

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE

SCUOLA DI INGEGNERIA



TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

***“Progetto di fattibilità di un campo boe per l’ormeggio di imbarcazioni da diporto
sulla costa di Rosignano”***

RELATORI:

Prof. Ing. Lorenzo Cappietti

Prof. Ing. Enrica Caporali

Prof. Ing. Pier Luigi Aminti

CANDIDATO:

Lorenzo Rigutini

Anno Accademico 2016/2017

Indice

1	Introduzione.....	7
2	Definizione delle unità navali	9
3	Campi di ormeggio	11
3.1	Introduzione.....	11
3.2	Tipi di ormeggio.....	11
3.3	Campo boe	12
3.4	Tipi di ancoraggio	15
4	Criteri per la localizzazione di un campo di ormeggio	19
4.1	Premessa	19
4.2	Studio meteomarinario	19
4.2.1	Settore di traversia	20
4.2.2	Fetch.....	20
4.2.3	Fonti di dati	21
4.2.4	Le fonti di dati in Italia	23
4.2.5	Dati di vento	24
4.2.6	Statistica mareggiate	25
5	Propagazione del moto ondoso da largo a costa	29
5.1	Introduzione.....	29
5.2	Acque profonde	29
5.3	Acque poco profonde.....	29
5.4	Acque intermedie.....	29
5.5	Trasformazione dell'onda.....	30
5.5.1	Rifrazione	30
5.5.2	Shoaling.....	31
5.5.3	Diffrazione	31
5.5.4	Frangimento delle onde	34
6	Indagini e rilievi sui fondali.....	37
6.1	Rilievi Single Beam	37
6.2	Rilievi Multi Beam	38
6.3	Rilievo con Side Scan Sonar	39
6.4	Rilievo Sub Bottom Profile.....	40
7	Corpo morto.....	42
7.1	Dimensionamento corpo morto.....	43
7.1.1	Terreni non coesivi	43
7.1.2	Terreni coesivi	44

7.2	Calcestruzzo per corpi morti	45
7.3	Corpi morti ecocompatibili.....	47
8	Valutazione dei carichi	49
8.1	Spinta Aerodinamica	49
8.2	Azione Idrodinamica.....	51
8.3	Classi di imbarcazioni	53
8.4	Matrici di dimensionamento	54
8.4.1	Barche a motore.....	57
8.4.2	Barche a vela	60
8.5	Analisi dei prezzi.....	63
9	Catene per corpo morto.....	64
10	Progetto campo boe Rosignano	66
10.1	Morfologia costiera	66
10.1.1	Inquadramento	66
10.1.2	Caratterizzazione geomorfologica della costa ed erosione costiera	66
10.2	Analisi Meteomarina	68
10.2.1	Settore di traversia.....	68
10.2.2	Venti	69
10.2.3	Mari.....	74
10.3	Fondali.....	79
10.4	Trasformazione moto ondoso	82
10.5	Ipotesi posizionamento campo boe	83
10.5.1	Ipotesi 1.....	84
10.5.2	Ipotesi 2.....	87
10.6	Diffrazione.....	89
10.6.1	Direzione Sud	90
10.6.2	Direzione Sud-Ovest	91
10.6.3	Direzione Ovest	92
10.6.4	Direzione Nord-Ovest.....	93
10.7	Confronti	95
10.8	Conclusioni.....	101
10.8.1	Ipotesi 1.....	105
10.8.2	Ipotesi 2.....	107
10.9	Allegati	109
11	Bibliografia	110

Indice delle figure

Figura 1: Esempio di un campo di ormeggio	12
Figura 2: Campo boe per ormeggio. Procchio, Isola d'Elba	14
Figura 3: Campo boe, Isola di Capraia	14
Figura 4: Schema di ancoraggio alla boa con corpo morto	15
Figura 5: Sistema di ancoraggio Harmony.....	16
Figura 6: Funzionamento sistemi ad espansione	17
Figura 7: Schema mushroom anchor	17
Figura 8: Ancoraggio con perno	18
Figura 9: Ancoraggio su pali	18
Figura 10: Esempio di individuazione del settore di traversia per Rosignano Solvay ..	20
Figura 11: Codice dello stato del mare secondo la World Meteorological Organization	21
Figura 12: Esempio di dati organizzati in matrici altezze e direzione d'onda (WWA) ..	22
Figura 13: Cambiamento del parametro di concentrazione massima direzionale, S_{max} , dovuto alla rifrazione d'onda in acque poco profonde (Goda, 1985).....	32
Figura 14: Definizione dello schema per l'utilizzo del metodo di diffrazione di Goda (1985).....	33
Figura 15: Esempio di modellazione numerica dell'agitazione interna di un porto	33
Figura 16: Esempio di modellazione numerica della trasformazione del moto ondoso da largo a costa	34
Figura 17: Limite di altezza al frangimento per onde regolari	35
Figura 18: Valutazione dell'altezza massima al frangimento, Goda.	36
Figura 19: Linee di progetto di un rilievo Single-Beam.....	38
Figura 20: Profilo del fondale con tecnologia Multi Beam	39
Figura 21: Restituzione di un relitto sul fondale, rilievo SSS.	40
Figura 22: Acquisizione dati con Sub Bottom Profiler	41
Figura 23: Tipologie di corpi morti	42
Figura 24: Criteri comportamentali per la valutazione e la selezione degli ancoraggi WEC	42
Figura 25: Coefficiente di attrito superficiale per terreni non coesivi con particolari materiali da costruzione	44
Figura 26: Classificazione delle cause di degrado in servizio delle opere in calcestruzzo armato	46
Figura 27: Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale, in funzione delle condizioni ambientali.....	46
Figura 28: Corpi morti Sea Friendly installati in provincia di Grosseto	48
Figura 29: Barriera sommersa composta da Reef Ball.....	48
Figura 30: Coefficienti di drag per la forza del vento, Bruun 1989	50
Figura 31: Curve di allungamento delle fibre delle corde di ancoraggio, CEM.	52
Figura 32: Schema ormeggio iniziale con catena "rilassata"	55
Figura 33: Schema ormeggio con catena in tiro	55
Figura 34: Schema ormeggio.....	56
Figura 35: Forze agenti sulla catena	56
Figura 36: Forze agenti sul corpo morto	57
Figura 37: Influenza della catena sul peso del corpo morto	65
Figura 38: Settore di traversia.....	68

Figura 39: Inquadramento Quercianella, Punta Righini e Punta Lillatro, particolare Carta Nautica	69
Figura 40: Distribuzione dei venti per intensità (VALORI MEDI)	70
Figura 41: Rosa dei venti	71
Figura 42: Distribuzione venti per intensità (RAFFICHE)	72
Figura 43: Curva cumulata (Valori medi di vento)	73
Figura 44: Curva cumulata (Raffiche di vento)	73
Figura 45: Posizionamento della boa di Gorgona su carta nautica 1:100000	74
Figura 46: Esempio di dati relativi all'altezza d'onda per la boa di Gorgona	75
Figura 47: Rosa del mare	75
Figura 48: Rosa del mare (distribuzione di direzione ed intensità), solo settore di traversia	77
Figura 49: Curva cumulata altezze d'onda	77
Figura 50: Variazione di frequenza delle mareggiate dell'ondametro virtuale rispetto alla boa di Gorgona	78
Figura 51: Rilievi batimetrici effettuati per il ripristino della diga foranea allo stato di progetto (2012)	79
Figura 52: Batimetriche ricostruite per la zona nei dintorni del porto Cala De' Medici di Rosignano Solvay	80
Figura 53: Informazioni relative al porto Cala De' Medici, Portolano 2017	81
Figura 54: Determinazione H_{max} al frangimento, Grafico di Goda	82
Figura 55: Planimetria Ipotesi 1	85
Figura 56: Dettaglio del campo boe	86
Figura 57: Ipotesi 2, Planimetria	87
Figura 58: Ipotesi 2, Dettaglio	88
Figura 59: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Sud	90
Figura 60: Altezza onda diffratta in metri, direzione Sud	90
Figura 61: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Sud-Ovest	91
Figura 62: Altezza onda diffratta in metri, direzione Sud-Ovest	91
Figura 63: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Ovest	92
Figura 64: Altezza onda diffratta in metri, direzione Ovest	92
Figura 65: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Nord-Ovest	93
Figura 66: Altezza onda diffratta in metri, direzione Nord-Ovest	94
Figura 67: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Sud	95
Figura 68: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Sud-Ovest	96
Figura 69: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Ovest	97
Figura 70: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Nord-Ovest	98
Figura 71: Curva Cumulata e percentuale di Comfort nelle due ipotesi	102
Figura 72: Curva Cumulata e percentuale di Sicurezza nelle due ipotesi	103
Figura 73: Curva Cumulata e percentuale di Sicurezza nelle due ipotesi	104

Indice delle tabelle

Tabella 1: Rete Ondametrica Regionale toscana.....	23
Tabella 2: Valori raccomandati di $(S_{max})_0$	32
Tabella 3: Classi di imbarcazioni.....	53
Tabella 4: Dimensioni caratteristiche per le classi di imbarcazioni	53
Tabella 5: Classi di velocità del vento	54
Tabella 6: Matrice della forza aerodinamica per barche a motore	57
Tabella 7: Matrice della forza idrodinamica per barche a motore	57
Tabella 8: Matrice della spinta totale F_h per barche a motore	58
Tabella 9: Azioni di tiro T sulla catena (barche a motore)	58
Tabella 10: Azione orizzontale agente sul corpo morto (barche a motore)	58
Tabella 11: Azione verticale agente sul corpo morto (barche a motore)	59
Tabella 12: Peso asciutto minimo del corpo morto per barche a motore	59
Tabella 13: Larghezza minima del corpo morto per barche a motore	59
Tabella 14: Altezza minima del corpo morto per barche a motore.....	59
Tabella 15: Matrice delle forze aerodinamiche per le barche a vela.....	60
Tabella 16: Matrice delle forze idrodinamiche per le barche a vela.....	60
Tabella 17: Matrice delle spinte totali per le barche a vela.....	60
Tabella 18: Azioni di tiro T sulla catena (barche a vela)	61
Tabella 19: Azioni orizzontale $F_{h,cm}$ sul corpo morto (barche a vela)	61
Tabella 20: Azioni orizzontale $F_{v,cm}$ sul corpo morto (barche a vela)	61
Tabella 21: Peso asciutto minimo del corpo morto per le barche a vela	62
Tabella 22: Larghezza minima del corpo morto per le barche a vela	62
Tabella 23: Altezza minima del corpo morto per le barche a vela	62
Tabella 24: Prezzo a corpo morto per barche a motore al netto dell'IVA	63
Tabella 25: Prezzo a corpo morto per barche a vela al netto dell'IVA.....	63
Tabella 26: Peso asciutto minimo del corpo morto per barche a vela	64
Tabella 27: Influenza della catena sul peso del corpo morto (barche a motore)	65
Tabella 28: Distribuzione venti estivi per intensità (VALORI MEDI).....	70
Tabella 29: Distribuzione dei venti per direzione	70
Tabella 30: Distribuzione venti estivi per intensità (RAFFICHE).....	71
Tabella 31: Distribuzione dei venti per settore di provenienza ed intensità (VALORI MEDI)	72
Tabella 32: Distribuzione dei venti per settore di provenienza ed intensità (RAFFICHE)	72
Tabella 33: Distribuzione delle mareggiate per direzione di provenienza	75
Tabella 34: Distribuzione mareggiate in base all'altezza dell'onda	76
Tabella 35: Distribuzione delle onde per settore di provenienza ed intensità	76
Tabella 36: Distribuzione delle onde per settore di provenienza ed intensità (settore di traversia)	76
Tabella 37: Confronto tra ondometro virtuale e stazione di Gorgona	78
Tabella 38: Calcolo rifrazione e shoaling	83
Tabella 39: Onde di progetto e coefficienti S_{max}	89
Tabella 40: Valore del coefficiente di diffrazione al variare dell'angolo θ	89
Tabella 41: Agitazione nelle due ipotesi di campo boe ($1e2$) in funzione della direzione della mareggiata.....	99
Tabella 42: Condizioni di comfort, sicurezza e limite secondo il PIANC	101

Tabella 43: Hmax per la condizione di Comfort, per ogni direzione.....	101
Tabella 44: Onda massima che garantisce la condizione di Comfort	101
Tabella 45: Hmax per la condizione di Sicurezza, per ogni direzione	102
Tabella 46: Onda massima che garantisce la condizione di Sicurezza	102
Tabella 47: Hmax per la condizione Limite, per ogni direzione	103
Tabella 48: Onda massima che garantisce la condizione Limite.....	103
Tabella 49: Percentuale di tempo estivo in cui si ha rispetto delle condizioni di Comfort, di Sicurezza e Limite.....	104
Tabella 50: Suddivisione ormeggi.....	104
Tabella 51: Sforzi sulle barche.....	105
Tabella 52: Sforzi trasmessi alla catena.....	105
Tabella 53: Caratteristiche catene	105
Tabella 54: peso minimo asciutto del corpo morto	105
Tabella 55: Peso e numero dei corpi morti scelti	105
Tabella 56: Dimensioni dei corpi morti	106
Tabella 57: Carico di rottura delle catene	106
Tabella 58: Verifica degli sforzi sulle catene.....	106
Tabella 59: Prezzo catene	106
Tabella 60: Sforzi sulle barche.....	107
Tabella 61: Sforzi trasmessi a ciascuna catena.....	107
Tabella 62: Caratteristiche catene	107
Tabella 63: peso minimo asciutto dei corpi morti.....	107
Tabella 64: Peso e numero dei corpi morti scelti	108
Tabella 65: Dimensioni dei corpi morti	108
Tabella 66: Carico di rottura delle catene	108
Tabella 67: Prezzo catene	108

1 Introduzione

In questi ultimi anni, il principio della tutela ambientale si è sempre più strettamente legato ai concetti dello sviluppo sostenibile e della fruizione turistica responsabile. Ne costituisce un esempio la configurazione recente delle aree marine protette italiane, che sta diventando gradualmente più elastica e cerca di abbinare la protezione ambientale alle esigenze socio-economiche dei territori interessati, puntando principalmente sulla ricetta del turismo di qualità.

Le attività turistico ricreative associate al mare richiamano, infatti, l'attivazione di una grande varietà di servizi: il trasporto collettivo, le visite guidate, l'affitto di mezzi nautici di varia natura, i servizi di ricreazione, le attività sportive, i centri di immersione subacquea, la nautica da diporto, i servizi di ormeggio e rimessaggio. L'investimento in questo settore offre una possibilità per l'intera zona ed è di beneficio per tutte quelle attività che ruotano intorno alla nautica e non solo, visto che porti e stazioni di ormeggio sono dei punti di accesso turistico che collegano il mare alla terraferma, portando un notevole flusso turistico ed economico che giova al territorio.

Queste premesse portano all'individuazione di nuove postazioni adibite a ricevere il turismo nautico, come lo sono i campi boe. Infatti lo scopo principale dei campi boe è quello di aumentare l'offerta di posti di ormeggio, pensati come infrastrutture di collegamento tra mare e costa, senza però andare a gravare sulla morfologia costiera con nuove importanti strutture quali sono i porti, le quali hanno un grosso impatto sul territorio e molto spesso non giustificano le spese né in termini economici né in termini ambientali.

Dunque i campi boe possono essere una soluzione per aumentare la ricettività del territorio e quindi portare nuove risorse al turismo ed all'economia locale tramite il settore nautico, il tutto rispettando una gestione del territorio sempre più ecosostenibile, andando ad allineare alle politiche di sviluppo degli ultimi anni.

Proprio per queste potenzialità, in questo lavoro è stato deciso di inquadrare ed affrontare i caratteri generali dello studio, individuazione e progettazione di tutte le fasi relative all'installazione di un campo di ormeggio, ovvero di un campo boe, in modo tale da poter definire un *modus operandi* che possa in qualche modo gestire la complessità del progetto.

In questo senso sono stati valutati i concetti principali che necessitano di studio e attenzione, i problemi relativi alla progettazione ed alla realizzazione del progetto, e le soluzioni possibili, analizzandone i pregi ed i difetti.

La seconda parte di questo elaborato è incentrata sul progetto di fattibilità di un campo di ormeggio per imbarcazioni da diporto nel caso specifico della costa di Rosignano, analizzando varie ipotesi e configurazioni degli ormeggi, valutandone il potenziale di utilizzo.

2 Definizione delle unità navali¹

Natante da diporto: I natanti da diporto sono unità da diporto: a remi, oppure con lunghezza pari o inferiore a 10 m. I natanti non sono soggetti all'obbligo d'iscrizione nei registri presso gli Uffici deputati dello Stato, né a quello del possesso della licenza di navigazione e del certificato di sicurezza. Ciò non toglie che chi lo desidera o ne ha necessità, possa iscrivere il natante; in questo caso, il mezzo è immatricolato nel registro delle imbarcazioni da diporto e di queste segue il regime giuridico. I natanti da diporto hanno dei limiti di navigazione in base al tipo e all'esistenza o meno della «marcatrice CE». In deroga, i natanti che sono invitati a manifestazioni sportive o d'altro genere organizzate da federazioni sportive o dalla Lega Navale Italiana o che effettuano allenamento, possono navigare senza alcun limite dalla costa. La stessa deroga è applicata ai natanti che di norma possono navigare entro 1 miglio dalla costa (pattini, sandolini, mosconi, pedalò, tavole a vela, natanti a vela con superficie velica pari o inferiore a quattro metri quadrati, moto d'acqua e mezzi simili), previa apposita autorizzazione della competente Autorità marittima. Il numero delle persone trasportabili a bordo dei natanti con marcatura CE è indicato nel «manuale del proprietario» e sulla targhetta del costruttore fissata sullo scafo, mentre per quelli non marcati CE è riportato nel certificato di omologazione rilasciato dall'Organismo tecnico oppure è quello indicato nell'art. 13 del Regolamento recante norme di sicurezza per la navigazione da diporto (D.M. 5/10/99, nr. 478).

Imbarcazione da diporto: Le imbarcazioni da diporto sono tutte le costruzioni destinate alla navigazione da diporto che hanno una lunghezza dello scafo compresa fra 10,01 e 24 mt. Queste unità sono soggette all'obbligo dell'iscrizione e del possesso della licenza di navigazione e del certificato di sicurezza. L'iscrizione va effettuata presso i registri delle imbarcazioni da diporto (RID) tenuti dalle Capitanerie di porto, dagli uffici circondariali marittimi oppure da quegli uffici motorizzazione civile (dei Servizi integrati infrastrutture e trasporti) autorizzati dal Ministro delle infrastrutture e dei trasporti. Le imbarcazioni da diporto devono esporre la bandiera nazionale e sono contraddistinte dalla sigla di individuazione. I limiti di navigazione delle imbarcazioni da diporto - riportati sulla licenza di navigazione - dipendono dalla categoria di progettazione, se marcate CE, ovvero, per quelle non marcate CE, sono entro 6 miglia o senza alcun limite dalla costa. Anche per le imbarcazioni da diporto, in occasione di manifestazioni sportive (e relativi allenamenti) o d'altro genere, valgono le deroghe enunciate per i natanti da diporto. Il numero delle persone trasportabili su un'imbarcazione è determinato dal costruttore e riportato sulla licenza di navigazione. In caso di imbarcazione con più categorie

¹ Codice della Nautica da diporto D.Leg. n.171 del 18/06/2005

di progettazione e, quindi, con diversi numeri massimi di persone trasportabili, il numero delle persone trasportabili varierà in funzione del tipo di navigazione effettuata. Quanto all'equipaggio, la sua determinazione non è più fatta a priori dall'ufficio di iscrizione (né riportata sulla licenza), bensì rientra nelle responsabilità del comandante del mezzo determinarne la quantità e la qualità in relazione alla navigazione da effettuare, alle condizioni meteo e alla distanza da porti sicuri.

Nave da diporto: A questa categoria appartengono tutte le unità da diporto con lunghezza dello scafo superiore a 24 m. Anche per le navi da diporto sono obbligatorie l'immatricolazione e la licenza di navigazione, nonché il certificato di sicurezza per navigare. I registri d'iscrizione delle navi da diporto si trovano solo presso le Capitanerie di porto. Le navi da diporto devono esporre la bandiera nazionale e sono contraddistinte dalla sigla di individuazione. Per il numero delle persone trasportabili e per l'equipaggio valgono le stesse regole enunciate per le imbarcazioni da diporto.

3 Campi di ormeggio

3.1 Introduzione

L'ormeggio è l'insieme delle operazioni per assicurare le imbarcazioni a un'opera portuale fissa, quale banchina, molo o pontile, ovvero a un'opera mobile, in punti localizzati e predisposti, quale pontile galleggiante o gavitello.

Le manovre di ormeggio comprendono:

- la decelerazione di avvicinamento;
- la presentazione dell'imbarcazione con il lato o i lati da fissare in sosta;
- l'eventuale aggancio o fissaggio alle strutture stabili.

L'ormeggio può essere assistito da terra e da mare: specialmente in caso di avvicinamento al traverso (cioè per fare aderire una murata ad una banchina, e comunque per rotazioni in spazi ristretti) si utilizzano risorse esterne all'imbarcazione che vanno dall'ormeggiatore che corre a fissare le cime o gomene che gli sono lanciate da bordo, al gommone o al rimorchiatore che tirano l'imbarcazione o la spingono lateralmente puntando opportunamente le loro prue sullo scafo da ormeggiare. Le cime e le gomene fissate dall'ormeggiatore a terra vengono poi tirate da bordo a mano o a macchina per effettuare l'avvicinamento grazie al loro accorciamento.

3.2 Tipi di ormeggio

L'ormeggio può essere effettuato in zone di mare protette o non protette, e questo influisce sul tipo di ormeggio stesso.

All'interno dei porti, dove le barche hanno poca possibilità di muoversi e dove comunque il mare è calmo, le imbarcazioni sono ormeggiate a pontili o banchine, le quali possono essere fisse o mobili.

In genere questo tipo di ormeggio viene effettuato di poppa (ovvero poppa rivolta verso il pontile e prua verso il centro del canale) soprattutto perché l'attacco ai servizi forniti nelle colonnine dei pontili sono disposti nella parte posteriore delle imbarcazioni.

Un altro metodo di ormeggio è quello di fianco, anche detto all'Inglese.

L'ormeggio di fianco all'inglese, prevede un certo numero di attenzioni in fase di avvicinamento alla banchina o al pontile.

All'esterno dei porti invece, quando vengono a mancare strutture apposite quali pontili e/o banchine, l'ormeggio per imbarcazioni da diporto avviene esclusivamente o tramite ancora o nei campi boe.

3.3 Campo boe

I campi boe sono aree adibite alla sosta delle unità da diporto, attrezzate con boe ancorate al fondale, disposti in file ordinate e segnalati per la sicurezza della navigazione.



Figura 1: Esempio di un campo di ormeggio

Lo scopo principale dei campi boe è quello di aumentare l'offerta di posti di ormeggio, pensati come infrastrutture di collegamento tra mare e costa, senza però andare a gravare sulla morfologia costiera con nuove strutture tipo i porti, guardando verso una politica di sviluppo più sostenibile.

Gli aspetti principali da tenere in conto per localizzazione di un luogo adatto al posizionamento di un campo boe sono:

- Riparo: la zona scelta non deve essere esposta a mareggiate o ai venti per troppo tempo, limitando l'utilizzabilità dell'ormeggio.
- Attrattività sul piano ambientale/culturale/paesaggistico: da questo punto di vista il campo boe deve essere pensato alla stregua di un porto; ovvero deve fare da collante tra il mare e la terraferma, ed essere un punto di unione tra le due. Quindi la valutazione del posizionamento di un campo di ormeggio non può esimersi da una serie di analisi che prendono in considerazione la ricettività di un luogo ed è necessario valutare la vicinanza con centri culturali, città d'arte, oppure luoghi di interesse sia paesaggistico che ambientale che da sempre attirano una grossa fetta di turisti.
- Vicinanza a porti turistici per i servizi: La vicinanza a porti turistici può permettere e/o facilitare l'erogazione di servizi per i diportisti. Infatti nell'era tecnologica fornire agli utenti servizi di qualità come acqua, elettricità e WI-FI non può che essere un vantaggio.

Come visto i campi ormeggio possono essere gestiti o non gestiti, e questo può comportare notevoli differenze, sia da un punto di vista di struttura sia per quanto riguarda l'erogazione di servizi.

Infatti un capo boe gestito può avere i seguenti servizi:

- Aiuto ormeggio
- Servizio navetta per la discesa a terra
- Servizio di raccolta della spazzatura
- Fornitura acqua
- Fornitura corrente elettrica
- WI-FI

Inoltre vi è la presenza fisica degli addetti che per qualsiasi evenienza possono essere chiamati.

Ovviamente il luogo in cui viene posizionato il campo di ormeggio influisce sulla quantità e sulla qualità dei servizi, in quanto fornire acqua e corrente tramite tubazioni disposte sotto il livello del mare ha costi notevoli sia di realizzazione che di gestione, ed è dunque ragionevole pensare di portare questi servizi in un luogo ben accessibile e vicino alla riva. Altresì, in un luogo più isolato, magari in zone protette, risulta quasi infattibile riuscire a portare questi servizi agli utenti, e spesso manca anche il servizio di aiuto ormeggio.

