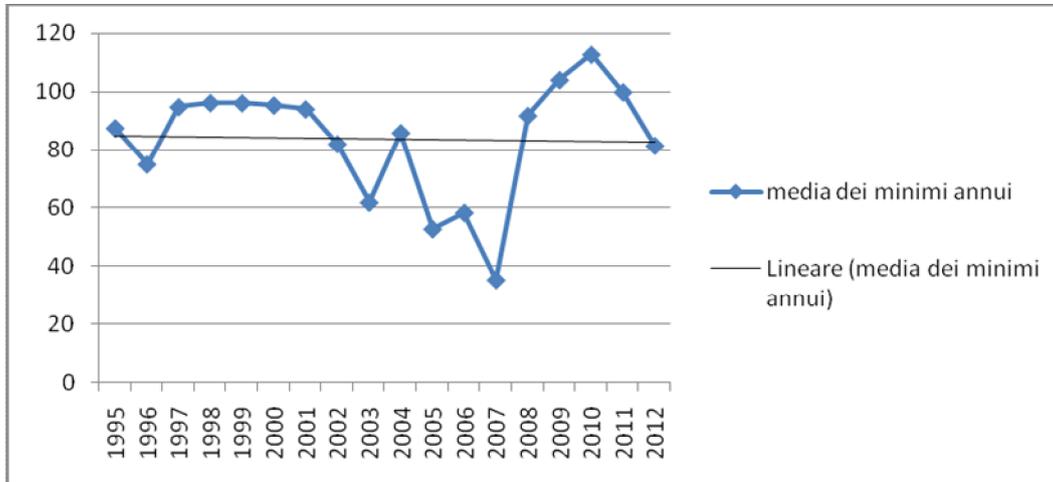


Fig. 4.2 - Andamento dei livelli minimi mensili mediati per ogni anno di registrazione

In ogni caso, per sicurezza, al fine della determinazione della profondità di scavo entro il bacino portuale e nel relativo canale di ingresso, si terrà conto di un livello minimo pari a 60 cm sopra lo zero idrometrico.

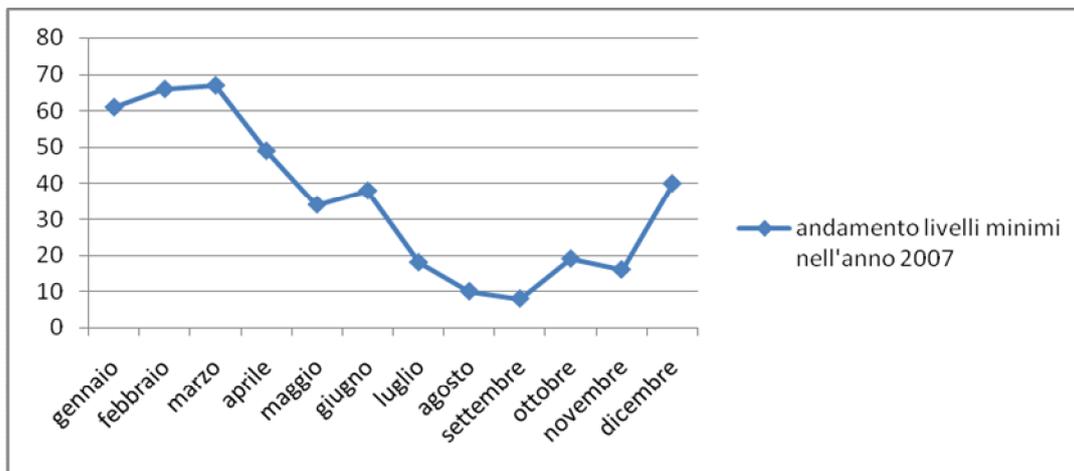


Fig. 4.3 - Andamento dei livelli minimi nel corso dell'anno 2007

li minimi sono stati i minori di tutta le serie di rilevazioni (anno 2007) si è scelto di valutare quanto, nel corso di quell'anno, sia durato questo momento di criticità (fig. 4.3).

Leggendo il grafico è semplice constatare come, durante tutto il corso dell'anno 2007, i livelli si siano mantenuti al di sotto del valore medio dei minimi di tutti gli anni registrati. È anche vero che i livelli in cui si possono creare disagi per il traffico dei natanti all'interno delle infrastrutture portuali, si sono verificati nel periodo limitato che va da agosto a ottobre.

Analoga analisi è stata effettuata per le registrazioni massime (fig. 4.4), questo per poter valutare correttamente le quote fuori acqua da raggiungere con il molo a protezione del porto, per garantire condizioni sicurezza e confort alle imbarcazioni e ai fruitori del marina.

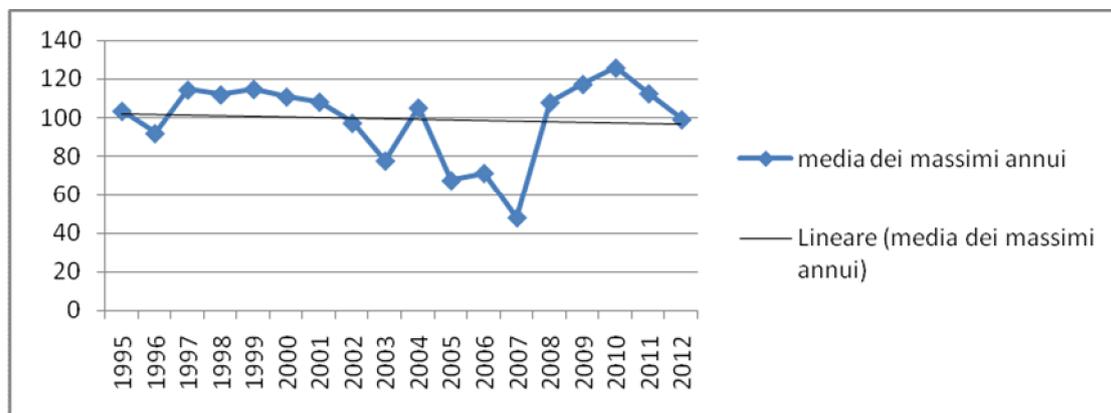


Fig. 4.4 - Andamento dei livelli massimi mensili mediati per ogni anno di registrazione

L'anno in cui la media dei valori massimi ha raggiunto il valore più alto è stato il 2010, con un valore di circa 30 centimetri al di sopra del valore medio di tutti gli anni (la linea di tendenza si pone alla quota di un metro al di sopra dello zero idrometrico).

appresentato l'andamento dei tiranti idrici massimi verificatisi nell'anno 2010, dal quale si può vedere che le quote massime non superano mai il valore limite massimo (140 centimetri sullo zero idrometrico) sancito dalla Commissione per l'esercizio della regolazione dei livelli delle acque del lago nel 1984.

È parso logico quindi considerare quel valore per determinare le quote massime fuori terra cui riferire le infrastrutture portuali.

Nella tabella 4.1 si riportano i valori dei livelli più significativi trattati in precedenza.

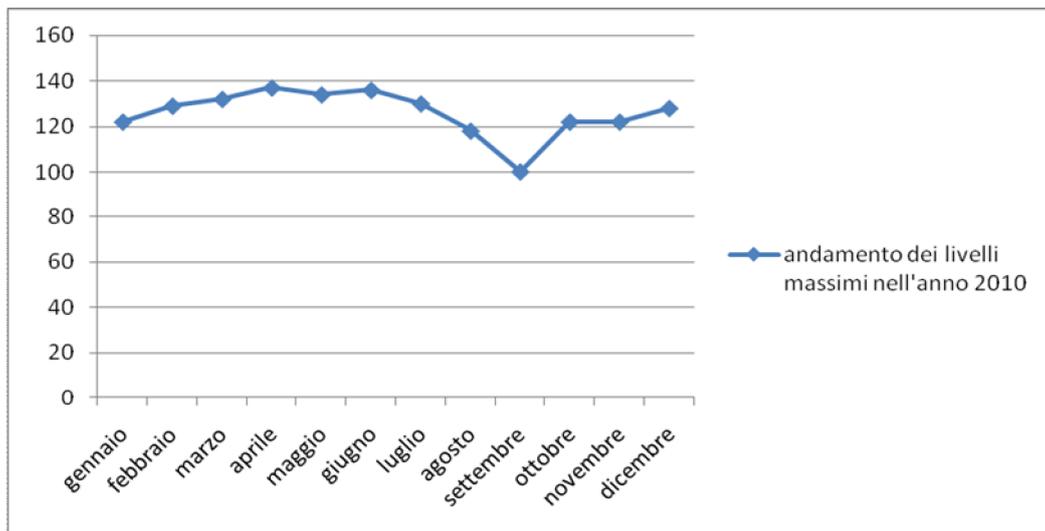


Fig. 4.5 - Andamento dei livelli massimi nel corso dell'anno 2010

	sul livello medio mare [m]	rispetto allo zero idrometrico [cm]
zero idrometrico	64.027	-
livello medio lago	65.00	0.973
livello minimo	64.177	15
livello massimo	65.487	146
media dei minimi (1995-2012)	64.627	60
media dei massimi (1995-2012)	65.027	100

Tab. 4.1 - Livelli del lago di Garda

Altro elemento determinante ai fini della progettazione del porto, è la conoscenza dell'andamento dei fondali della porzione di lago in cui avrà sede l'opera.

Il fondo lago si caratterizza per il fatto di essere suddiviso in due bacini nettamente distinti: uno a nord-ovest, con profondità massima di 346 metri tra Gargnano e Magugnano, e uno a sud-est, comprendente il bacino di Peschiera, con profondità massima di 78 metri nei pressi di Bardolino; i due bacini sono separati da una dorsale in direzione NNE che va da Punta San Vigilio a Punta Grotte nella penisola di Sirmione.

Tale caratteristica è messa in particolare evidenza dalla Carta Nautica del Lago di Garda, elaborata dall'Istituto Geografico Militare di Firenze, che riporta le quote di fondo lago su una maglia di circa 500 x 500 m; la figura 4.6 mostra un estratto di questa carta con specifico riferimento all'area in oggetto.



Fig. 4.6 - Estratto della Carta Nautica del Lago di Garda

Peraltro, non essendo tale carta sufficientemente dettagliata, si è reso necessario eseguire dei rilievi in sito mediante l'uso di una piccola imbarcazione dotata di sistema G.P.S. ed ecoscandaglio. Come forma di controllo si è ritenuto opportuno eseguire anche misurazioni manuali con l'utilizzo di una corda metrica opportunamente zavorrata.

Il giorno in cui sono stati effettuati i rilievi il livello del lago risultava alla quota di 65.28 metri s.l.m.m., per cui si è reso necessario comparare le quote rilevate con quelle riportate sulla sopra citata Carta Nautica, che sono riferire alla quota media del lago (65 m.s.l.m.m.). In totale sono state eseguite 12 rilevazioni; a solo titolo indicativo vengono riportati nella tabella seguente (tab. 4.2) i dati riguardanti alcune di tali rilevazioni,

coordinate punti rilevati		quote	
		65.28 m.	65,00 m.
punto 1	45° 33' 18" Nord	1.78 m.	1.5 m.
	10° 42' 59" Est		
punto 2	45° 33' 18" Nord	2.38 m.	2.1 m.
	10° 42' 55" Est		
punto 3	45° 33' 17" Nord	3.78 m.	3.5 m.
	10° 42' 50" Est		

Tab 4.2 - Estratto delle misurazioni batimetriche effettuate

Le quote di fondo rilevate dalla Carta Nautica e quelle ottenute a seguito dell'indagine in campo sono state poi riportate su una planimetria in scala 1:2000 (Tavola 2), sulla quale sono state indicate anche le due curve isobatimetriche dei 2 e dei 4 metri di profondità rispetto alla quota media del lago, ottenute interpolando le quote puntuali sopra citate.

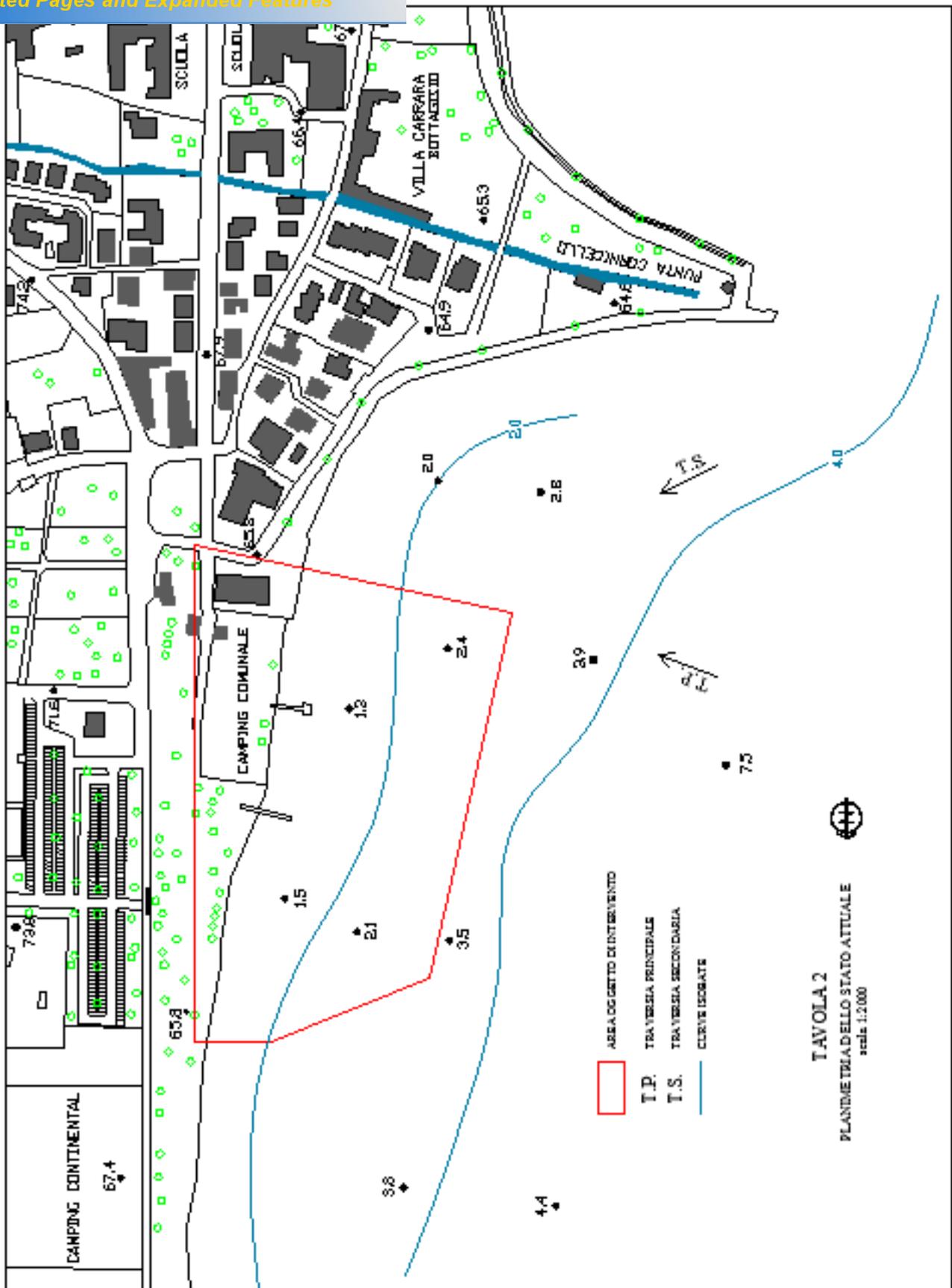


TAVOLA 2
 PLANIMETRIA DELLO STATO ATTUALE
 scala 1:2000

5.1 - Premessa

Il moto ondoso significativo nel paraggio di Bardolino non è quello dovuto alle correnti litoranee, ovvero generate dal gradiente di densità dell'acqua, bensì quello provocato dal vento al largo. Quindi una attenta analisi anemometrica è un elemento fondamentale per determinare l'altezza d'onda significativa H_s , parametro importante per l'analisi dell'azione del moto ondoso sulle strutture e per il dimensionamento delle opere portuali.

La fig. 5.1 ben evidenzia l'intensità del moto ondoso nei pressi del porto vecchio di Bardolino in una giornata particolarmente ventosa.



Fig. 5.1 - Giornata particolarmente ventosa nel porto vecchio di Bardolino

Per effettuare una precisa analisi anemometrica, in una determinata area di interesse, è necessario avere a disposizione una grande quantità di registrazioni meteo; naturalmente più la stazione di rilevamento è vicina alla zona interessata e più registrazioni si hanno a disposizione, più i risultati dell'analisi saranno validi.

Nel caso specifico sono stati analizzati i dati registrati presso una stazione meteo posizionata ad una quota di 4 m. sul livello medio del lago (65 m.s.l.m.m.), esattamente a ridosso dell'area in cui è prevista la realizzazione del marina di Bardolino.

La stazione è una Davis modello Vantage Pro (fig.5.2), dotata di sensori in grado di misurare temperatura dell'aria, umidità, quantità di pioggia caduta, pressione atmosferica e velocità del vento e di restituire a video e/o in formato digitale, con la frequenza di un minuto, i dati ottenuti come media di rilevazioni effettuate ogni 2,5 sec.



Fig. 5.2 - Stazione meteo Davis-Vintage Pro

e di altre in vari punti strategici del Garda è di competenza del dott. Diego Bianchi, meteorologo di Sirmione (BS), che nel 1998 ha dato vita al primo portale meteorologico del lago di Garda, denominato *ömeteogarda.itö*.

Il dott. Bianchi ha messo a disposizione, su supporto informatico, tutti i dati registrati dalla stazione meteo di Bardolino riguardanti, il periodo che va dal 2006 (anno in cui è stata installata) ad oggi, in tutto oltre tre milioni di dati. Nella figura che segue (fig. 5.3) è riportato un estratto dei dati in formato *ötxtö*, nel quale sono evidenziati quelli riguardanti la velocità (wind speed) e la direzione del vento (wind dir).

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	wind Run	Hi Speed	Hi Dir	wind Chill
13/11/06	11.11	13.8	13.8	13.8	40	0.4	3.6	ESE	0.21	4.5	ESE	12.7
13/11/06	11.12	13.8	13.8	13.8	40	0.4	2.2	ESE	0.13	4.5	ESE	13.5
13/11/06	11.13	13.8	13.8	13.8	40	0.4	0.4	SSE	0.03	0.9	SSE	13.8
13/11/06	11.14	13.9	13.9	13.8	40	0.5	0.9	ESE	0.05	2.2	ESE	13.9
13/11/06	11.15	13.9	13.9	13.9	39	0.1	1.8	ESE	0.11	4.5	SE	13.9
13/11/06	11.16	13.9	13.9	13.9	39	0.1	1.8	SE	0.11	3.1	ESE	13.9
13/11/06	11.17	13.9	13.9	13.9	40	0.5	0.9	SSE	0.05	2.7	E	13.9
13/11/06	11.18	14.0	14.0	13.9	40	0.6	0.4	SE	0.03	1.3	SE	14.0
13/11/06	11.19	14.0	14.0	14.0	40	0.6	0.9	SE	0.05	1.8	SE	14.0
13/11/06	11.20	14.1	14.1	14.0	40	0.6	0.9	SSE	0.05	3.1	SE	14.1
13/11/06	11.21	14.1	14.1	14.1	41	1.0	2.2	ESE	0.13	3.6	SE	13.8
13/11/06	11.22	14.1	14.1	14.1	41	1.0	1.8	E	0.11	3.1	ESE	14.1
13/11/06	11.23	14.1	14.1	14.1	41	1.0	1.8	E	0.11	2.7	SE	14.1
13/11/06	11.24	14.1	14.1	14.1	40	0.6	1.8	SE	0.11	3.1	SE	14.1

Fig. 5.3 - Estratto delle registrazioni meteo in formato *ötxtö*

Nelle successive immagini sono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni totali, delle registrazioni delle velocità massime del vento e quella delle registrazioni con intensità superiore a 12 m/s.

Tali grafici sono stati ottenuti mediante *öMatlabö*, un ambiente per il calcolo numerico e l'analisi statistica, in grado di interfacciarsi con altri programmi per l'acquisizione automatica dei dati e di manipolare matrici, visualizzare funzioni e dati, implementare algoritmi, e creare interfacce utente.

Nella prima immagine (fig. 5.4) si può facilmente osservare come siano molto più frequenti i venti che provengono dal settore E-NE (Montese), i quali però, spirando da terra verso il lago aperto, non generano onde che possono interessare le coste bardolinesi.

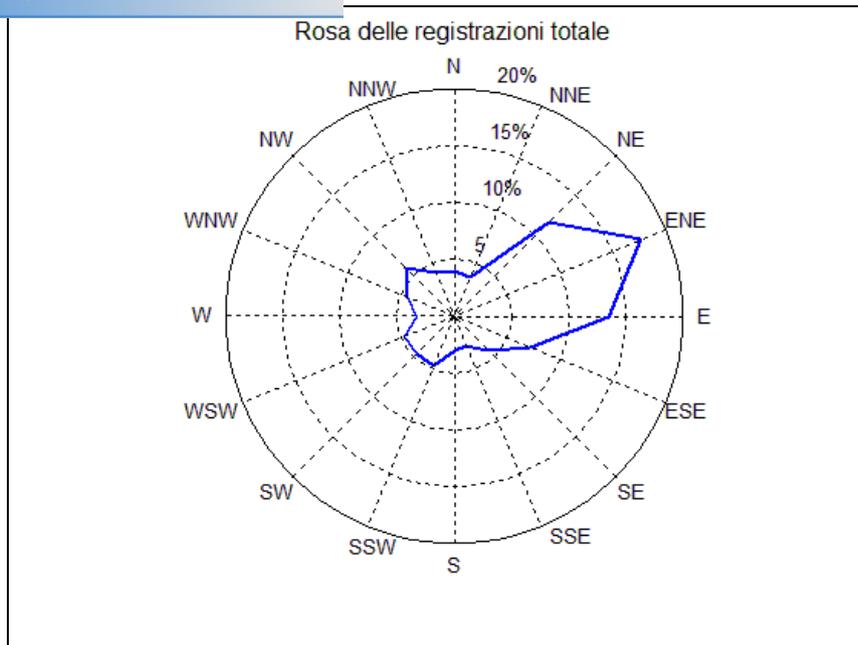


Fig. 5.4 - Rosa delle registrazioni totali

La seconda immagine (fig. 5.5) e la terza (fig. 5.6) evidenziano come i venti con le intensità maggiori provengano dai settori N-NW, E-NE e le velocità possano raggiungere anche i 25 m/s.

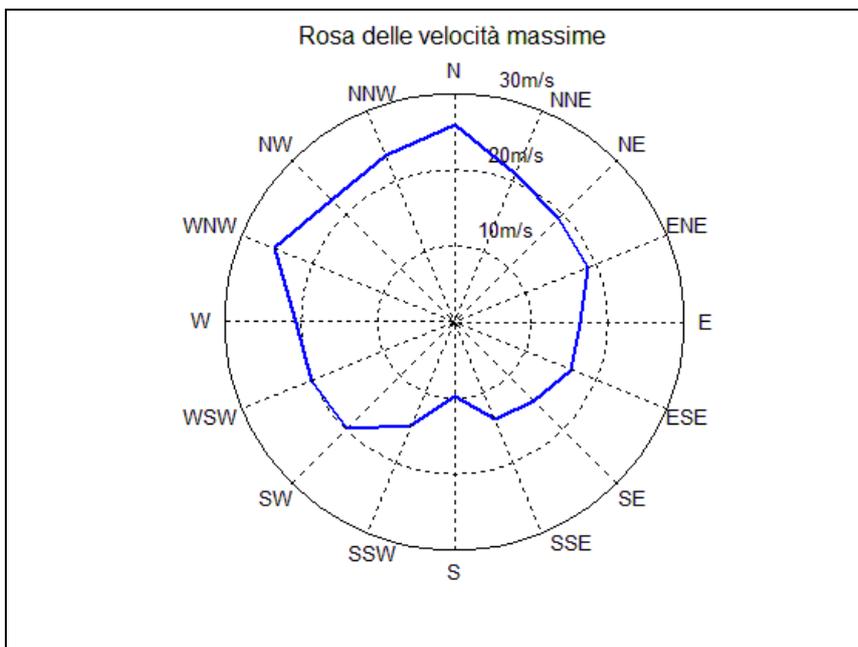


Fig. 5.5 - Rosa delle velocità massime

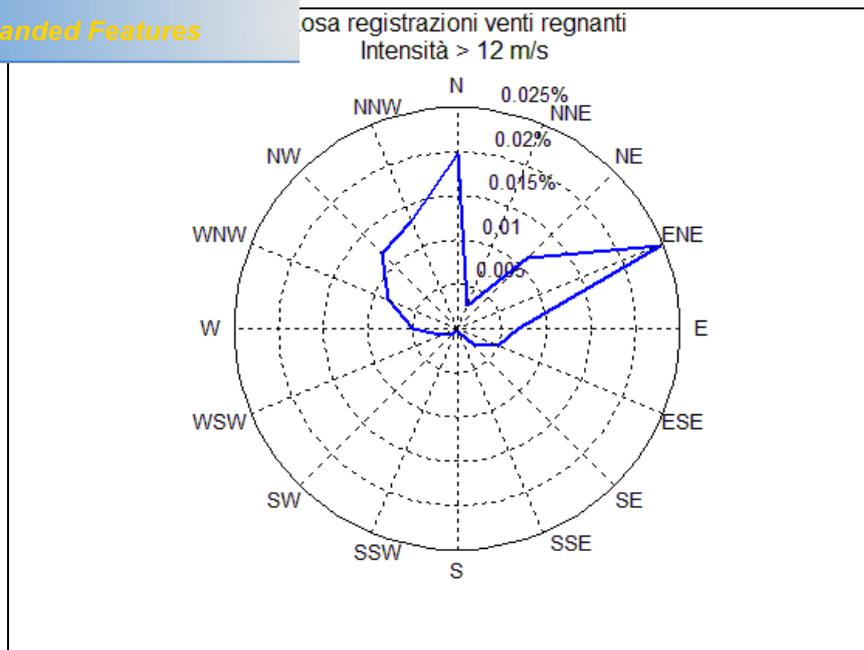


Fig. 5.6 - Rosa dei venti con intensità > 12 m/s

È quindi necessario compiere un'analisi statistica approfondita per determinare quale sia il valore più consono da utilizzare per calcolare l'altezza significativa dell'onda incidente nella zona oggetto di studio, tenendo presente che il settore E-NE è trascurabile per i motivi già precisati in precedenza.

5.3 - Analisi statistica dei dati

Per l'analisi statistica delle registrazioni della velocità del vento è stato applicato il metodo probabilistico di Gumbel, procedimento che consente di allargare il campo di previsioni (in questo caso velocità del vento) oltre il periodo di osservazione, con un'attendibilità che però va riducendosi all'aumentare del periodo di ritorno (T_r); per l'elaborazione dei dati sono stati utilizzati i software *Matlab*, cui si è già fatto cenno, e *Excel*, programma dedicato alla produzione ed alla gestione dei fogli elettronici.

a rielaborare i dati caricati in Matlab,

purgandoli dalle eventuali lacune presenti, e si è proceduto ad eseguire una media mobile con riferimento a tre termini temporali: 30 minuti, 60 minuti e 90 minuti; per ciascun dato è stata eseguita la media delle registrazioni rilevate nei 15 minuti, 30 minuti e 45 minuti precedenti e successivi al dato stesso. I risultati ottenuti sono stati poi caricati in Excel per essere tabellati.

Le tre tabelle sottostanti riportano i valori massimi delle velocità una volta effettuate le medie mobili (per i rispettivi tre termini temporali) per ogni anno di registrazione.

Velocità media mobile (30 min.)							
Anno	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Velocità [m/s]	7.251613	14.49355	19.490323	13.53871	14.16452	14.03548	13.21935
Gradi [°N]	242.0151	347.8761	319.22426	326.6427	59.85722	314.8021	274.0245
	SW	N	NW	NW	NE	NW	W

Tab. 5.1 - Velocità massime per la media mobile di 30 minuti

Velocità media mobile (60 min.)							
Anno	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Velocità [m/s]	5.684452	13.76335	18.53243	13.21071	13.61516	13.28746	12.69355
Gradi [°N]	260.0345	325.3491	317.2583	326.8861	60.45298	336.0092	286.9846
	SW	NW	NW	NW	NE	NW	W

Tab. 5.2 - Velocità massime per la media mobile di 60 minuti

Velocità media mobile (90 min.)							
Anno	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Velocità [m/s]	6.457641	12.56721	18.21475	13.1098	12.0456	12.2	12.0194
Gradi [°N]	68.1935	314.573	316.652	326.90745	62.1908	13.69225	292.1427
	E	NW	NW	NW	NE	N	W

Tab. 5.3 - Velocità massime per la media mobile di 90 minuti

le velocità massime per ogni anno di registrazione (anch'esse dopo aver effettuato la media mobile), soltanto per le direzioni di massima intensità: N-E, N-W, W.

(30ø)	NE	NW	W
2006	6.9258	6	6.3129
2007	10.1097	14.4645	11.7677
2008	11.3774	19.4903	16.9161
2009	10.9	13.53871	8.0839
2010	14.0645	11.2129	12.6645
2011	12.129	14.03548	13.7032
2012	12.6839	9.7129	13.21935

Tab. 5.4 - Vel. max. [m/s] (30ø)

(60ø)	NE	NW	W
2006	6.3256	5.8055	6.5479
2007	9.9568	13.7633	10.5692
2008	11.0254	18.5324	12.5476
2009	10.7423	13.2107	7.3295
2010	13.6151	11.0032	11.0013
2011	12.0143	13.2874	11.8103
2012	12.4892	9.1844	12.6935

Tab. 5.5 - Vel. max. [m/s] (60ø)

(90ø)	NE	NW	W
2006	5.5275	5.6115	6.6066
2007	9.8459	12.5672	10.1623
2008	10.9016	18.2148	8.5967
2009	10.6475	13.1098	6.6820
2010	12.0456	10.8033	10.5557
2011	11.7623	11.1393	10.3344
2012	12.4426	8.6639	12.0194

Tab. 5.6 - Velocità max. [m/s] (90ø)

Una volta elaborati e ordinati i dati si è passati all'analisi statistica vera e propria applicando il metodo di Gumbel, che consente di calcolare una grandezza statistica X (nel caso specifico l'intensità del vento) in funzione di un determinato tempo di ritorno Tr mediante la seguente relazione:

$$(5.1) \quad X(Tr) = X_{med} - \frac{S_x}{S_N} Y_N + \frac{S_x}{S_N} Y(Tr)$$

- $X_{med} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N X_i$ è la media degli N dati disponibili;
- $S_x = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{med})^2 \right]^{1/2}$ è la loro deviazione standard;
- $Y(Tr)$ la variabile ridotta;
- Y_N la media delle variabili ridotte;
- S_N la loro deviazione standard.

In particolare la variabile ridotta assume la seguente espressione:

$$(5.2) \quad Y(Tr) = -\ln \cdot \left(-\ln \frac{Tr - 1}{Tr} \right)$$

Ordinando la serie degli N eventi disponibili in ordine decrescente, e indicando con i la posizione occupata in tale serie dall' i -esimo evento, il tempo di ritorno che gli corrisponde vale:

$$(5.3) \quad Tr = \frac{N + 1}{i}$$

Introducendo nella (5.2) i valori di Tr dati dalla (5.3) al variare di i , si ottengono N valori della variabile ridotta dipendenti solo da N e da i , dati dalla seguente espressione:

$$(5.4) \quad Y(i) = -\ln \cdot \left(-\ln \frac{N + 1 - i}{N + 1} \right)$$

per cui i sopra definiti parametri Y_N e S_N assumono la forma:

$$(5.5) \quad Y_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y(i)$$

$$(5.6) \quad S_N = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Y(i) - Y_N)^2 \right]^{1/2}$$

Introducendo nella (5.1) i dati ricavati con le relazioni sopra indicate è quindi possibile determinare l'intensità dell'evento atteso, caratterizzato da un prefissato tempo di ritorno; nel caso specifico, tralasciando i dati relativi alla direzione NE, per i motivi descritti in precedenza, si è trovato:

direzione	30 min.		60 min.		90 min.	
	NW	W	NW	W	NW	W
X_{med} [m/s]	13.7425	12.7258	13.1636	10.9919	12.4164	9.7251
S_X [m/s]	3.35626	2.871462	3.152858	1.978755	3.2384972	1.84661

Tab. 5.7 - Calcolo media e deviazione standard

Di seguito si riportano le tabelle che riassumono i calcoli eseguiti. Si precisa che, pur essendo 7 gli anni di campionamento a disposizione, si è ritenuto opportuno considerarne solo 6, in quanto le registrazioni dell'anno 2006 partono solamente dal mese di novembre (mese in cui è stata messa in esercizio la stazione meteo) e non forniscono informazioni sufficienti per effettuare una corretta analisi statistica.

I	Tr	Y(i)	Y(i)^2	i*Y(i)
1	7	1.869825	3.496244	1.869825
2	3.5	1.08924	1.186443	2.178479
3	2.333333	0.580505	0.336986	1.741514
4	1.75	0.165703	0.027457	0.662812
5	1.4	-0.22535	0.050783	-1.12676
6	1.166667	-0.66573	0.443196	-3.99438

Tab. 4.8 - Calcolo variabili ridotte Y(i)

2	0.366513
4	1.245899
5	1.49994
6	1.701983
8	2.013419
10	2.250367

Y_N	0.469032
S_N	1.024269

Tab. 5.9 e 5.10 - Calcolo della variabile $Y(Tr)$, della sua media e dello scarto quadratico medio

Avendo a disposizione tutti gli elementi è stato possibile determinare, per le due direzioni considerate, l'andamento dell'intensità del vento in funzione del Tr . Per i calcoli dell'altezza d'onda si è ritenuto opportuno fare riferimento ad un tempo di ritorno di 5 anni, ovvero prendere in considerazione gli eventi che hanno la probabilità di essere uguali o superati in un periodo di almeno 5 anni (Tab. 4.11 e Tab. 4.12).

DIREZIONE NW			
Tr [anni]	Velocità 30' [m/s]	Velocità 60' [m/s]	Velocità 90' [m/s]
2	13.406537	12.8479976	12.0922
4	16.288056	15.5548854	14.8727
5	17.620481	16.736862	15.1759
6	18.382524	16.9587829	16.3147
8	18.803016	17.9174291	17.2994
10	19.579435	18.6467939	18.0485

Tab. 4.11 - Intensità del vento direzione NW in funzione di Tr

DIREZIONE W			
Tr [anni]	Velocità 30' [m/s]	Velocità 60' [m/s]	Velocità 90' [m/s]
2	12.438387	10.7938467	9.5403
4	14.903683	12.4927081	11.1257
5	15.615867	12.983482	11.5037
6	16.182281	13.3738038	11.9479
8	17.055367	13.9754568	12.5094
10	17.719635	14.4332111	12.9366

Tab. 4.12 . Intensità del vento direzione W in funzione di Tr

TO ONDOSO

Non avendo misure dirette, si è reso necessario ricorrere a un procedimento di ricostruzione di moto ondoso. Il metodo di previsione usato (S.M.B.) è basato sulle caratteristiche del vento e quindi si devono analizzare il fetch, l'intensità e la durata dell'evento.

6.1 - Fetch

Una grandezza fondamentale per la caratterizzazione del moto ondoso è il fetch, ossia la lunghezza di lago, libero da ostacoli, sul quale il vento (al suolo) insiste, cedendogli energia.

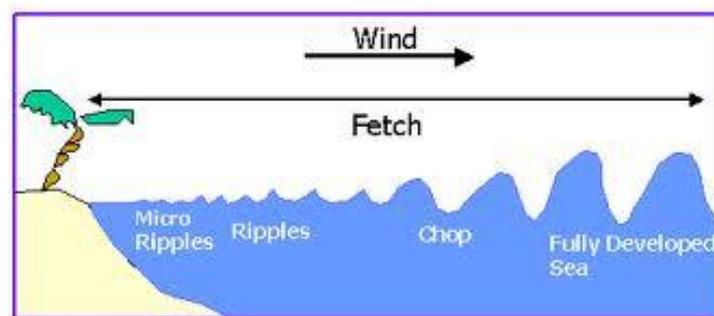


Fig. 6.1 - fetch e generazione d'onda

All'inizio del fetch, nella direzione da cui spira il vento, le onde si mantengono di modeste dimensioni, poi, all'aumentare della distanza, diventano via via più importanti, incrementando in periodo (intervallo temporale tra due creste successive) e in altezza, fino a raggiungere le massime dimensioni compatibili con le caratteristiche del vento che le genera. Inizialmente le onde presentano un'ampia multidirezionalità nella propagazione. Avvicinandosi alla fine dell'area di generazione, la banda di direzione di propagazione tende a restringersi. Le onde da multidirezionali si trasformano in unidirezionali. A questo stadio si dice che il cavallone è

completamente sviluppato. Le onde hanno cioè assorbito tutta l'energia possibile da un vento di quella determinata velocità. Un fetch più lungo o una maggiore durata dell'azione del vento non produrrebbero onde di dimensioni maggiori.

Esistono due tipologie di fetch, quello geografico e quello efficace.

Il **fetch geografico** è dato dalla distanza planimetrica misurata lungo la direzione che unisce il punto dal quale si vuole calcolare il fetch stesso e un punto situato sulla costa opposta (fig. 6.2).

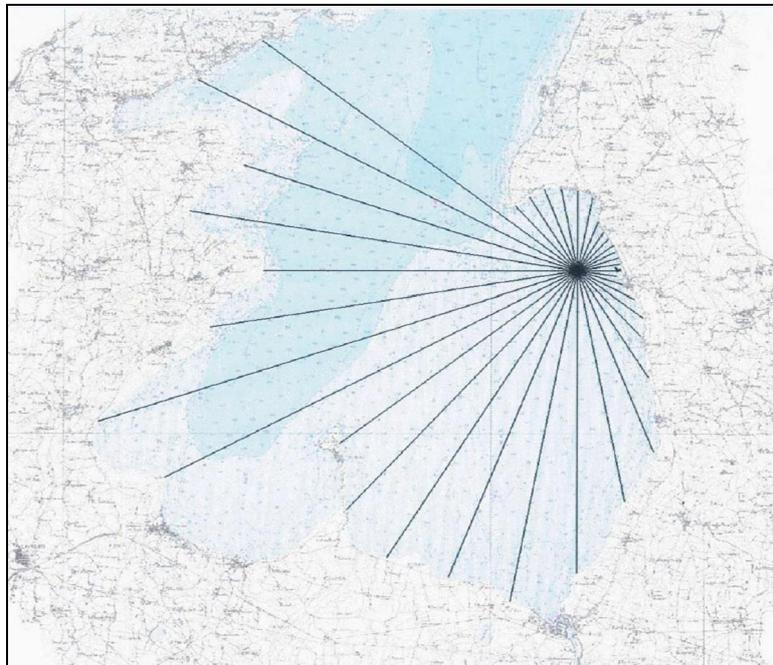


Fig. 6.2 - Fetch geografico al paraggio di Punta Cornicello

Generalmente il vento non è costante, ne' in modulo ne in direzione; esso varia in maniera casuale (raffiche, turbolenza) per cui trasmette energia alla superficie del mare lungo un fascio di direzioni attorno ad una direzione prevalente; le caratteristiche delle onde che si hanno in un determinato punto dipendono perciò dallo stato del vento valutato lungo un fascio di direzioni.

ende la traversia o lunghezza della porzione di lago sulla quale opera effettivamente l'azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso (fig. 6.3). Nei calcoli numerici e nelle trattazioni seguenti si farà sempre riferimento a questa grandezza.

Il valore del fetch efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i fetch efficaci tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso, oltre alla superficie marina individuata nella direzione media w lungo la quale spira il vento, contribuiscono anche le porzioni di mare dalle direzioni comprese in un settore di \pm rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei fetch efficaci risulta essere diversa da quella dei fetch geografici.

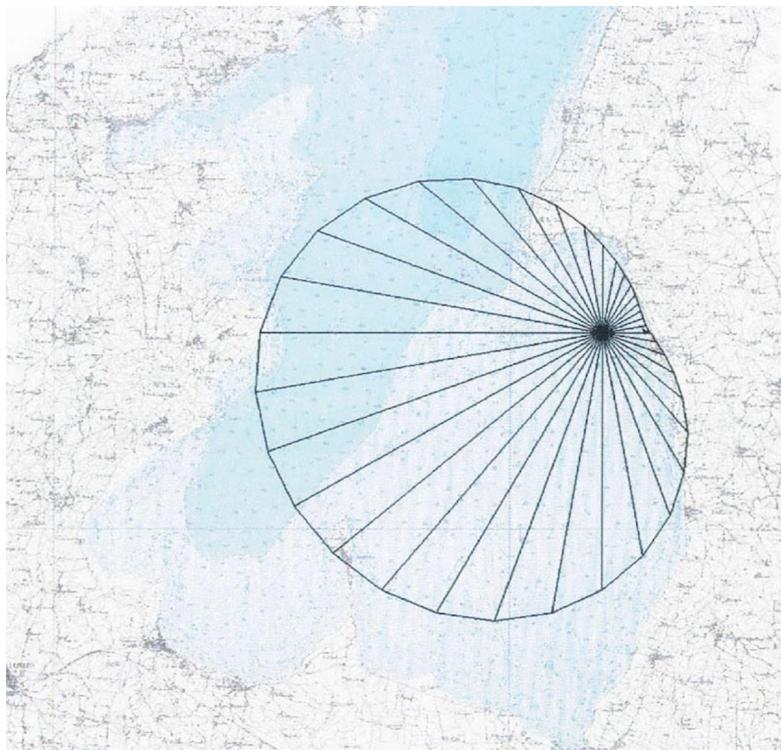


Fig. 6.3 - Fetch efficaci relativi al paraggio di Punta Cornicello.

eguito in base alla seguente relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

dove $F_{e,w}$ e F_i sono rispettivamente le lunghezze del fetch efficace relativo alla direzione media da cui spira il vento (ϕ_w) e del fetch geografico relativo alla direzione i -esima (ϕ_i) calcolato in un settore di ampiezza 2θ (con $\theta = 45^\circ$) nell'intorno di ϕ_w .

Si riportano nella tabella sottostante i valori del fetch geografico (fetch.g) e di quello efficace (fetch.e) relativi al paraggio di Punta Cornicello, nelle varie direzioni significative comprese nel settore di traversia.

Direzione [°N]	fetch.g [km]	fetch.e [km]
190	11.974	8.41
200	11.615	9.06
210	11.823	9.57
220	11.101	9.93
230	9.603	10.15
240	14.730	10.27
250	15.744	10.29
260	11.543	10.19
270	9.729	9.92
280	12.186	9.46
290	10.980	8.79
300	13.597	7.54
310	12.759	6.97

Tab. 6.1 - Fetch geografici ed efficaci

6.2 - Descrizione del metodo utilizzato

Una volta ottenute tutte le informazioni relative a intensità del vento e fetch, è stato possibile, mediante il metodo SMB, fare una valutazione del moto ondoso che si verifica nel paraggio di Punta Cornicello.

Il metodo fu sviluppato inizialmente da Sverdrup e Munk (1947), successivamente ripreso da Bretschneider e poi migliorato da altri autori.

È una combinazione di procedure empiriche ed analitiche per determinare l'altezza significativa (H_s) di una mareggiata, nota che sia la velocità e la durata del vento; si basa su queste ipotesi molto semplificative:

- evento unidirezionale;
- evento che inizia con mare calmo;
- vento che, inizialmente nullo, raggiunge immediatamente un valore costante.

Nel caso in esame si distinguono due particolari condizioni:

- evento stazionario (limitato dal fetch),
- evento non stazionario (limitato dalla durata).