L'ormeggio in un campo boe può essere di due tipi:

- Ormeggio singolo: questo tipo di ormeggio è chiamato anche “alla ruota” in quanto l'imbarcazione si aggancia all'unica boa di riferimento di prua, e così facendo è libera di ruotare intorno ad essa disponendosi in direzione del vento e/o delle correnti. È anche più semplice di realizzare e non necessita di aiuti esterni per cui è intelligente pensarlo per campi di ormeggio non gestiti. Il problema di questo tipo di ormeggio è che necessita di molto spazio tra le imbarcazioni essendo queste libere di ruotare.
- Ormeggio doppio: in questo caso l'imbarcazione viene vincolata agli ormeggi (boe e corpi morti) sia a poppa che a prua. Questo tipo di ormeggio, se da una parte offre un'ottimizzazione maggiore dello spazio, comporta alcuni problemi che lo rendono meno semplice: infatti in questo caso le imbarcazioni ormeggiate non sono libere di seguire la direzione di vento e/o corrente e quindi sono più soggette a forze trasversali che possono mettere in pericolo i diportisti. Inoltre la manovra di ormeggio è più complicata e necessita di un aiuto esterno, e dunque il campo boe deve prevedere il servizio apposito.



Figura 2: Campo boe per ormeggio. Procchio, Isola d'Elba



Figura 3: Campo boe, Isola di Capraia

Molto spesso i campi boe vengono posizionati in luoghi protetti, dove si vuole evitare che i natanti gettino le ancora rovinando il fondale, quindi possono assumere anche un valore di salvaguarda ambientale, soprattutto in quelle zone dove nei mesi estivi si ha un'alta concentrazione di imbarcazioni.

Infatti si può pensare di far comunque usufruire ai natanti di un'area marina protetta da una parte alimentando il settore del turismo, e dall'altra salvaguardando il posto stesso, impedendo alti tipi di ancoraggio se non quello tramite gavitello, che non rovina il fondale.

3.4 Tipi di ancoraggio

In base alla diversità dei fondali si possono individuare diversi sistemi di ancoraggio per le boe di ormeggio. Essi devono essere anche scelti in base alla presenza o meno di biocenosi sul fondale, come ad esempio praterie di Posidonie, che godono di tutela ambientale europea².

Tra i diversi sistemi di ancoraggio troviamo³:

- Corpi morti: generalmente sono posti sui fondali sabbiosi e fangosi inerti, senza fanerogame marine o altre biocenosi di pregio (coralligeno, precoralligeno), e spesso sono in calcestruzzo. Si tratta di manufatti di facile realizzazione, a basso costo, che basano la capacità di ritenzione nel peso stesso del corpo morto. Alla stessa categoria di sistemi a bassa compatibilità si associano altri corpi morti non consoni, quali bidoni riempiti di cemento o l'affondamento volontario di altri manufatti (ad esempio ancore) allo scopo di assicurarvi gavitelli di ormeggio.

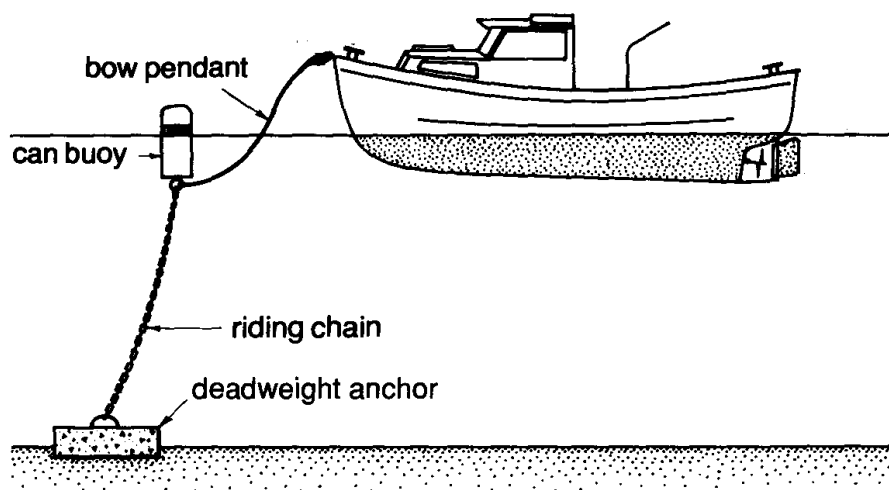


Figura 4: Schema di ancoraggio alla boa con corpo morto

- Ancoraggio a vite: si addice a quei fondali sabbiosi, con fanerogame, che si avvale di eliche avvitate al fondale, come riportate nelle figure seguenti. Questo tipo di ancoraggio è disponibili in una grande varietà di dimensioni. Il potere di ancoraggio a vite è determinato dal numero e dal diametro delle eliche saldate all'albero e, naturalmente, dalla competenza del fondo marino. Sono zincate a caldo per minimizzare la corrosione in ambiente marino. Questi grandi ancoraggi a vite sono

² Direttiva Habitat All. 1-5 del 2000-codici natura 2000 descritti dalla European Commission nel 1992 e successive modifiche; Convenzione di Barcellona sulle aree protette e biodiversità nel Mediterraneo, Habitat prioritari di Barcellona allegato 1 direttiva 92/43/CEE; 2006/105/CE-allegato 1

³ The Complete Book of Anchor and Mooring 2nd Edition – R. Hinz

installati con un motore idraulico alimentato da una pompa idraulica su chiatta. Un operatore subacqueo posiziona la vite sulla posizione desiderata e poi il motore idraulico viene attivato, letteralmente avvitando l'ancoraggio nel fondo marino come una vite autofilettante. Durante l'installazione, gli ancoraggi non "scavano buchi" ma invece si avvitano nel suolo a una velocità di 1.5-2 mt al minuto. L'utilizzo di ancore a vite invece di zavorre di cemento o ancoraggi a fungo potrebbe essere più conveniente e più veloce per la realizzazione di un nuovo campo di ormeggio.

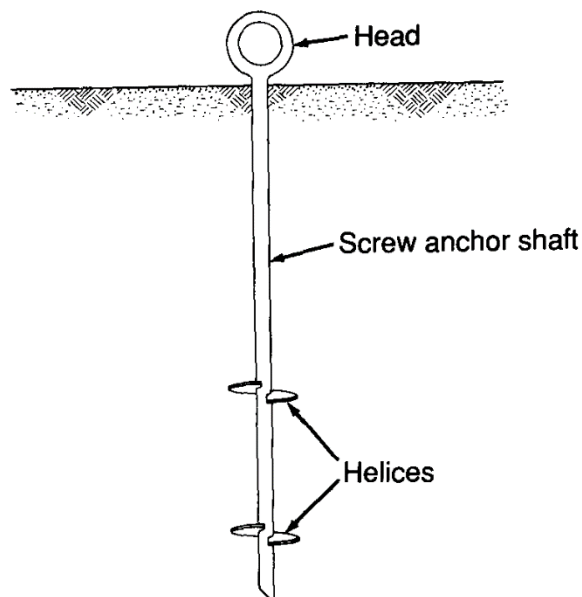


Figura 5: Sistema di ancoraggio Harmony

- Sistemi ad espansione: In America è molto usato il sistema Manta Ray, molto efficace su fondali sabbiosi e fangosi. Sono ancore che vengono spinte in profondità nel terreno tramite delle guide e dopo aver raggiunto la quota desiderata vengono espanse e messe in tiro. La procedura di installazione è relativamente veloce e richiede il supporto di sommozzatori, nonché l'utilizzo di sistemi di escavazione subacquei. Ai fini dell'installazione è opportuno realizzare studi conoscitivi delle caratteristiche meccaniche dei terreni in quanto la tenuta di questi sistemi è funzione delle proprietà meccaniche dei terreni.

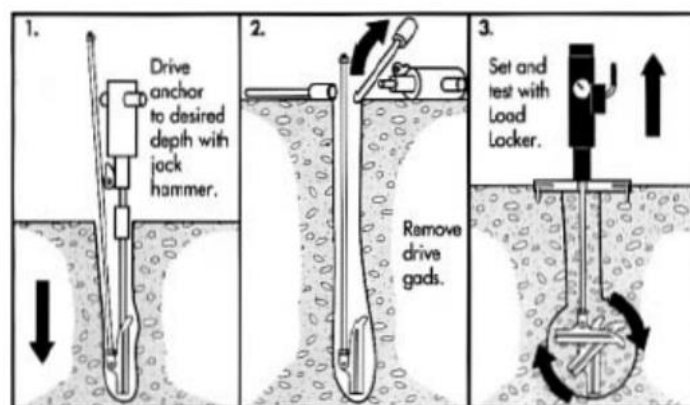


Figura 6: Funzionamento sistemi ad espansione

- Ancore a fungo: sono dei sistemi ad ombrello rovesciato, composti da una superficie concava rivolta verso il basso e da un'asta centrale. Un foro in quest'ultima permette di sparare nel terreno aria compressa per far strada all'ancoraggio. Una volta portata alla profondità desiderata, il lavoro dell'ancoraggio sarà dato dal cono di terreno sovrastante l'ancora stessa.

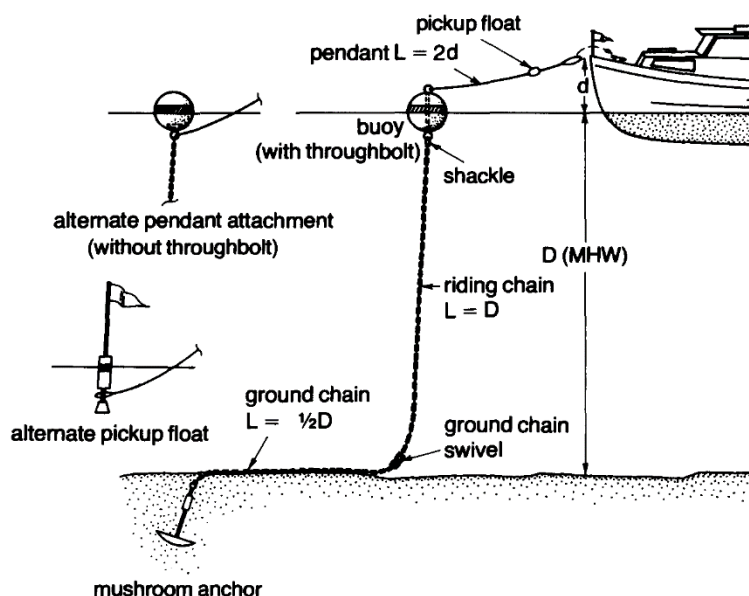


Figura 7: Schema mushroom anchor

- Perni in acciaio: Nel caso di fondali rocciosi, si può anche optare, con opportune tecniche, per l'aggancio delle catenarie direttamente ai massi rocciosi preesistenti adagiati sul fondale. Sui fondali duri invece, si può ricorrere a perni di acciaio inseriti nella roccia e cementati al substrato, che garantiscono buona tenuta per i natanti da diporto.

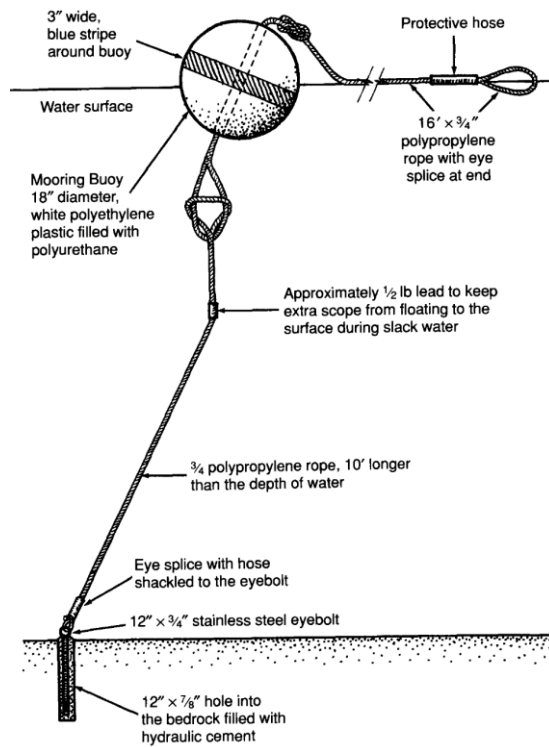


Figura 8: Ancoraggio con perno

- Ancoraggio con pali: Questo sistema utilizza un paio di pali che sono distanziati abbastanza lontano per posizionare una barca in mezzo ad essi ed ormeggiarla sia a poppa che a prua. Di solito i pali sono allineati alla corrente se disposti in un fiume o alla direzione del vento prevalente nei laghi o in mare.

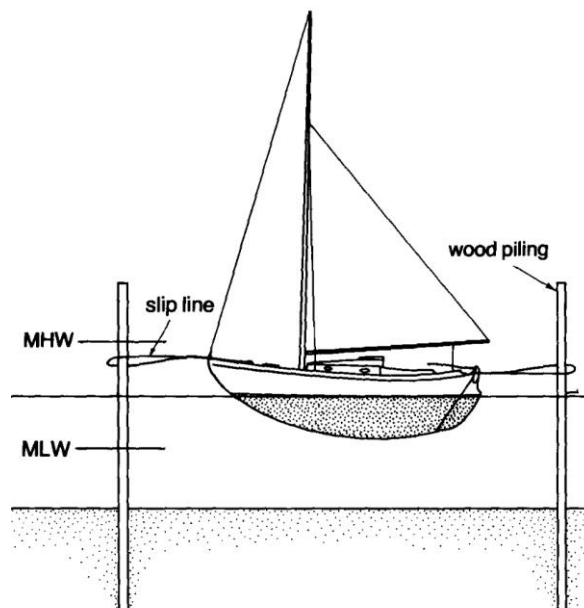


Figura 9: Ancoraggio su pali

4 Criteri per la localizzazione di un campo di ormeggio

4.1 Premessa

La localizzazione di un campo di ormeggio alla boa deve tenere conto di diversi aspetti, sia ambientali che socio-economici. Infatti affinché una struttura di questo tipo risulti attrattiva, ovvero richiami l'attenzione degli utenti, e abbia un margine di operabilità accettabile, devono essere presi in considerazione:

- Aspetti meteomarini
 - Posto riparato dai venti
 - Bassa esposizione alle mareggiate
- Aspetti Ambientali
 - Ecosostenibilità
 - Basso impatto ambientale
 - Inserimento paesaggistico
- Aspetti socio-economici
 - Attrattività culturali
 - Attrattività paesaggistiche
 - Attrattività economiche
 - Sinergia con il territorio

4.2 Studio meteomarino

Per prima cosa si deve fare una valutazione del clima locale e quindi è necessario uno studio meteomarino. Infatti nella progettazione di qualsiasi opera marittima, sia essa off-shore o near shore, non si può prescindere da questo ed anche la progettazione di un campo boe richiede necessariamente un'analisi del moto ondoso.

Le caratteristiche principali di un'onda sono:

- $H = \text{Altezza d'onda}$: differenza di quota tra cresta e cavo
- $T = \text{Periodo d'onda}$: intervallo di tempo che intercorre fra il passaggio di due creste (o due cavi) successive per uno stesso punto fisso nello spazio
- $\lambda \text{ o } L = \text{Lunghezza d'onda}$: distanza tra due creste (o cavi) successive

Da queste derivano tutti gli altri parametri dell'onda:

- $a = \frac{H}{2} = \text{Ampiezza d'onda}$
- $\omega = \frac{2\pi}{T} = \text{Frequenza d'onda}$
- $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \text{Numero d'onda}$
- $\alpha \approx \tan \alpha = \frac{\pi H}{\lambda} = \frac{2\pi a}{\lambda} = \text{pendenza dell'onda}$

$$- \quad s = \frac{H}{\lambda} = \text{Ripidità dell'onda}$$

4.2.1 Settore di traversia

Il settore di traversia è un aspetto fondamentale per valutare l'esposizione di un determinato luogo costiero al moto ondoso e per valutarne le caratteristiche meteorologiche necessarie per una corretta analisi meteomarina.

Si definisce settore di traversia l'angolo che individua tutte le direzioni delle onde, generate dal vento, che arrivano sulla costa; esso è individuato da due semirette protese verso le sporgenze della costa che rappresentano un ostacolo alla propagazione del moto ondoso.

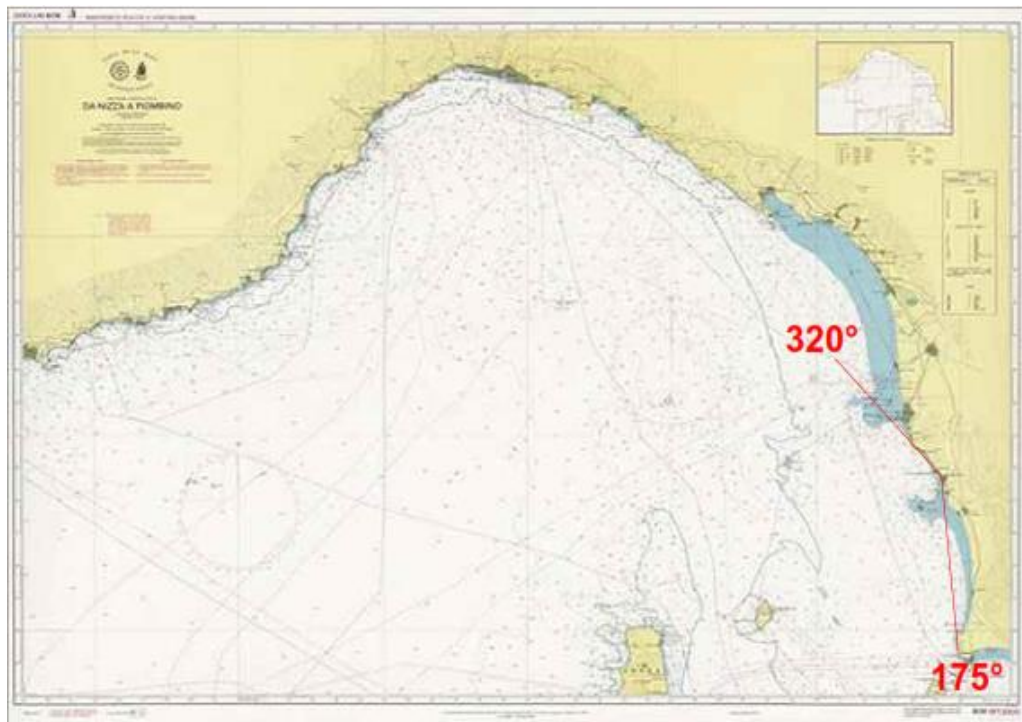


Figura 10: Esempio di individuazione del settore di traversia per Rosignano Solvay

4.2.2 Fetch

Il Fetch geografico rappresenta la distanza tra la località di riferimento sulla costa e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione, mentre il Fetch effettivo rappresenta l'estensione effettiva della porzione di mare sulla quale si esplica "effettivamente" l'azione di trasferimento energetico dal vento al moto ondoso e può essere calcolato a partire da quello geografico⁴.

Come sappiamo però il moto ondoso del mare è molto irregolare, a causa della sovrapposizione delle creste e dei cavi di onde che si propagano nelle diverse

⁴ Shore Protection Manual – Coastal Engineering Research Center (US Army Corps of Engineer)

direzioni. Il problema della formulazione di un modello del mare confuso fu risolto negli anni cinquanta con l'applicazione dei metodi statistici adatti per lo studio dei processi casuali o stocastici, allora già largamente usati nella scienza delle telecomunicazioni. In questo modo è stato possibile quantificare le caratteristiche delle onde in qualsiasi condizione di mare con l'introduzione del concetto di spettro di energia.

4.2.3 Fonti di dati

Quanto detto al capitolo precedente necessita però di una serie temporale di registrazioni dei dati di mare, o dei dati di vento a cui ci si può ricondurre al moto ondoso.

Le fonti di dati per le principali caratteristiche del mare possono derivare da:

I. Osservazione diretta

La tradizione navale consolidata ha operato ragionando sull'aspetto visivo dello stato del mare per ricavare un'indicazione sulla velocità del vento. Questo modo di operare condusse alla formulazione della famosa scala Beaufort, cioè di una scala numerica associata allo stato del vento in superficie con lo scopo di ottenere una stima approssimata della severità del mare in tempesta.

Nel 1970 la World Meteorological Organization (WMO) propose il Codice dello Stato del Mare (Standard Sea Code), dove ad ogni stato del mare corrisponde un prefissato intervallo di altezze significative.

Non essendoci in questa scala alcuna indicazione sul periodo delle onde, ne segue che ogni valutazione dello stato del mare non può essere considerata come metodo di analisi progettuale. Tuttavia, siccome i bollettini ufficiali meteorologici fanno riferimento a queste definizioni, risulta utile soprattutto per i diportisti e gli addetti al settore nautico.

Stato del Mare (cifra)	Altezza Significativa (m)		Denominazione	
	Intervallo	Media		
0	0	0	Calmo (piatto, liscio, come uno specchio)	Calm (glassy)
1	0-0.10	0.05	Quasi calmo (con increspature)	Calm (rippled)
2	0.10-0.50	0.30	Poco mosso (con ondicelle)	Smooth (wavelets)
3	0.50-1.25	0.875	Mosso	Slight
4	1.25-2.50	1.875	Molto mosso	Moderate
5	2.5-4.0	3.25	Agitato	Rough
6	4.0-6.0	5.0	Molto agitato	Very Rough
7	6.0-9.0	7.5	Grosso	High
8	9.0-14.0	11.5	Molto grosso	Very High
9	> 14.0	> 14.0	Tempestoso	Phenomenal

Figura 11: Codice dello stato del mare secondo la World Meteorological Organization

II. Ricostruzioni

Sulla base di modelli previsionali meteorologici i dati, dopo essere validati con le effettive condizioni dello stato di mare registrato, vengono memorizzati su delle celle di una griglia spaziale in cui viene diviso lo specchio di mare.

Il più famoso atlante così ricostruito è il World Waves Atlas (WWA). Sopra ciascuna tabella di distribuzione viene riportata, in termini di percentuale delle osservazioni eseguite, la frequenza di occorrenza delle onde da ciascuna delle direzioni specificate.

Oltre alle statistiche sulle altezze e sui periodi, l'atlante fornisce dati sulla direzione delle onde, sulla velocità e direzione del vento in mare.

Nella colonna all'estrema destra è mostrata la frequenza di occorrenza di ogni intervallo di altezze significative per tutti i periodi di zero-crossing, mentre la frequenza di occorrenza di ogni intervallo di periodi di zero-crossing per tutte le altezze significative è riportata nella riga più alta.

HS s	0-0.25	0.25-0.5	0.50-0.7	0.75-1	1-1.25	1.25-1.50	1.50-1.75	1.75-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-5	Tot
0°N	2	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	11
15°N	3	5	5	4	2	1	1	1	1	1	0	0	0	24
30°N	3	4	4	3	2	1	2	1	2	0	0	0	0	22
45°N	2	4	4	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	17
60°N	2	3	2	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	12
75°N	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8
90°N	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
105°N	3	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	9
120°N	6	2	3	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	16
135°N	9	8	5	4	4	2	2	1	1	1	0	0	0	37
150°N	17	15	10	11	9	6	4	3	4	2	1	1	1	84
165°N	31	37	28	19	15	9	7	5	4	2	1	1	0	159
180°N	32	28	19	11	8	6	4	3	3	1	0	0	0	115
195°N	21	19	18	12	8	5	3	2	2	1	0	0	0	91
210°N	19	17	11	7	5	3	2	1	2	1	0	0	0	68
225°N	24	20	17	10	6	4	3	1	1	0	0	0	0	86
240°N	15	12	9	6	4	2	2	1	1	0	0	0	0	52
255°N	10	5	5	3	2	2	1	1	1	1	1	0	0	32
270°N	8	3	3	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	23
285°N	8	4	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	19
300°N	8	5	4	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	22
315°N	8	6	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	25
330°N	8	8	6	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	27
345°N	6	8	6	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	26
Totale	248	222	174	113	82	52	37	23	23	11	3	2	1	991

Figura 12: Esempio di dati organizzati in matrici altezze e direzione d'onda (WWA)

III. Osservazioni strumentali

Sia le stime visuali che le ricostruzioni statistiche delle onde irregolari sono soggette ad incertezze. Ne segue che solo le misure dirette degli spettri possono fornire le informazioni più attendibili in assoluto. Tuttavia, misurare le onde per periodi prolungati (tipicamente per anni) è un'operazione estremamente costosa e complicata, anche se sono noti alcuni esempi di campagne per la raccolta sistematica di dati.

4.2.4 Le fonti di dati in Italia

In Italia c'è la Rete Ondametrica Nazionale (RON), il sistema di rilevamento del moto ondoso dell'ISPRA, costituito da una rete di 15 stazioni di misura in punti fissi lungo le coste nazionali per la raccolta di dati che, opportunamente elaborati, caratterizzano lo stato del mare.

I parametri descrittivi derivano dall'osservazione in continuo della variazione della superficie del mare attraverso boe ondametriche direzionali e sono stati elaborati ad intervalli di tempo regolari. Da alcuni anni la RON non è più attiva.

Le boe ondametriche del RON di riferimento per l'alto Tirreno sono due:

- La Spezia
- Civitavecchia

Oltre a questo c'è la Rete -mareografica nazionale (RMN) che conta 36 stazioni di rilevamento in tutta Italia, e fornisca dati per quanti riguarda il livello idrometrico, la temperatura di aria e acqua, pressione e umidità dell'aria, velocità e direzione del vento.