Un evento è **limitato dal fetch** se il vento soffia costante per un tempo abbastanza lungo affinché l'altezza delle onde alla fine del fetch raggiunga l'equilibrio. In questo caso i parametri richiesti per l'applicazione del metodo SMB sono il fetch F e la velocità del vento U_A (velocità del vento corretta a 10 m. dal livello medio mare), supposta costante lungo il fetch.

L'altezza significativa H_s , il periodo di picco dello spettro T_p e la durata t dell'evento necessaria perché si raggiunga l'equilibrio, si ottengono dalle formule che, espresse nella forma classica, sono le seguenti:

$$(6.1) \quad \frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

$$(6.2) \quad \frac{g \cdot T_p}{U_A} = 2.85 \times 10^{-1} \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

$$(6.3) \quad \frac{g \cdot t^*}{U_A} = 6.88 \times 10 \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{2/3}$$

essendo g l'accelerazione gravitazionale.

Conoscendo F , t e U_A si calcolano altezza significativa (H_s) e periodo di picco (T_p) utilizzando la (6.1) e la (6.2); come forma di controllo dalla (6.3) si calcola t^* (tempo necessario a generare un'onda con H_s e T_p) e si confronta con la durata effettiva con cui spira il vento (t).

Se t^* è inferiore a t , lo stato di mare è limitato dal fetch e le formule descritte sono valide; se invece t^* è superiore a t , l'altezza delle onde è **limitata dalla durata** del tempo con cui il vento ha soffiato. È necessario, in questo caso, invertire la (6.3) esplicitando F , inserire t al posto di t^* , per calcolare un fetch ridotto F_r .

$$(6.4) \quad F_r = \sqrt{\frac{t^3 U_A}{(3.215 \times 10)^3}}$$

Con questo nuovo valore è possibile entrare nuovamente nella (6.1) e nella (6.2), avendo cura di sostituire F_r a F per determinare così le caratteristiche dell'onda (H_s e T_p).

valori di velocità da utilizzare

nell'analisi

Come accennato precedentemente per ricavare le caratteristiche delle onde con il metodo SMB si deve ricorrere all'utilizzo di un valore di velocità del vento corretto (U_A). Le correzioni da effettuare devono tenere in considerazione la posizione della stazione di rilevamento e la differenza di temperatura tra aria e acqua.

Con l'ausilio di due coefficienti:

- R_L , fattore che tiene conto dell'ubicazione della stazione di misura e indica quindi che il vento ha subito un'attenuazione dal mare all'entroterra;
- R_T , un moltiplicatore che tiene conto dell'effetto della diversa temperatura tra aria e acqua;

si modifica la velocità del vento ricavata dalle analisi statistiche (u), per trovare un valore di velocità U .

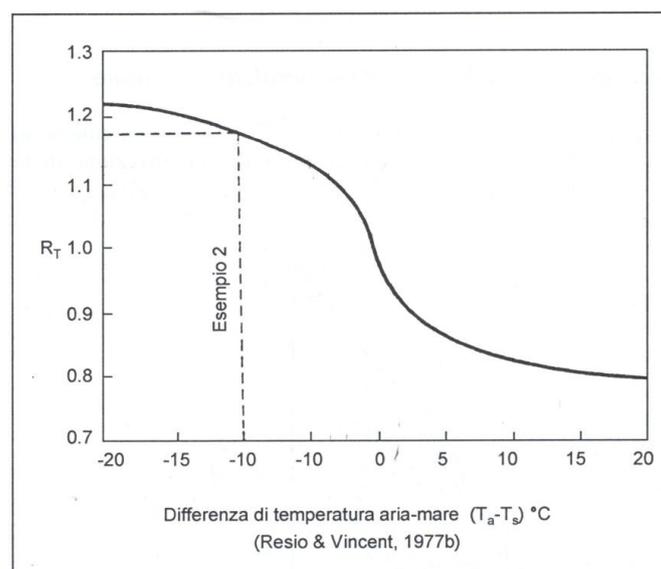


Fig. 6.4 - Grafico per determinare R_T

La dipendenza funzionale di R_T dalla differenza di temperatura è tracciata dal grafico riportato in fig. 6.4.

Per quanto attiene il caso in analisi, sono disponibili sia i valori minimo, massimo e medio delle temperature dell'aria (T_s), riferiti a ciascun mese dell'anno (tab. 6.2), sia i valori delle temperature medie delle acque (T_a), registrate ad intervalli di 10 giorni, già indicati nel capitolo 2 (fig. 2.3).

Temp.	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
Max	0	8	13	17	22	26	29	28	24	18	11	6
Min	-1	0	3	7	11	15	18	17	14	9	3	0
Media	3	5	8	12	18	21	24	24	18	14	7	3

Tab. 6.2 - Andamento mensile delle temperature dell'aria nella zona di Bardolino

Suddividendo i dati a seconda delle stagioni, quindi in classi che presentano un'omogeneità di valori, otteniamo quanto segue:

Periodo	T_a (°C)	T_s (°C)	$\hat{e} T_{as}$ (°C)
Inverno (dal 21/12 al 20/03)	4,75	9,95	-5,2
Primavera (dal 21/03 al 20/06)	14,75	14,81	-0,06
Estate (dal 21/06 al 20/09)	21,75	23,83	-2,08
Autunno (dal 21/09 al 20/12)	10,50	16,36	5,86

Tab. 6.3 - Temperature stagionali dell'acqua (T_a) e dell'aria (T_s) e relativa differenza

Assumendo $T_{as} = -3,30^\circ\text{C}$ (fornito dalla media aritmetica dei quattro valori ottenuti), si ottiene, a mezzo del grafico di Resio e Vincent, un valore di R_T pari a 1,11.

ce, è stato calcolato con la (6.5), tenendo presente che z rappresenta la quota a cui è posta la stazione meteo ($z = 4$ m. s.l.m.m.).

$$(6.5) R_L = \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7}$$

Una volta calcolata U si è passati a calcolare il valore della velocità corretta U_A (velocità di attrito) ricavata dalla (6.6).

$$(6.6) U_A = 0.71 \times U^{1.23}$$

Si riportano di seguito le tabelle che riassumono i calcoli effettuati; come fatto in precedenza si considerano le due direzioni con le intensità di vento maggiori (W e NW) per i vari intervalli su chi è stata eseguita la media mobile dei dati (30ø, 60ø e 90ø).

	direz. W		direz. NW	
	m/s	kN	m/s	kN
u	16	31.1	18	35
U	18.24	35.45	20.52	39.89
U_A	25.25	57.19	29.19	66.11

Tab. 6.3 - Valori di velocità per la media mobile di 30ø

	direz. W		direz. NW	
	m/s	kN	m/s	kN
u	13	25.27	17	33
U	14.82	28.81	19.38	37.7
U_A	19.56	44.3	27.2	61.6

Tab. 6.4 - Valori di velocità per la media mobile di 60ø

	rez. W		direz. NW	
	m/s	kN	m/s	kN
u	11.5	22.35	15	29.16
U	13.11	25.48	17.1	33.24
U_A	16.82	28.1	23.32	52.84

Tab.6.5 - Valori di velocità per la media mobile di 90ø

6.4 - Applicazione del metodo SMB e risultati ottenuti

Una volta determinati tutti gli elementi necessari all'applicazione del metodo SMB, è bastato applicare le formule sopra descritte per determinare le caratteristiche delle onde.

Direzione Ovest (W)

I dati di progetto per la direzione Ovest sono:

- Fetch effettivo: 10.29 Km;
- Velocità di attrito U_A : valori elencati nelle tab. 6.2 - 6.3 - 6.4 calcolati sulle tre medie mobili (30ø, 60ø, 90ø);
- Durata (t) dell'evento atmosferico da confrontare con il valore t^* calcolato con la (6.3). Al valore di velocità calcolato con la media mobile di un determinato intervallo, viene associato un tempo (t) corrispondente all'intervallo scelto per quella media.

Analizzando la tab. 6.6 si può facilmente notare come il tempo necessario per un completo sviluppo delle onde (t^*), calcolato con la (6.3), sia sempre superiore alla durata (t) dell'evento; ciò significa che, in 30, 60 o 90 minuti, lo stato di sviluppo del lago è sempre limitato dal tempo e mai dal fetch.

	0.5	1	1.5
t* (h)	1.44	1.57	1.65

Tab. 6.6 ó Durata (t) e tempo di sviluppo delle onde (t*)

Constatato ciò, è stato necessario calcolare F_r utilizzando la (6.4) per poter determinare correttamente l'altezza significativa (H_s) e il periodo di picco (T_p) delle onde provenienti dalla direzione Ovest (tab. 6.7).

	Durata 30'	Durata 60'	Durata 90'
F_r [m]	2088	5197	8854
T_p [s]	2.34	2.91	3.31
H_s [m]	0.59	0.72	0.81

Tab. 6.7 - caratteristiche delle onde provenienti da Ovest

Dalla tabella si evince che la situazione più critica per onde provenienti da Ovest si manifesta quando il vento soffia con una velocità U_A pari a 16.82 m/s per una durata di 90 minuti, generando così un'onda significativa (H_s) pari a 0.81 metri.

Direzione Nord-Ovest (N-W)

I dati di progetto per la direzione Nord-Ovest sono:

- Fetch effettivo: 7.54 Km;
- Velocità di attrito U_A : valori elencati nelle tab. 6.3 - 6.3 - 6.4 calcolati sulle tre medie mobili (30', 60', 90');
- Durata (t) dell'evento atmosferico da confrontare con il valore t^* calcolato con la (6.3). Al valore di velocità calcolato con la media mobile di un determinato intervallo, viene associato un tempo (t) corrispondente all'intervallo scelto per quella media.

in nella tab. 6.8 sono riportati il tempo necessario per un completo sviluppo delle onde (t^*), calcolato con la (6.3) e la durata (t) dell'evento.

t (h)	0.5	1	1.5
t* (h)	1.12	1.14	1.20

Tab. 5.8 ó Durata (t) e tempo di sviluppo delle onde (t^*)

Diversamente da prima si può notare che per durate di 30 minuti e di 60 minuti lo stato di sviluppo del lago è limitato dal tempo, mentre, per la durata di 90 minuti lo stato di sviluppo del lago è limitato dal fetch.

Nel caso di durate di 30 e 60 minuti è stato quindi necessario calcolare il fetch ridotto per poter applicare correttamente il metodo SMB, mentre per durate di 90 minuti è bastato applicare le formule (6.1) e (6.2) con il valore di fetch effettivo calcolato in precedenza.

	Durata 30'	Durata 60'	Durata 90'
F_r [m]	2245	6129	\hat{O}
T_p [s]	2.51	3.43	3.49
H_s [m]	0.71	1.09	1.03

Tab. 6.9 - caratteristiche delle onde provenienti da Nord-Ovest

Si può notare come la situazione più critica per onde provenienti da Nord-Ovest si presenti quando il vento soffia con una velocità U_A pari a 27.2 m/s per una durata di 60 minuti, generando così un'onda significativa (H_s) pari a 1.09 metri, superiore a qualsiasi altra onda calcolata nelle altre configurazioni. Considerando che tutte le altezze d'onda calcolate per la direzione N-W sono superiori a quelle calcolate per la direzione W, è stato

ia da considerarsi come traversia principale (t.p.) e la seconda come traversia secondaria (t.s.).

Determinata l'altezza d'onda nella situazione più gravosa (vento proveniente da N-W con durata di 60 minuti) sono stati calcolati gli altri parametri che definiscono le caratteristiche dell'onda al largo:

- $H_m = 0,63 \cdot H_s$ è l'altezza d'onda media del gruppo;
- $H_{1/10} = 1,27 \cdot H_s$ è l'altezza d'onda media corrispondente al 10% delle onde più alte;
- T_0 è il periodo del 33% delle onde più alte che si considera costante per tutta la vita dell'onda;
- $L_0 = 1,56 \cdot T_0^2$ è la lunghezza d'onda significativa;
- H_0/L_0 rappresenta la ripidità dell'onda che nel caso in esame risulta inferiore alla ripidità limite ($1/7 = 0,142$); pertanto nella zona di generazione non si verifica il fenomeno delle creste bianche.

H_s [m]	1.09
H media [m]	0.68
$H_{1/10}$ [m]	1.38
T_0 (T_s) [s]	3.3
L_0 [m]	16.68
H_s/L_0	0.07

Tab. 6.10 - Caratteristiche onda al largo

6.5 - Calcolo dei parametri dell'onda per un fondale di 4 metri

Si fa presente che le caratteristiche del moto ondoso che si avvicina alla costa, dove le profondità sono via via decrescenti, risultano modificate rispetto a quelle possedute allargo.

altezza del molo del marina di Bardolino è previsto un fondale di 4 metri rispetto al livello medio del Garda (65 m.s.l.m.m.), quindi l'onda subisce una serie di trasformazioni geometriche ed energetiche che vengono di seguito descritte:

- **Variazione dell'altezza d'onda** (calcolo del coefficiente di acclività): la variazione dell'altezza d'onda è calcolata considerando che la potenza rimanga costante durante la progressione dell'onda verso costa; conoscendo le caratteristiche dell'onda è possibile ricavare il coefficiente di acclività K_S (o shoaling) dalle tabelle di acclività. Nel caso in esame $K_S=0.922$, è quindi possibile calcolare l'altezza d'onda corrispondente ad una profondità di 4 metri tramite la seguente formula:

$$(6.7) \quad H_4 = K_S \cdot H_S$$

Una volta determinato l'altezza d'onda che si genera con fondali di 4 metri è possibile ricavare l'altezza d'onda di progetto $H_{1/10}$ utilizzando le formule descritte nel paragrafo precedente.

- **Variazione della lunghezza d'onda:** anche in questo caso è possibile calcolare tale grandezza tramite l'impiego delle tabelle di acclività. Più si abbassano i fondali, più diminuisce la lunghezza d'onda, pertanto si avrà un aumento della ripidità che, se supera il valore limite di 0.142, sarà indice del frangimento dell'onda. Nel caso in esame, in un fondale di 4 metri la riduzione di lunghezza d'onda non è sufficiente a generare frangimento.
- **Rifrazione:** fenomeno di rotazione dell'onda per il quale man mano che si procede verso riva le creste ruotano riducendo la loro angolazione e tendendo al parallelismo con la linea di riva: ciò accade perché la celerità decresce con la riduzione di profondità e quindi la parte di cresta che si trova su maggiori fondali viaggia più veloce di quella su più bassi fondali.

ntaggio di sicurezza considerando nullo il

fenomeno di rifrazione ($K_R = 1$).

- **Riflessione:** fenomeno che si verifica quando l'onda viaggia lungo un fondo del mare con pendenza superiore a 1:20 o quando incontra una diga foranea o una difesa di spiaggia. In queste particolari condizioni l'onda in parte frange e in parte viene riflessa.
- **Diffrazione:** fenomeno associato alla deviazione della traiettoria di propagazione delle onde (come anche la riflessione, la rifrazione,) quando queste incontrano un ostacolo sul loro cammino. Questo aspetto sarà approfondito più avanti quando si tratterà la agitazione interna al marina.

Nella tabella che segue (tab. 6.11) si riportano i valori delle caratteristiche dell'onda ricalcolati per un fondale di 4 metri.

H_{4m} [m]	1.00
L_{4m} [m]	15.28
H_{1/10} [m]	1.28
T [s]	4.86

Tab. 6.11 - Caratteristiche onda in fondale da 4 m

È opportuno sottolineare che l'altezza d'onda utilizzata per il dimensionamento delle opere che compongono il marina di Bardolino è $H_{1/10} = 1.28$ m.

TO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

7.1 ó Le origini del lago di Garda

Le origini del lago di Garda sono da sempre oggetto di ipotesi controverse, è comunque ragionevole ipotizzare che il Benaco sia il frutto di una serie di eventi concatenati gli uni agli altri.

La fossa tettonica che contiene il bacino del lago e le montagne che lo circondano, sono databili al periodo dell'Eocene, circa 35 milioni di anni fa; in quell'era di modellamento della crosta terrestre, il ripiegamento delle rocce fluide, oltre a generare il profondo letto del lago, ha, nello stesso tempo, determinato l'innalzamento della sua cornice montagnosa.

Da questo movimento terrestre è possibile supporre la nascita ad est del Monte Baldo, ad ovest del Monte Manerba e del Monte Pizzocolo mentre a nord, sovrastante il paese di Riva del Garda, del Monte Brione.

Nelle valli, formate dagli sconvolgimenti tettonici, scorrevano insieme, le acque del Sarca, e dell'Adige, fiumi che iniziavano la loro caratteristica opera di erosione e modellamento delle rocce.

Nel Pliocene, l'area del Garda, come la pianura Padana, furono coperte dal mare, che a causa del riformarsi del collegamento tra Oceano Atlantico e Mediterraneo, invase queste profonde valli depositandovi i sedimenti argillosi, da cui il massiccio ritrovamento di numerosi esemplari di fauna fossile marina.

In seguito un nuovo fenomeno interessò la zona a sud dell'arco alpino, il ghiaccio occupò tutte le valli dove, ancora oggi, si trovano i laghi prealpini

o, a causa delle bassissime temperature, le acque marine si ritirarono, venendo assorbite sotto forma di ghiaccio e di precipitazioni atmosferiche, lasciando miniere di salgemma.

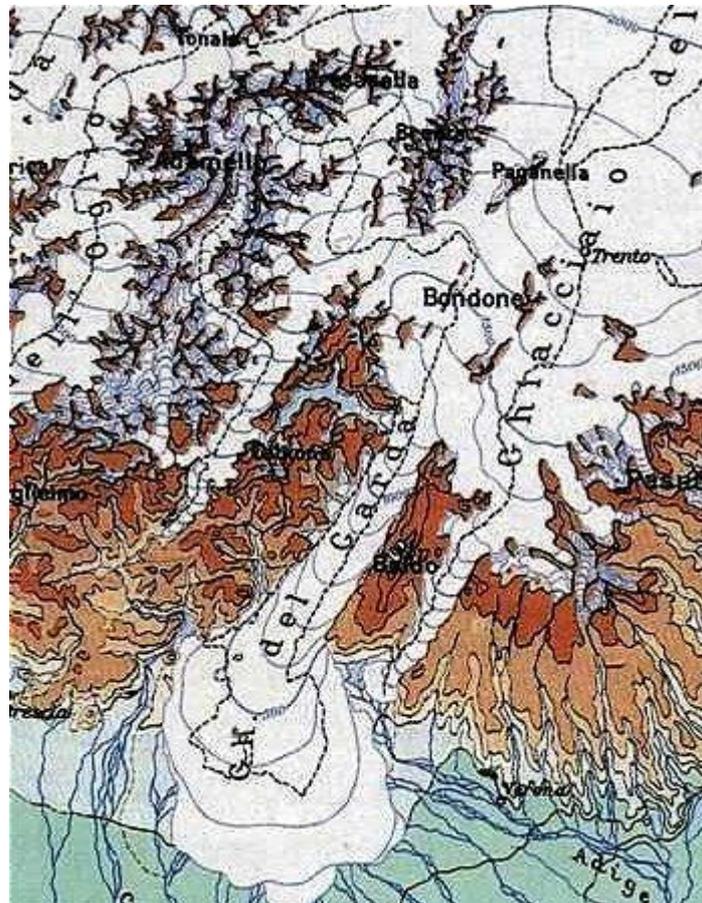


Fig. 7.1 - Ghiacciaio del Garda

Si susseguirono ben quattro glaciazioni che modellarono l'attuale bacino benacense (fig.7.1), prima trattenendo e poi rilasciando un gran quantitativo di detriti che andarono accumularsi formando quello che oggi è l'anfiteatro morenico che nasce appunto ai piedi del Garda.

L'azione erosiva e di escavazione dei ghiacciai è stata quindi una tappa fondamentale per la formazione e la nascita del lago; è infatti probabile che il letto del fiume Mincio, emissario del Lago di Garda, si sia formato per raccogliere le acque che il ghiacciaio rilasciò al suo scioglimento.

oggi il Garda non ha più subito significativi cambiamenti restando quello che oggi vediamo, senza mai essersi prosciugato.

7.2 - Caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area in esame

L'area in esame è situata sulla riva orientale del lago di Garda, in corrispondenza delle prime colline moreniche che delimitano il lago stesso e più precisamente in corrispondenza della costa lacustre subito a nord dell'abitato di Bardolino.

Dal punto di vista geomorfologico l'area è delimitata ad Ovest dal lago stesso ed è inserita nell'anfiteatro morenico del Garda, costituito in questa porzione perimetrale al lago dalla cerchia morenica wurmiana.

L'area in oggetto è sub-pianeggiante con una leggera pendenza verso il lago; a monte la pendenza sale fino a raccordarsi con il cordone morenico wurmiano.

I depositi che caratterizzano il tratto di sponda in esame sono costituiti dalle alluvioni fluvio-glaciali e pluvio-fluviali, di natura prevalentemente sabbiosa, con strato di alterazione brunastro, di spessore limitato (fig. 7.2).

Al di sotto delle coperture alluvionali affiorano le formazioni rocciose eoceniche; si tratta in particolare delle calcareniti giallastre eoceniche costituite da calcari terrigeni fossiliferi e biosostenuti, particolarmente ricchi di mummuliti, alveoline, ecc., direttamente correlate con i calcari marnosi oligocenici e miocenici del vicino promontorio della Rocca di Garda.