Per quanto riguarda l'alto Tirreno è possibile riferirsi alle stazioni di:

- Genova
- Imperia
- La Spezia
- Livorno
- Marina di Campo
- Civitavecchia

In Toscana è attualmente necessario riferirsi alla Rete Ondametrica Regionale, composta da quattro boe distribuite lungo la costa della regione, attive dal 2008-2009 i cui dati sono reperibili sul sito del Centro Funzionale della Regione Toscana⁵.

Nome	Comune		Misura	Periodo di osservazione	X_LAT	Y_LON
Boa Giannutri	Grosseto	GR	H, Tp, Dir	Da ottobre 2013	42.235278	11.04583
Boa Gorgona	Livorno	LI	H, Tp, Dir	Da ottobre 2008	43.57	9.957
Castiglione della Pescaia	Castiglione della Pescaia	GR	Dir	Da dicembre 2013	42.729872	10.94788
Gombo	Pisa	PI	H, Tz, Dir	Da luglio 2011	43.727863	10.25425

Tabella 1: Rete Ondametrica Regionale toscana

⁵ <http://www.cfr.toscana.it> nella sezione Mareografia

Per quanto riguarda l'ondametro virtuale in Toscana si hanno due posizioni di riferimento, una per la parte nord (43° N, 10° E) una per la parte sud (42.5° N, 10.5° E).

4.2.5 Dati di vento

I dati di vento sono importanti sia perché le onde del mare che più interessano la trattazione pratica sono quelle generate dal vento, sia perché è un parametro fondamentale per descrivere le caratteristiche meteo di un luogo.

Nel caso in cui non si hanno dati sulle caratteristiche del moto ondoso, infatti, dobbiamo partire da dati di vento e ricondurci allo stato del mare equivalente.

Inoltre permettono la valutazione delle azioni agenti sulle imbarcazioni soprattutto quando queste sono ormeggiate in zone protette come baie o porti, nelle quali abbiamo un riparo nei confronti del moto ondoso, mentre il vento è comunque presente.

Per avere dei dati di vento corretti bisogna aggiustarli, ovvero se la misura del vento è effettuata ad una quota diversa da 10 m, detta quota di rilevazione standard, si riporta tutto all'altezza desiderata applicando la formula:

$$U(z) = 1 + \frac{C_{10}^{1/2}}{0.4} \cdot \ln\left(\frac{z}{10}\right)$$

Dove $U(z)$ è la velocità del vento alla quota z ed il coefficiente C_{10} è legato alla velocità, media dei dieci minuti, del vento rilevata alla quota di 10 m dalla relazione empirica, ricavata da rilievi sul Lago Lemano da Graf e Prost (1979):

$$C_{10} = [0.05 \cdot U(10) + 0.56] \times 10^{-3}$$

In ogni caso ci troviamo di fronte alla difficoltà di avere dei dati di vento affidabili: infatti i modelli sono spesso poco affidabili a causa delle particolari condizioni locali che spesso sono difficilmente prese in considerazione in suddetti modelli. Casi di questo tipo sono per esempio gli arcipelaghi e le isole, come ad esempio l'Isola d'Elba, dove il posizionamento particolare della stazione di riferimento può escludere dati di vento da direzioni più coperte e quindi rilasciare delle informazioni quantomeno incomplete, se non errate.

Per i dati di vento in Toscana si può far riferimento, oltre alla RMN, a:

- Consorzio LaAMMA, Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile: La sede principale del Consorzio si trova presso l'Area della Ricerca CNR di Sesto Fiorentino (Firenze). Due le tipologie di attività portate avanti dal Consorzio in stretta sinergia: lo svolgimento di servizi tecnici, da un lato, e le attività ricerca e innovazione, dall'altro, attività trasversale a tutti i settori e fanno del LaAMMA un centro di eccellenza. I principali settori in cui si è

specializzato il Consorzio LaMMA sono la meteorologia, la climatologia, i sistemi informativi geografici (GIS) e la geologia. Inoltre, il Consorzio ha acquisito una notevole esperienza nel campo della modellistica di dispersione degli inquinanti in atmosfera, negli studi anemologici a fini eolici, nella modellistica marina ed oceanografica, nel controllo degli inquinanti e dello stato di salute del mare, nel monitoraggio della vegetazione.

- Centro funzionale regionale: Il servizio svolto dalla rete dei Centri funzionali comprende anche la gestione la rete di rilevamento dati in tempo reale ed in tempo differito, afferente il proprio territorio. Per assolvere a quest'ultimo compito il Centro Funzionale della regione Toscana, ha provveduto ad integrare la rete di monitoraggio in diretta gestione del Settore "Servizio Idrologico Regionale", con le stazioni automatiche agro-meteorologiche ex-Arsia, attualmente in carico al Settore "Servizio fitosanitario regionale, Servizi agroambientali di vigilanza e controllo", per un totale di oltre 450 stazioni di monitoraggio meteo-idrologiche.
- Annuari Istat: ogni anno l'ISTAT archivia nelle sue pubblicazioni anche i dati riassuntivi metereologici tra cui anche quelli di vento, con valori medi e massimi giornalieri, oltre che direzione di provenienza.

4.2.6 Statistica mareggiate

Quando si progetta un'opera marittima si adotta un'analisi di tipo statistico dei dati di onda, in modo tale da ottenere un valore probabilistico di altezza d'onda tale da corrispondere ad una certa probabilità di non superamento, a cui si associa il concetto di tempo di ritorno. Questo tipo di analisi vengono eseguite riconducendosi a delle funzioni di ripartizione tramite una regressione dei dati. In questo modo si ottiene una associazione di una probabilità di non superamento ad ogni dato.

In seguito la probabilità viene legata al tempo di ritorno, ovvero il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

La relazione che lega probabilità che un dato evento x non superi l'evento estremo X in un lasso di tempo di N anni (ovvero $p_r[x < X]$) e tempo di ritorno (T_R) è:

$$p_r[x < X] = 1 - \left(\frac{1}{T_R}\right)^N$$

Il rischio associato è definito come $R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^N$

È possibile determinare la probabilità di non superamento di un determinato evento, anche in riferimento al solo periodo estivo, tramite alcune funzioni probabilistiche che permettono di determinare i valori estremi di una serie stocastica di dati x_i (nel caso specifico altezza d'onda H_{m0}).

Queste funzioni sono:

- Gumbel
- Weibull
- Log-normale
- Gaussiana

Il procedimento è il seguente:

1. Si riordina la serie di n_{tot} dati dal più piccolo al più grande
2. Per ogni dato si calcola la probabilità di non superamento come:

$$P = \frac{n_i}{n_{tot} + 1}$$

3. A questo punto si utilizzano le funzioni di ripartizione.
 - a. Weibull

$$Y = \ln(-\ln(1 - P))$$

$$X = \ln(x)$$

Attraverso la regressione lineare dei punti $(X_i; Y_i)$ si determinano i valori di a e b tali che $Y = aX + b$ sia la migliore approssimazione dei punti.

Infine determino la funzione di ripartizione di Weibull:

$$Pr[x < X] = 1 - e^{-\left(\frac{x}{B}\right)^a}$$

Con $B = e^{-\frac{b}{a}}$

- b. Gumbel

$$Y = \ln(-\ln(P))$$

$$X = x$$

Attraverso la regressione lineare dei punti $(X_i; Y_i)$ si determinano i valori di a e b tali che $Y = aX + b$ sia la migliore approssimazione dei punti.

Infine determino la funzione di ripartizione di Weibull:

$$Pr[x < X] = e^{-e^{-\left(\frac{x-A}{B}\right)}}$$

Con $A = b \cdot B$ e $B = -\frac{1}{a}$

c. Log-Normale

In questo caso semplicemente la funzione densità di probabilità vale:

$$Pr[x < X] = \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{x\sqrt{2\pi}\sigma}$$

Dove μ la media; σ la varianza.

Su Excel basta semplicemente inserire il comando:

DISTRIB.NORM(LN(x); μ^ ; σ^* ; VERO)*

d. Gaussiana

Anche in questo caso la funzione densità di probabilità vale:

$$Pr[x < X] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Dove μ è la media; σ la varianza.

Su Excel basta semplicemente inserire il comando:

DISTRIB.NORM(x; μ ; σ ; VERO)

Quanto detto vale per eventi estremi, ma nel caso di un campo boe, generalmente situato in assenza di strutture difensive portuali o addirittura esposto alle mareggiate, ha poco senso condurre questo tipo di analisi, in quanto:

- Ha carattere prevalentemente stagionale: mentre un porto è attivo tutto l'anno, è ragionevole pensare che un campo boe attiri diportisti solamente durante la bella stagione.
- La scarsa protezione lo rende poco fruibile già con onde piccole: a differenza dei porti il cui scopo è proprio quello di proteggere le imbarcazioni nei momenti di mare grosso, il campo boe è più esposto a fenomeni metereologici.
- Essendo di tipo stagionale ne possiamo individuare una funzione di confort, per cui già con onde basse l'utente può avere disturbi, ovvero veder diminuire il confort, e decidere di non ormeggiare o di disormeggiare.

Per questi motivi si può pensare che sia ragionevole fare una statistica solo sulle mareggiate estive, andando a definire quante ore/anno o giorni/anno sia

fruibile in confort e/o in sicurezza, predisponendo che al di fuori del periodo estivo il campo boe venga dismesso fino alla stagione successiva.

A tal proposito la curva cumulativa risulta utile per definire la percentuale di utilizzo del campo di ormeggio in base all'altezza d'onda (o alla velocità del vento) e può essere utilizzare per definire i parametri di comfort e sicurezza dell'ormeggio.

5 Propagazione del moto ondoso da largo a costa

5.1 Introduzione

I dati sullo stato del mare, e quindi le caratteristiche del moto ondoso quali altezza d'onda (H), periodo(T) e lunghezza d'onda(L), siano essi derivanti da osservazioni visive, ricostruzioni o misurazioni dirette, sono sempre da attribuire allo stato di mare aperto, cioè al largo.

Dalla teoria lineare per onde di piccola ampiezza si possono valutare i parametri descrittivi dell'onda in funzione del fondale:

- Acque profonde (Deepwater)
- Acque intermedie
- Acque poco profonde (Shallow water)

5.2 Acque profonde

In acque profonde possiamo approssimare $d \rightarrow \infty$ per cui si ottiene:

$$\omega^2 = gk = \frac{2\pi g}{L}$$

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \approx 0.80 \sqrt{L}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \approx 1.56 T^2$$

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \approx 1.25 \sqrt{L}$$

$$c_g = \frac{c}{2}$$

Nella pratica si ha quando $d > 0.5L$

5.3 Acque poco profonde

L'altro caso limite è che $d \ll L$ da cui segue che:

$$c = \sqrt{gd} \quad \text{e} \quad c_g = c$$

Nella pratica si ha quando $d < 0.05L$

5.4 Acque intermedie

Nel caso intermedio, ovvero quando $0.05L < d < 0.5L$, le formule non possono essere esplicitate e ci si attiene alla teoria generale. Nell'ambito della teoria lineare, l'ampiezza delle onde non può essere determinata

esplicitamente in funzione delle altre grandezze caratteristiche, quali ad esempio la lunghezza. In pratica, essa viene calcolata con varie formule empiriche. Spesso, per questo scopo, è usata la formula di Zimmermann:

$$a = 0.085L^{3/4}$$

5.5 Trasformazione dell'onda

La teoria permette una valutazione preliminare ed approssimata delle trasformazioni che l'onda subisce propagandosi da largo verso costa.

In generale, i fenomeni che modificano sostanzialmente le caratteristiche dell'onda sono di due tipi:

1. Fenomeno della Rifrazione
2. Effetto Shoaling
3. Diffrazione
4. Frangimento

5.5.1 Rifrazione

Per rifrazione delle onde marine si intende il cambiamento di direzione delle onde causato dalle variazioni della velocità. Da qualsiasi parte provenga il moto ondoso, in corrispondenza di bassi fondali, il fenomeno della rifrazione tende a disporre le creste delle onde parallelamente alla riva.

Un criterio semplificato per valutare l'effetto della rifrazione è il seguente.

Tramite considerazione geometriche (Legge di Snell) possiamo dire che:

$$\frac{c_0}{c_n} = \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_n}$$

E si definisce il Coefficiente di rifrazione K_R :

$$K_R = \sqrt{\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_n}}$$

Dato l'angolo di incidenza al largo α_0 , ossia l'angolo formato dal raggio d'onda con la normale alle isobate, e ipotizzando che il fronte d'onda ruoti fino a disporsi parallelamente a litorale, il quale è inclinato di un angolo α_n , si può determinare il coefficiente di rifrazione K_R .

5.5.2 Shoaling

Il fenomeno di Shoaling non è altro che la variazione dell'altezza d'onda dovuta all'interazione con il fondale, perché quando le onde si avvicinano alla linea di riva aumentano la loro altezza relativamente al diminuire della velocità.

Le ipotesi principali alla base di questo fenomeno sono che il periodo dell'onda rimane costante al variare della profondità del fondale e l'energia dell'onda rimane costante fino al suo frangimento.

Proprio a causa di ciò è possibile eguagliare l'energia di un fronte d'onda prima alla profondità d_0 e poi alla profondità d ed ottenere:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{l_0}{l}} \sqrt{\frac{1}{\tanh \left[kd \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \right]}}$$

In cui:

$$K_R = \sqrt{\frac{l_0}{l}} \text{ è il coefficiente di rifrazione}$$

mentre

$$K_S = \sqrt{\frac{1}{\tanh \left[kd \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \right]}} \text{ è chiamato coefficiente di profondità o coefficiente di shoaling.}$$

Da cui:

$$H = H_0 K_R K_S = H'_0 K_R$$

Dove H_0 è l'altezza d'onda a largo, e H'_0 è chiamata altezza d'onda a largo non rifratta e tiene conto solo del coefficiente di shoaling, separandolo da quello di rifrazione.

5.5.3 Diffrazione

A differenza di quanto accade nella rifrazione, in cui la deviazione dalla propagazione rettilinea avviene con l'intera conservazione dell'intensità, nella diffrazione la deviazione avviene proprio con una distribuzione radiale dell'intensità. Questo principio stabilisce che l'onda, nell'attraversare un foro, si disperde in tutte le direzioni; l'ampiezza dell'onda diffratta varia in proporzione inversa alla distanza r mentre la fase è ritardata dell'angolo $2\pi r/L$ essendo L la lunghezza d'onda.

Un modo semplice per fare una valutazione preliminare della diffrazione utilizza delle tavole, dette piani di diffrazione costruiti da Wiegel⁶, che in base all'angolo di incidenza del moto ondoso, del rapporto r/L dove r è la distanza radiale dal punto di diffrazione sul molo, e del angolo che r forma con il molo, restituisce dei valori de coefficiente di diffrazione K_D .

A questo punto si può valutare la rifrazione e calcolare $H'_0 = K_R K_D H_0$

Anche Goda ha proposto un metodo e degli abachi simili, ed il suo lavoro è stato ripreso da Kraus (1984) il quale ha fornito un'approssimazione per il calcolo di K_d abbastanza vicina al valore reale. Per Goda il coefficiente di diffrazione vale⁷:

$$(K_d)_{eff} = \left[\frac{1}{m_0} \int_0^\infty \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} S(f, \theta) K_d^2(f, \theta) d\theta df \right]^{1/2}$$

Questo metodo è basato sulla determinazione del parametro di frequenza, $(s_{max})_0$, che ha i seguenti valori tipici:

TYPE OF WAVE	$(S_{max})_0$
Wind Saves	10
Short Swell (large wave stipness)	25
Long Swell (small wave stipness)	75

Tabella 2: Valori raccomandati di $(S_{max})_0$

A partire da questo valore si determina s_{max} tramite la figura sottostante.

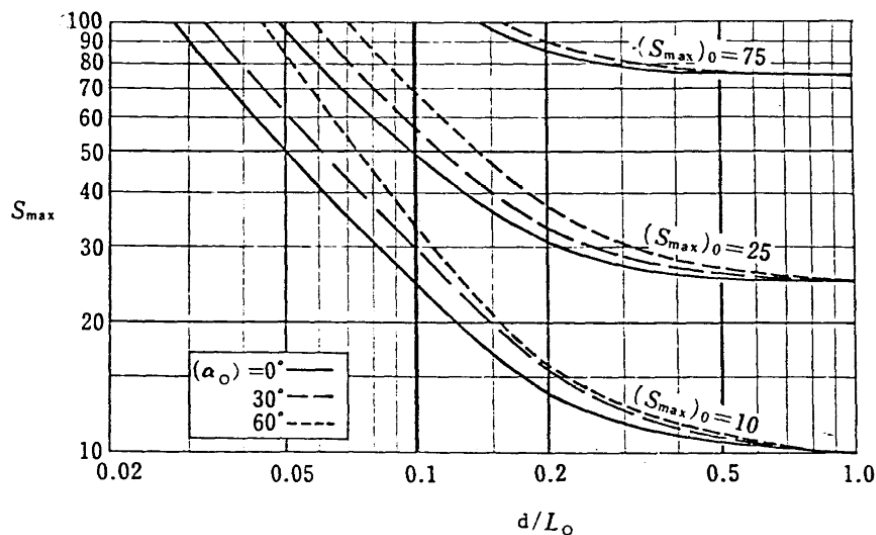


Figura 13: Cambiamento del parametro di concentrazione massima direzionale, S_{max} , dovuto alla rifrazione d'onda in acque poco profonde (Goda, 1985)

A questo punto è possibile determinare $K(\theta)$ come:

⁶ Shore Protection Manual – Coastal Engineering Research Center (US Army Corps of Engineers)

⁷ Random Seas and Design of Maritime Structures – Y. Goda

$$K(\theta) = \sqrt{0.5 \left[\tanh \frac{S_{max}\theta}{W} + 1 \right]}$$

Dove θ è in radianti, e $W = -0.000103S_{max}^2 + 0.270S_{max} + 5.31$

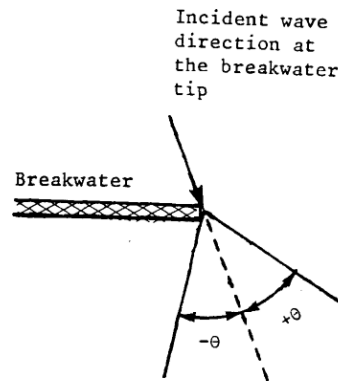


Figura 14: Definizione dello schema per l'utilizzo del metodo di diffrazione di Goda (1985)

Al giorno d'oggi questi procedimenti non vengono più effettuati, in quanto si dispone di software molto avanzati che permettono analisi più precise che si basano su modelli matematici più complessi.

Dunque in via preliminare si può fare una stima anche empirica di questi fenomeni, ma, al fine della progettazione esecutiva e dell'installazione, l'uso di tali modelli numerici è richiesto per meglio valutare le caratteristiche idrodinamiche con accuratezza.

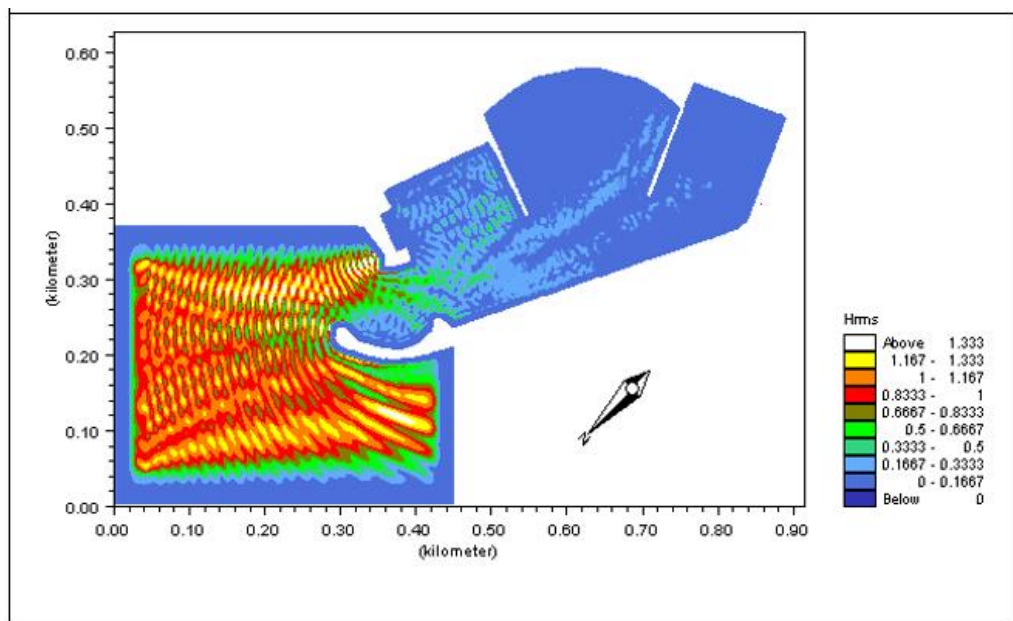


Figura 15: Esempio di modellazione numerica dell'agitazione interna di un porto

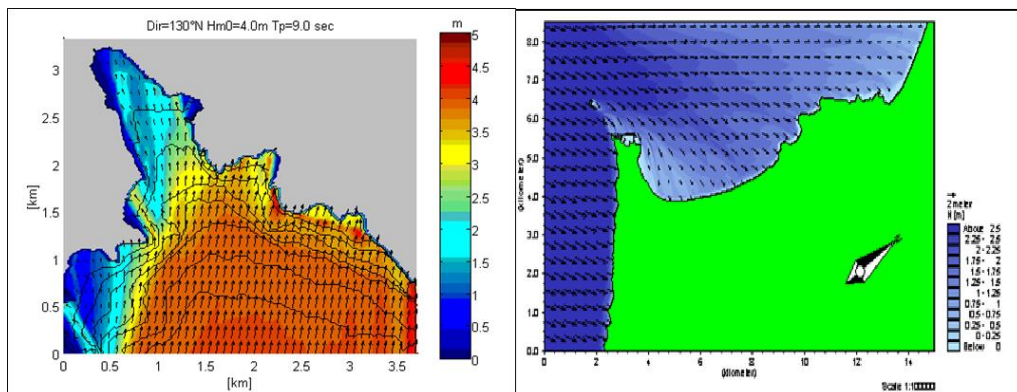


Figura 16: Esempio di modellazione numerica della trasformazione del moto ondoso da largo a costa

5.5.4 Frangimento delle onde

Il fenomeno del frangimento rappresenta il processo non-lineare più importante nelle acque basse, ed è anche il responsabile maggiore della dissipazione di energia del moto ondoso.

In acque poco profonde infatti, i processi di shoaling (che tendono ad aumentare l'altezza delle onde) e di breaking (diminuzione l'altezza dell'onda nella surf zone) creano spesso un punto in cui l'altezza significativa raggiunge un massimo valore.

L'altezza di un'onda che viaggia in acque profonde è limitata da una massima pendenza d'onda per cui la sua forma può rimanere stabile. Le onde che raggiungono la soglia limite si rompono e così facendo dissipano una parte della loro energia.

Il comportamento frangente dell'onda può essere diviso in:

- Spilling
- Surging
- Plunging
- Collapsing

Risulta interessante determinare a quale profondità frangono le onde per evitare frangimento sulle barche.

Per far ciò si definisce il parametro di frangimento:

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b}$$

Dove il pedice b sta per breaker.

Dunque, facendo riferimento all' $H_{1/250}$, ovvero l'altezza d'onda che viene superata solo 1 volta su 250, possiamo dire che:

$$d_b = H_{1/250} \times \gamma_b$$

Per la determinazione effettiva della profondità di frangimento, questa operazione risulta facilmente determinabile per onde regolari, mentre è più complicata per onde random a causa della loro eterogeneità.

Per onde regolari si fa riferimento al grafico di Goda:

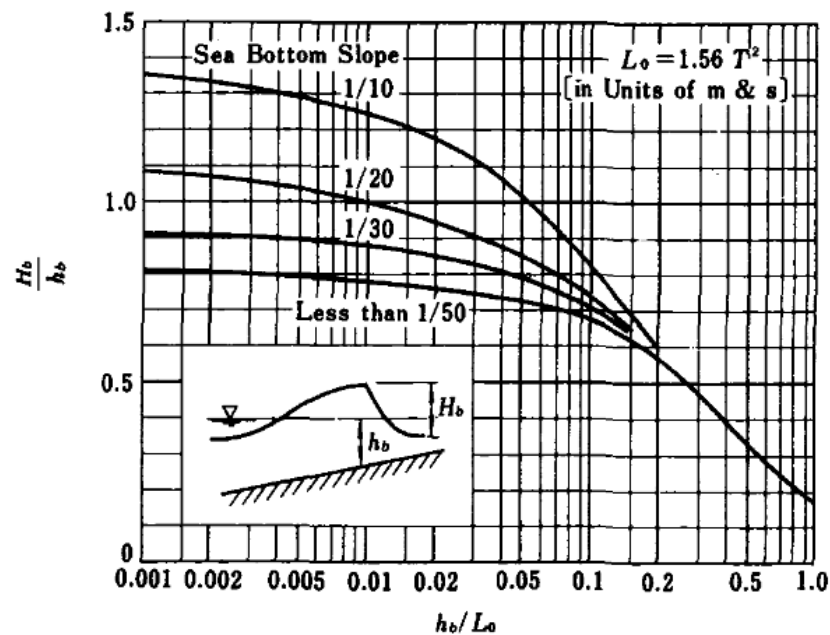


Figura 17: Limite di altezza al frangimento per onde regolari

Per onde random, non si identifica una linea di frangimento, bensì le onde si rompono in una zona più larga, detta surf zone.