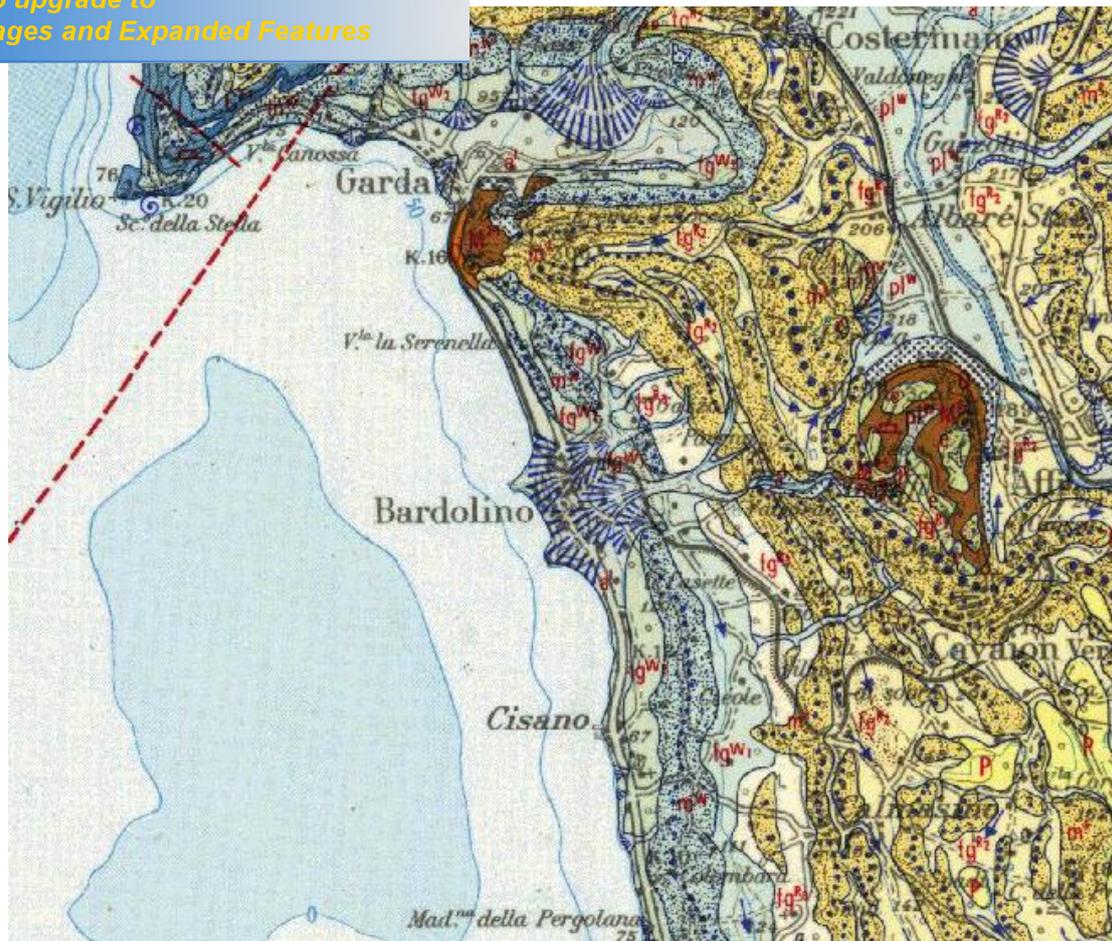


Fig. 7.2 ó Estratto della Carta Geologica d' Italia

Non essendo stato possibile acquisire più precise informazioni, specifiche per la zona in esame, malgrado siano stati interpellati alcuni Enti (Comune, Genio Civile, ed altri) e professionisti del luogo, al fine di meglio definire le caratteristiche del sottosuolo dell'area stessa si è ritenuto opportuno fare riferimento alla relazione geologica e geotecnica allegata al progetto per l'adeguamento delle strutture a servizio della base nautica Roccavela in Comune di Bardolino (VR), gentilmente fornita dallo Studio Tecnico che ha curato la progettazione di tale intervento, e che ha riguardato un'area situata anch'essa sulla costa lacustre a Nord di Bardolino, a circa un chilometro di distanza dal sito prescelto per la realizzazione del marina in oggetto; essendo i fondali della costa sud-orientale del lago abbastanza

are che quanto riportato nella succitata relazione geologica e geotecnica sia valido anche per l'area in esame.

In particolare tale relazione riporta gli esiti di una campagna di indagini geognostiche costituita dall'esecuzione di tre sondaggi a carotaggio continuo, prove SPT in foro, prove in sito o di campagna mediante il Pocket Penetrometer e il Vane Test e prove di laboratorio su campioni sia indisturbati sia disturbati.

La stratigrafia del sottosuolo e la natura dei materiali riscontrati sono definite dai dati indicati nella seguente tabella (tab. 7.1), ricavata mediando i valori ottenuti durante l'esecuzione dei tre suindicati sondaggi geognostici e dalle analisi in laboratorio dei campioni prelevati.

Litologie intersecate	stratigrafia	Caratteristiche dei terreni
Riporto	da 0,00 a 2,25 m	= 17,0 kN/mc $\phi = 30^\circ$ C = 0 kPa
Sabbia melmosa satura	da 2,25 a 3,50 m	= 15,0 kN/mc $\phi = 0^\circ$ $C_U = 0$ kPa
Argille limose	da 3,50 a 5,85 m	= 21.0-22,0 kN/mc $\phi = 27^\circ$ $C_U = 15$ kPa
Limi sabbiosi con ciottoli	da 5,85 a 8,25 m	= 20.0 kN/mc $\phi = 35^\circ$ C = 0 kPa
Sabbie e ghiaie fini con frammenti litoidi in matrice limosa	da 8,25 a 10,00 m	= 19.0 kN/mc $\phi = 35^\circ$ C = 0 kPa
Calcareniti eoceniche	da 10,00 a 13,00 m (solo nel sondaggio S1)	= 24.0 kN/mc $\phi = 25^\circ-30^\circ$ C = 200-250 kPa

Tab. 7.1 - unità stratigrafiche rilevate nell'area oggetto di indagine

simboli:

- γ peso di volume naturale;
- ϕ angolo d'attrito;
- C coesione reale;
- C_u coesione non drenata.

Come si vedrà in seguito per la realizzazione dei moli e delle banchine a servizio del marina di Bardolino, si è scelto di utilizzare palancole prefabbricate in c.a.c. (cemento armato centrifugato), che, a scavo avvenuto all'interno del porto fino alla profondità richiesta, risulteranno infisse nel terreno a partire da una quota minima di -3,70 m rispetto al piano campagna.

Pertanto, tenendo conto dei dati suindicati, il dimensionamento di massima di tali manufatti sarà effettuato considerando, per semplicità, il terreno omogeneo su tutto lo spessore attraversato e avente le seguenti caratteristiche:

- $\gamma = 20.0 \text{ kN/mc}$
- $\phi = 30^\circ$
- $C = 0 \text{ kPa}$

Il valore del peso specifico del terreno immerso viene assunto pari a $\gamma = 11.0 \text{ kN/mc}$.

8.1 - Premessa

Tenendo conto dei risultati delle analisi sviluppate nei precedenti capitoli, si è provveduto a definire, in via del tutto preliminare, quelle che potrebbero essere le caratteristiche geometriche, i parametri funzionali e la tipologia da adottare per la realizzazione del marina in oggetto.

In particolare, per quanto riguarda le caratteristiche geometriche e i parametri funzionali, si è fatto riferimento alle δ raccomandazioni tecniche per la progettazione di porti turistici δ emanate nel febbraio 2002 dalla Sezione Italiana dell'AIPN - Associazione Internazionale Permanente dei Congressi di Navigazione, ora AIN - Associazione Internazionale di Navigazione, elaborate sulla base di quanto disposto dal DPR 02.12.1997 n. 509 - Regolamento recante la disciplina del procedimento di concessione dei beni del demanio marittimo per la realizzazione di strutture dedicate alla nautica da diporto, e dal Decreto Interministeriale 14.04.1998 - Approvazione dei requisiti per la redazione dei progetti da allegare alle istanze di concessione demaniale marittima per la realizzazione di strutture dedicate alla nautica da diporto.

Va comunque sottolineato che un eventuale progetto definitivo dovrà essere oggetto di una puntuale ottimizzazione delle tipologie prescelte, al fine di garantire un adeguato punto di equilibrio tra esigenze tecniche, economiche e di tutela paesaggistica ed ambientale, e richiederà lo sviluppo di studi di dettaglio (incluso il SIA).

Va infine sottolineato che nel seguito saranno trattate i soli aspetti riguardanti specificatamente il porto, senza entrare nel merito del tema

istici, architettonici ed edilizi degli edifici destinati a svolgere una funzione di servizio per le attività portuali (direzione, negozi, yacht club, servizi vari).

8.2 - Configurazione dell'area portuale

Saranno ora esposte alcune considerazioni in base alle quali si è provveduto a definire il posizionamento del marina rispetto all'attuale linea di riva e del canale di accesso, del numero e della tipologia dei natanti, dei sistemi di ormeggio e della profondità del fondale.

8.2.1 - Posizionamento del marina rispetto all'attuale linea di riva

Come già sottolineato nel capitolo 3.2, il sito in oggetto rientra in una vasta area di proprietà comunale, attualmente adibita a campeggio; tale circostanza rende possibile realizzare il marina in posizione più arretrata rispetto all'attuale linea di riva, occupando, mediante escavazione, parte dell'area sopra citata; in tal modo potrà essere limitata l'espansione a lago del porto e consentire quindi una maggiore armonizzazione con il naturale sviluppo della costa lacuale e garantire un minor impatto paesaggistico.

Pare opportuno sottolineare che questa soluzione ricalca, se pur in parte, le modalità costruttive storicamente adottate nella realizzazione dei porti sul lago di Garda, che generalmente risultano incassati nella terraferma.

Tale soluzione rende opportuna una suddivisione dell'intera area portuale in due distinti bacini (tav. 3): il primo, interno, realizzato mediante escavazione nella parte ricadente in terraferma, destinato ad ospitare i natanti privi di deriva che richiedono un più limitato tirante idrico e quindi una minor profondità di scavo, il secondo, esterno, ricadente in area a lago,

temente imbarcazioni a vela provviste di deriva, che richiedono tiranti idrici maggiori.

I due bacini saranno separati da un molo fisso e saranno resi comunicanti da una apertura di ampiezza adeguata, tale da rendere agevole il transito dei natanti in entrambi i sensi di navigazione.

8.2.2 - Posizionamento del canale di accesso

Come indicato nella succitata tavola 3, si è ritenuto opportuno posizionare il canale di accesso sul lato Sud del marina, in quanto risulta essere la zona più protetta rispetto alla provenienza delle onde dalle traversie principale (direzione Nord-Ovest) e secondaria (direzione ovest).

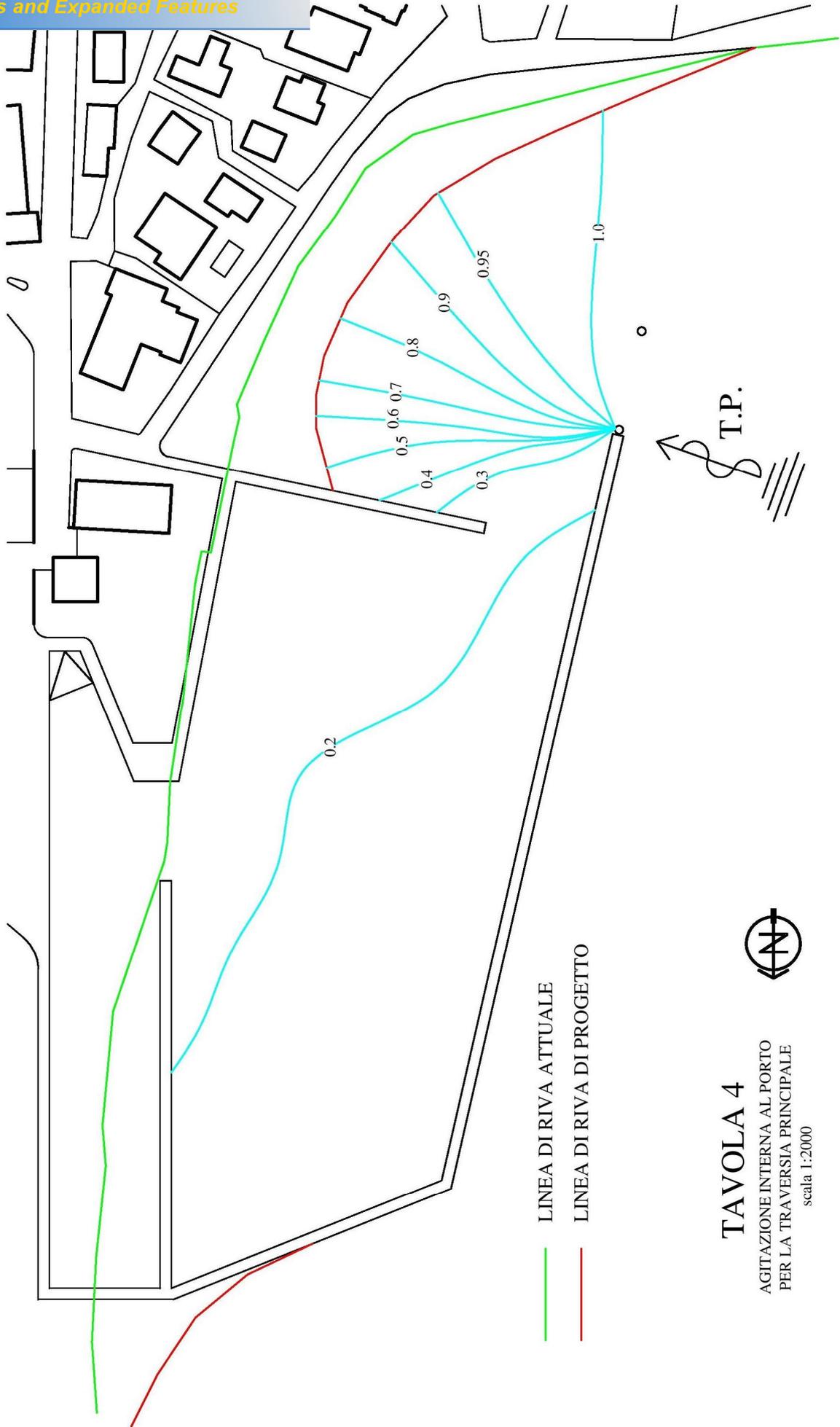
Nelle tavole 4 e 5 è riportata l'agitazione interna al porto generata da onde provenienti rispettivamente da tali traversie e diffratte dalla testata del molo in corrispondenza dell'imboccatura del porto .

Per diffrazione si intende quel fenomeno per cui le linee di cresta d'onda si propagano secondo linee curve a ridosso del molo e all'interno del bacino portuale. Lungo queste linee si riscontra una variazione di altezza d'onda causata da un trasferimento di energia che non si propaga più in direzione perpendicolare alle creste, bensì lungo di esse.

Le linee azzurre indicate nelle due tavole sopra citate, tracciate utilizzando gli abachi proposti da Weigel, riportano i coefficienti di diffrazione (K_d) che, moltiplicati per l'altezza significativa dell'onda (H_S), permettono di calcolare l'altezza (H) dell'onda diffratta.

Nel caso specifico le altezze d'onda massime che vengono generate all'interno del porto risultano essere pari a:

- per la traversia principale $H_S K_d = 1.09 \cdot 0.2 = 0.218$ m.
- per la traversia secondaria $H_S K_d = 0.81 \cdot 0.15 = 0.121$ m.



— LINEA DI RIVA ATTUALE

— LINEA DI RIVA DI PROGETTO

TAVOLA 4

AGITAZIONE INTERNA AL PORTO
PER LA TRAVERSA PRINCIPALE
scala 1:2000



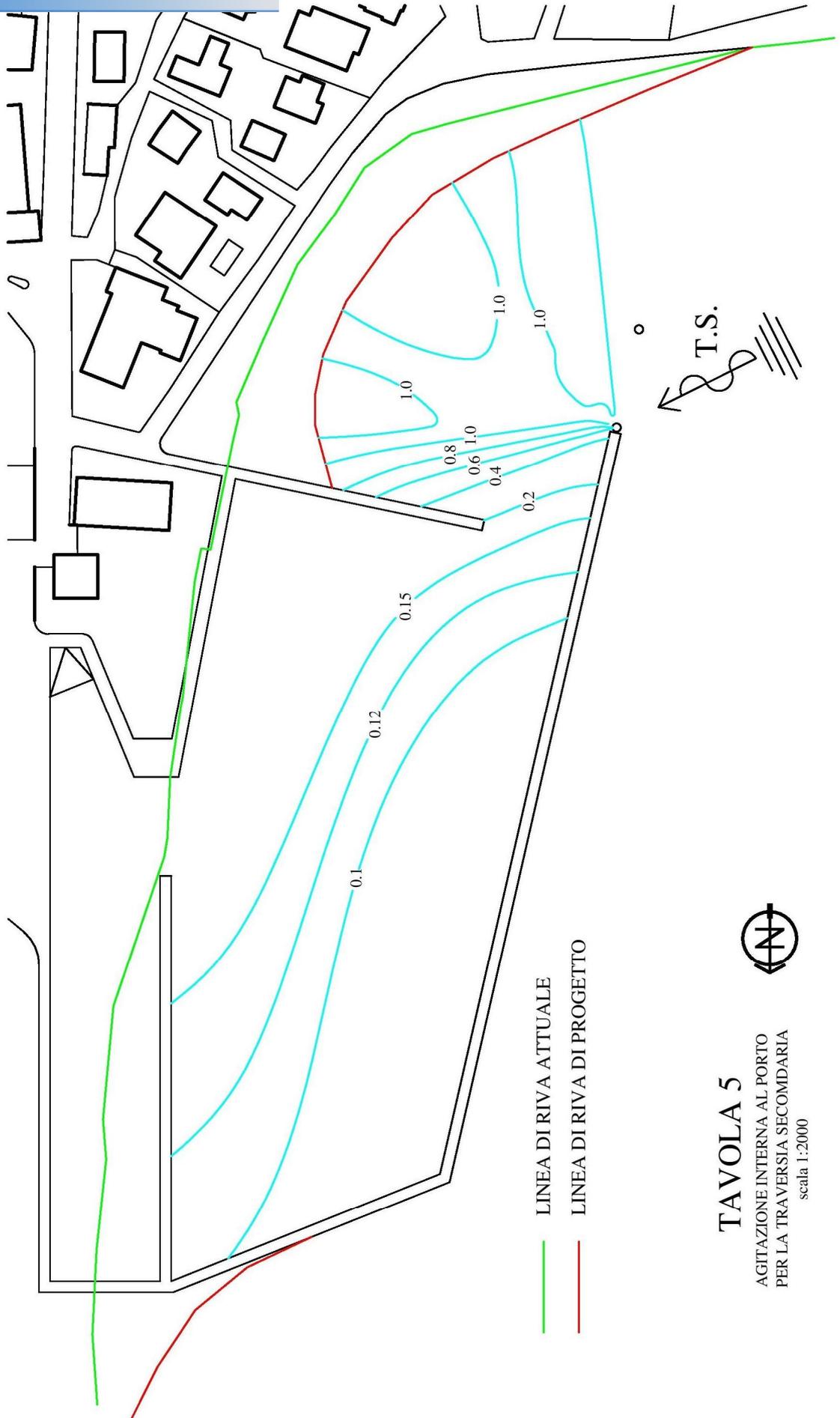


TAVOLA 5
AGITAZIONE INTERNA AL PORTO
PER LA TRAVERSA SECONDARIA
scala 1:2000



I valori trovati, che fissano rispettivamente in 0,218 m e 0,121 m l'altezza massima d'onda all'interno del porto per la traversia principale e per quella secondaria, risultano inferiori al valore della altezza d'onda significativa ammissibile raccomandato dall'Associazione Internazionale per la Navigazione, che, per eventi con periodo di ritorno corrispondente a quello considerato nelle analisi descritte nei capitoli precedenti (5 anni), prevede come condizione di sicurezza un limite pari a 0,35 m.

Inoltre, tenuto conto che i valori trovati risultano relativamente bassi, è ragionevole ritenere che anche con tempi di ritorno diversi siano rispettati anche gli altri due limiti raccomandati dalla suddetta Associazione, ovvero $H = 0,15$ m come limite di comfort per eventi con frequenza indicativamente non superiore ai 5 gg./anno e $H = 0.50$ m. come condizione di limite per eventi con Tr non inferiore a 50 anni.

8.2.3 - Numero, tipologia e sistema di ormeggio delle imbarcazioni

Il dimensionamento del marina è stato effettuato tenendo conto di un numero di posti barca pari a 300-350; si ritiene infatti che tale numero renda economicamente sostenibile un intervento di questo tipo.

È stata fatta inoltre un'analisi di quelle che potrebbero essere le tipologie di imbarcazioni destinate al marina in oggetto, al fine di definire l'ampiezza dei relativi spazi di manovra e di ormeggio.

In particolare è stata valutata la situazione attuale nei due porti e nei campi boa esistenti in Comune di Bardolino e negli altri Comuni del medio- basso lago, riscontrando che la maggior parte dei natanti hanno lunghezze comprese tra i 6 e i 8 metri; le barche di dimensioni maggiori sono in numero molto limitato e non superano mai i 12 metri.

ora indicate, le ampiezze dei relativi posti barca, come previsto dalle sopracitate raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici emanate dalla Associazione Internazionale per la Navigazione, risultano le seguenti (tab. 8.1):

dimensioni dell'imbarcazione	dimensioni del posto barca
2,30 x 6,50	2,50 x 7,00
2,80 x 8,00	3,00 x 8,50
3,20 x 9,50	3,50 x 10,00
3,70 x 11,00	4,00 x 11,50
4,10 x 12,00	4,50 x 13,00

Tab. 8.1 - dimensioni imbarcazioni e relativi posti barca

Nel caso specifico si è comunque ritenuto opportuno prevedere posti barca di larghezza maggiore (circa un 20% in più della larghezza della relativa imbarcazione) in modo da rendere più agevoli le manovre di ormeggio.

Tenendo conto di quanto sopra esposto, il marina in oggetto è stato dimensionato per un numero complessivo di 325 posti barca, 95 dei quali per imbarcazioni di lunghezza pari a 10-12 metri e i restanti 230 destinati a barche di dimensioni medio-piccole.

Tutti i posti barca sono orientati con la loro classe maggiore parallelo alla direzione del vento dominante (vento da Ovest); ciò è particolarmente importante per le barche a vela in quanto progettate per offrire un'alta resistenza laterale.

Per quanto riguarda i canali di manovra si è ritenuto opportuno prevedere, in ogni settore (Fig. 8.1) una larghezza minima pari a 1,7 volte la lunghezza dell'imbarcazione più grande ormeggiata nel settore stesso.

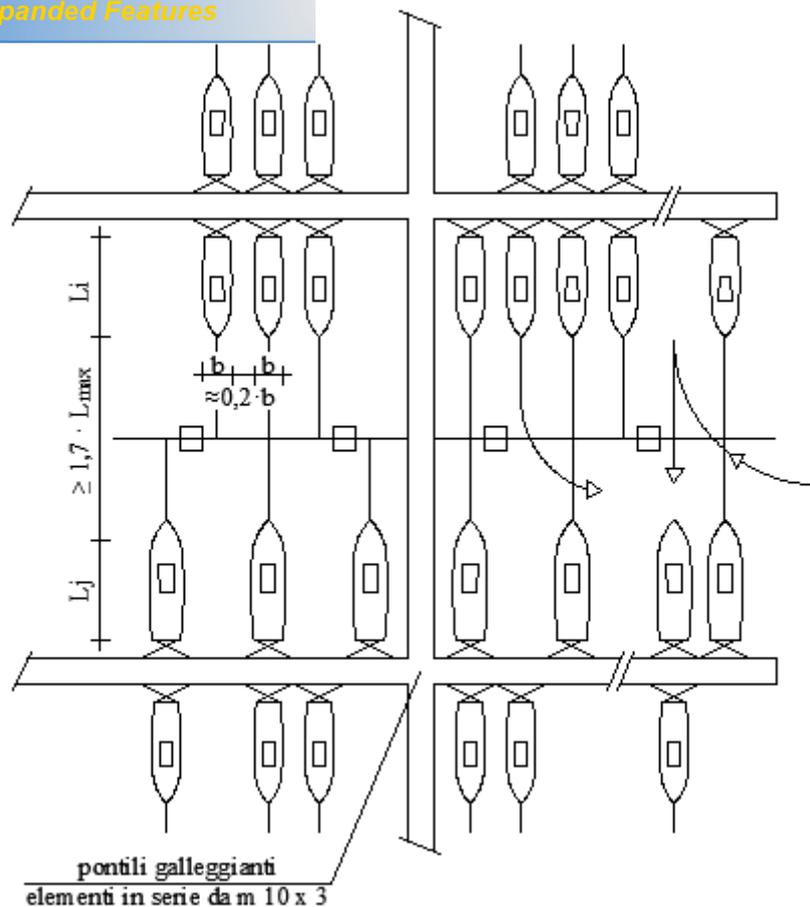


Fig. 8.1 Dimensione posti barca e canali di manovra

Per l'ancoraggio dei natanti si è optato per il cosiddetto sistema di ormeggio di poppa con trappa o pendino; tale sistema prevede una grossa catena disposta sul fondo, ancorata a dei corpi morti in calcestruzzo, parallela alla banchina, dalla quale dipartono altri spezzoni di catena denominati trappe o pendini. Una volta che la barca si accosta di poppa, si fissano da un lato le cime agli anelli di ormeggio posti in banchina (o su pontile galleggiante), mentre dall'altro viene fissata con una cima ad un anello del pendino, messo in tensione in modo che l'imbarcazione resti discosta dalla banchina (fig. 8.2).

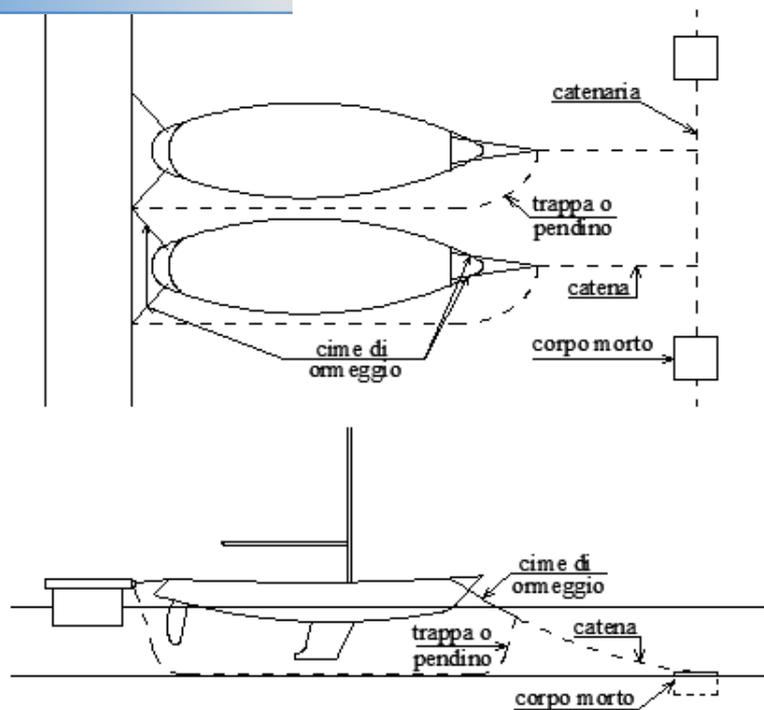


Fig. 8.2 Sistema di ormeggio di poppa con trappa o pendino

8.2.4 Profondità del fondale

Una importante considerazione da fare riguarda la batimetria dell'area interessata dall'opera; i fondali non devono essere troppo elevati, altrimenti risulterebbero eccessivi i costi di scavo e di realizzazione dei moli di difesa. Le profondità di progetto sono state definite tenendo conto di quanto indicato nelle più volte citate raccomandazioni emanate dall'Associazione Internazionale per la Navigazione relativamente ai canali di accesso ai porti, secondo le quali la profondità del fondale rispetto al l.m.m. dovrebbe essere pari o \geq all'immersione dell'imbarcazione più grande, aumentata della somma di metà dell'altezza dell'onda massima che si può presentare in corrispondenza dell'imboccatura, del valore medio delle basse maree sizigiali, degli effetti barici, di un franco sotto-chiglia pari al 15% della immersione della imbarcazione più grande, e comunque non meno di 0,3 m

e non meno di 0,6 m per fondali rocciosi;

indicativamente, la profondità del canale d'accesso non può essere inferiore a -3,0 m dal l.m.m.ö

In base a tale indicazione e tenuto conto di quanto già evidenziato al punto 8.2.1, si è ritenuto opportuno fissare il fondo del bacino interno, destinato alle imbarcazioni prive di deriva, alla profondità di -2,50 m rispetto alla quota media del lago (65,00 dal l.m.m.) e quello del bacino esterno, destinato alle imbarcazioni con deriva, a ó 4,00 m.

Il fondo in corrispondenza dell'apertura che mette in comunicazione i due bacini sarà sagomato secondo una scarpata la cui pendenza, da definire con precisione in fase di progetto definitivo, dovrà essere tale da garantire condizioni di stabilità globale con un coefficiente di sicurezza non inferiore ad 1,5.

8.3 - Tipologia strutturale di banchine e moli fissi

Per la realizzazione di banchine e moli fissi si è scelto di utilizzare palancole prefabbricate in calcestruzzo armato centrifugato, il cui profilo è studiato per offrire resistenza strutturale, ma anche per garantire continuità al diaframma; le palancole infatti sono appositamente sagomate in modo da consentire la loro òingranaturaö mediante un giunto maschio-femmina di lunghezza pari a 3 - 4 m, tale da garantire il loro allineamento, e che, per il tratto rimanente, si trasforma in un giunto a doppia concavità per essere successivamente sigillato con calcestruzzo con o senza l'utilizzo di una calza in geotessuto, a seconda della presenza o meno di acqua in movimento (fig. 8.3 e tav. 6).

Il sistema della centrifugazione consente di ottenere getti compatti, resistenze caratteristiche molto elevate e superfici esterne lisce e prive di

attaccabili da agenti atmosferici ed acque

aggressive.

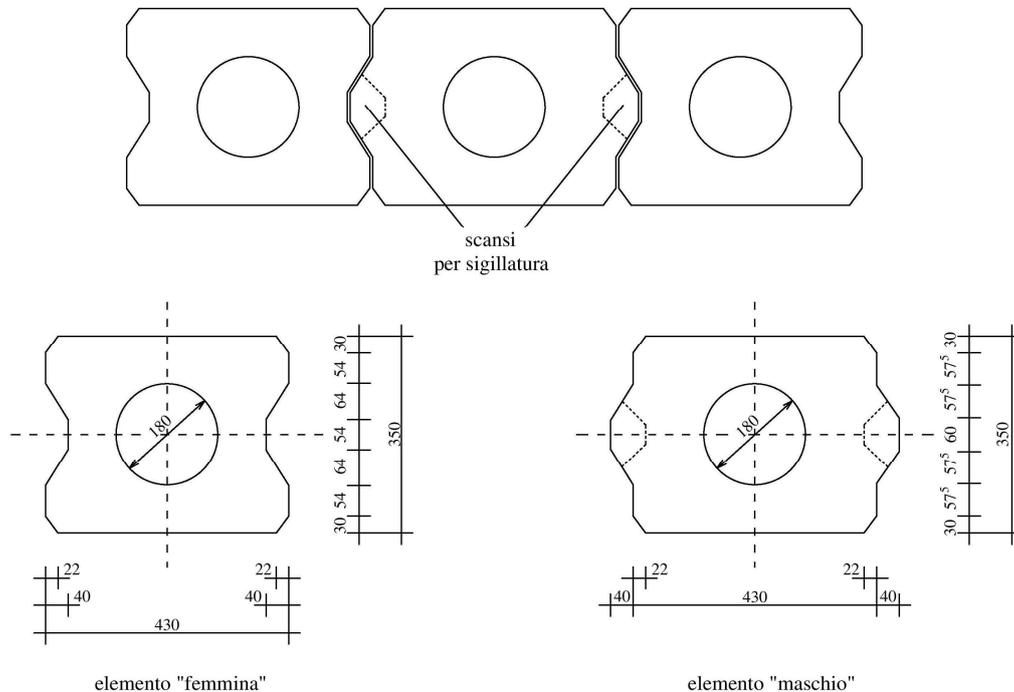


Fig. 8.3 6 sezione delle palancole

L'esecuzione delle palancole avviene predisponendo la cassaforma metallica, pulita e trattata con prodotti antiaderenti, suddivisa in due parti diametralmente simmetriche che, dopo aver deposto in una di esse la gabbia d'armatura e versato il calcestruzzo, vengono sovrapposte l'una all'altra, imbullonate e poste sulla centrifuga.

Non appena l'accelerazione centrifuga supera la gravità (circa 70 giri/minuto) il calcestruzzo si dispone lungo le pareti e si forma il foro centrale; la macchina raggiunge rapidamente il numero di giri prestabilito (400÷450 giri/minuto) così il calcestruzzo viene compattato secondo la sezione voluta; i tempi di centrifugazione sono studiati in funzione dello spessore, della velocità e della qualità del cemento.

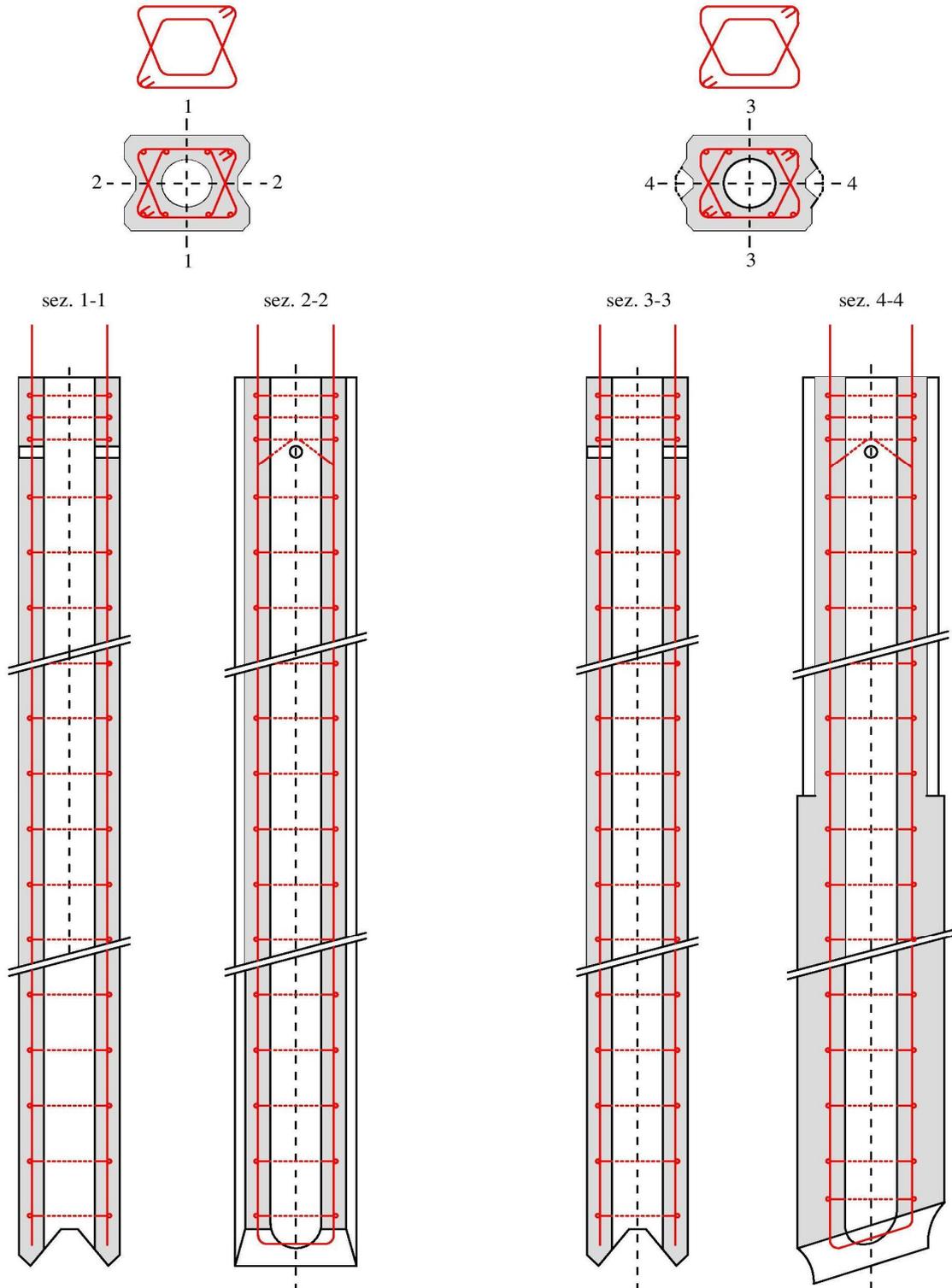


TAVOLA 6

PARTICOLARI PALANCOLE IN C.A.C.
scala 1:20

casceforme e per garantire una più accurata maturazione del getto, viene adottata la stagnatura a vapore; la forma viene posta in cella di vapore o in tunnel a temperatura controllata ($60 \div 65 \text{ }^\circ\text{C}$) e secondo un ciclo predeterminato ($5 \div 6$ ore), sufficiente a garantire che, all'atto della sformatura, il calcestruzzo raggiunga una resistenza di almeno 20 N/mm^2 per permettere la movimentazione del manufatto.

Le palancole hanno una lunghezza variabile da 4,00 a 16,00 metri con forma rettangoloide di $35 \times 43 \text{ cm}$ o $50 \times 50 \text{ cm}$; il loro spessore, al netto del foro centrale formatosi in seguito alla centrifugazione è sufficiente a garantire un adeguato ricoprimento delle armature ($2 \div 4 \text{ cm}$).

La punta delle palancole è opportunamente sagomata a scivolo in modo da favorire l'accostamento degli elementi a quelli già in opera; per l'infissione a mezzo battipalo la puntazza può essere protetta con lamierino.

L'armatura è disposta nei casseri prima del getto con i necessari accorgimenti per consentire il mantenimento della posizione nella forma anche in fase di centrifugazione.

A seconda della compattezza dei terreni da attraversare, e quindi in funzione dello sforzo necessario alla posa in opera delle palancole, queste possono avere in sommità tutta o parte dell'armatura sporgente per l'inserimento nelle strutture di collegamento.

L'infissione può essere eseguita con l'aiuto di iniezioni d'acqua in pressione di terreni sabbiosi o prevalentemente sabbiosi.

Quando si debba procedere all'infissione con battipalo la sezione di testa deve essere integra e totalmente libera da ferri sporgenti; in questo caso, per il collegamento, alle sovrastrutture di collegamento, la testa della

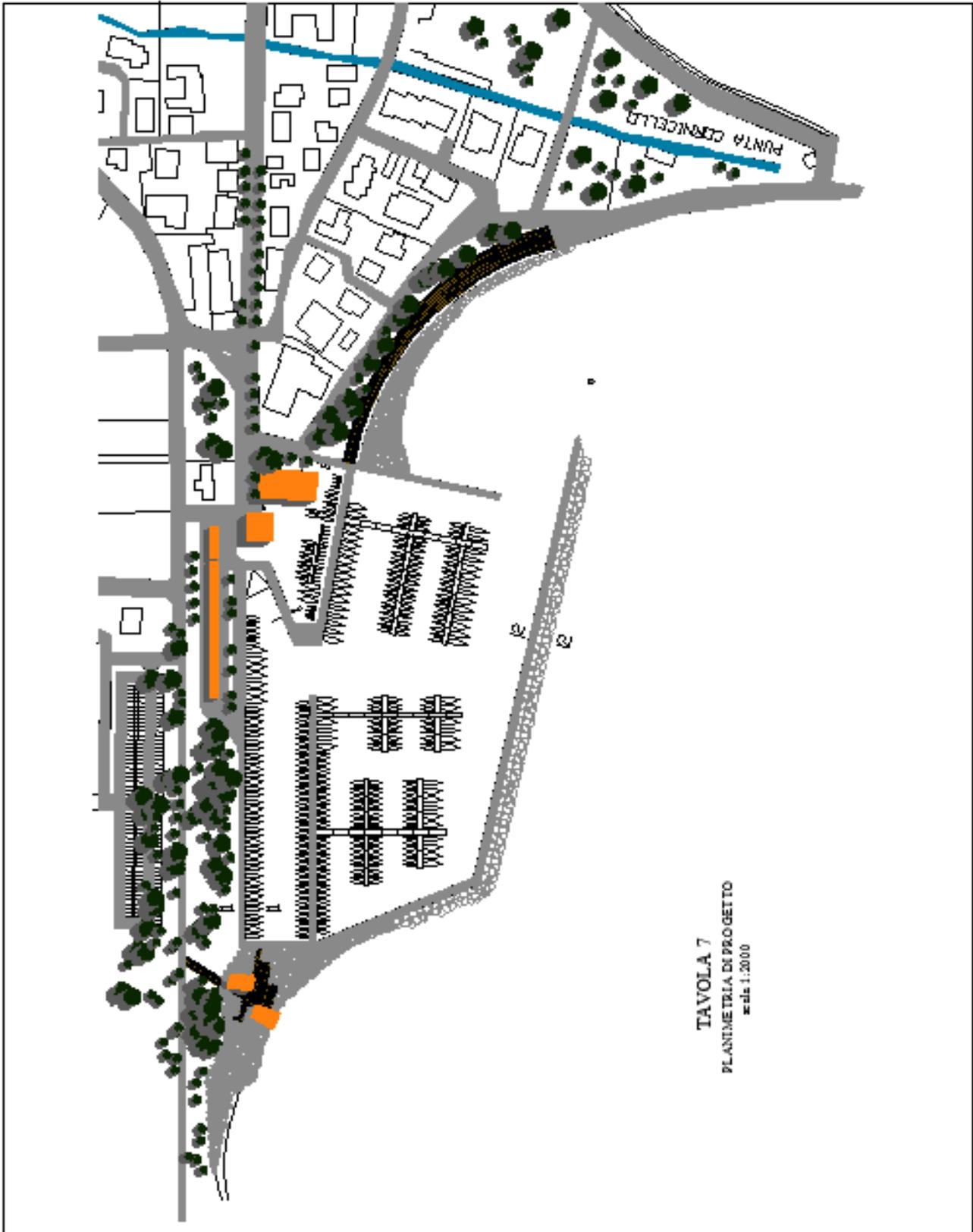
opo l'infissione. Spesso la linea di cesura è predeterminata e l'armatura studiata per facilitare la separazione.

Le palancole sono confezionate con calcestruzzo di cemento 425 o superiore e con inerti granulometricamente dosati e controllati; la quantità dell'acqua d'impasto è contenuta in modo da permettere il raggiungimento di una resistenza caratteristica cubica a 28 giorni di $R_{ck} \times 45 \text{ N/mm}^2$ (classe di resistenza C35/45 o superiore).

Le barre costituenti l'armatura longitudinale delle palancole sono ad aderenza migliorata in acciaio tipo B450C controllato in stabilimento di produzione; il passo delle staffe, normalmente di 20-25 cm viene dimezzato alla testa ed alla punta della palancole per un tratto pari a due volte il lato maggiore della sezione.

Nel seguito verrà effettuato un semplice dimensionamento di massima degli elementi strutturali, con riferimento in particolare alle opere di sostegno dei terreni; si precisa che, trattandosi per l'appunto di un dimensionamento di massima, non è stata considerata l'azione sismica, data la limitata altezza dei terreni sostenuti, e non è stato applicato alcun coefficiente parziale sia ai carichi sia ai parametri geotecnici.

Peraltro, in fase di progetto definito, sarà necessario procedere ad un affinamento del calcolo, secondo quanto previsto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008) e sulla base delle reali caratteristiche del terreno, da determinare mediante apposita campagna di sondaggi geognostici in sito, e tenendo conto anche dell'azione sismica in quanto il Comune di Bardolino è considerato sismico di terza categoria.



Nel seguito si descrivono brevemente le fasi di predimensionamento e di esecuzione delle strutture che compongono il marina, realizzate con la tecnologia sopra descritta.

La tavola numero 7 offre un'immagine d'insieme dell'intera struttura portuale; tale tavola riporta anche la posizione delle sezioni tipo che saranno di seguito descritte.

8.4.1 - Le banchine

Lungo i lati del porto a ridosso della terraferma è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno a parete verticale costituita da palancole prefabbricate in c.a.c., in grado di sopportare anche le sollecitazioni imposte dall'attracco dei natanti e dal sovraccarico accidentale agente a ridosso della parete stessa.