A partire dall'onda al largo non rifratta H'_0 , in base alla profondità del fondale ed alla pendenza del tratto si determinano delle altezze massime, oltre le quali le onde frangono, in funzione del rapporto tra le altezze d'onda e la profondità relativa, come nel grafico seguente:

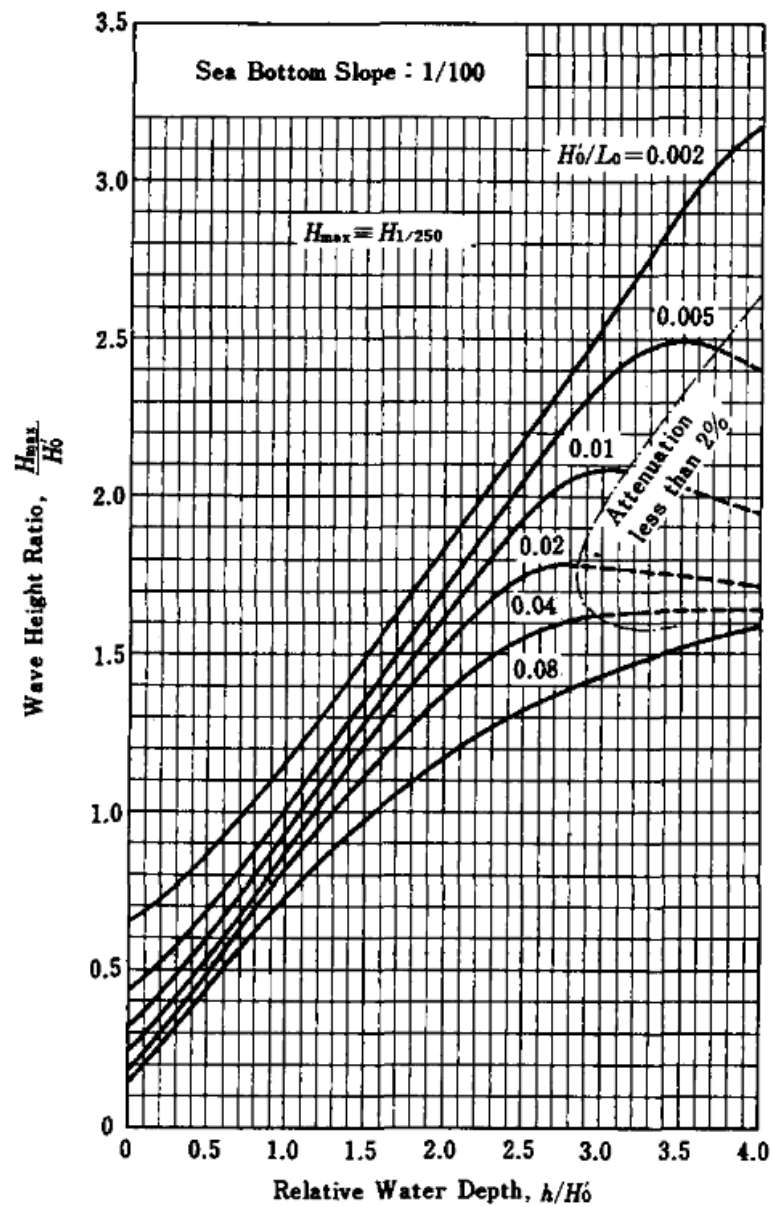


Figura 18: Valutazione dell'altezza massima al frangimento, Goda.

È importante perché nel progettare l'ormeggio, si deve tenere conto che il frangimento delle onde sulle barche crea un'azione di disturbo che deve essere evitata.

Per cui il frangimento viene valutato sull'onda massima, ovvero $H_{1/250}$, e non su quella significativa.

6 Indagini e rilievi sui fondali

Da quanto visto, i dati fondamentali per la progettazione sono le caratteristiche principali del moto ondoso, che possono essere riassunte come:

- Altezza significativa $H_{1/3}$ o H_0
- Periodo di picco T_p
- Lunghezza d'onda L

Ma oltre a queste, sono di particolare importanza anche i dati relativi al profilo batimetrico del fondale, in quanto i fenomeni di trasformazione delle onde, dipendono da:

- Profondità del fondale d
- Pendenza del fondale $m = \tan\theta$ dove θ è l'angolo tra il fondale e l'orizzontale

6.1 Rilievi Single Beam

Il rilievo batimetrico costiero per mezzo di ecoscandaglio single-beam viene condotto seguendo le linee di profilo tracciate secondo il progetto, poste in genere ortogonalmente alla costa, integrate da ulteriori rotte perpendicolari alle precedenti che servono per controllo.

Le indagini vengono generalmente effettuate a mare completamente calmo ed in assenza di vento. Le sezioni di scandagliamento sono percorse con una imbarcazione che si muove a velocità bassa e costante lungo le rotte prefissate.

Generalmente vengono utilizzati, per questo tipo di rilievi, piccoli natanti dal basso pescaggio in quanto devono avvicinarsi il più possibile alla riva.

Per il rilievo batimetrico viene utilizzato un sistema di acquisizione dei dati automatico-digitale, con posizionamento del natante in tempo reale tramite tecnologia GPS con correzione delle coordinate via radio modem.

Tale sistema permette di realizzare il rilievo delle linee senza alcun allineamento e di avere una correzione istantanea delle quote.

Il GPS di bordo trasmette in tempo reale, a frequenze molto elevate, le coordinate (Est, Nord e quota) al software di navigazione.

Nel caso di rilievi single beam vengono prese rilevazioni in sezioni distanti una distanza prefissata (in genere 100 metri) e le batimetrie vengono ricostruite per interpolazione.



Figura 19: Linee di progetto di un rilievo Single-Beam

6.2 Rilievi Multi Beam

La Tecnologia Multi Beam M.B.E.S. (Multi Beam Eco Sounding) è molto sofisticata e capace di fornire altissimi standard quantitativi e qualitativi delle informazioni prodotte.

Con questa strumentazione si passa da un'acquisizione per singoli punti (Single Beam) lungo la rotta di navigazione (ecoscandaglio tradizionale) ad un'acquisizione continua che utilizza un numero elevato di beam contemporaneamente, coprendo una fascia laterale di fondale pari a due-quattro volte la profondità indagata.

La risoluzione è elevatissima e permette di identificare strutture del fondale anche di ridotte dimensioni e seguirne la continuità. Anche in questo caso, la navigazione viene assistita da un GPS di precisione.

Inoltre, per garantire l'accuratezza potenziale dello strumento, sono necessari i sensori di moto per la compensazione del rollio e beccheggio. Opportune calibrazioni permettono inoltre la correzione dei dati acquisiti.

Questo tipo di acquisizione, oltre a consentire un notevole risparmio di tempo su grandi aree, permette di conoscere con maggior precisione la reale morfologia del fondale con le rispettive quote batimetriche, essendo ottenute, queste ultime, per misura diretta e non per interpolazione (come accade per i dati prodotti dal Single beam).

Solitamente i rilievi prevedono una copertura totale dell'area di indagine che viene effettuata scandagliando lungo transetti paralleli che prevedono una sovrapposizione dei dati delle differenti spazzate. Per particolari applicazioni il trasduttore Multi Beam può essere montato in modalità inclinata lateralmente, così da permettere oltre al rilievo del fondale quello, ad esempio, delle banchine portuali e della scarpata delle opere di difesa dal piede delle medesime fino a quasi la superficie dell'acqua.

Il rilievo a mezzo Multi Beam, comportando evidentemente costi maggiori, viene utilizzato dove si voglia ottenere un notevole dettaglio del fondale o dove la copertura completa del fondale sia necessaria per calcolare con maggior precisione le variazioni volumetriche del deposito sedimentario.

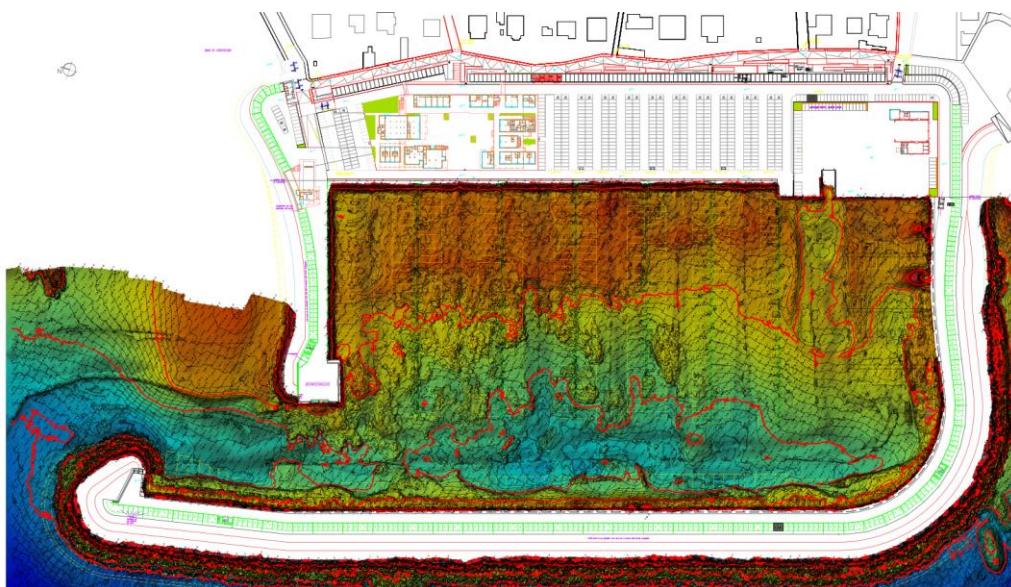


Figura 20: Profilo del fondale con tecnologia Multi Beam

6.3 Rilievo con Side Scan Sonar

È a tutti gli effetti un sonar, ma a differenza di questo, restituisce un'immagine tridimensionale del fondale, avendo la possibilità di emettere impulsi laterali.

Il Side Scan Sonar è formato da uno strumento simile a un piccolo siluro che procede in acqua, chiamato "pesce", da un cavo che trasporta i dati rilevati sull'imbarcazione, e da un'unità di controllo dati e registrazione, in genere un pc portatile.

L'unità subacquea viene trainata dall'imbarcazione lungo le rotte precedentemente decise, ogni anomalia dovuta alla velocità del mezzo viene in automatico corretta. Lo strumento non utilizza solo la riflessione delle onde acustiche ma la loro diffrazione, l'impulso sonoro viene mandato da due trasduttori presenti sul "pesce": se un'onda colpisce una superficie che ha un angolo rivolto verso l'onda stessa, quale per esempio una superficie sconnessa, il fronte d'onda si piega intorno alle sconessioni dando origine a un'onda diffratta. Ogni punto del fondo raggiunto da un'onda acustica, se presenta caratteristiche adatte, diventa sorgente di onde diffratte.

Il Side Scan Sonar viene utilizzato per svariate cose: individuazione di relitti, individuazione di eventuali pericoli per la navigazione, studio della batimetria e per la costruzione di cartografie dettagliate per il fatto che fornisce una mappa dettagliata della copertura vegetale del fondale.

Spesso i rilievi Side Scan Sonar vengono effettuati insieme a quelli Multi Beam ed i loro risultati sovrapposti, in modo da ottenere una perfetta ricostruzione del fondale nella sua completezza.

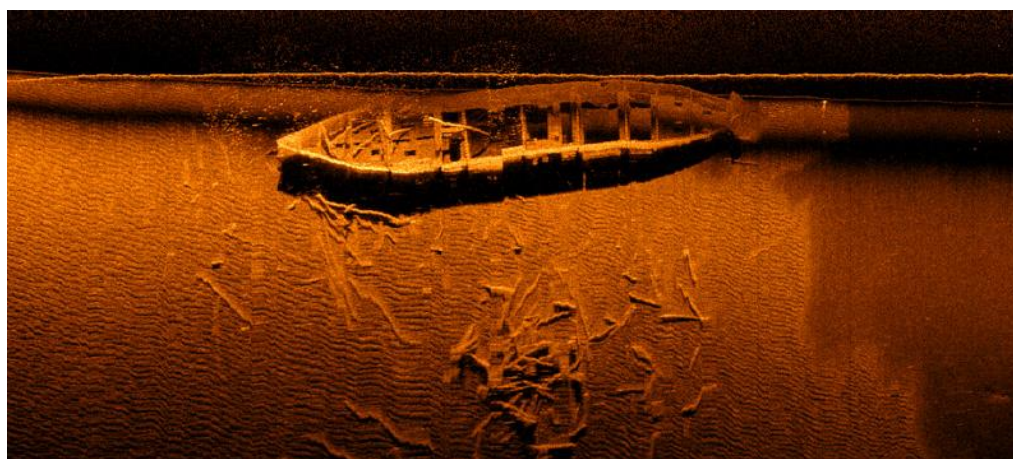


Figura 21: Restituzione di un relitto sul fondale, rilievo SSS.

6.4 Rilievo Sub Bottom Profile

Sub Bottom Profiler. Questo sistema permette di identificare la sequenza litostratigrafica presente sul fondale marino, ovvero la stratigrafia dei fondali di un'area da investigare.

Il principio è basato sulla diversa velocità di propagazione del suono all'interno dei sedimenti, maggiore è la velocità e più marcata risulterà la risposta acustica.

La penetrazione e la riflessione dipendono sia dalle proprietà fisiche del materiale attraversato, sia dalla potenza e dalla frequenza portante del segnale.

Gli impulsi riflessi sono ricevuti dallo stesso trasduttore acustico usato per la trasmissione ed il segnale elettrico risultante è registrato su carta da un

registratore grafico. Il sistema si avvale della tecnologia digitale per produrre immagini ad alta risoluzione.

Nell'area da indagare, vengono effettuati dei transetti distanti tra loro a seconda del grado di risoluzione e di precisione che si vuole ottenere dal rilievo.

Il sistema S.B.P. è sempre costituito da una unità hardware che rimane a bordo della imbarcazione che registra e processa le informazioni acquisite e da un trasduttore racchiuso in un involucro che viene immerso in mare fissato alla barca o portato a traino.

I dati acquisiti (profili sismici) vengono interpretati per ricostruire gli spessori sedimentari di medesime litologie di sedimenti. I risultati interpretativi vengono riportati su carte dove vengono evidenziate attraverso le mappature di "isopache" gli spessori dei sedimenti indagati.

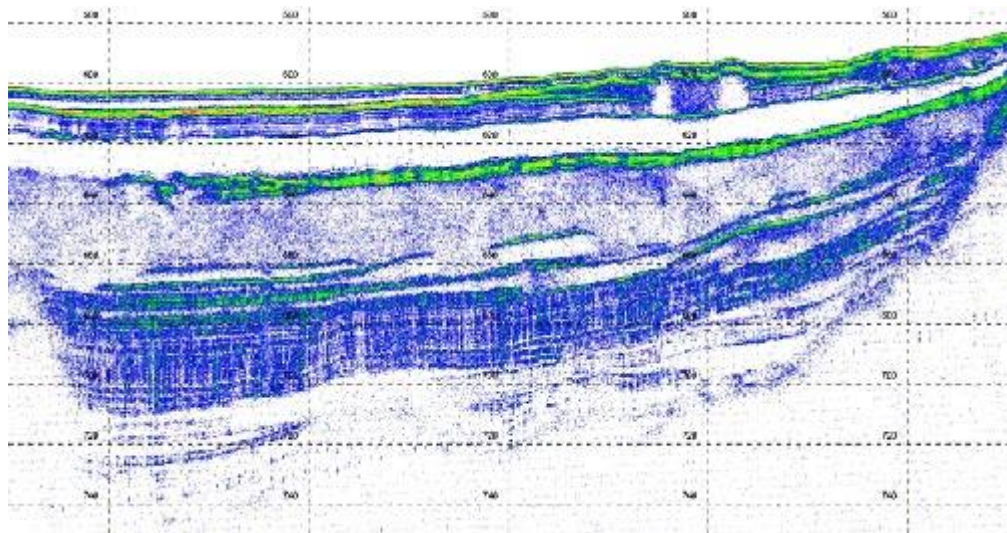


Figura 22: Acquisizione dati con Sub Bottom Profiler

7 Corpo morto

L'ancoraggio con corpo morto è forse il più semplice metodo di ancoraggio ed il meno costoso, a patto che il corpo morto non sia di dimensioni eccessive. Inoltre grazie alla tecnologia ed allo studio dei materiali sono state sviluppate soluzioni ecocompatibili che permettono lo sviluppo di biocenosi marino e il conseguente ripopolamento ittico.

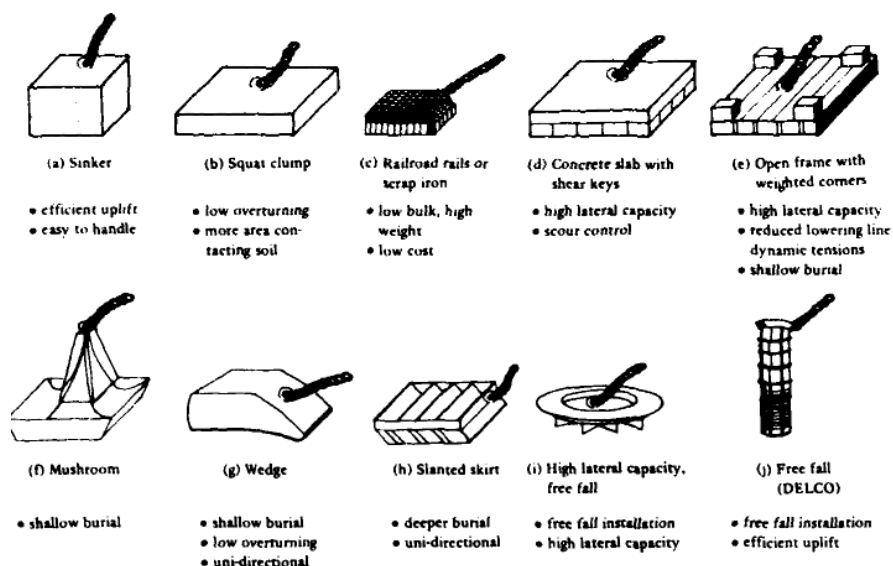


Figura 23: Tipologie di corpi morti

Il corpo morto funziona bene in tutti i tipi di fondali a patto che la pendenza sia moderata, cioè inferiore a 10°, come si può vedere dalla tabella⁸.

<u>Seafloor Material</u>	<u>Deadweight</u>	<u>Pile</u>	<u>Plate</u>	<u>Drag</u>
Soft clay, mud	++	+	++	++
Soft clay layer (0-20 ft) over hard layer	++	++	o	+
Stiff clay	++	++	++	++
Sand	++	++	++	++
Hard glacial till	++	++	++	+
Boulders	++	o	o	o
Soft rock or coral	++	++	++	+
Hard, massive rock	++	+	+	o
<u>Seafloor Topography</u>				
Slope < 10 deg	++	++	++	++
Slope > 10 deg	o	++	++	o
<u>Loading Direction</u>				
Omnidirectional	++	++	++	o
Unidirectional	++	++	++	++
Large uplift	++	++	++	o
<u>Lateral Load Range</u>				
To 100,000 lb	++	+	++	++
100,000 to 1,000,000 lb	+	++	+	++
Over 1,000,000 lb	o	++	o	o
++ Functions well + Functions, but not normally the best choice o Does not function well				

Figura 24: Criteri comportamentali per la valutazione e la selezione degli ancoraggi WEC

⁸ Advanced Anchoring and Mooring Study- Oregon Wave Energy Trust 2009

Per aumentare la resistenza a scorrimento laterale si possono inserire dei denti ("shear keys") che migliorano l'attrito con il terreno.

7.1 Dimensionamento corpo morto

Al fine del dimensionamento del corpo morto, devono essere valutate tutte le forze in gioco.

L'ancoraggio con corpo morto è un tipo di ancoraggio che funziona bene se sottoposto a sforzi orizzontali, lavorando per attrito. Dunque i fattori che contribuiscono ad una migliore resa di questo ancoraggio sono:

- Peso del corpo morto
- Angolo di attrito corpo morto/terreno

Le forze che agiscono sul corpo morto sono:

- Peso del corpo morto
- Forza esercitata dalla barca ancorata
- Forza esercitata dalla boa (trascurabile)
- Peso della catena

Per quanto riguarda la spinta esercitata dalla barca, questa è data da due contributi:

- Spinta del vento
- Spinta dell'onda

Per calcolare il peso minimo W del corpo morto necessario a resistere allo scivolamento laterale si può utilizzare il procedimento di Taylor⁹.

7.1.1 Terreni non coesivi

Nel caso di terreni non coesivi si ha (trascurando a favore di sicurezza il coefficiente laterale si spinta passiva):

$$W = \frac{F_h}{\tan(\varphi - 5^\circ)} + F_v$$

Dove:

- F_h forza orizzontale esercitata sul corpo morto
- F_v forza verticale esercitata sul corpo morto
- φ angolo di attrito del terreno, ricavabile dalla tabella sottostante

⁹ Interaction of anchors with soil and anchor design – Taylor 1982

Soil	Internal Friction Coefficient	Surface Friction Coefficient for --				
		Smooth Steel	Rough Steel	Smooth Concrete	Rough Concrete	Smooth PVC
Quartz Sand	0.67	0.27	0.60	0.60	0.69	0.33
Coralline Sand	0.67	0.20	0.63	0.63	0.66	0.20
Oolitic Sand	0.79	0.23	0.56	0.58	0.74	0.26
Foram Sand-Silt	0.64	0.40	0.66	0.67	--	0.40

Figura 25: Coefficiente di attrito superficiale per terreni non coesivi con particolari materiali da costruzione

Si può definire la larghezza minima del corpo morto:

- $B = \left[\frac{6WF_h}{\gamma_s(W-F_v-0.3F_h)} \right]^{1/3}$ se il corpo morto ha i denti antiscivolamento
- $B = \left[\frac{6WF_h}{\gamma_s(W-F_v)} \right]^{1/3}$ se il corpo morto non ha i denti antiscivolamento

Dove γ_s è il peso immerso del corpo morto.

7.1.2 Terreni coesivi

Nel caso di un terreno coesivo invece, si deve conoscere più parametri del terreno, tra cui la resistenza a taglio non drenata c_u .

Sempre secondo Taylor:

La larghezza minima del corpo morto vale:

- $B = \left(\frac{F_h}{c_{u0}} \right)^{\frac{1}{2}}$ se il corpo morto non ha i denti antiscivolamento
- $R_1 = B^2(c_{uz} + 0.2c_{us})$ se il corpo morto ha i denti antiscivolamento

Dove R_1 è la capacità laterale, c_{uz} è la resistenza a taglio non drenata del terreno alla profondità z (fino a dove è "sprofondato" il corpo morto) e c_{us} la resistenza a taglio non drenata media del terreno.

Affinché il corpo morto non si ribalti dovrà essere:

$$W \geq 1.2F_h + F_v$$

Per impedire lo slittamento deve essere:

- $W \geq 2nq_e$ in presenza di denti
- $W \geq 2q_e$ in assenza di denti

Dove $q_e = 9c_{uz}tB + \frac{B^2c_{us}}{5S_L} - w_k$, c_{uz} è la resistenza a taglio non drenata del terreno alla profondità z (fino a dove è “sprofondato” il corpo morto) e c_{us} la resistenza a taglio non drenata media del terreno, S_L è la sensibilità del terreno definita come il rapporto tra la forza del terreno nello stato indisturbato a quello del terreno nello stato modificato, B è la larghezza del corpo morto, $w_k = 0.1\gamma_k B^2 t$ è il peso per i denti di scorrimento, $t = \frac{B}{22.4} \left(\frac{40c_{us} + \gamma_k B}{f_b} \right)^{1/2}$ il loro spessore, f_b tensione ammissibile dell'acciaio.

Dunque:

$$W \geq \max\{1.2F_h + F_v; 2q_e\}$$

7.2 Calcestruzzo per corpi morti

Il calcestruzzo può subire processi di degrado che possono essere distinti in:

- fisici (causati da variazioni termiche naturali, come il gelo-disgelo, o artificiali, come quelle prodotte da incendi),
- meccanici (abrasione, erosione, urto, esplosione),
- chimici (attacco acido, solfatico, da solfuri, da acque pure, da acqua di mare, reazioni alcali-aggregati),
- biologici (azione del fouling)
- strutturali (sovraccarichi, assestamenti, sollecitazioni ripetute ciclicamente).

Questa distinzione è puramente indicativa perché in pratica alcuni dei processi si sovrappongono, dando luogo frequentemente ad azioni sinergiche.

Inoltre se il calcestruzzo è rinforzato con armature di acciaio destinate a sostenere gli sforzi di trazione, si può presentare un altro tipo di attacco: la corrosione delle armature, che è spesso il più importante.

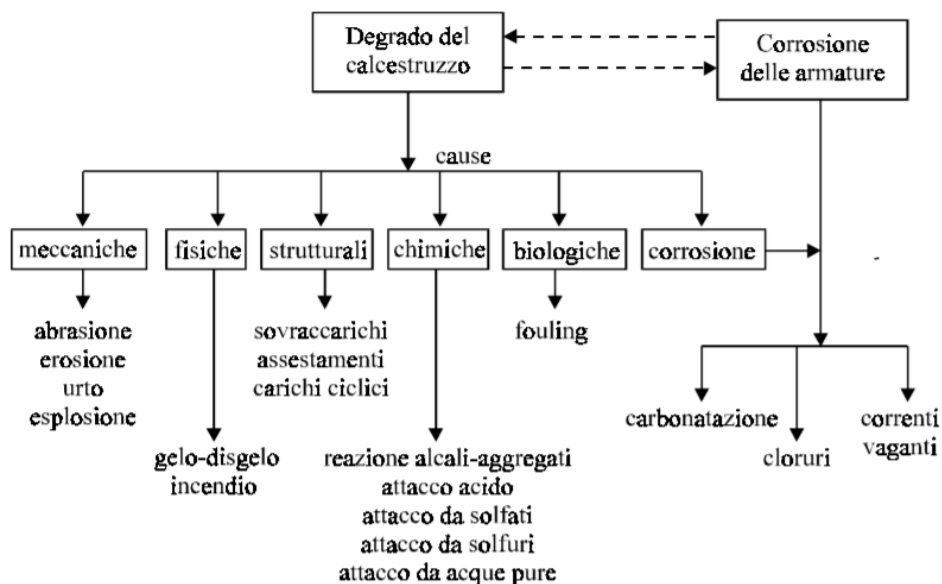


Figura 26: Classificazione delle cause di degrado in servizio delle opere in calcestruzzo armato

Il corpo morto è un elemento in cemento armato che rimane perennemente sommerso.

Per questo tipo di elementi si deve considerare il problema dovuto alla corrosione per contatto con acqua marina.

In base ad ogni classe di esposizione, le norme UNI 11104:2004 e UNI EN 206-1:2006 definiscono i parametri da rispettare.

Classe esposizione norma UNI 9858	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206 -1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare						
4 a 5 b	XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.	0,50	C 32/40	
	XS2	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immersi in acqua.	0,45	C 35/45	
	XS3	Zone esposte agli spruzzi o alle marea.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.	0,45	C 35/45	

Figura 27:Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale, in funzione delle condizioni ambientali¹⁰

Nel caso specifico di un'opera sommersa come il corpo morto la classe di esposizione di riferimento è la XS2, che si riferisce a calcestruzzi armati totalmente immersi in acqua marina per i quali l'attacco non giunge tanto dal cloruro, quanto dall'azione abrasiva delle correnti marine subacquee più o meno profonde.

Dunque i parametri per il calcestruzzo da rispettare sono:

- Massimo rapporto acqua/cemento: $\frac{a}{c} \leq 0.45$;

¹⁰ UNI 11104:2004 e UNI EN 206-1:2006

- Classe di resistenza minima C35/45;
- Contenuto minimo di cemento¹¹: $360 \frac{kg}{m^3}$;
- Copriferro minimo¹²: per una vita utile di 50 anni e struttura in C.A. il valore minimo è 40mm, per una vita utile di 100 anni è 50mm.

Inoltre per le classi di esposizione XS1, XS2 e XS3 è richiesto l'impiego di cementi resistenti all'acqua di mare¹³ secondo norma UNI 9156.

7.3 Corpi morti ecocompatibili

Oltre ai parametri da rispettare forniti dalle norme UNI 11104 e UNI 206-1, un altro aspetto da tenere in considerazione è l'ecocompatibilità.

Infatti nell'ottica di uno sviluppo sostenibile che rispetti le politiche finalizzate alla salvaguardia dell'ambiente, in un'epoca in cui l'antropizzazione ha raggiunto livelli di allarme, si deve valutare e favorire le soluzioni che hanno il minor impatto ambientale.

In campo marino questo passa inevitabilmente dallo sviluppo di nuove tecnologie, che attraverso materiali naturali ecocompatibili e particolari disposizioni possano favorire lo sviluppo di biocenosi marina e il conseguente ripopolamento ittico dei mari: ovvero di corpi morti Sea Friendly.

Un parametro fondamentale è sicuramente quello di assicurare un PH del calcestruzzo che sia uguale a quello dell'ambiente marino in cui viene immerso, per facilitare l'attecchimento degli organismi marini e il ripopolamento ittico.

Inoltre particolari disposizioni possono favorire l'insediamento dei pesci, specialmente se possono trovarvi zone di riparo.

Spesso vengono realizzati corpi morti dalle forme particolari o con fori per i pesci tali da permetterne il passaggio e lo stanziamento.

Alcuni esempi sono:

- Corpi Morti con fori

A discrezione si possono creare all'interno del corpo morto più o meno fori per favorire il ripopolamento ittico, considerando però che così facendo si va a diminuire il peso stesso dell'elemento.

¹¹ Il Nuovo Calcestruzzo – M. Collepari, Edizioni Tintoretto

¹² Eurocodici EC2-2005

¹³ UNI EN 206-1:2006



Figura 28: Corpi morti Sea Friendly installati in provincia di Grosseto

- Reef Ball

I reef ball sono delle strutture rifugio che favoriscono il ripopolamento ittico e la protezione dei litorali grazie ai fori laterali e a una cavità centrale che determinano anche l'insorgere di getti, vortici e turbolenze. Sono usati soprattutto per la protezione dei litorali, e sono poco indicati per i corpi morti in quanto le aperture sono tante e diminuiscono notevolmente il peso dell'oggetto.

Il basso impatto paesaggistico, proprio di interventi caratterizzati da un livello di cresta posto al di sotto di quello medio mare, e reso ancor minore tramite l'impiego di elementi Reef Ball che si inseriscono nel paesaggio marino favorendo l'insediamento di comunità fouling e non-fouling.



Figura 29: Barriera sommersa composta da Reef Ball.

Queste tecnologie sono utilizzate soprattutto per la protezione dai fenomeni di erosione mentre sono poco indicati per l'utilizzo di ancoraggio. Tuttavia sono ottimi spunti soprattutto per la tecnologia del materiale che viene utilizzato e che può essere spunto per la realizzazione di corpi morti con le medesime caratteristiche.

8 Valutazione dei carichi

A questo punto si devono calcolare le forze agenti che si trasmettono al corpo morto.

Queste forze sono dovute al vento, alle correnti ed al moto ondoso¹⁴ e sulle imbarcazioni ormeggiate.

8.1 Spinta Aerodinamica

La pressione cinetica del vento può essere espressa tramite l'espressione:

$$p = \frac{1}{2} \rho_a v_{10}^2$$

dove

ρ_a è la densità dell'aria, pari a 1.225 kg/m³

v_{10} è la velocità del vento, in m/s, misurata a 10 m di altezza.

Nel caso in cui serve un valore di velocità del vento a quota diversa si utilizza l'espressione:

$$v_z = v_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{0.11}$$

Per tenere conto delle raffiche di ventola velocità viene amplificata di un fattore 1.4.

La forza del vento è chiaramente funzione della pressione cinetica e dell'aria di esposizione.

Per quanto riguarda le imbarcazioni l'area di esposizione non è di facile individuazione perché il vento può arrivare da direzioni ogni volta diverse e quindi cambia.

Inoltre la forma della superficie barca non è perfettamente perpendicolare alla direzione del vento ma è affusolata e tende a stringere sia verso la prua che verso la chiglia.

$$F = p A C_d = \frac{1}{2} \rho_a A C_d v_{10}^2$$

Dove A è l'area della superficie della barca colpita dal vento, C_d è il coefficiente di Drag che dipende dalla forma della superficie e dall'angolo d'incidenza del vento e dal numero di Reynolds $Re = \left(\frac{vD}{\nu} \right)$.

In generale il coefficiente di drag viene determinato sperimentalmente tramite test nella galleria del vento, e numerosi autori lo hanno calcolato per le barche

¹⁴ Design of Marine Facilities for the berthing, mooring and repair of vessel - JOHN W. GAYTHWAITE, P.E. Consulting Engineer

più comuni (Benham et al. (1977), Gaythwaite (1990), Isherwood (1973), Naval Facilities Engineering Command (1968), Owens and Palo (1981), Palo (1983), Bruun (1989)).

Table II-7-6 Drag Coefficients for Wind Force			
Wind Direction	C_D		
	Max.	Min.	Mean
Crosswise	1.40	0.80	1.11
Bow	1.04	0.62	0.82
Stern	1.02	0.64	0.77

Figura 30: Coefficienti di drag per la forza del vento, Bruun 1989¹⁵

Nella progettazione di un campo boe risulta più interessante considerare le raffiche di vento piuttosto che la velocità media. Infatti la raffica è definita come aumento improvviso, violento e di breve durata, della velocità del vento (detto anche colpo di vento e folata), spesso accompagnato da un subitaneo cambiamento di direzione, provocato dalle turbolenze destinate nella corrente aerea dalle ineguaglianze del suolo o, meno spesso, da forti gradienti termici nella corrente stessa.

Per questo motivo la folata può avere intensità molto maggiore rispetto alla velocità media del vento, per cui ogni colpo di raffica può provocare uno spostamento anche se l'intensità media del vento no, e dunque ad ogni raffica si ha uno spostamento del corpo morto che va evitato.

Poiché le raffiche sono misurate differentemente dai servizi meteorologici, è necessario sapere che tipo di dato si ha a disposizione prima di procedere al dimensionamento: infatti alcuni rapporti di raffiche sono la media di 10 misure al secondo, altri di 2 misure al secondo, ed alcuni sono la velocità più elevata misurata in qualsiasi momento.

Per tener conto delle raffiche di vento nel caso in cui si ha un valore mediato in un intervallo di tempo, il coefficiente di drag è spesso aumentato di un fattore moltiplicativo 1.4.

¹⁵ Coastal Engineering Manual - USACE

8.2 Azione Idrodinamica

Le forze dovute alle correnti sono molto più difficili da calcolare con esattezza, e spesso sono accompagnate da test su modelli in scala.

I parametri di input necessari a calcolare le forze dovute alle correnti sono:

- Velocità media della corrente U_c
- Direzione della corrente θ
- Larghezza dell'imbarcazione B
- Pescaggio T
- Lunghezza al galleggiamento (LWL)
- Dislocamento D
- Rapporto d'area dell'elica

Ai fini del calcolo spesso è utilizzato il procedimento descritto da NAVFAC Design Manual DM26.5:

La forza totale dovuta alle correnti può essere vista come la somma dei contributi del trascinamento, della frizione e della propulsione (che nel caso di un campo di ormeggio può non essere considerata):

$$F_{c,tot} = F_{c,form} + F_{c,fric}$$

Tutte e tre le componenti hanno un'equazione simile:

- Forza di trascinamento

$$F_{c,form} = \frac{1}{2} \rho_w A C_{c,form} U_c^2 \cos \theta_c$$

Dove ρ_w è la densità dell'acqua marina, U_c la velocità della corrente e $C_{c,form} = 0.1$ il coefficiente di drag, $A = B \times T$ e θ_c è l'angolo tra la direzione della corrente e l'asse longitudinale (poppa-prua) della barca.

- Forza di attrito

$$F_{c,fric} = \frac{1}{2} \rho_w S C_{c,fric} U_c^2 \cos \theta_c$$

Dove $C_{c,form} = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$ è il coefficiente di attrito superficiale, S la superficie bagnata della barca, R_n il numero di Reynolds esprimibile come:

$$R_n = \frac{U_c \times LWL \times \cos \theta_c}{\nu}$$

Con ν densità cinematica dell'acqua.

La superficie bagnata dell'imbarcazione, S , è definita come:

$$S = (1.7 \times T \times LWL) + \frac{D}{T \gamma_w}$$

Dove D , il dislocamento della barca, è espresso in tonnellate inglesi: ($1 \text{ Long Tons} = 1016.0 \text{ kg} = 2240 \text{ lb}$) e $\gamma_w = 1.01 \text{ LongTons/m}^3$.

È difficile valutare i carichi d'onda su una imbarcazione ormeggiata, in quanto c'è una complessa interazione con le dinamiche del sistema di ancoraggio. Questa interazione dipende dalle frequenze d'onda incidenti, dalla massa aggiunta della barca e dalle caratteristiche elastiche delle linee di ancoraggio.

Infatti nella valutazione dell'oscillazione dovuta al moto ondoso, si può calcolare il periodo di oscillazione naturale, che dipende dalla rigidezza totale del sistema k_{tot} e dalla massa virtuale $m_v = m + m_a = (1 + 0.15)m$:

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{m_v}{k_{tot}}}$$

k_{tot} è data solo dalle linee di ormeggio in tensione, e vale:

$$k_{tot} = \sum k_n \sin \theta_n \cos \varphi_n$$

k_n è definita come il rapporto tra forza agente T_n e il suo allungamento Δl_n ,

$$k_n = \frac{T_n}{\Delta l_n}$$

Con Δl_n che dipende dalla deformazione: $\varepsilon_n = 100 \left(\frac{\Delta l_n}{l_n} \right)$.

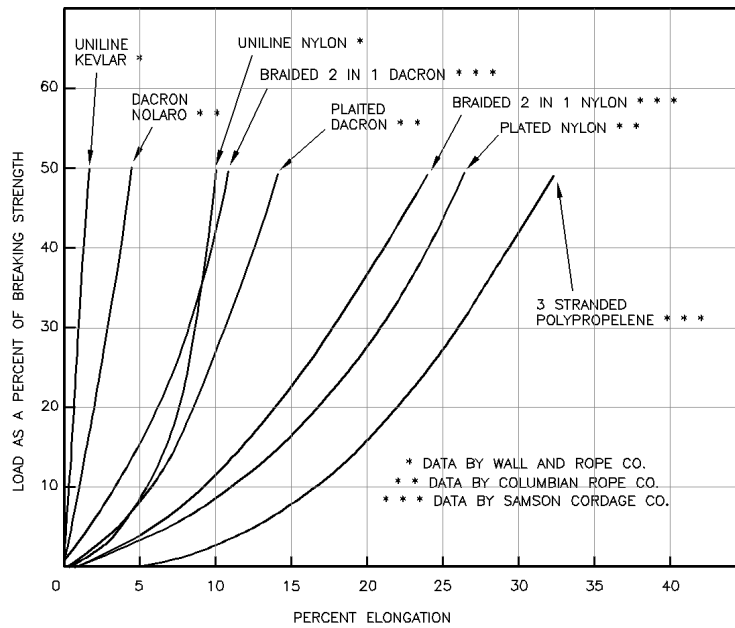


Figura 31: Curve di allungamento delle fibre delle corde di ancoraggio, CEM.

8.3 Classi di imbarcazioni

A questo punto è necessario determinare, per ogni tipo di imbarcazione, l'area di questa esposta al vento e quella sottoposta alle forzanti ondose per determinare le azioni che agiscono su di essa.

Non avendo a disposizione dati precisi sulla flotta tipo, derivanti da studi socio economici del particolare territorio, sono state definite delle fasce nelle quali si individuano le classi di imbarcazioni.

CLASSE	LUNGHEZZA FUORI TUTTO L [m]
I	≤ 10
II	$10 < L \leq 12$
III	$12 < L \leq 15$
IV	$15 < L \leq 18$
V	$18 < L \leq 22$
VI	$22 < L \leq 26$
VII	$26 < L \leq 30$

Tabella 3: Classi di imbarcazioni

Le dimensioni delle imbarcazioni non sono tutte uguali, per cui può essere che una barca più corta sia più larga di una più lunga o viceversa. Per definire una larghezza standard per ogni classe di imbarcazione è stata prima eseguita una ricerca su oltre 150 unità da diporto, sia a vela che a motore, per definire un valore rappresentativo della classe.

I risultati ottenuti sono:

CLASSE	LUNGHEZZA FUORI TUTTO [m]	LARGHEZZA [m]		PESCAGGIO [m]	
		A MOTORE	A VELA	A MOTORE	A VELA
I	≤ 10	3.2	3.3	0.9	1.7
II	$10 < L \leq 12$	4.0	3.7	1.0	2.1
III	$12 < L \leq 15$	4.4	4.5	1.2	2.3
IV	$15 < L \leq 18$	4.9	4.9	1.4	2.6
V	$18 < L \leq 22$	5.6	5.5	1.7	2.9
VI	$22 < L \leq 26$	6.0	5.8	1.9	3.4
VII	$26 < L \leq 30$	6.8	6.5	2.2	3.8

Tabella 4: Dimensioni caratteristiche per le classi di imbarcazioni

A questo punto, per determinare l'azione di tiro di ogni classe di imbarcazione tramite le formule e i passaggi descritti nei §7.1. e §7.2., è necessario conoscere sia la velocità del vento sia quella della corrente.

Ragionando in maniera generica si definiscono varie classi di velocità del vento, fino ad un massimo di 40 nodi, valore per cui si hanno onde di circa 3 metri (secondo la Scala Beaufort) e quindi uno stato di mare troppo mosso per l'utilizzabilità in sicurezza del campo boe.

Nodi	m/s
5	3
10	5
15	8
20	10
25	13
30	15
35	18
40	21

Tabella 5: Classi di velocità del vento

Infine, per la determinazione della velocità della corrente, operazione complicata e che necessita di uno studio dello stato di mare molto approfondito e localizzato all'area di studio, è possibile in via preliminare stimarla considerando le correnti di deriva le cui velocità sono circa l'1.5% delle velocità del vento che le hanno generate.

8.4 Matrici di dimensionamento

A questo punto è possibile creare delle matrici dei carichi dove ad ogni classe di imbarcazioni viene associata una forza del vento e della corrente in modo da determinare i carichi agenti sulle stesse.

Le ipotesi utilizzate sono:

- Ormeaggio alla ruota: la barca si dispone con la prua in direzione del vento;
- Vento e moto ondoso hanno stessa direzione;
- Peso della catena assente;
- Coeff. Aereodinamico della prua pari a 0.82;
- Fondale sabbioso e calcestruzzo dei corpi morti scabro: coefficiente di attrito pari a 0.69;
- Si trascura l'eventuale e probabile insabbiamento del corpo morto che aumenta la resistenza allo slittamento laterale;

L'azione di trascinamento della barca arriva completamente orizzontale sulla catena, la quale inizialmente in situazione di mare calmo ha la classica disposizione di calmo (ovvero ad arco concavo). Quando la barca, sottoposta alle spinte di vento e corrente marina, inizia a tirare la catena, essa inizialmente si "stira" e solo quando arriva in una configurazione completamente allungata comincia a tirare il corpo morto.

Lo sforzo agente realmente sulla catena è una quota parte di quello orizzontale che è stato considerato in via cautelativa nel capitolo precedente, in quanto dipende dall'angolo che si forma tra catena e piano orizzontale.

L'angolo massimo, secondo lo schema di figura sottostante, si avrà alla situazione limite in cui la catena sarà completamente in tiro.

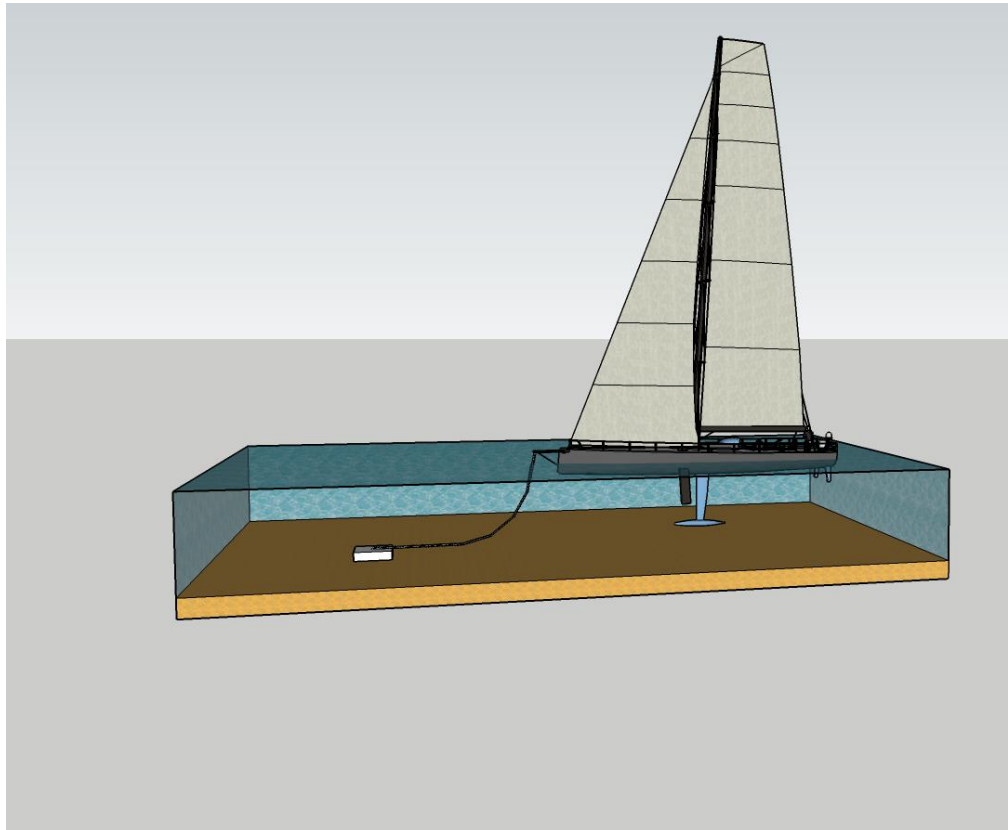


Figura 32: Schema ormeggio iniziale con catena "rilassata"

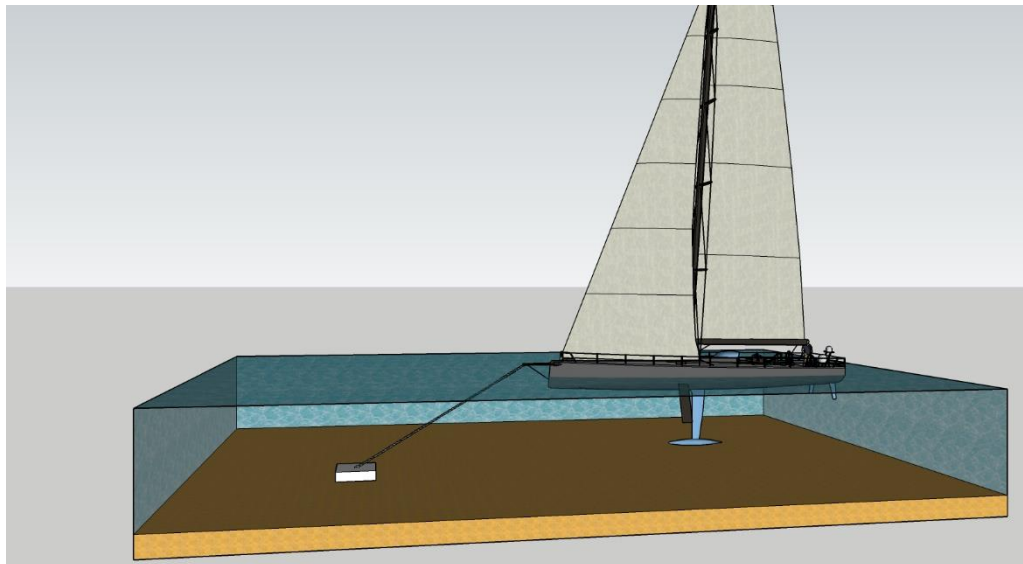


Figura 33: Schema ormeggio con catena in tiro

L'angolo massimo che può formarsi è funzione della profondità a cui è incastrata la catena d_c e della lunghezza L della stessa secondo l'espressione:

$$\alpha_{max} = \arcsen\left(\frac{d_c}{L}\right)$$

Con $d_c = d - h_{CM}$ dove h_{CM} è l'altezza del corpo morto a cui è collegata la catena e d la profondità del fondale.

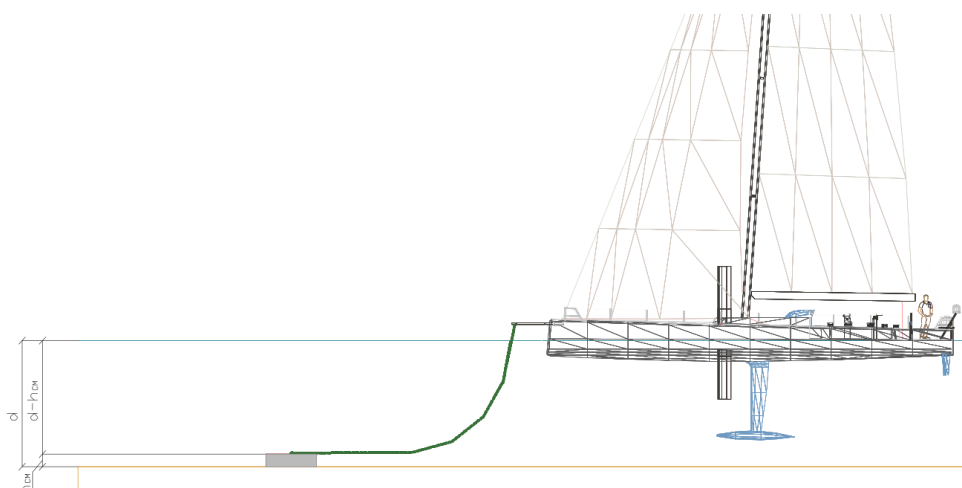


Figura 34: Schema ormeggio

Lo sforzo orizzontale F_h esercitato dalla barca sulla catena può essere scomposto in due componenti ortogonali, delle quali ci interessa quella di “tiro” della catena, T . Si ha che:

$$T_{max} = F_h \cos \alpha_{max}$$

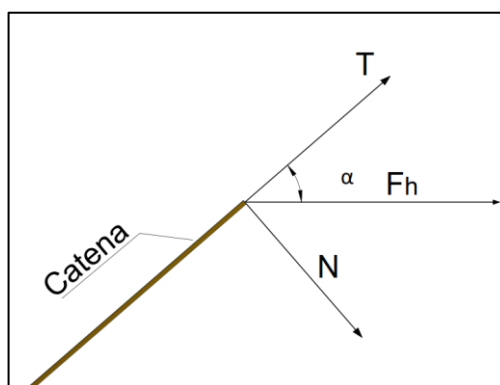


Figura 35: Forze agenti sulla catena

Questa azione si trasmette per tutta la catena fino al corpo morto, in cui la componente orizzontale vale:

$$F_{h,CM} = T_{max} \cos \alpha_{max} = F_h (\cos \alpha_{max})^2$$

Analogamente si può vedere come la componente verticale vale:

$$F_{v,CM} = T_{max} \sin \alpha_{max} = F_h \cos \alpha_{max} \sin \alpha_{max}$$

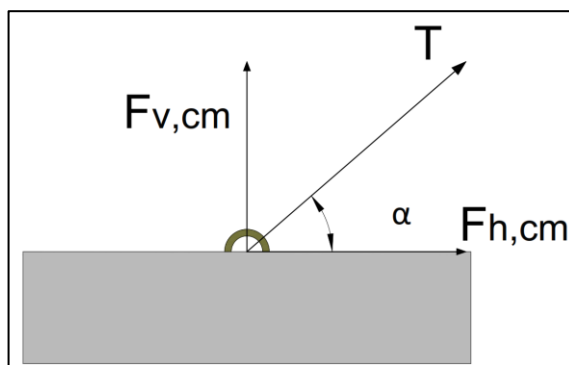


Figura 36: Forze agenti sul corpo morto

8.4.1 Barche a motore

Per le barche a motore si ottengono le seguenti spinte.