Dopo la loro infissione, che potrà avvenire con battipalo operante su terraferma o su bassi fondali, le palancole, saranno scapitozzate in modo da portare in piano la loro sommità e per mettere a nudo le armature metalliche da annegare in una apposito cordolo di coronamento in c.a.

8.4.1.1 ó Banchina costituita da palancole a sbalzo (Tav. 8)

Si è provveduto ad effettuare un dimensionamento di massima delle palancole nell'ipotesi di comportamento a sbalzo in terreno omogeneo incoerente avente le caratteristiche descritte al paragrafo 7.2; in particolare, per il calcolo, le palancole sono state considerate soggette alla spinta attiva esercitata dal terreno sostenuto e da un sovraccarico pari a 4 kN/mq (come indicato nelle raccomandazioni dell'Associazione Internazionale per la

ei natanti ormeggiati alla banchina, assunto

pari a 10 kN/m.

Si è considerato che le palancole, sotto queste azioni, tendano a ruotare verso lo scavo e a comprimere il terreno sul lato opposto, dando luogo, nella parte al di sopra del centro di rotazione, a spinta passiva; al di sotto del centro di rotazione si ha spinta passiva sul lato del terreno sostenuto e spinta attiva sul lato opposto (fig. 8.4).

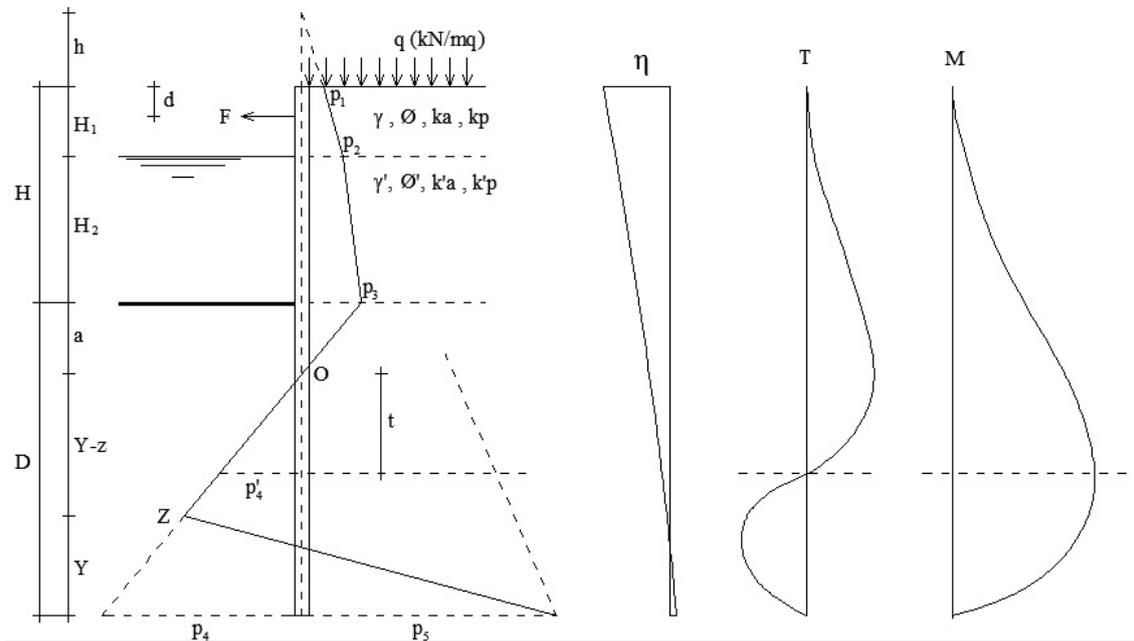


Fig. 8.4 - schema palancole a sbalzo

Operando con un procedimento di calcolo impostato su foglio elettronico, imponendo le condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e alla rotazione, è stato possibile determinare la profondità del punto di spostamento nullo (centro di rotazione) e di infissione e i conseguenti parametri di sollecitazione sulle palancole; la reale profondità di infissione è stata calcolata aumentando di un 20% la profondità ottenuta dal calcolo.

In particolare il calcolo ha fornito i seguenti risultati:

- profondità di infissione: 6,50 m;

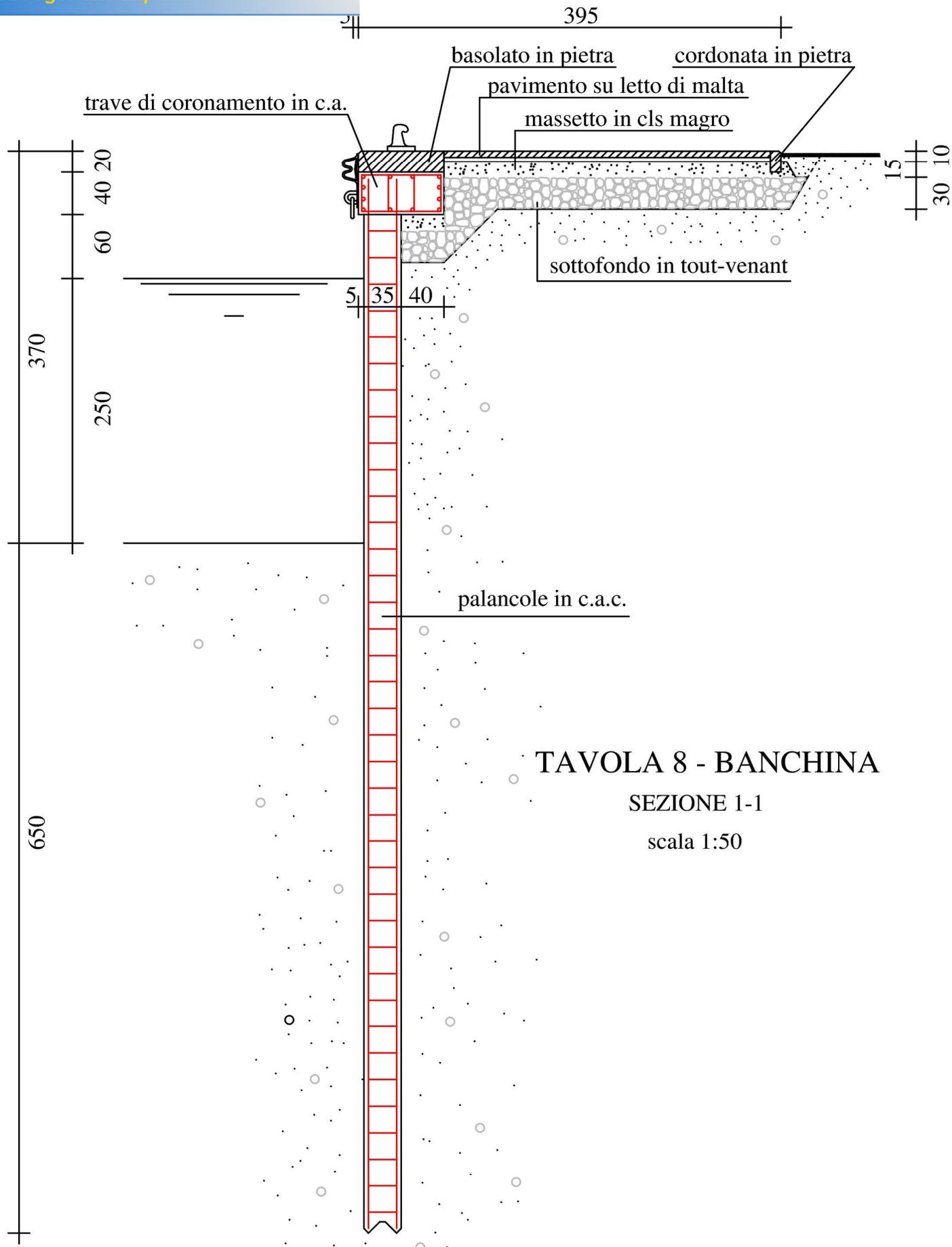


TAVOLA 8 - BANCHINA

SEZIONE 1-1

scala 1:50

lella banchina: 10,20 m;

- momento massimo: 200 kNm;
- momento massimo sulla singola palanca: $200 \cdot 0,43 = 86$ kNm.

Per resistere a tale sollecitazione è sufficiente una palanca da 35 x 43 cm di sezione, armata con $2 \times (2 \text{ } \varnothing 16 + 4 \text{ } \varnothing 18)$.

8.4.1.2 ó Banchina costituita da palancolata tirantata (Tav. 9)

In alternativa al sistema di palancole a sbalzo è possibile adottare un sistema costituito da una palancolata vincolata con tirante ancorato a piloti, il cui dimensionamento può essere effettuato con il metodo di Blum o della trave equivalente, che considera la palancolata ancorata in prossimità della testa e vincolata al piede. Lo schema di calcolo è riportato nella figura 8.5.

In particolare si fa l'ipotesi che la deformazione della palancolata sia tale per cui, nella parte infissa, il terreno a contatto con la parete sia in parte in condizioni di spinta attiva ed in parte in condizioni di spinta passiva; la soluzione del problema si ottiene introducendo una ipotesi semplificativa.

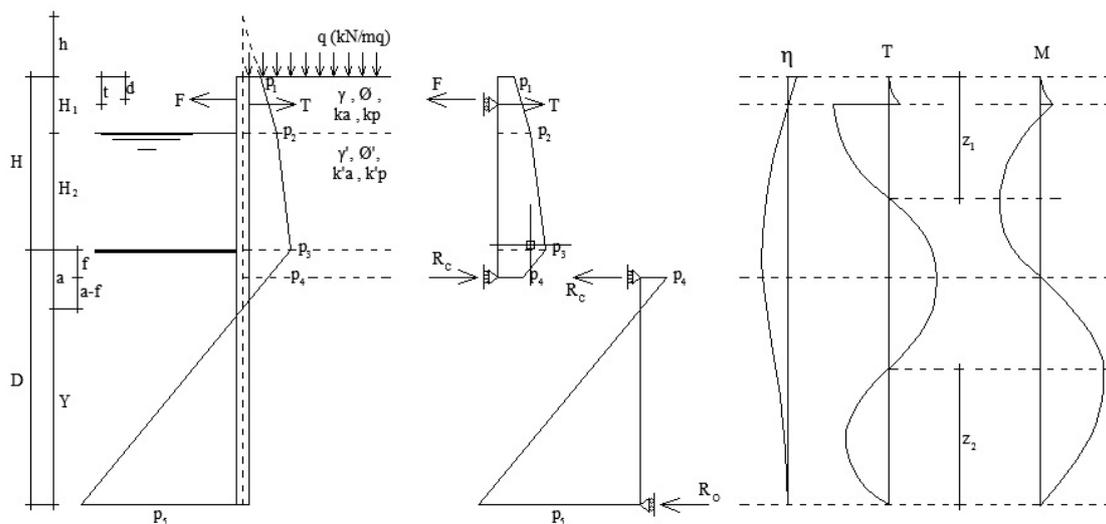


Fig. 8.5 - schema di palancolata tirantata

ata della palancolata presenti un punto di flesso (punto di inversione della curvatura) in cui il momento flettente è nullo, ovvero che in tale punto sia posizionata una cerniera fittizia; la posizione di tale cerniera è definibile mediante un diagramma proposto dal Blum che, in funzione dell'angolo di attrito ϕ del terreno, ovvero del corrispondente coefficiente di spinta attiva k_a , fornisce il rapporto tra la distanza delle cerniera stessa dal fondo scavo e l'altezza complessiva fuori terra della palancolata (fig. 8.6).

Considerando dapprima l'equilibrio alla rotazione rispetto al punto di applicazione del tirante del tratto di palancolata che sta sopra tale cerniera è possibile determinare la reazione della cerniera stessa.

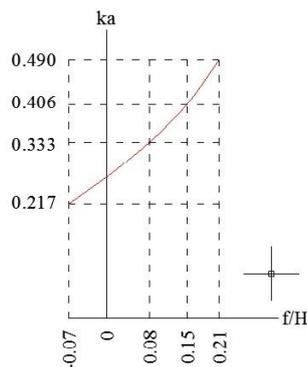


Fig. 8.6 - Diagramma di Blum per l'individuazione del punto in cui si inverte la curvatura della deformata della palancolata

successivamente, imponendo l'equilibrio alla traslazione orizzontale del tratto medesimo, è possibile determinare lo sforzo sul tirante; successivamente, isolando il tratto di palancolata che sta sotto la cerniera, imponendo l'equilibrio alla rotazione di tale tratto rispetto al piede della palancolata stessa, è possibile determinare la sua profondità di infissione e, imponendo l'equilibrio alla rotazione, la reazione che si manifesta al piede, necessaria per definire i parametri di sollecitazione che agiscono su tale tratto.

ne si determina aumentando di un 20% la profondità ottenuta dal calcolo.

Il dimensionamento di massima del sistema è stato effettuato mediante un procedimento di calcolo impostato su foglio elettronico, che ha fornito i seguenti risultati:

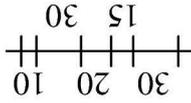
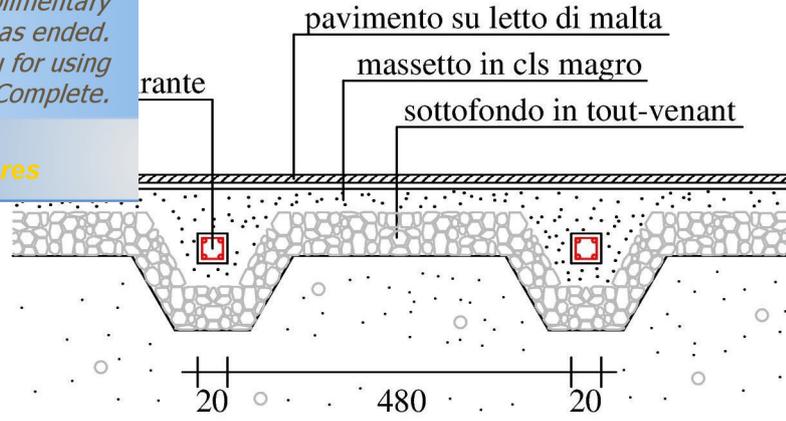
- profondità di infissione: 3,80 m;
- profondità rispetto al piano della banchina: 7,50 m;
- momento massimo: 29,5 kNm;
- momento massimo sulla singola palanca: $29,5 \cdot 0,43 = 13$ kNm;
- sollecitazione sul tirante: 30,4 kN/m.

Per resistere a tali sollecitazioni sarebbe sufficiente una palanca da 35 x 43 cm di sezione, armata con 2 x 4 Ø 10, mentre per i tiranti sarebbe opportuno optare su una soluzione costituita da barre in acciaio B450C, collegate a staffe di adeguato passo e diametro, annegate in un cordolo di calcestruzzo da almeno 20 x 20 cm di sezione per garantire la sicurezza dei tiranti stessi contro gli urti accidentali che potrebbero essere prodotti dall'azione di mezzi meccanici in fase di eventuali movimenti terra.

Il sistema di contrasto, potrebbe essere costituito da due pali per ciascun tirante, disposti a cavalletto con una apertura di circa 15° rispetto alla verticale, sormontati da un cordolo di collegamento in cui ammorsare i tiranti.

8.4.2 ó Il molo esterno

Anche per la realizzazione del molo esterno è prevista un'opera di sostegno a parete verticale costituita, in questo caso, da una doppia fila di palancole prefabbricate in c.a.c., tirantate tra loro, con riempimento dell'interpazio.



SEZIONE LONG. SUI TIRANTI

scala 1:50

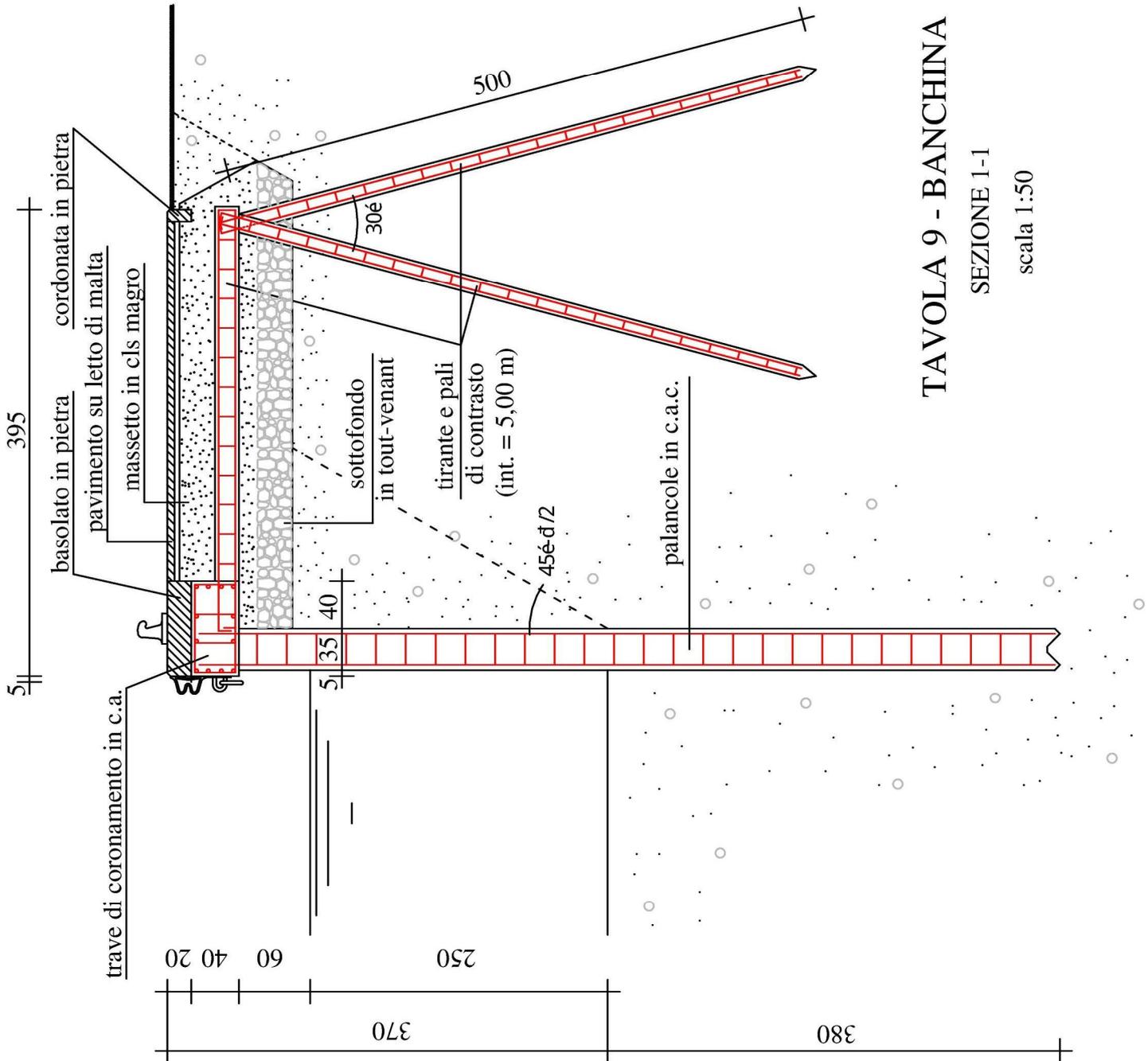
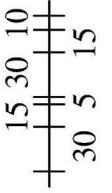


TAVOLA 9 - BANCHINA

SEZIONE 1-1

scala 1:50

o da tout-venant costipato a matrice ghiaiosa grossolana, eventualmente proveniente dagli scavi a terra, con soprastante strato di calcestruzzo magro, che fungerà da piano di appoggio della soprastante soletta in c.a. che, oltre alla funzione di irrigidimento dell'intera struttura e di ripartizione sulle due file di palancole dei carichi permanenti e accidentali gravanti su di essa, eserciterà anche quella di tirante (Tav. 10).

A ridosso del molo è prevista la realizzazione di una scogliera con lo scopo di attenuare il fenomeno della riflessione di seguito descritto.

8.4.2.1 - Riflessione

Il fenomeno della riflessione si verifica quando l'onda progressiva incontra una parete con inclinazione maggiore di 1/20; nel caso di una parete impermeabile verticale, l'energia dell'onda incidente viene quasi tutta riflessa, per questo motivo si deve applicare un coefficiente di riflessione pari approssimativamente a 1.

Il profilo dell'onda stazionaria (Clapotis), di fronte a una parete verticale perfettamente riflettente, soggetto al movimento di onde monocromatiche in direzione perpendicolare alla parete stessa, può essere determinato dalla sovrapposizione di due onde con identico periodo (T), ampiezza (H) e lunghezza (L), ma viaggianti in direzioni opposte; le equazioni delle due onde sono date dalla teoria lineare o del 1° ordine:

$$\text{per l'onda incidente} \quad \eta_i = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$$

$$\text{per l'onda riflessa} \quad \eta_r = \frac{H}{2} \cos(kx + \omega t)$$

quindi il profilo dell'onda stazionaria o clapotis è dato dalla somma dei due contributi (Fig. 8. 7)

$$\eta = \eta_i + \eta_r = H \cos(kx) \cos(\omega t)$$

andamento sinusoidale caratterizzato da una alternanza di punti di massimo (detti *colmi*), di nullo (detti *nodii*) e di minimo (detti *cavi*); nei nodi la funzione che rappresenta l'onda risulta sempre nulla (i nodi sono quindi punti della superficie dell'onda che si mantengono costantemente sul livello medio dell'acqua) mentre nei colmi e nei cavi l'altezza varia tra i suoi valori massimi e minimi, producendo un'escursione pari a $2H$; pertanto, allo scorrere del tempo si vedono i colmi che diventano dei cavi e viceversa.

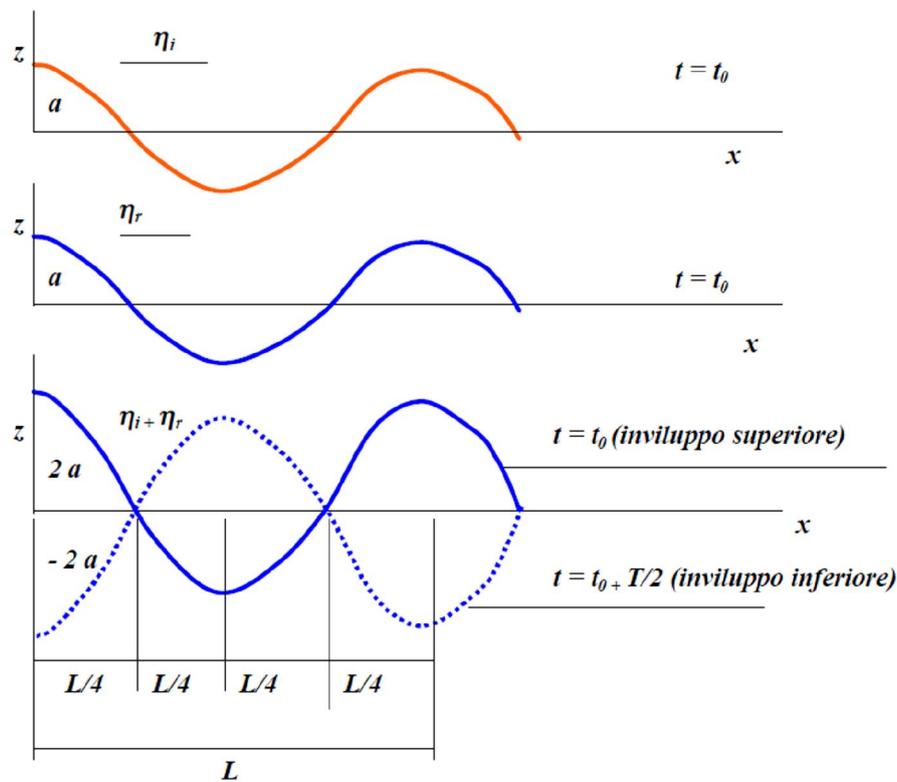


Fig. 8. 7 - Profilo d'onda stazionaria (clapotis)

Per attenuare il fenomeno della riflessione e quindi evitare situazioni di disagio e pericolo all'interno e nelle vicinanze dell'area portuale, si è previsto di disporre una scogliera lungo tutto il molo esterno a lato lago e lungo tutta la linea di riva posta frontalmente all'ingresso del marina. In

non viene riflessa dal muro verticale ma frange e dissipa la sua energia sulla scogliera.

Per il calcolo della pezzatura del materiale da utilizzare si fa ricorso alla formula di Hudson:

$$W_{50} = \frac{\gamma_s \cdot H^3}{K_D \cdot \Delta^3 \cdot \text{ctg}\beta}$$

ove:

- W_{50} è il peso medio del singolo masso; nel caso di massi naturali si considera una tolleranza $0,75 \cdot W_{50}$ Ö $1,25 \cdot W_{50}$, fermo restando che il 50% dei massi deve superare o eguagliare il peso determinato con la formula di Hudson;
- H è l'onda di progetto: $H_{1/10} = 1.28$ m (già definita al paragrafo 6.5);
- K_D è un coefficiente di stabilità, di derivazione empirica, che dipende dal tipo di masso, dalla sezione considerata e dalla presenza o meno di frangimento;
- Δ è l'angolo che crea la scarpata con l'orizzontale;
- $\gamma_a = (\gamma_s / \text{ctg}\alpha) - 1$, con $\gamma_a = 10,10$ kN/m³, peso di volume dell'acqua di mare e $\gamma_s = 27$ kN/m³, peso di volume del masso.

Tenendo conto che, nel caso specifico si può assumere $K_D = 4$ e che l'inclinazione della scogliera è pari a 1 su 1,5 ($\Delta = 33.7^\circ$), il peso medio del singolo masso risulta pari a circa 175 kg.

La larghezza in sommità della scogliera è definibile mediante la seguente relazione:

$$B = n \cdot K_\Delta \cdot \sqrt[3]{W / \gamma_s}$$

dove n è un coefficiente che si assume pari a 3 per calcolare la larghezza della cresta e K_Δ è un coefficiente di forma che per massi naturali tondi vale 1,02; con i valori suindicati si ottiene $B = 1,25$ m.

si sopra definiti va posata su un nucleo costituito misto granulare di cava, formato da elementi di peso compreso tra i valori $W_{4000} = W_{50} / 4000$ e $W_{200} = W_{50} / 200$; comunque, nel caso specifico, si ritiene opportuno considerare un materiale formato da elementi di peso variabile da 2 a 50 kg.

8.4.2.2 - Profondità di infissione delle palancole

Dapprima si è provveduto ad effettuare il dimensionamento di massima della struttura applicando alla singola fila di palancole il metodo di Blum, precedentemente descritto nel caso della banchina tirantata; il calcolo ha fornito i seguenti risultati:

- profondità di infissione: 4,80 m
- profondità rispetto al piano del molo: 10,00 m
- momento massimo: 61,4 kNm
- momento massimo sulla singola palanca: $81,4 \cdot 0,43 = 26,4$ kNm
- sollecitazione sul tirante: 30,5 kN/m

Per resistere a tali sollecitazioni è sufficiente una palanca da 35 x 43 cm, armata con 2 x 4 Ø 12, mentre la trazione risulta estremamente modesta.

8.4.2.3 - Tirantatura provvisoria delle palancole

La funzione di tirante dalla soletta in c.a. è esercitata solo dopo l'ultimazione della struttura; pertanto, durante la fase di riempimento dell'interspazio tra le palancole, è necessario realizzare una tirantatura provvisoria per garantire la stabilità delle palancole stesse.

In particolare si prevede di utilizzare due travi in acciaio ad U, ognuna delle quali sarà posta longitudinalmente a ridosso della faccia esterna delle palancole, in corrispondenza ai loro fori di sollevamento; le due travi saranno collegate mediante barre in acciaio passanti nei fori sopra citati e

La fase di realizzazione della soletta in c.a. le barre di acciaio saranno annegate nel getto e, a maturazione avvenuta, saranno rimosse le travi provvisorie.

Per quanto riguarda il dimensionamento di massima di tali elementi si ha:

- la forza tiro sulle palancole è inferiore a quella precedente ricavata: infatti, durante la fase costruttiva le spinte risultano inferiori per la assenza della sovrastruttura e dei carichi accidentali; peraltro, per tener conto degli eventuali effetti dinamici indotti dal terreno durante la fase di sversamento nell'interspazio tra le due palancole, si ritiene opportuno assumere il valore precedentemente calcolato (30,5 kN/m);
- si prevede l'uso di barre in acciaio con tensione di snervamento $f_y = 1080 \text{ N/mm}^2$ e tensione ammissibile $f_a = 0,6 \cdot f_y = 648 \text{ N/mm}^2$; pertanto, disponendo i tiranti ad un interasse pari a 4,00 m, la sezione di ciascuna barra risulta essere pari a: $(30,5 \cdot 4,00) \cdot 1000 / 648 = 188 \text{ mm}^2$; si usano quindi, prudenzialmente, barre $\varnothing 20 \text{ mm}$;
- si prevede infine l'uso di travi U 260 aventi modulo di resistenza W pari a 371.000 mm^3 , in acciaio tipo S 275 (ex Fe 430) con tensione di snervamento $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ e tensione ammissibile $f_a = 0,7 \cdot f_y = 192,5 \text{ N/mm}^2$; infatti, se si considera che le travi siano vincolate ad appoggio semplice in corrispondenza dei tiranti e che siano soggette ad un carico pari alla forza tiro sulle palancole (30,5 kN/m) si ha:

$$M = 30,4 \cdot 4,00^2/8 = 61 \text{ kNm} = 61.000.000 \text{ Nmm}$$

$$W = M / f_a = 61.000.000/192,5 = 316.883 \text{ mm}^3 < 371.000 \text{ mm}^3$$

8.4.2.4 - Capacità portante delle palancole

Il calcolo della capacità portante delle palancole è stata effettuata seguendo lo schema di fig. 8.8, applicato alla striscia di un metro della palancole

più caricata in quanto su di essa grava anche

il parapetto in c.a.

In particolare si ha:

- $d = 0,35 \text{ m}$; $D = 4,80 \text{ m}$
- area della punta: $A_p = 0,35 \cdot 1,00 = 0,35 \text{ mq}$
- superficie laterale della parte infissa: $A_L = 2 \cdot 1,00 \cdot 4,80 = 9,60 \text{ mq}$
- pressione verticale effettiva alla base della palanca:

$$\sigma_{v0} = (\sigma' + w) \cdot D = (20,0 + 9,81) \cdot 4,80 = 48,91 \text{ kN/mq}$$

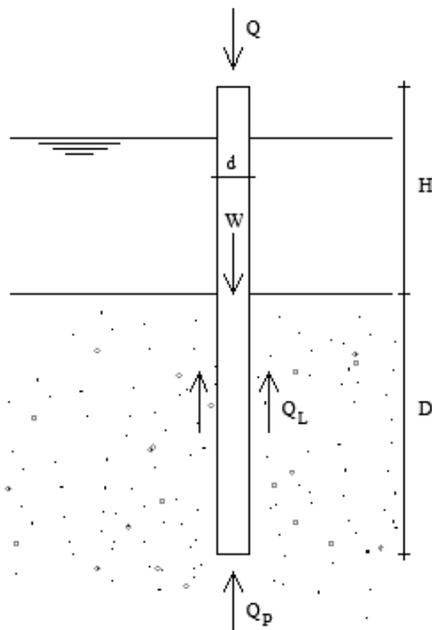


Fig. 8.8 - schema per la verifica della capacità portante delle palancole

- pressione verticale effettiva media nel tratto infisso ($z = D/2 = 2,40 \text{ m}$):

$$\sigma_{vZ} = (\sigma' + w) \cdot z = (20,0 + 9,81) \cdot 2,40 = 24,45 \text{ kN/mq}$$
- fattore adimensionale di capacità portante (desumibile dal grafico di Berezantzev - fig. 8.9 - in funzione di $\phi_{\phi} = (\phi + 40^\circ)/2$ e del parametro D/d):

$$\phi_{\phi} = (30^\circ + 40^\circ)/2 = 35^\circ ; D/d = 4,80/0,35 = 13,8 \quad N_q \acute{e} 60$$

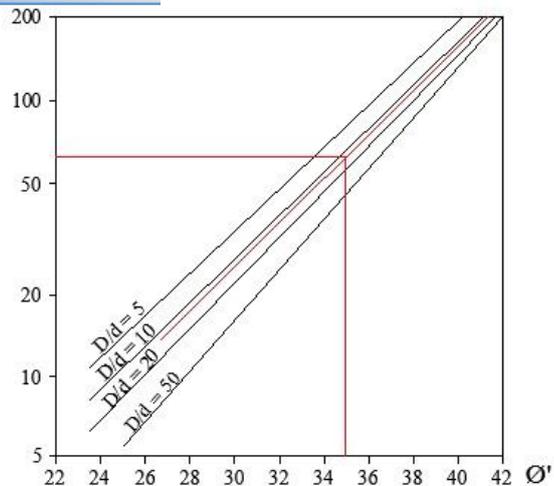


Fig. 8.9 - Grafico di Berezantzev

- rapporto tra le tensioni effettive orizzontali e verticali alla profondità z nel terreno circostante (desumibile dal grafico di Nordlung - fig. 8.10 - in funzione di $\varnothing\varnothing = (\varnothing + 40^\circ)/2$ e della larghezza della palancola d):

$$\varnothing\varnothing = (30^\circ + 40^\circ)/2 = 35^\circ ; d = 35 \text{ cm} \quad k \acute{e} 1,5$$

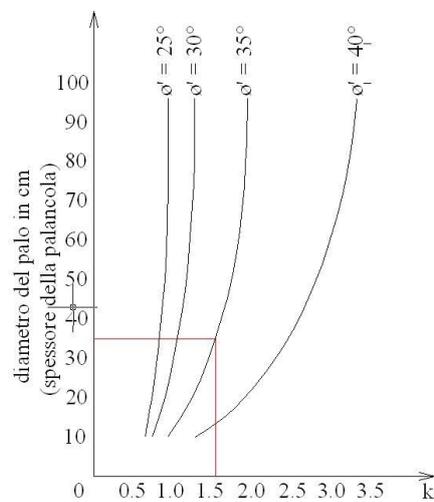


Fig. 8.10 - Grafico di Nordlung

- angolo di attrito tra palancola e terreno alla profondità z :
 $= 2 \cdot \varnothing/3 = 22,5^\circ$ coeff. d'attrito: $\tan = 0,414$

Con i dati sopra indicati si ottiene:

$$Q_P = A_P \cdot \varnothing_{v0} \cdot N_Q = 1.027 \text{ kN}$$

kN

$$Q_{LIM} = Q_P + Q_L = 1.173 \text{ kN}$$

$$Q_{AMM} = Q_{LIM} / 2,5 = 1.173 / 2,5 = 470 \text{ kN}$$

Carichi sulla palancolata:

- copertina in pietra sul parapetto:	$0,20 \cdot 0,50 \cdot 26 \text{ kN/mc}$	2,60 kN
- parapetto in c.a.:	$0,80 \cdot 0,40 \cdot 25 \text{ kN/mc}$	8,00 kN
- magrone e pavimentazione:	$0,25 \cdot 2,00 \cdot 20 \text{ kN/mc}$	10,00 kN
- soletta in c.a.:	$0,40 \cdot 2,00 \cdot 25 \text{ kN/mc}$	20,00 kN
- p.p. palancole:	$10,00 \cdot 0,35 \cdot 25 \text{ kN/mc}$	<u>87,50 kN</u>

Carichi permanenti 128,10 kN

Accidentale $2,00 \cdot 4 \text{ kN/mq}$ 8,00 kN

Carico totale 136,10 kN

quindi inferiore al carico ammissibile.

8.4.2.5 - Analisi di stabilità globale del molo esterno

Per l'analisi della stabilità globale il molo esterno viene considerato come una struttura monolitica immorsata nel terreno per la parte corrispondente alla profondità di infissione delle palancole (Fig. 8.11).

Le azioni cui è soggetta la struttura sono le seguenti (a favore della sicurezza non si considera l'azione del sovraccarico accidentale):

- peso proprio degli elementi strutturali:
 - peso proprio della soletta: $mc \ 4,00 \cdot 0,40 \cdot 1,00 \cdot 25 \text{ kN/mc} = 40 \text{ kN}$
 - peso del terreno immerso: $mc \ 4,00 \cdot 9,00 \cdot 1,00 \cdot 11 \text{ kN/mc} = 380 \text{ kN}$

per un peso complessivo di 420 kN (il peso delle palancole è stato assimilato a quello del terreno);

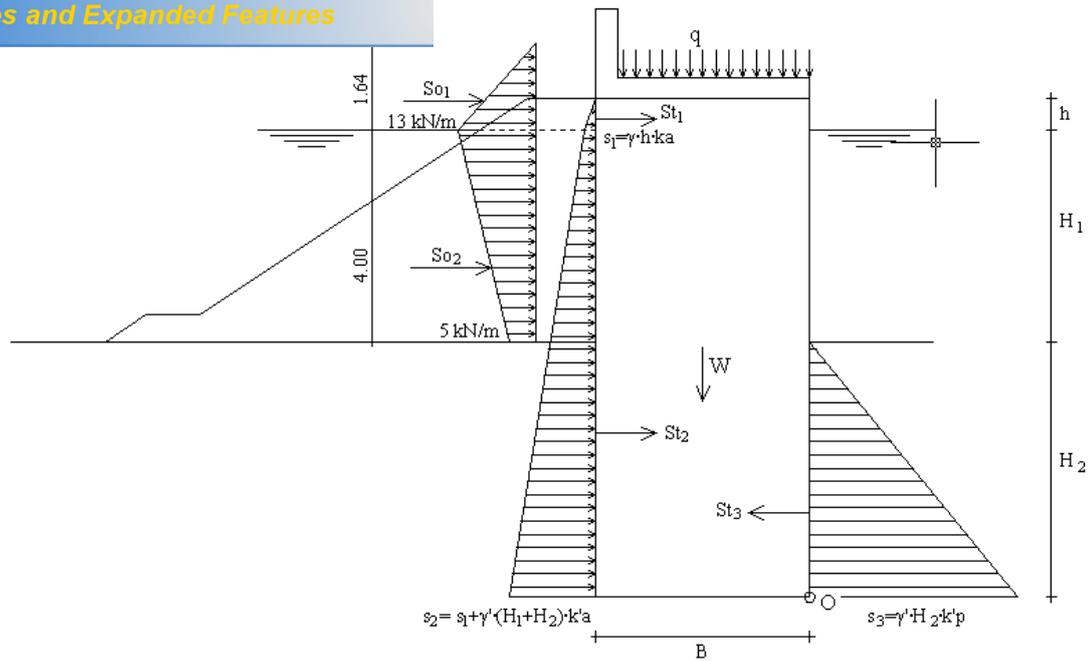


Fig. 8.11 ó schema strutturale del molo esterno per la verifica alla stabilità globale

- spinte del terreno sul manufatto (St); si considera anche la spinta esercitata dal materiale che compone la scogliera posta a protezione del molo; tenuto conto che si è in fase di dimensionamento di massima, tale spinta viene valutata, per semplicità, come se il materiale avesse le medesime caratteristiche di quello in cui è immersato il manufatto; con riferimento allo schema di Fig. 8.11 le spinte (St_i) e i relativi bracci (bt_i) rispetto al punto O risultano:
 - $s_1 = 3,96 \text{ kN/m}$ $St_1 = 1,20 \text{ kN}$ $bt_1 = 9,00 \text{ ml}$
 - $s_2 = 62,04 \text{ kN/m}$ $St_2 = 132 \text{ kN}$ $bt_2 = 3.10 \text{ ml}$
 - $s_3 = 158,4 \text{ kN/m}$ $St_3 = 380 \text{ kN}$ $bt_3 = 1,60 \text{ ml}$
- azione del moto ondoso (So); come descritto in precedenza la conformazione del fondale e la geometria del molo (parete verticale) creano le condizioni sufficienti per cui si generi riflessione d'onda e quindi il clapotis (onda stazionaria); in tal caso la forza esercitata sulle opere, facendo l'ipotesi di trascurare la scogliera di massi naturali

nolo, la forza può essere valutata con il modello proposto da Sainflou (fig. 8.12).

Essendo $H = 1,28$ m il valore dell'altezza d'onda di progetto (già definita al paragrafo 6.5), il punto più alto toccato dall'acqua, dove la pressione si annulla vale:

$$\eta = H + h_0$$

dove h_0 , ipotizzato come incremento del livello medio del lago durante l'azione di un'onda stazionaria, è dato dalla relazione:

$$h_0 = \frac{\pi \cdot H^2}{L} \coth(kd)$$

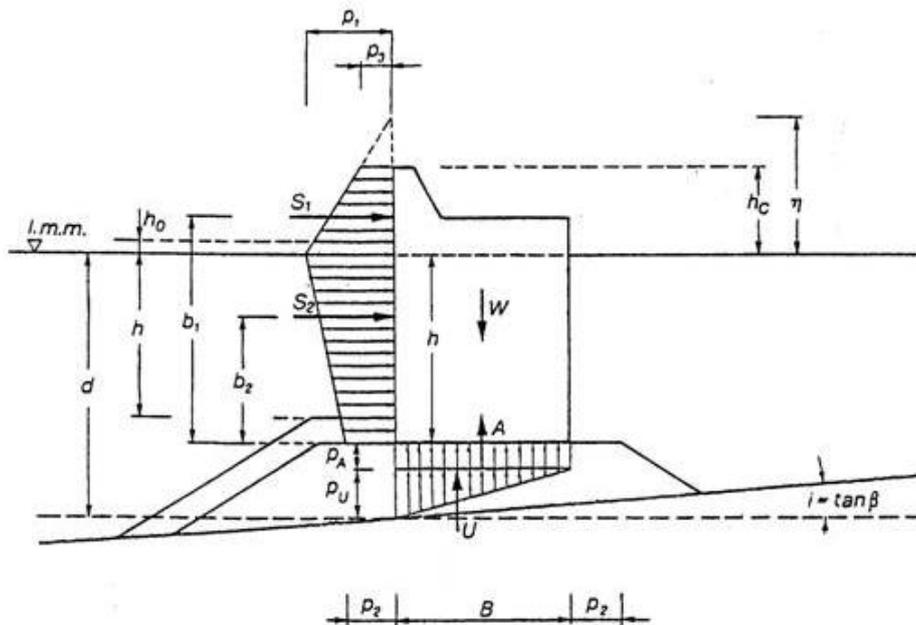


Fig. 8.12 Schema delle forze sollecitanti una diga a parete verticale

Con $d = 4$ m. (assunto pari ad h), $L = 15,28$ m (anche tale parametro è già stato definito al paragrafo 6.5) e $k = 2 / L = 0,411$, h_0 risulta pari a 0,36 m e quindi a 1,64 m.

Le pressioni rispettivamente alla base della parete (p_2) e sul livello medio del lago (p_1), assumono i seguenti valori:

$$= \gamma \frac{H}{\cosh(kh)} = 4.745 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$p_1 = (p_2 + \gamma h) \frac{\eta}{\eta + h} = 12,987 \text{ kN} / \text{m}^2$$

arrotondate rispettivamente a 5 e 13 kN/m²; le corrispondenti spinte (S_{o_i}) e i relativi bracci (b_{o_i}) rispetto ad O risultano:

- S_{o₁} = 10,66 kN b_{o₁} = 9,35 m
- S_{o₂} = 36,00 kN b_{o₂} = 7,10 m

Le pressioni p_A e p_U vengono trascurate nell'analisi in quanto si suppone che il regime di filtrazione, data la natura del fondale, sia molto lento.

Per quanto riguarda lo scorrimento risulta un coefficiente di sicurezza pari a:

$$F_s = \frac{\tan \delta \cdot \sum Y_i}{\sum X_i} = 1,35 > 1,30$$

dove è stato assunto pari all'angolo di attrito interno del terreno (Ø = 30°), Y_i rappresenta la somma delle forze verticali (peso della soletta in c.a. e del terreno compreso tra le due palanco late) e X_i rappresenta la somma delle forze orizzontali, ovvero spinte del terreno (esclusa la spinta passiva) e azione del moto ondoso.