Forza Aerodinamica [kg]								
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
	V _{vento} [m/s]							
Classi	3	5	8	10	13	15	18	21
I	20.4	81.6	183.5	326.3	509.9	734.2	999.3	1305.2
II	31.8	127.4	286.6	509.5	796.2	1146.5	1560.5	2038.2
III	37.7	150.9	339.4	603.4	942.9	1357.7	1848.0	2413.8
IV	48.5	194.1	436.6	776.2	1212.8	1746.5	2377.2	3104.9
V	62.3	249.3	561.0	997.3	1558.2	2243.9	3054.1	3989.1
VII	72.0	288.1	648.1	1152.2	1800.3	2592.5	3528.6	4608.8
VIII	92.3	369.2	830.8	1476.9	2307.7	3323.0	4523.0	5907.6

Tabella 6: Matrice della forza aerodinamica per barche a motore

Forza Idrodinamica [kg]								
	Vento in nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
	V _{corrente} [m/s]							
Classi	0.039	0.077	0.116	0.154	0.193	0.231	0.270	0.309
I	40.3	42.4	48.0	55.1	63.8	73.7	85.1	97.7
II	56.2	60.8	68.8	79.1	91.5	105.9	122.3	140.7
III	73.4	80.0	90.1	102.9	118.3	136.1	156.5	179.2
IV	97.3	105.8	118.3	134.2	153.3	175.7	201.2	229.8
V	133.2	145.1	161.9	183.4	209.2	239.3	273.5	312.0
VII	167.3	181.3	201.1	226.3	256.6	292.0	332.4	377.6
VIII	216.9	234.1	258.6	290.0	327.9	372.1	422.7	479.5

Tabella 7: Matrice della forza idrodinamica per barche a motore

F _h [kg]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	61	124	232	381	574	808	1084	1403

II	88	188	355	589	888	1252	1683	2179
III	111	231	430	706	1061	1494	2005	2593
IV	146	300	555	910	1366	1922	2578	3335
V	196	394	723	1181	1767	2483	3328	4301
VII	239	469	849	1378	2057	2884	3861	4986
VIII	309	603	1089	1767	2636	3695	4946	6387

Tabella 8: Matrice della spinta totale F_h per barche a motore

Essendo il coefficiente di attrito $\tan\varphi = 0.69$ si determina l'angolo di attrito che vale $\varphi = 34.6^\circ$. Inoltre, considerando che il peso specifico dell'acqua marina è pari a $\gamma_w = 1025 \frac{kg}{m^3}$ e quello del calcestruzzo armato è $\gamma_{cls} = 2500 \frac{kg}{m^3}$ il peso immerso del calcestruzzo armato vale:

$$\gamma_s = 1275 \frac{kg}{m^3}$$

Considerando una lunghezza della catena doppia rispetto alla profondità del fondale, ovvero che l'angolo tra di essi sia 30° , si ottiene:

Classi	T [kg]							
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	54	111	207	341	512	722	968	1253
II	79	168	317	526	793	1118	1503	1946
III	99	206	384	631	948	1334	1790	2316
IV	130	268	496	813	1220	1717	2303	2978
V	175	352	646	1054	1578	2217	2972	3841
VI	214	419	758	1231	1837	2576	3448	4453
VII	276	539	973	1578	2354	3300	4417	5704

Tabella 9: Azioni di tiro T sulla catena (barche a motore)

Classi	$F_{h,cm}$ [kg]							
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	48	99	185	304	457	644	865	1119
II	70	150	283	469	708	999	1342	1738
III	89	184	343	563	846	1191	1599	2068
IV	116	239	443	726	1090	1533	2056	2659
V	156	315	577	942	1410	1980	2654	3430
VI	191	374	677	1099	1640	2300	3079	3977
VII	247	481	869	1409	2102	2947	3944	5094

Tabella 10: Azione orizzontale agente sul corpo morto (barche a motore)

Classi	$F_{v,cm}$ [kg]							
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	24	50	93	153	231	325	436	564
II	35	76	143	237	357	503	676	876

III	45	93	173	284	426	600	806	1042
IV	59	120	223	366	549	772	1036	1340
V	79	158	291	474	710	998	1337	1728
VI	96	189	341	554	827	1159	1552	2004
VII	124	242	438	710	1059	1485	1988	2567

Tabella 11: Azione verticale agente sul corpo morto (barche a motore)

Dunque è possibile determinare il peso asciutto minimo del corpo morto affinché resista alle azioni.

Classi	W_{min} [kg]							
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	186	380	708	1167	1755	2472	3318	4293
II	269	576	1088	1801	2716	3832	5149	6667
III	340	707	1314	2161	3247	4571	6134	7935
IV	446	918	1698	2786	4180	5882	7890	10204
V	598	1207	2212	3613	5408	7598	10183	13161
VI	732	1436	2599	4218	6294	8827	11815	15258
VII	946	1846	3334	5407	8065	11307	15134	19545

Tabella 12: Peso asciutto minimo del corpo morto per barche a motore

Analogamente si determina la larghezza minima del corpo morto.

Lunghezza f.t.	B_{min} [m]							
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
≤ 10	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8
$10 < L \leq 12$	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
$12 < L \leq 15$	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
$15 < L \leq 18$	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
$18 < L \leq 22$	0.9	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.6
$22 < L \leq 26$	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8
$26 < L \leq 30$	1.1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.7	3.0

Tabella 13: Larghezza minima del corpo morto per barche a motore

A questo punto, considerando un corpo morto di base quadrata, l'altezza minima vale:

Lunghezza f.t.	H_{min} [m]							
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
≤ 10	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
$10 < L \leq 12$	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
$12 < L \leq 15$	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
$15 < L \leq 18$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7
$18 < L \leq 22$	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8
$22 < L \leq 26$	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8
$26 < L \leq 30$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9

Tabella 14: Altezza minima del corpo morto per barche a motore

8.4.2 Barche a vela

Per le marche a vela si ottengono le seguenti spinte.

Forza Aerodinamica [kg]								
	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
	V_{vento} [m/s]							
Classi	3	5	8	10	13	15	18	21
I	21.7	86.7	195.1	346.8	541.9	780.3	1062.1	1387.2
II	27.5	110.2	247.9	440.7	688.6	991.6	1349.6	1762.8
III	39.7	158.9	357.6	635.7	993.4	1430.4	1947.0	2543.0
IV	48.3	193.3	435.0	773.4	1208.4	1740.1	2368.5	3093.6
V	61.2	244.9	551.0	979.5	1530.5	2203.9	2999.8	3918.1
VI	66.7	267.0	600.7	1068.0	1668.7	2403.0	3270.7	4271.9
VII	84.3	337.3	758.9	1349.2	2108.2	3035.8	4132.0	5396.9

Tabella 15: Matrice delle forze aerodinamiche per le barche a vela

Forza Idrodinamica [kg]								
	Vento in nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
	V_{corrente} [m/s]							
Classi	0.039	0.077	0.116	0.154	0.193	0.231	0.270	0.309
I	49.1	52.1	61.1	72.4	85.7	100.9	117.9	136.6
II	59.9	66.6	78.4	93.0	110.2	129.8	151.7	175.9
III	81.1	91.3	106.4	125.1	147.3	172.7	201.2	232.9
IV	103.4	116.7	135.4	158.6	186.1	217.5	253.0	292.3
V	137.8	154.8	178.3	207.4	241.9	281.6	326.4	376.1
VII	168.3	189.1	217.5	252.6	294.1	341.8	395.5	455.1
VIII	214.8	239.6	273.5	315.7	365.9	423.6	488.8	561.3

Tabella 16: Matrice delle forze idrodinamiche per le barche a vela

F_h [kg]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	71	139	256	419	628	881	1180	1524
II	87	177	326	534	799	1121	1501	1939
III	121	250	464	761	1141	1603	2148	2776
IV	152	310	570	932	1394	1958	2621	3386
V	199	400	729	1187	1772	2486	3326	4294
VII	235	456	818	1321	1963	2745	3666	4727
VIII	299	577	1032	1665	2474	3459	4621	5958

Tabella 17: Matrice delle spinte totali per le barche a vela

Le forze in gioco T , $F_{h,cm}$ e $F_{v,cm}$ valgono:

T [kg]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	63	124	229	374	560	787	1054	1361
II	78	158	291	477	713	1001	1341	1731
III	108	223	414	679	1019	1432	1918	2479
IV	136	277	509	832	1245	1748	2341	3024
V	178	357	651	1060	1583	2220	2970	3835
VI	210	407	731	1179	1753	2451	3274	4221
VII	267	515	922	1487	2209	3089	4127	5321

Tabella 18: Azioni di tiro T sulla catena (barche a vela)

$F_{h,cm}$ [kg]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	56	111	204	334	501	703	941	1215
II	70	141	260	426	637	894	1197	1546
III	96	200	370	607	910	1278	1713	2214
IV	121	247	455	743	1112	1561	2091	2700
V	159	319	582	947	1413	1982	2653	3425
VI	187	364	653	1053	1565	2189	2924	3770
VII	239	460	823	1328	1973	2759	3685	4752

Tabella 19: Azioni orizzontale $F_{h,cm}$ sul corpo morto (barche a vela)

$F_{v,cm}$ [kg]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	28	56	103	168	252	354	474	612
II	35	71	131	214	321	451	603	779
III	49	101	186	306	458	644	863	1116
IV	61	125	229	375	560	787	1053	1361
V	80	161	293	477	712	999	1337	1726
VI	94	183	329	531	789	1103	1473	1900
VII	120	232	415	669	994	1390	1857	2394

Tabella 20: Azioni orizzontale $F_{v,cm}$ sul corpo morto (barche a vela)

Dunque è possibile determinare il peso asciutto minimo del corpo morto affinché resista alle azioni.

$W_{\min}$ [kg]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	217	425	784	1283	1920	2697	3611	4663
II	268	541	998	1633	2444	3431	4594	5932
III	370	766	1420	2328	3490	4905	6573	8494
IV	464	949	1746	2852	4267	5990	8022	10361
V	609	1223	2231	3632	5424	7606	10178	13140
VI	719	1396	2504	4041	6006	8399	11218	14465
VII	915	1765	3159	5095	7571	10586	14140	18232

Tabella 21: Peso asciutto minimo del corpo morto per le barche a vela

Analogamente si determina la larghezza minima del corpo morto.

$B_{\min}$ [m]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9
II	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0
III	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3
IV	0.9	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
V	0.9	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.6
VI	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7
VII	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.4	2.7	2.9

Tabella 22: Larghezza minima del corpo morto per le barche a vela

A questo punto, considerando un corpo morto di base quadrata, l'altezza minima vale:

$H_{\min}$ [m]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
II	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
III	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7
IV	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7
V	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8
VI	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8
VII	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9

Tabella 23: Altezza minima del corpo morto per le barche a vela

8.5 Analisi dei prezzi

Per definire una stima dei prezzi, si fa riferimento al prezzo del cemento armato che è in media sui $145 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + \text{IVA}$.

Prezzo [€]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	11	22	41	68	102	143	192	249
II	16	33	63	104	158	222	299	387
III	20	41	76	125	188	265	356	460
IV	26	53	98	162	242	341	458	592
V	35	70	128	210	314	441	591	763
VI	42	83	151	245	365	512	685	885
VII	55	107	193	314	468	656	878	1134

Tabella 24: Prezzo a corpo morto per barche a motore al netto dell'IVA

Prezzo [€]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	13	25	45	74	111	156	209	270
II	16	31	58	95	142	199	266	344
III	21	44	82	135	202	285	381	493
IV	27	55	101	165	247	347	465	601
V	35	71	129	211	315	441	590	762
VI	42	81	145	234	348	487	651	839
VII	53	102	183	295	439	614	820	1057

Tabella 25: Prezzo a corpo morto per barche a vela al netto dell'IVA

9 Catene per corpo morto

Per concludere l'analisi, una menzione particolare meritano le catene.

Infatti, nel dimensionamento del corpo morto e nello schema di trasmissione delle forze dall'imbarcazione al corpo morto, si considera che la catena stia in posizione orizzontale nel primo tratto e che la spinta totale agisca sul corpo morto in direzione completamente orizzontale.

È possibile ipotizzare ciò grazie al fatto che la catena, se ben dimensionata, ha un peso elevato e quindi difficilmente la quota parte di spinta verticale riuscirà ad alzarla, specialmente se questa ha un diametro abbastanza grande come nella normalità.

Infatti nella prassi costruttiva si utilizza un primo tratto, pari alla metà della sua lunghezza totale, una catena moto pesante, con un diametro di 30mm o superiore, e nella seconda metà una catena più leggera, con diametri di 12-16mm.

In questo modo le forze agiscono sul corpo morto completamente in direzione orizzontale, perché quelle verticali che la barca e la boa trasmettono alla catena sono assorbite da quest'ultima.

Se ad esempio voglio installare una catena di 15 metri, i cui metà $\phi 30$ e metà $\phi 16$, avrò che la catena in totale peserà 161 kg asciutta, mentre immersa in acqua avrà un peso pari a 140 kg circa. Analogamente, una catena della stessa lunghezza tutta $\phi 30$ pesa oltre 300 kg fuori dall'acqua e circa 270 immersa.

Con gli stessi dati del capitolo precedente, considerando una catena di acciaio zincato $\phi 22$ lunga $L = 10m$ il cui peso immerso sarà 98 kg si ottiene un peso asciutto minimo del corpo morto pari a:

W_{min} [kg]								
Classi	nodi							
	5	10	15	20	25	30	35	40
I	50	259	618	1116	1754	2530	3444	4497
II	101	375	832	1467	2278	3265	4428	5766
III	203	599	1254	2162	3324	4739	6407	8328
IV	298	782	1579	2686	4101	5824	7855	10194
V	443	1057	2065	3466	5257	7439	10012	12974
VI	553	1229	2337	3875	5840	8233	11052	14298
VII	749	1599	2993	4929	7404	10419	13973	18066

Tabella 26: Peso asciutto minimo del corpo morto per barche a vela

Si può vedere come la catena influisce di più per condizioni di carico minori, ovvero che percentuale ha il rapporto tra la variazione di peso minimo del corpo morto ed il peso della catena.

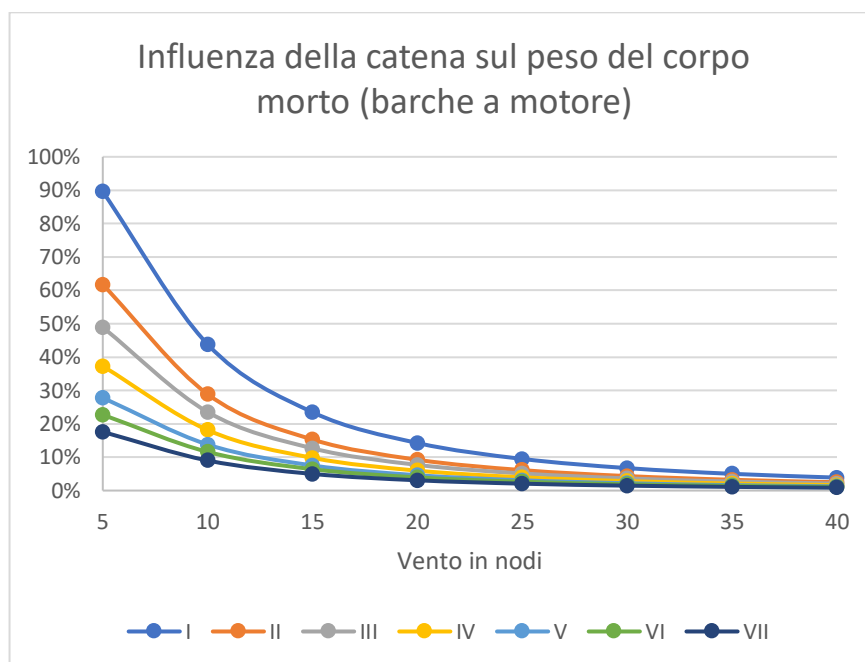


Tabella 27: Influenza della catena sul peso del corpo morto (barche a motore)

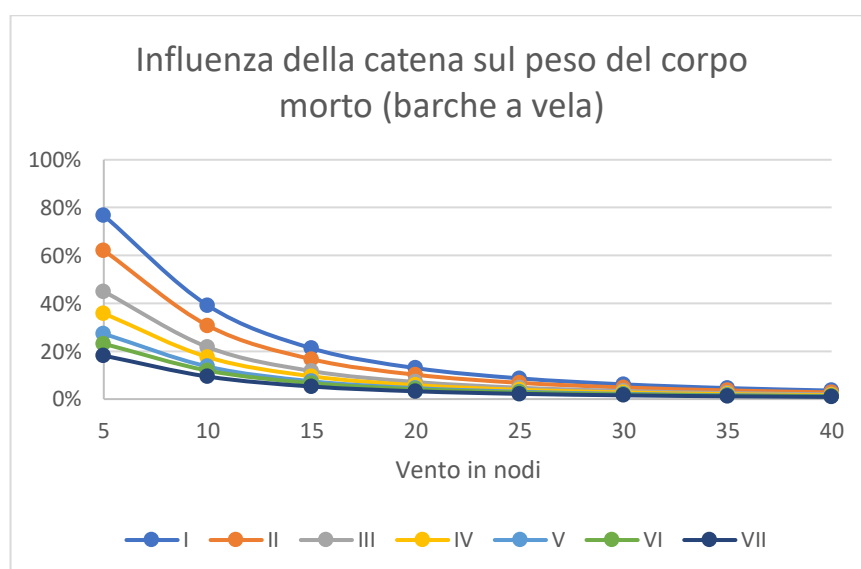


Figura 37: Influenza della catena sul peso del corpo morto

Si può vedere che ha tanta più influenza quanto minori sono le forze agenti, cioè inizialmente il carico viene assorbito quasi interamente dalla catena e solo in seguito (per spinte che superano il peso della catena) entra in gioco il corpo morto.

10 Progetto campo boe Rosignano

10.1 Morfologia costiera

10.1.1 Inquadramento

Il litorale del Comune di Rosignano Marittimo si estende sul Mar Ligure per circa 22 km, con direzione prevalentemente N 345°, salvo il piccolo Promontorio di Castiglioncello, proteso verso SO per poco più di 500 m. A partire dal limite Nord, corrispondente alla foce del Torrente Chioma, i primi 11 km sono formati da una costa alta e rocciosa (fino a Caletta, in corrispondenza del retroterra "montano"), gli ulteriori 3 km da una costa bassa ma ancora rocciosa (fino alla Punta Lillatro), gli ultimi 8 km dalla spiaggia di Vada. Nella costa rocciosa si aprono numerose cale e baie, generalmente in corrispondenza di una o più incisioni vallive: Bocca di Chioma, Cala dei Morticini, Cala Sud del Fortullino, Santa Lucia, Scogli Neri, Buca dei Corvi, Baia del Quercetano, Portovecchio (o Cala Miramare), Porticciolo, Caletta, Baia di Crepatura, lo Scoglietto. Molte di queste baie hanno al fondo piccole spiagge.

La spiaggia di Vada non ha una falcatura regolare per le protuberanze di Punta di Pietrabbianca, Punta Catena e di Punta del Tesorino, dovute alla rifrazione delle onde sulle antistanti secche rocciose che culminano nei fondali del Faro, 7.5 km al largo di quest'ultima punta.

Il quadro attuale è quello di una quantità di punti di ormeggio e piccoli porticcioli, ricavati in baie naturalmente protette o difesi da scogliere artificiali o spesso privi di protezione, che ospitano una flotta di natanti di modeste dimensioni. Per quasi tutti i porticcioli della costa di Rosignano vale che le strutture di difesa, generalmente dighe in massi naturali, sono insufficienti per garantire alle imbarcazioni un ormeggio sicuro anche nella stagione invernale. Tali opere, per la scarsa stabilità che le contraddistingue e per il basso grado di protezione che offrono, possono essere classificate più come opere di difesa del litorale che come dighe di protezione di un porto. Complessivamente si stima che la flotta ammonti a circa un migliaio di imbarcazioni, di diversa tipologia e di diversa destinazione d'uso¹⁶.

10.1.2 Caratterizzazione geomorfologica della costa ed erosione costiera¹⁷

Da Bocca di Chioma a Santa Lucia la costa, alta e a falesia, si apre nella formazione rocce argillose e calcari silicei. Nella piccola cala a Nord dei Morticini prevalgono gli strati argillosi: l'azione del mare ha qui maggiore gioco

¹⁶ Studio di fattibilità sugli interventi di protezione e salvaguardia del litorale di Rosignano Marittimo - Considerazioni circa la riorganizzazione dei punti di ormeggio per la nautica minore

¹⁷ Comune di Rosignano: Quadro conoscitivo del Piano Strutturale "COMPONENTE GEOLOGICO-TECNICA ED IDROGEOLOGICA" - Dr. Paolo Squarci

con arretramento rapido della falesia, scalzata al piede, e conseguente distacco di lame di roccia su tutta la parete sovrastante. Quest'ultima è stata protetta da muri reggispinta e da opere di difesa longitudinali alla stretta spiaggia, lungo la base della falesia. A Sud di Santa Lucia fino a metà del Porticciolo la costa (ancora a falesia) è formata da ofioliti giurassiche, tranne la Punta Righini. Questa è costituita da conglomerati e calcari miocenici di Rosignano che, tuttavia, formano solo un'esile copertura sopra un substrato ancora in prevalenza di ofioliti. Le ofioliti formano un substrato piuttosto resistente all'abrasione marina: tuttavia la loro omogeneità favorisce il modellamento di belle e profonde spianate intertidali e lo sfaldamento di blocchi di piccole dimensioni facilmente asportabili dai frangenti. Da metà del Porticciolo fino davanti Casamarina il litorale presenta le stesse caratteristiche del tratto da Bocca di Chioma a Santa Lucia. Da Sud di Casamarina fino alla Punta Lillatro il litorale si apre in un tratto di calcarenite più sabbioso. La costa bassa presente in questa formazione rocciosa risulta ovunque stabile. A sud di Punta Lillatro inizia la costa sabbiosa che a sud del Fine si sviluppa con entroterra di dune. La costa sabbiosa presenta varie problematiche legate essenzialmente a processi erosivi.

Il litorale compreso tra Rosignano e Marina di Bibbona è interessato da tempo da processi erosivi che hanno ormai raggiunto livelli drammatici in quanto interessano, in alcuni punti, aree fortemente urbanizzate e comunque di rilevante interesse turistico.

L'evoluzione del settore più settentrionale, che interessa in maniera particolare il territorio comunale, tra Punta Lillatro e Punta del Tesorino, si presenta assai complessa sia per le caratteristiche dei fondali antistanti, sia per le opere a mare costruite negli ultimi decenni. Questo tratto di litorale è interessato da un trasporto litoraneo diretto verso sud e, come accennato in precedenza, non esistono apporti naturali di sedimenti da parte dei corsi d'acqua in quanto il Fine, unico corso d'acqua di rilievo, trasporta sedimenti di dimensioni molto piccole che non risultano stabili sulle spiagge e vengono dispersi verso il largo (Aminti 1997). Anche l'entità del trasporto è assai modesta e stimata in base ad un recente studio dell'ordine di $9000 \text{ m}^3/\text{anno}$ (Aminti e Paris, 1995). L'unico apporto significativo di sedimenti è dovuto alle discariche di sabbie carbonatiche di origine industriale prodotte dallo stabilimento Solvay a sud di Punta Lillatro. Queste sabbie, come evidenziato da Pranzini (1978), si spostano verso sud dove però vengono in gran parte trattenute dal pennello di Pietrabbianca e solo le frazioni più fini raggiungono i fondali antistanti Bonaposta e solo minima parte Punta del Tesorino anche se ormai questi non hanno più effetto e il bilancio sedimentario di questo tratto di costa rimane con un passivo che si evidenzia a sud di Pietrabbianca fino a Punta Catena e sulla spiaggia antistante l'abitato di Vada.

10.2 Analisi Meteomarina

10.2.1 Settore di traversia

La costa del Comune di Rosignano presenta una esposizione ai mari provenienti da un settore di traversia delimitato a nord dal promontorio di Levanto (circa 320°) ed a sud dal promontorio di Piombino (circa 170°).

Le direzioni comprese tra i 245° ed i 320° hanno fetch geografici anche molto estesi (si va dai 100 km dei fetch "liguri" ai di quelli di c.a. 1000 km che uniscono i paraggi in esame al mare delle Baleari) mentre quelle comprese tra i 170° ed i 245° hanno fetch più limitati dovuti anche e soprattutto all'effetto di ridosso delle isole maggiori (Corsica e Sardegna) e dell'Arcipelago Toscano.

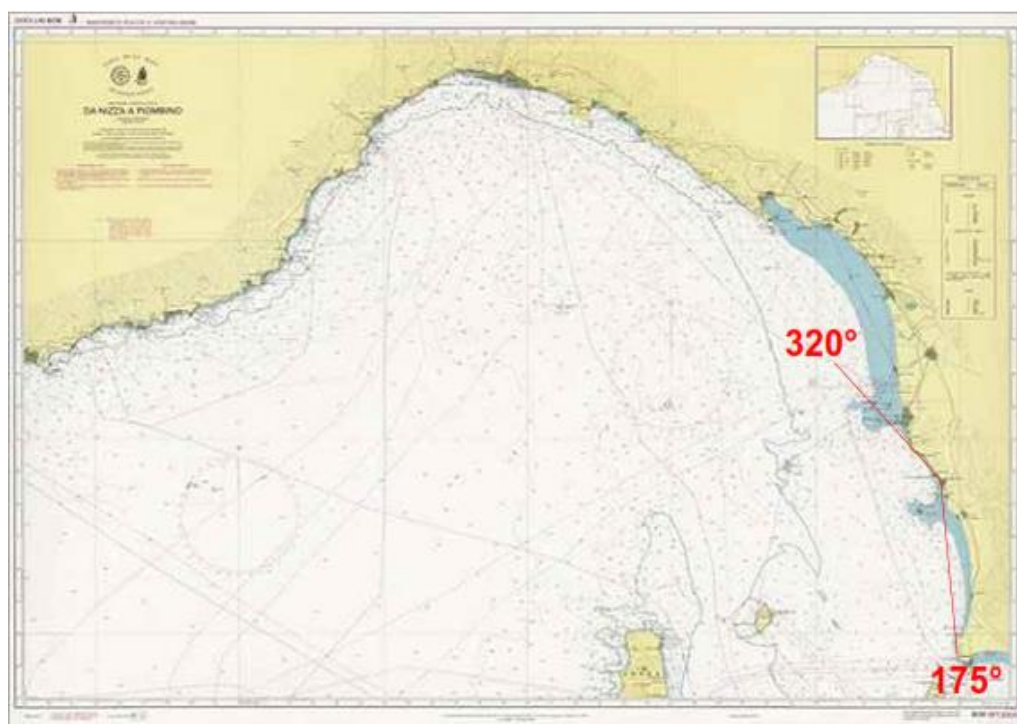


Figura 38: Settore di traversia

Punta Righini dunque offre un'attenuazione dell'onda proveniente da Nord Ovest(maestrale), valutabile attraverso il coefficiente di diffrazione, mentre questo non avviene per mareggiate provenienti da ovest e da sud ovest.

Inoltre quest'ultime sono anche quelle più violente in quanto il fetch geografico è maggiore, arrivando per la direzione ovest fino alla Spagna.

Ovviamente nei mari chiusi quale è il mediterraneo il fetch efficace non si estende più di 400-500 km, ma risulta comunque molto maggiore rispetto ad altre direzioni. Dunque ci troviamo esposti alle mareggiate più forti e con più energia.

10.2.2 Venti

I dati di vento, forniti gentilmente dal Centro funzionale regionale della Regione Toscana, sono riferiti alla stazione di Quercianella (244 m s.l.m.) e sono registrazioni nelle quali viene riportata direzione, velocità media (mediata su un intervallo di un'ora) e raffica (nell'intervallo di 15 minuti).

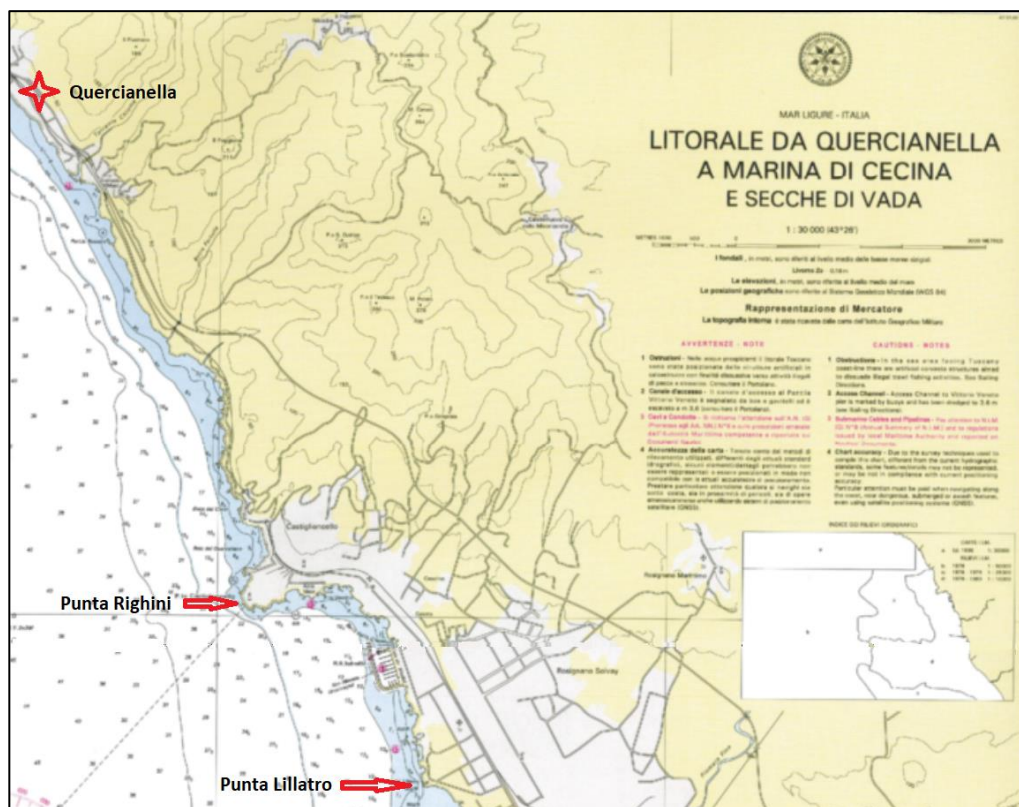


Figura 39: Inquadramento Quercianella, Punta Righini e Punta Lillatro, particolare Carta Nautica

Il periodo di riferimento va da gennaio 2012 a ottobre 2017, di cui sono stati presi solamente ai mesi considerati idonei all'ormeggio, ovvero da maggio a settembre compresi; inoltre i dati sono riportati alla velocità di riferimento a 10 m s.l.m. come spiegato nel §3.2.6.

Dai dati ottenuti si ricava la seguente tabella, in cui si nota la distribuzione dei venti per settore di provenienza ed intensità.

Velocità Vento [m/s]	Eventi	Freq [%]	Velocità Vento [nodi]	Eventi	Freq [%]
0-1	48981	60%	0-5	69424	85%
1-2	15035	18%	5-10	9615	12%
2-3	8301	10%	10-15	2192	3%
3-4	4123	5%	15-20	339	0%
4-5	2367	3%	20-25	21	0%
5-6	1327	2%	25-30	0	0%
6-7	747	1%	30-35	0	0%

7-8	453	1%	35-40	0	0%
8-9	186	0%	>40	0	0%
9-10	44	0%			
10-11	20	0%			
11-12	5	0%			
12-13	2	0%			

Tabella 28: Distribuzione venti estivi per intensità (VALORI MEDI)

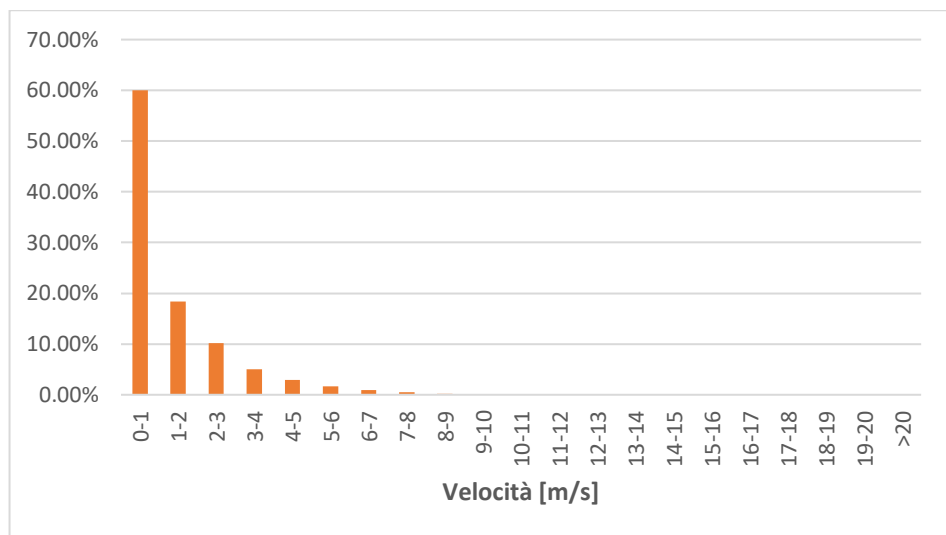


Figura 40: Distribuzione dei venti per intensità (VALORI MEDI)

SETTORI	eventi	freq
N	21855	27%
NE	9652	12%
E	6518	8%
SE	3442	4%
S	13144	16%
SO	7279	9%
O	10973	13%
NO	8728	11%

Tabella 29: Distribuzione dei venti per direzione

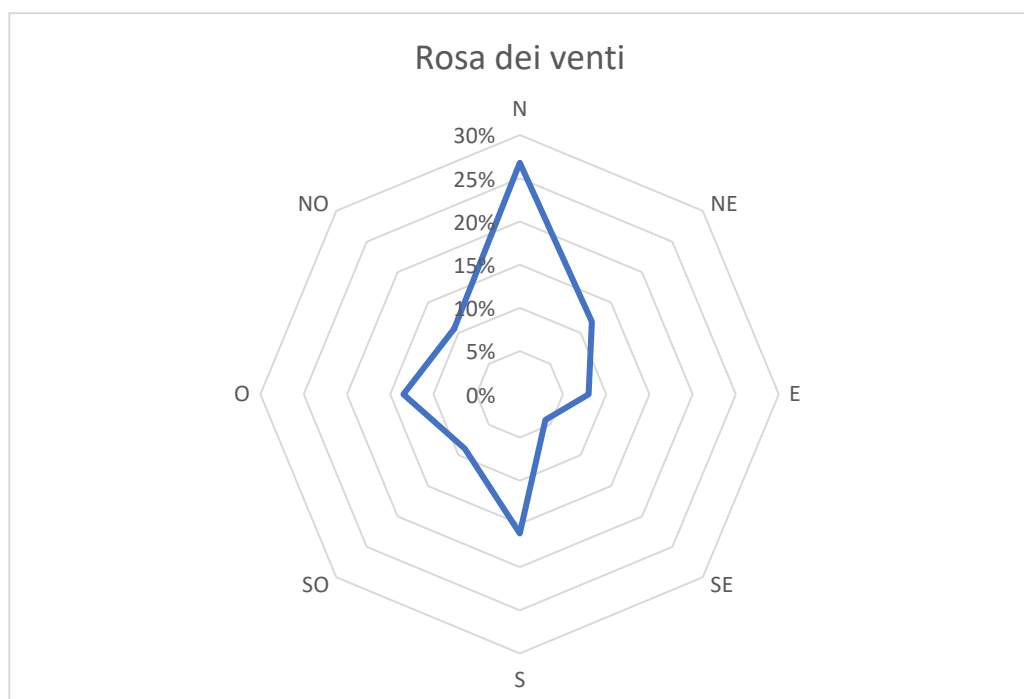


Figura 41: Rosa dei venti

Analogamente per le raffiche di vento.

Velocità Vento [m/s]	Eventi	Freq [%]	Velocità Vento [nodi]	Eventi	Freq [%]
0-1	31322	38%	0-5	54944	67%
1-2	16654	20%	5-10	18446	23%
2-3	11402	14%	10-15	5437	7%
3-4	8161	10%	15-20	1939	2%
4-5	5341	7%	20-25	687	1%
5-6	3019	4%	25-30	128	0.2%
6-7	1943	2%	30-35	10	0.0%
7-8	1346	2%	35-40	0	0.0%
8-9	847	1%	>40	0	0.0%
9-10	618	1%			
10-11	375	0.5%			
11-12	272	0.3%			
12-13	159	0.2%			
13-14	76	0.1%			
14-15	40	0.0%			
15-16	13	0.0%			
16-17	3	0.0%			

Tabella 30: Distribuzione venti estivi per intensità (RAFFICHE)

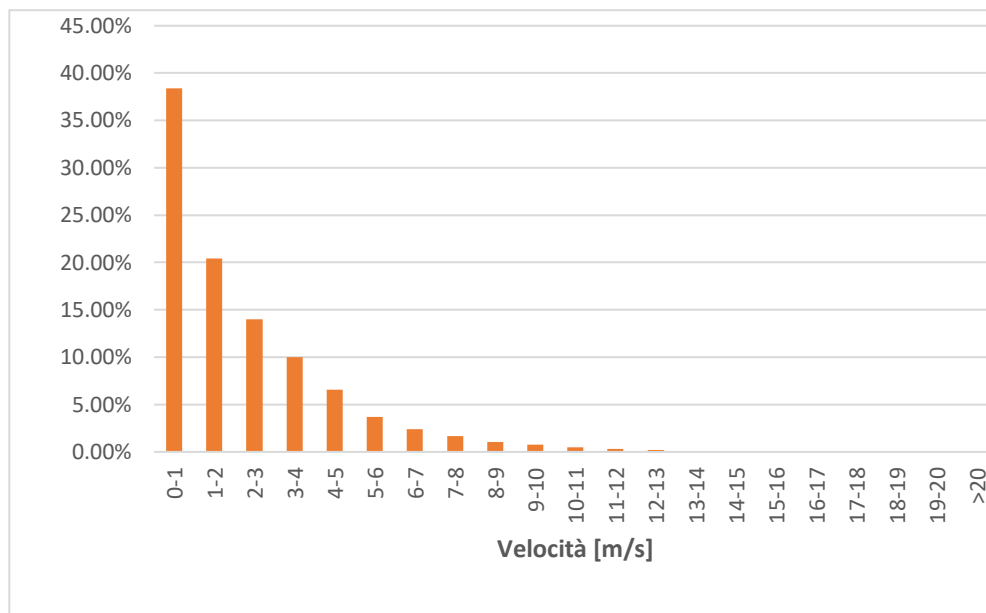


Figura 42: Distribuzione venti per intensità (RAFFICHE)

Unendo sia i valori della direzione che le intensità associate è possibile avere la distribuzione completa dei venti per intensità e direzione.

	Vel [nodi]									
dir	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	>40	TOT
N	25.07%	1.69%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	27%
NE	8.19%	2.54%	0.87%	0.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	12%
E	4.38%	2.46%	1.05%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	8%
SE	3.23%	0.87%	0.08%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4%
S	13.18%	2.55%	0.34%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	16%
SO	7.75%	0.98%	0.18%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9%
O	12.72%	0.57%	0.14%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13%
NO	10.56%	0.13%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	11%
TOT	85.09%	11.78%	2.69%	0.42%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Tabella 31: Distribuzione dei venti per settore di provenienza ed intensità (VALORI MEDI)

	Vel [nodi]									
dir	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	>40	TOT
N	20.06%	5.89%	0.80%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	27%
NE	5.30%	3.75%	1.52%	0.80%	0.39%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	12%
E	2.58%	2.75%	1.73%	0.71%	0.19%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	8%
SE	2.67%	1.03%	0.42%	0.05%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	4%
S	11.28%	3.40%	1.06%	0.29%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	16%
SO	5.78%	2.31%	0.51%	0.23%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	9%
O	10.84%	1.80%	0.47%	0.24%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	13%
NO	8.83%	1.69%	0.15%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	11%
TOT	67.34%	22.61%	6.66%	2.38%	0.84%	0.16%	0.01%	0.00%	0.00%	

Tabella 32: Distribuzione dei venti per settore di provenienza ed intensità (RAFFICHE)

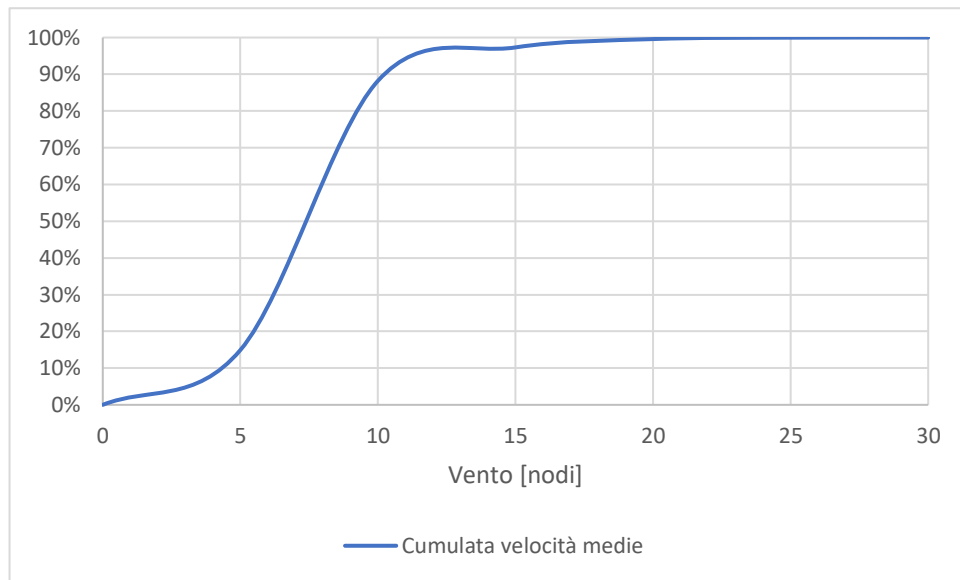


Figura 43: Curva cumulata (Valori medi di vento)

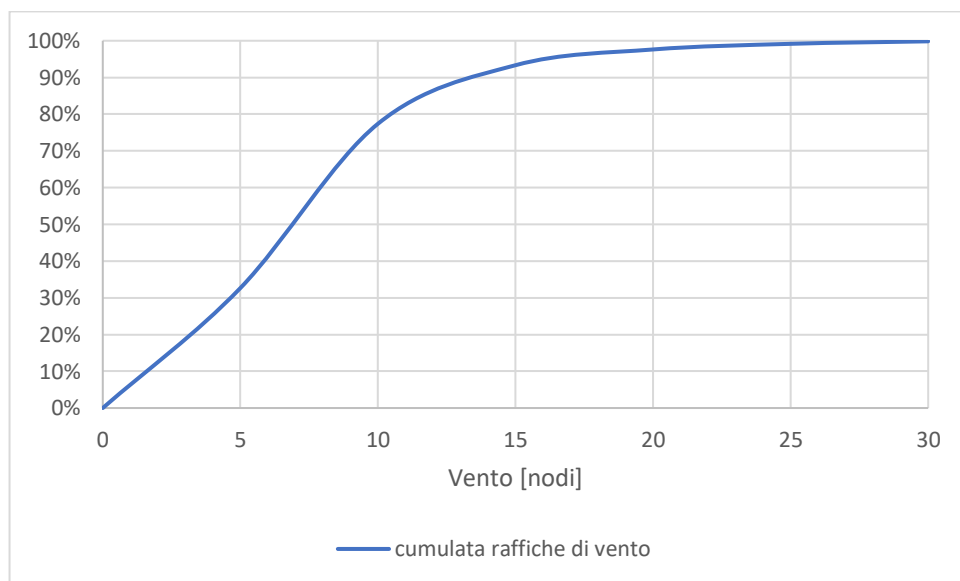


Figura 44: Curva cumulata (Raffiche di vento)

10.2.3 Mari

I dati elaborati sono stati registrati dalla Boa di Gorgona ($43^{\circ} 34' 5.675''$ N; $9^{\circ} 57' 21.485''$ E) e forniti gentilmente dal Centro Funzionale Regionale della Regione Toscana.

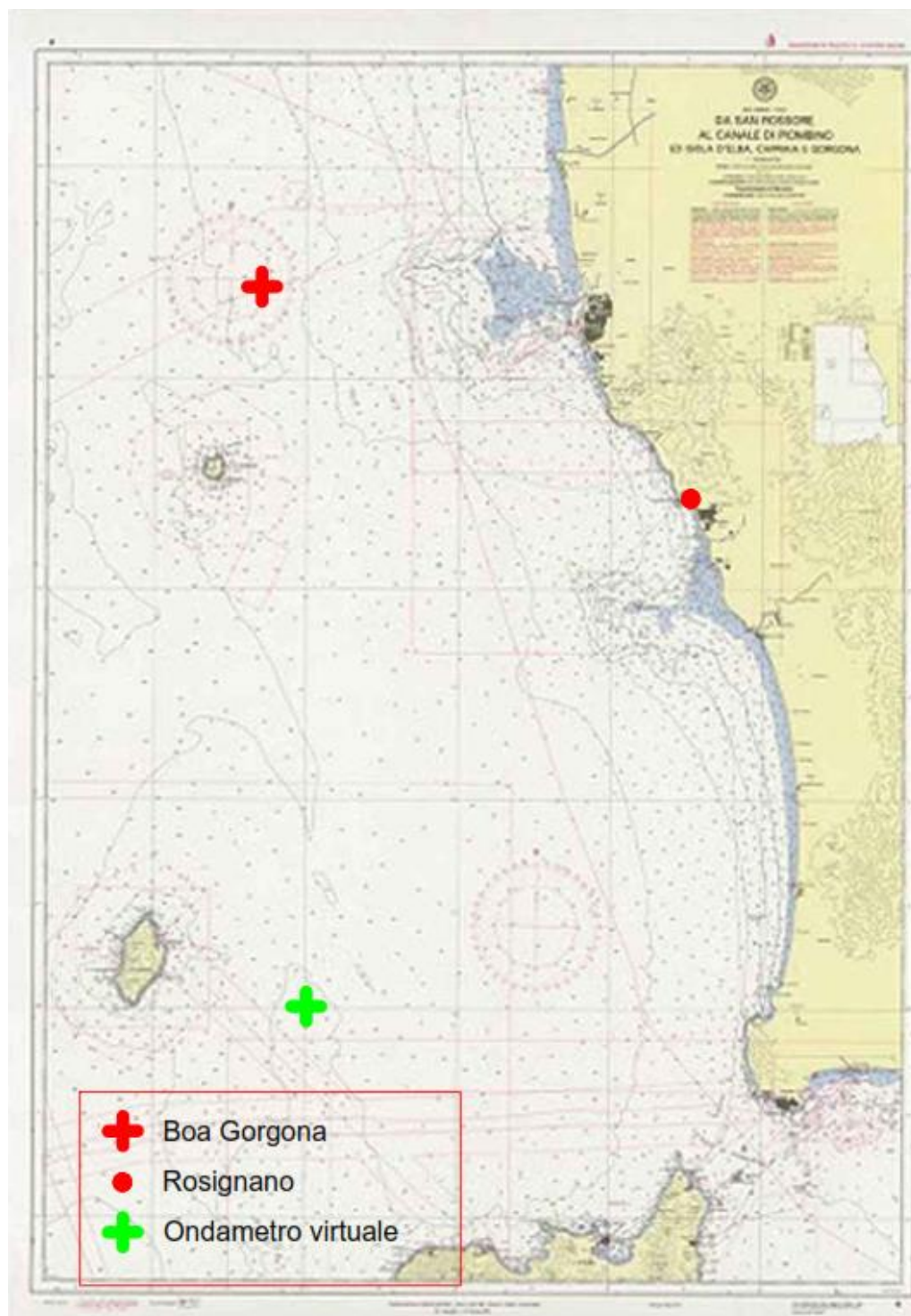


Figura 45: Posizionamento della boa di Gorgona su carta nautica 1:100000

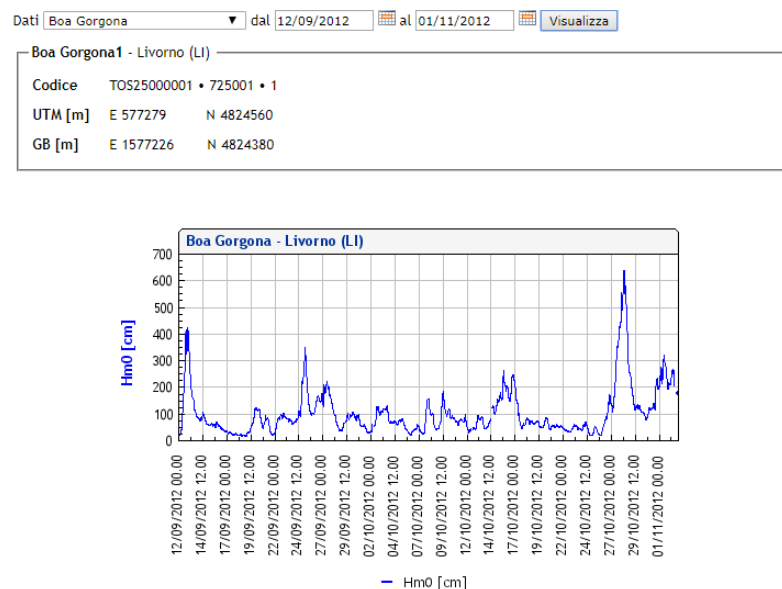


Figura 46: Esempio di dati relativi all'altezza d'onda per la boa di Gorgona

I dati presi in esame riguardano un periodo temporale che va dal 2008 al 2017 di cui però ci sono dei periodi mancanti a causa di guasti alla strumentazione; di questi dati sono stati presi in considerazione nella statistica solo i dati riferiti alle mareggiate estive.