Per quanto riguarda invece l'analisi a ribaltamento rispetto al punto O risulta:

$$F_s = \frac{\sum M_S}{\sum M_R} = 1,87 > 1,50$$

dove M_S rappresenta la somma dei momento delle forze stabilizzanti (peso della soletta in c.a., peso del terreno compreso tra le due palanco late e spinta passiva del terreno lato porto) e M_R rappresenta la somma delle forze ribaltanti (spinta attiva del terreno lato lago e azione del moto ondoso).

Il progetto prevede la posa all'interno del bacino esterno del marina di pontili galleggianti; si è ritenuto opportuno adottare tale soluzione per le caratteristiche e i vantaggi che questi pontili offrono; essi infatti sono: stabili, duraturi, modulari predisposti per contenere ogni tipo di impianto e per fornire il massimo confort all'utente; inoltre:

- mantengono sempre il natante alla stessa altezza rispetto al piano di calpestio;
- sono già dotati di tutti gli accessori per consentire un comodo attratto delle imbarcazioni, quali ganci e parabordi;
- offrono la possibilità di cambiare la disposizione dei posti barca con facilità;
- l'intero sistema di ormeggio può essere riadattato secondo altri schemi più convenienti, con tempi e costi ridotti;
- in caso di dragaggio possono essere spostati e riposizionati, facilitando le operazioni;
- hanno un costo contenuto e soprattutto certo.



Fig. 8.13 ó Pontile galleggiante

anno dimensioni 10 x 3 m. e sono costituiti da un robusto telaio portante realizzato con profilati in acciaio, elettrosaldati e successivamente zincati a caldo. Sono sostenuti da otto unità galleggianti in calcestruzzo con anima in polistirolo espanso ad alta densità; i moduli sono collegati tra loro mediante sistema semielastico composto da ammortizzatori in neoprene e bulloneria inox e sono ancorati al fondale con un sistema di catene e corpi morti (Fig. 8.14).

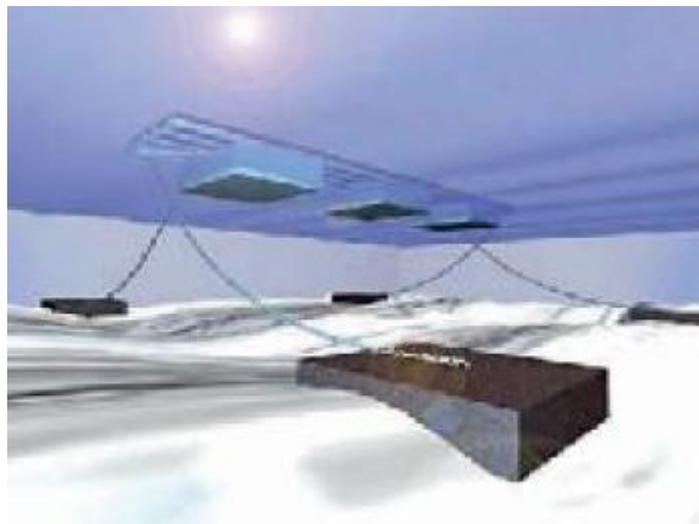


Fig. 8.14 ó Schema di ancoraggio di un pontile galleggiante

Il piano di calpestio è realizzato in doghe di legno esotico pregiato caratterizzato da una considerevole resistenza alle intemperie.

8.6 ó Opere accessorie e di finitura

Completata la parte strutturale, è prevista la realizzazione di adeguate opere di finitura (basolati e pavimentazioni in pietra, reti tecnologiche, ecc.) e dei necessari elementi accessori per l'attracco delle imbarcazioni alle strutture fisse.

In particolare è prevista la posa di anelli (uno per ciascun posto barca) cui fissare le cime per l'ormeggio di prua dei natanti, ancorati mediante

amento delle banchine e alla soletta in c.a.

dei pontili fissi (Fig. 8.15).

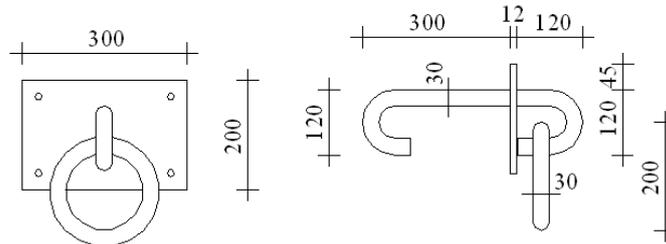


Fig. 8.15 - Ganci per ormeggio delle imbarcazioni

Lungo le banchine e i pontili fissi, ove è previsto l'ancoraggio di natanti, sarà posata una bricola in acciaio ogni 5,00 metri, capace di resistere ad un tiro di 10 t (Fig. 8.16).

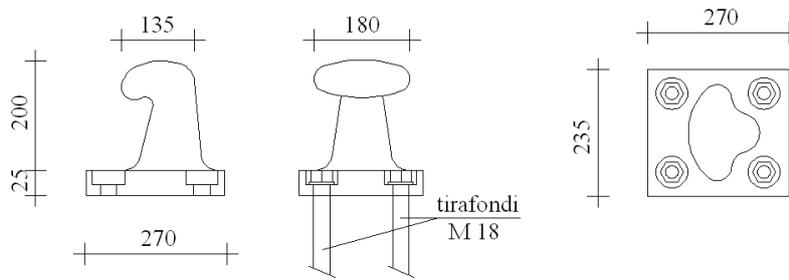


Fig. 8.16 - Bricola da 10 t

Sul bordo superiore sarà inoltre fissato un parabordo continuo in materiale elastico per proteggere le imbarcazioni da eventuali urti contro le strutture fisse in fase di ormeggio (Fig. 8.17).

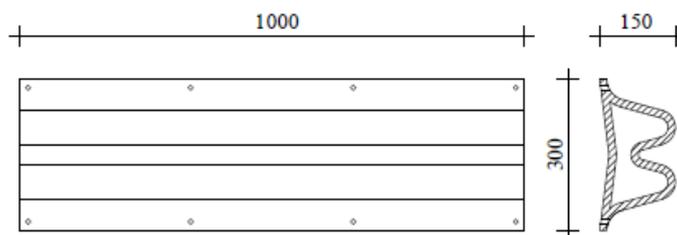


Fig. 8.17 - Parabordo tipo in materiale elastico

La figura 8.18 offre una visione d'insieme.

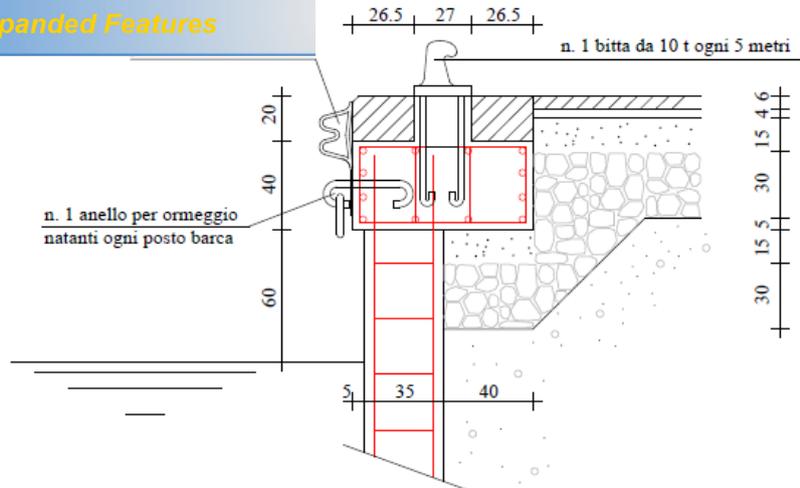


Fig. 8. 18 - Visione d'insieme delle opere

8.7 ó Stima sommaria del costo di realizzazione del marina

La realizzazione del marina in oggetto comporta una spesa che, sulla base della stima sommaria di seguito esposta, ammonta ad € 7.500.000,00 al netto di IVA e spese generali per: indagini geognostiche e archeologiche, spese tecniche per progetto definitivo, esecutivo, strutturale, e Studio d'Impatto Ambientale, per acquisizione pareri e concessioni, per ricerca e bonifica di eventuali ordigni bellici, per direzione lavori, sicurezza del cantiere, contabilità e collaudi, e per l'allacciamento ai pubblici servizi. Sono inoltre escluse le spese per la realizzazione di eventuali edifici a servizio delle attività portuali (direzione, negozi, yacht club, servizi vari).

n.	Descrizione	u.m	quantità	p.u. €	importo €
1	Fornitura di palancole in c.a.c., sezione 35 x 43 cm per formazione banchine e moli. - sviluppo banchine: ml 470 n. palancole: $470/0,43 \hat{=} 1.100$ - sviluppo moli: ml 640 n. palancole: $(2 \cdot 640)/0,43 \hat{=} 3.000$ n. $1.100 \cdot 9,90 \text{ ml/cad.} = \text{ml } 10.890$ n. $3.000 \cdot 9,75 \text{ ml/cad.} = \text{ml } 29.250$ ml $(10.890 + 29.250) =$	ml	40.140	40,00	1.605.600

		u.m	quantità	p.u. p	importo p
2	<p>Innessione palancole in terraferma o bagnasciuga, con battipalo; lunghezza media di innessione: circa 9,00 m quelle per banchina e 7,00 m quelle per moli.</p> <p>- palancole per banchine: n. $1.100 \cdot 9,00$ ml/cad é ml 9.900</p> <p>- palancole per moli: n. $500 \cdot 7,00$ ml/cad = ml 3.500</p> <p>ml $(9.900 + 3.500) =$</p>	ml	13.400	15,00	201.000
3	<p>Innessione palancole in acqua per moli, con battipalo su pontone; lunghezza media di innessione circa 6,00 ml.</p> <p>n. $(3.000 \text{ ó } 500) \cdot 6,0$ ml/cad =</p>	ml	15.000	25,00	375.000
4	<p>Scapitozzatura palancole in terraferma o bagnasciuga, con mezzo meccanico per livellamento delle teste e messa a nudo delle armature da annegare nelle sovrastrutture in c.a. n. $(1.100 + 500) =$</p>	n.	1.600	15,00	24.000
5	<p>Scapitozzatura delle palancole in acqua, eseguita con mezzo meccanico su pontone, per livellamento delle teste e messa a nudo delle armature da annegare nelle sovrastrutture in c.a.</p> <p>n. $(3.000 \text{ ó } 500) =$</p>	n.	2.500	25,00	62.500
6	<p>Tirantatura provvisoria delle palancole per moli con doppia fila di travi in acciaio U260 collegate con barre in acciaio poste ad un interasse di 4,00 ml, per un peso complessivo di acciaio pari a circa 75 kg per ml di molo, con recupero finale delle travi.</p> <p>ml $640 \cdot 75$ kg/ml =</p>	Kg	48.000	1,50	72.000
7	<p>Fornitura e posa, con mezzo meccanico e con ausilio di pontone, di tout-venant a matrice ghiaiosa grossolana per il riempimento dell'interspazio tra le palancole dei moli, per uno spessore medio di circa 2,50 m. Il volume teorico è aumentato del 10% per tener conto di un eventuali abbassamento del terreno su viene posato. Nel prezzo unitario è compreso l'onere della formazione dello strato superficiale di calcestruzzo magro su cui andrà posata la soletta in c.a.</p> <p>ml $640 \cdot$ ml $3,20 \cdot$ ml $2,50 \cdot$ $1,10$ é</p>	mc	5.650	20,00	113.000

		u.m	quantità	p.u. p	importo p
8	Fornitura e posa con mezzo meccanico di tout-venant a matrice ghiaiosa grossolana per il la formazione del piano di posa della pavimentazione delle banchine. Nel prezzo unitario è compreso l'onere della formazione dello strato superficiale di calcestruzzo magro su cui andrà posata la pavimentazione. ml 470 · ml 4,00 · ml 0,30 é	mc	600	10,00	6.000
9	Formazione opere in c.a, fornitura e posa con autobetoniera munita di pompa di cls classe C25/30, la fornitura e posa di acciaio B450C in ragione di circa 75 kg/mc, i casseri e il disarmo. - trave di coronamento banchine: ml 470 · ml 0,80 · ml 0,40 é mc 150 - soletta moli: ml 640 · ml 4,00 · ml 0,40 é mc 1.025 - parapetto molo esterno: ml 480 · ml 0,80 · ml 0,40 é mc 155 mc (150 + 1.025 + 155) =	mc	1.330	300,00	399.000
10	Fornitura e posa con mezzo meccanico e con l'ausilio di pontone di materiale misto granulare in elementi da 1 a 10 kg, in ragione di circa 8,00 mc/ml, per formazione dello strato di appoggio del pietrame da porre a difesa del molo esterno ml 480 · 8,00 mc/ml é	mc	3.900	30,00	117.000
11	Fornitura e posa con mezzo meccanico e con l'ausilio di pontone di pietrame in elementi da circa 200 kg, in ragione di circa 5,00 mc/ml e del peso di 2 ton/mc, per formazione della scogliera di difesa del molo esterno ml 480 · 5,00 mc/ml · 2 t/mc =	ton	4.800	25,00	120.000
11	Scavo sbancamento su superficie di circa 8.000 mq nell'ambito del bacino interno fino alla quota di -2,50 m dal livello medio del lago, per uno spessore medio di scavo di circa 3,00 m, eseguito con mezzo meccanico da terra o in presenza d'acqua fino a 50 cm, compreso carico su autocarro e trasporto a discarica.	mc	24.000	10,00	240.000

ii.	DESCRIZIONE	u.m	quantità	p.u. p	importo p
12	<p>Dragaggio su una superficie di circa 35.000 mq nell'ambito del bacino esterno e del canale di accesso fino alla quota di -4,00 m dal livello medio del lago, per uno spessore medio di circa 2,00 m, eseguito con draga mobile con scarico del materiale a lago</p> <p>mq 32.000 · m 2,00 =</p>	mc	64.000	20,00	1.280.000
13	<p>Fornitura e posa in opera di pontili galleggianti a galleggiamento discontinuo, in moduli delle dimensioni di 10,00 x 3,00 m, ciascuno costituito da un telaio portante realizzato con profilati in acciaio, elettrosaldati e zincati a caldo, sostenuto da otto unità galleggianti in calcestruzzo con anima in polistirolo espanso ad alta densità. Compresi il collegamento dei moduli mediante sistema semielastico composto da ammortizzatori in neoprene e bulloneria inox, ancoraggio al fondale con un sistema di catene e corpi morti, finitura del piano di calpestio in doghe di legno pregiato e ogni altro accessorio per l'ormeggio dei natanti e la fornitura dei servizi tecnologici.</p> <p>Moduli</p>	n.	7	20.000	1.140.000
14	<p>Opere di finitura (basolati e pavimenti in pietra, reti tecnologiche, ecc.), accessori per l'attracco delle imbarcazioni alle strutture fisse (ganci, catene, parabordi, bitte, pendini, corpi morti), scivolo di alaggio, boe di segnalazione e impianto di illuminazione e segnalazione notturna, cartellonistica.</p> <p>Si stima un costo complessivo pari al 30% del costo delle opere sopra indicate.</p> <p>p 5.755.100 · 30% - a corpo</p>				1.726.530
	IMPORTO COMPLESSIVO (arrotondato)				7.500.000

Da anni, per il Garda si persegue un preciso obiettivo: la riqualificazione della proposta turistica; ricollocare il lago al centro del sistema turistico locale, è una missione che, tra l'altro, necessita di allineare le strutture, quali porti e approdi, a standard qualitativi e funzionali riconosciuti nel mercato internazionale.

La scelta del marina, sotto l'aspetto strategico, risulta la migliore perché si rivolge ad una nicchia di utenza qualitativamente elevata che spesso collega le attività nautiche con il proprio stile di vita, cerca strutture con funzioni specializzate e chiede servizi d'eccellenza senza preoccuparsi dei costi.

È inoltre, l'approdo perfetto per il diportista sotto il profilo della sicurezza e dell'assistenza poiché si presenta come una struttura artificiale protetta al massimo, dotata di accesso sicuro, munita di tutti i servizi in banchina ed inserita in un tessuto urbano che consente il soggiorno in paese e comodità alle attività nautiche, oltre all'opportunità di visita giornaliera per l'escursione, lo shopping, ecc...

Le difficoltà da affrontare sono diverse, per molteplici aspetti (legislativo, amministrativo, urbanistico, economico, edilizio, ...) e chiedono risposte di metodo e specifici orientamenti: multidisciplinarietà, comunicazione e innovazione.

La costruzione di questa nuova struttura avrà inevitabilmente un impatto sul territorio, ma potrà risultare nel suo complesso anche migliorativo, a condizione che si presti un'attenzione particolare, non solo alla

e fasi di studio, di progettazione e di realizzazione.

Lo scopo delle analisi e ipotesi fatte in questa tesi, è stato quindi quello di definire i presupposti essenziali per procedere ad una corretta progettazione del marina di Bardolino.

In particolare sono state analizzate le condizioni meteomarine necessarie alla definizione dell'altezza d'onda caratteristica per il sito prescelto e delle conseguenti azioni del moto ondoso, per procedere ad un corretto dimensionamento delle strutture portuali; è stata inoltre eseguita un'analisi dei livelli del lago per stabilirne la quota media, in base alla quale è stato possibile definire la batimetria dei fondali, in modo tale da garantire un facile accesso al porto al tipo di natanti normalmente utilizzati sul lago di Garda.

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno sono stati analizzati i risultati di una campagna di sondaggi geognostici eseguita su un'area posta nelle vicinanze.

In base ai risultati ottenuti da tali analisi è stata elaborata un'ipotesi progettuale, che prevede la realizzazione di una marina composta da due distinti bacini, tra loro comunicanti e con fondali posti a quote diverse, delimitati da banchine e moli fissi realizzati con palancole in c.a.c.

Si è ritenuto opportuno ricorrere a questa tipologia strutturale, particolarmente indicata per la costruzione di porti turistici e pontili (oltre che marginamenti di canali, pennelli, interventi antierosione, parcheggi interrati) in quanto offrono il vantaggio di essere già pronte all'impiego con specifiche di prestazioni prestabilite, di poter raggiungere gli strati di terreno con le caratteristiche geotecniche migliori e di resistere bene alle

le impiego e di permettere quindi un rapido avanzamento dei lavori con riduzione dei tempi e dei costi dell'opera, ma anche di ottenere una pregevole superficie di finitura senza particolari interventi.

È stata poi definita la più opportuna posizione del canale di accesso al porto e dell'imboccatura ed è stata analizzato lo stato di agitazione d'onda interna al bacino, generata da fenomeni di diffrazione e riflessione, ed è stato accertato che tale fenomeno non assume proporzioni tali da compromettere la sicurezza e il confort dei diportisti fruitori della struttura.

La tavola 7 riporta la planimetria dell'intera opera, in cui è raffigurata anche una ipotetica disposizione dei posti barca.

Come ultimo punto, si è deciso di presentare una valutazione di massima dei costi di realizzazione del marina proposto in questo lavoro.

Occorre precisare che, da un punto di vista gestionale e della manutenzione generale, la struttura in se (banchine, moli, pontili e attracchi), una volta realizzata, non richiede particolari interventi di manutenzione; al contrario, è opportuno programmare un controllo periodico della profondità del fondale dei bacini ed un eventuale dragaggio del materiale sedimentato in eccesso per mantenere un certo battente idraulico in grado di consentire il transito a tutte le tipologie di imbarcazioni per le quali si è progettato.

BIBLIOGRAFIA

- Agenzia Interregionale per il fiume Po (2013): *δ*LIVELLI IDROMETRICI DEL LAGO DI GARDAö.
- Bianchi D. ; meteogarda.it (2013): *δ*REGISTRAZIONE DEI DATI METEO DELLA STAZIONE DI RILEVAMENTO DI BARDOLINOö. Bardolino.
- Franco L. ; Marconi R. (2003): *δ*PORTI TURISTICI, GUIIDA ALLA PROGETTAZIONE E COSTRUZIONEö. Maggiori Editore.
- Gambini F. (1996): *δ*MANUALE DEI PILOTI, PALI PREFABBRICATI PER FONDAZIONIö.
- Istituto Geografico Militare: *δ*CARTA NAUTICA DEL LAGO DI GARDAö. Firenze.
- Italia Navigando (2004): *δ*STUDIO PER IL POTENZIAMENTO DELLA PORTUALITA NEL LAGO DI GARDAö.
- Mamone M. (1985): *δ*LAGO DI GARDA, CARTA E GUIDA NAUTICAö. Ghedina & Tasso Editori. Bassano del Grappa.
- Ricceri G. (1975): *δ*ELEMENTI DI TECNICA DELLE FONDAZIONIö. Libreria Editrice Universitaria Patron. Padova.
- Prof. Ruol P. : *δ*COSTRUZIONI MARITTIME, APPUNTI DELLE LEZIONIö. Padova.
- Prof. Simonini P. : *δ*GEOTECNICA, APPUNTI DELLE LEZIONIö. Padova.
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1973): *δ*SHORE PROTECTION MANUALö. Washington D.C.

RINGRAZIAMENTI

- al prof. Piero Ruol per la sua disponibilità e il costante e prezioso aiuto fornito;
- all'arch. Marco Ardielli di Verona per avermi consentito di fare riferimento al Masterplan per la riqualificazione di un'area annessa di Bardolino, elaborato nel 2006 per conto dell'Amministrazione Comunale di Bardolino, che prevede anche la realizzazione di una marina;
- al Sindaco del Comune di Bardolino e all'arch. Franco Delaini, responsabile dell'Area Edilizia Privata, per avermi autorizzato a prendere visione del Masterplan sopra citato e dei documenti ad esso allegati;
- al geom. Gerardo Verde, responsabile dell'Ufficio Opere Locali del Genio Civile di Verona, per le preziose informazioni che mi ha dato;
- allo Studio Tecnico Gruppo 5 di Bardolino che nel 2003 ha eseguito l'adeguamento delle strutture a servizio della base nautica Roccavela di Bardolino e che mi ha fornito la relativa Relazione Geologica-Geotecnica predisposta dallo Studio Associato Geologia Applicata di Trento.