N	0.5%
NE	0.9%
E	4.4%
SE	4.6%
S	17.4%
SO	47.8%
O	19.8%
NO	4.5%

Tabella 33: Distribuzione delle mareggiate per direzione di provenienza

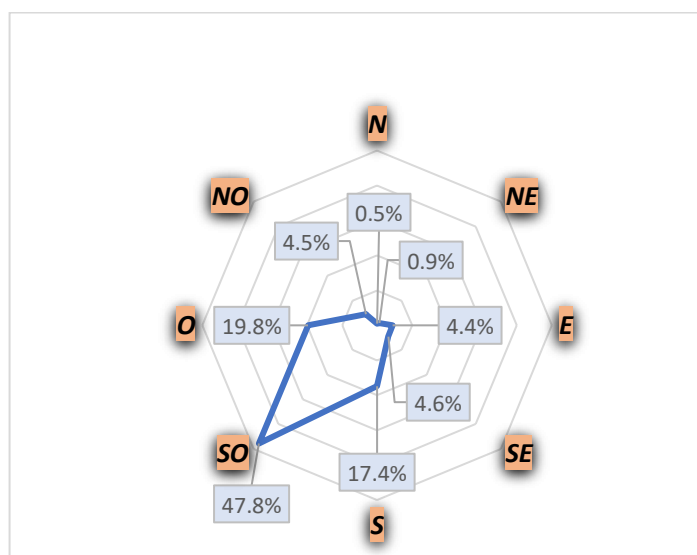


Figura 47: Rosa del mare

0-0.25	13.7%
0.25-0.5	35.4%
0.5-0.75	18.5%
0.75-1	10.9%
1-1.5	9.9%
1.5-2	4.9%
2-2.5	3.2%
2.5-3	2.0%
3-3.5	1.0%
3.5-4	0.3%
>4	0.2%

Tabella 34: Distribuzione mareggiate in base all'altezza dell'onda

Analogamente al vento, anche per le mareggiate è possibile unire direzione di provenienza e intensità (altezza d'onda):

	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	>4	TOT
N	0.06%	0.24%	0.05%	0.03%	0.04%	0.04%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0%
NE	0.14%	0.37%	0.15%	0.11%	0.04%	0.02%	0.01%	0.03%	0.04%	0.02%	0.03%	1%
E	0.42%	1.71%	1.09%	0.59%	0.36%	0.08%	0.04%	0.07%	0.07%	0.02%	0.02%	4%
SE	0.60%	1.57%	0.87%	0.57%	0.52%	0.18%	0.12%	0.10%	0.03%	0.01%	0.04%	5%
S	2.89%	6.57%	3.62%	2.19%	1.23%	0.45%	0.24%	0.14%	0.10%	0.04%	0.05%	18%
SO	5.58%	14.90%	8.29%	5.13%	5.77%	3.47%	2.40%	1.30%	0.56%	0.14%	0.07%	48%
O	3.15%	7.69%	3.80%	2.08%	1.79%	0.54%	0.31%	0.25%	0.13%	0.06%	0.03%	20%
NO	0.86%	2.39%	0.59%	0.23%	0.16%	0.10%	0.08%	0.06%	0.02%	0.01%	0.01%	5%
TOT	14%	35%	18%	11%	10%	5%	3%	2%	1%	0.3%	0.2%	

Tabella 35: Distribuzione delle onde per settore di provenienza ed intensità

Analizzando solamente il settore di traversia si ha:

	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	>4
N	0.06%	0.24%	0.05%	0.03%	0.04%	0.04%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
NE	0.14%	0.37%	0.15%	0.11%	0.04%	0.02%	0.01%	0.03%	0.04%	0.02%	0.03%
E	0.42%	1.71%	1.09%	0.59%	0.36%	0.08%	0.04%	0.07%	0.07%	0.02%	0.02%
SE	0.60%	1.57%	0.87%	0.57%	0.52%	0.18%	0.12%	0.10%	0.03%	0.01%	0.04%
S	2.89%	6.57%	3.62%	2.19%	1.23%	0.45%	0.24%	0.14%	0.10%	0.04%	0.05%
SO	5.58%	14.90%	8.29%	5.13%	5.77%	3.47%	2.40%	1.30%	0.56%	0.14%	0.07%
O	3.15%	7.69%	3.80%	2.08%	1.79%	0.54%	0.31%	0.25%	0.13%	0.06%	0.03%
NO	0.86%	2.39%	0.59%	0.23%	0.16%	0.10%	0.08%	0.06%	0.02%	0.01%	0.01%

Tabella 36: Distribuzione delle onde per settore di provenienza ed intensità (settore di traversia)

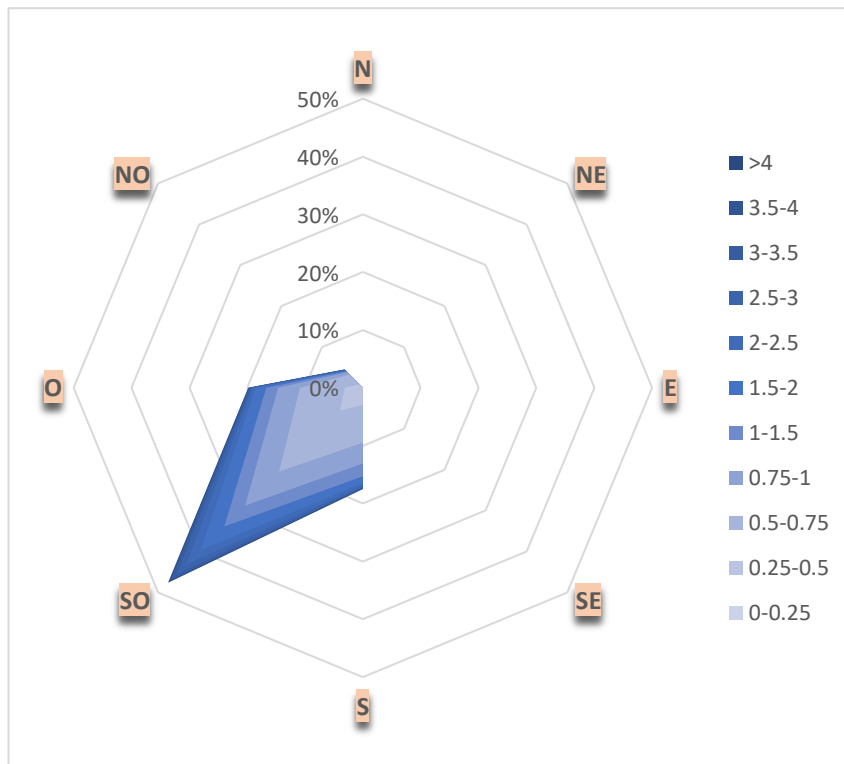


Figura 48: Rosa del mare (distribuzione di direzione ed intensità), solo settore di traversia

A questo punto risulta interessante valutare l'operatività, ovvero il tempo in cui si ha un certo valore di onda, utilizzando la curva cumulata, in cui sono stati presi i dati riferiti al solo settore di traversia, mentre quelli al di fuori dello stesso sono stati considerati come calma (<0.25 m).

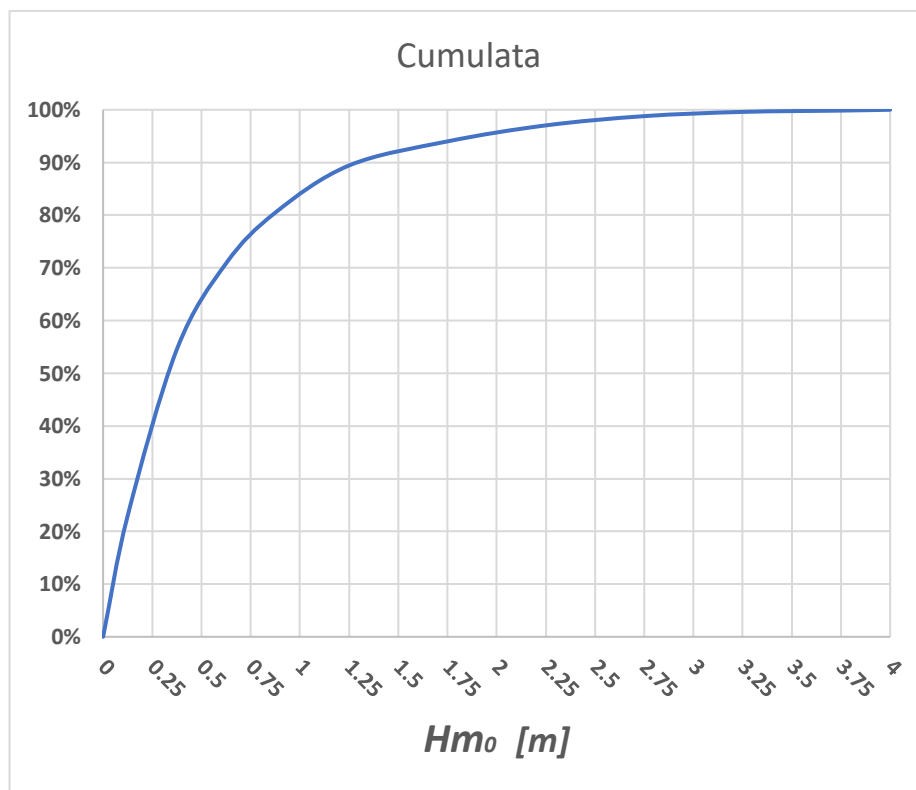


Figura 49: Curva cumulata altezze d'onda

Si può vedere ad esempio come circa l'85% delle onde sono inferiori o uguali ad 1 m, ovvero per circa l'85% del tempo estivo ho onde inferiori o uguali a 1 m. Ovviamente tutto questo vale per onde al largo.

Può risultare interessante fare un confronto tra le misurazioni della boa di Gorgona e l'ondametro virtuale per quanto riguarda le frequenze delle mareggiate.

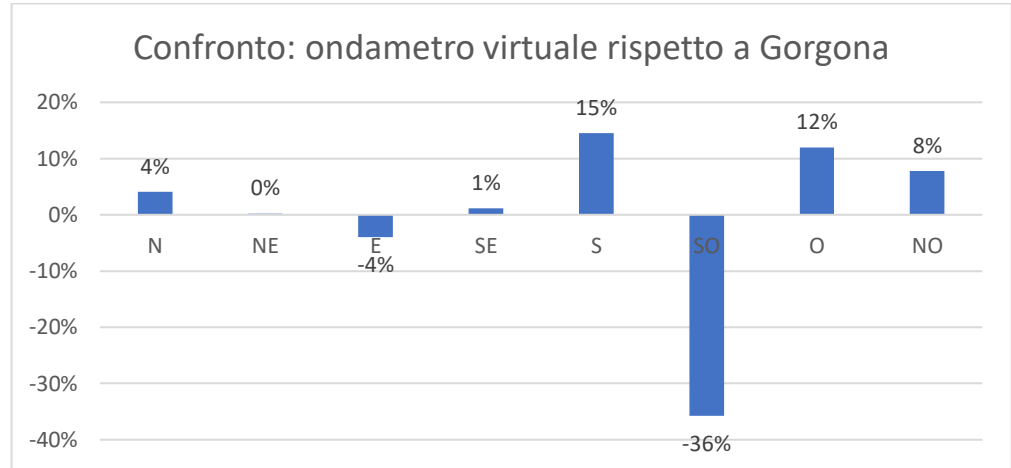


Figura 50: Variazione di frequenza delle mareggiate dell'ondametro virtuale rispetto alla boa di Gorgona

Come si nota, vi è una diminuzione significativa di frequenza delle mareggiate provenienti da sud-ovest (-36%), mentre aumentano sensibilmente nelle direzioni sud, ovest e nord-ovest.

Ciò è dovuto dalla differenza di posizione tra ondametro virtuale e la stazione di misura di Gorgona. Infatti mentre la seconda risulta completamente esposta alle mareggiate di sud-ovest, con notevoli fetch, l'ondametro virtuale è invece riparato dalla Corsica (come si vede dalla figura 47). In questo modo le mareggiate da sud-ovest, a causa della diffrazione, si ridistribuiscono secondo altre direzioni tra cui ovest, sud e nord-ovest. Il totale di queste tre direzioni (35%) vale infatti quanto la frequenza persa lungo la direzione sud-ovest (36%).

Le variazioni sono maggiori per altezze minori, e si attenuano man mano che l'altezza delle onde incrementa.

	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	>4
N	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
E	0%	-2%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SE	2%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
S	10%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SO	-1%	-12%	-6%	-4%	-5%	-3%	-2%	-1%	-1%	0%	0%
O	6%	0%	1%	1%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
NO	5%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 37: Confronto tra ondametro virtuale e stazione di Gorgona

10.3 Fondali

I dati disponibili sui fondali antistanti al porto sono:

- Carta nautica in scala 1:100000 "DA SAN ROSSORE AL CANALE DI PIOMBINO E ISOLE D'ELBA-CAPRAIA-GORGONA"¹⁸
- Carta nautica in scala 1:30000 "LITORALE DA QUERCIANELLA A MARINA DI CECINA E SECCHIE DI VADA"¹⁹
- Rilievi di progetto del porto²⁰
- Rilievi batimetrici di dettaglio per il progetto di ripristino della diga foranea frangiflutti²¹

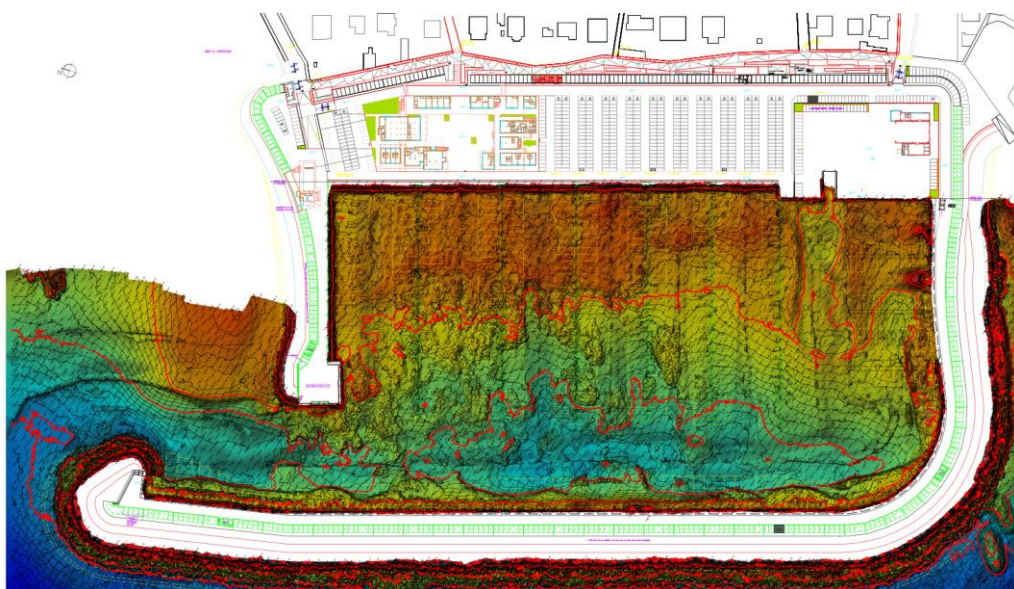


Figura 51: Rilievi batimetrici effettuati per il ripristino della diga foranea allo stato di progetto (2012)

Per la redazione di un progetto sarebbe opportuno effettuare ulteriori rilievi anche nella zona esterna del porto in tutta la baia tra il porto stesso e Castiglioncello, anche al fine di stabilire anche i dettagli specifici come tipo di ancoraggio, esatta disposizione di corpi morti, possibili soluzioni ecocompatibili, nonché autorizzazioni necessarie (ad es. la Valutazione di Impatto Ambientale) rilievi che permettano la precisa caratterizzazione del fondale e della biocenosi marina.

Inoltre questi tipi di rilievi garantiscono alla perfezione la definizione della geometria, ovvero della profondità del fondale, della copertura vegetale, il tipo di litologia affiorante (sabbia, fango, rocce) che permette uno studio più approfondito dei fenomeni ondosi vicino a riva e conferiscono una condizione

¹⁸ Redatte dall'Istituto Idrografico della Marina Militare

¹⁹ Redatte dall'Istituto Idrografico della Marina Militare

²⁰ Tavole tecniche del Progetto Ufficiale Marina Cala de medici

²¹ Effettuati da Geom. Bianchi della Oikos Engineering spa

al contorno per la definizione della posizione del campo boe, dei sistemi di ormeggio e del tipo di barca che può essere ormeggiata.

In base ai dati in possesso è possibile ricostruire le batimetrie per la zona di analisi.



Figura 52: Batimetrie ricostruite per la zona nei dintorni del porto Cala De' Medici di Rosignano Solvay

I dati ottenuti sono coerenti con le informazioni contenute sul portolano per la zona del Marina Cala De' Medici.

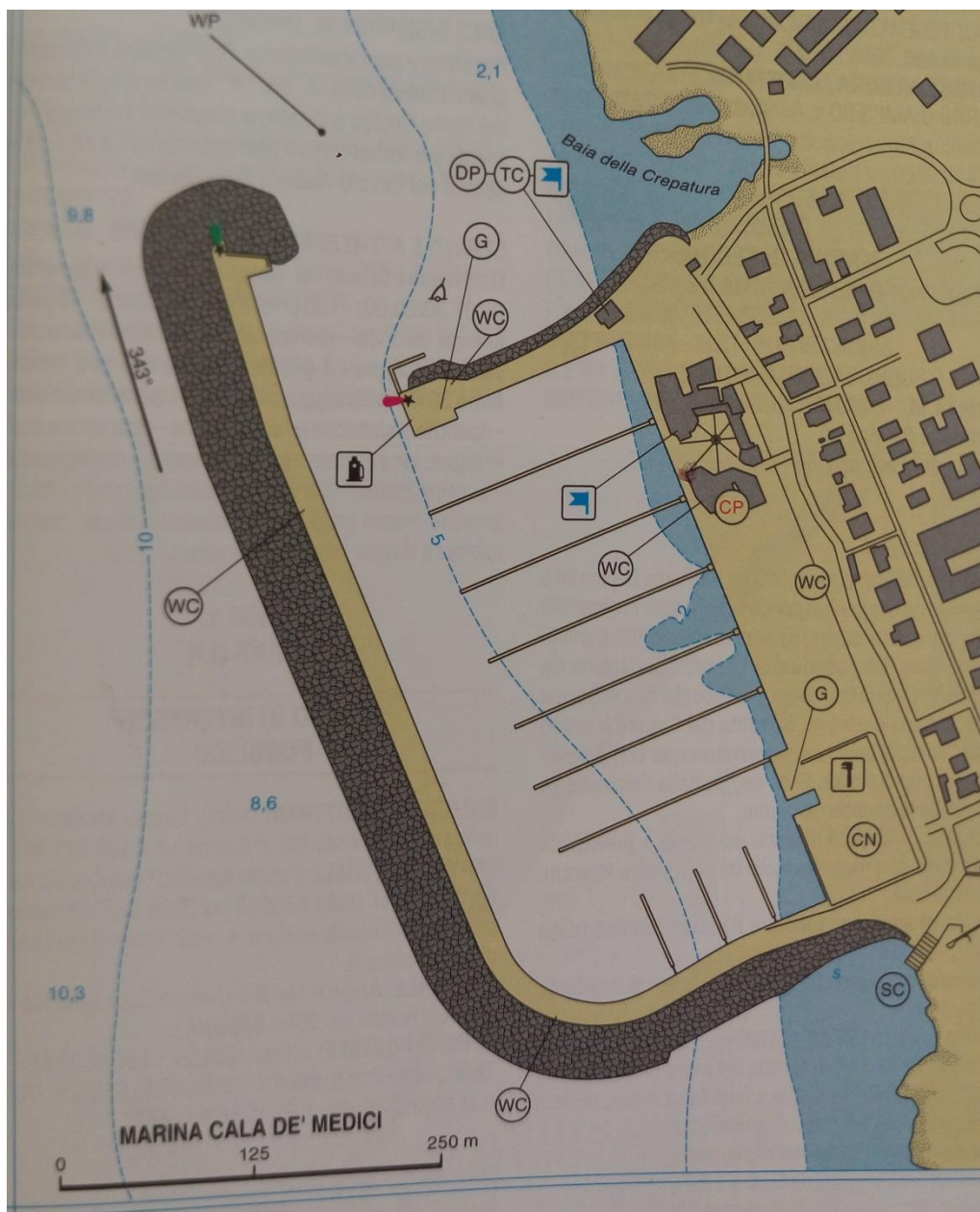


Figura 53: Informazioni relative al porto Cala De' Medici, Portofino 2017.

Ovviamente sarebbe opportuno aggiornare i dati relativi alle batimetrie ed acquisire informazioni dettagliate sul tipo di terreno presente nel fondale marino e sulla sua copertura vegetale attraverso:

- Rilievo Multibeam
- Rilievo Side Scan Sonar (SSS)

10.4 Trasformazione moto ondoso

Per prima cosa si determina la linea dei frangenti, ovvero la profondità del fondale oltre la quale le onde cominciano a frangere.

Si fa riferimento al valore dell'altezza d'onda superata solo il 5% del tempo in estate, H_0 , oltre la quale le barche devono abbandonare l'ormeggio. Dai grafici di Goda si determina l'altezza di frangimento $H_{1/250}$ per un dato fondale. Se sono in un punto in cui l'onda frange, $H_s = H_{1/250}$, altrimenti $H_s = 1.67 H_{1/250}$ derivante dalla distribuzione di Rayleigh.

Nel caso specifico, dalla curva delle cumulate, si determina $H_0 = 1.875 \text{ m}$.

Per cui, considerando $h = 5 \text{ m}$ da goda si ottiene:

$$\frac{h}{H_0} = 2.67; \text{ Slope} = \frac{1}{30}; \frac{H_0}{L_0} = 0.04$$

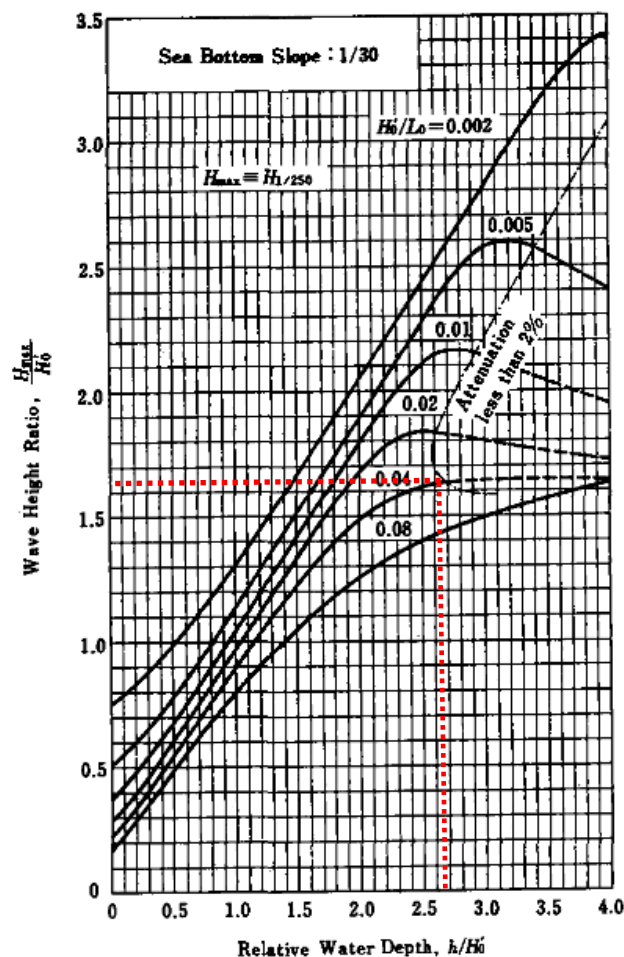


Figura 54: Determinazione H_{max} al frangimento, Grafico di Goda

Si ottiene dunque: $H_{\frac{1}{250}} = H_{max} = 1.63 * H_0 = 1.63 * 1.875 = 3.05 \text{ m}$

Per evitare che il frangimento si verifichi dove sono ormeggiate le barche si decide di posizionare gli ormeggi ad una profondità di almeno 7 metri, dove $H_s = 1.8 * H_0 = 3.38 \text{ m}$.

A questo punto è possibile calcolare rifrazione e shoaling con le formule semplificate della teoria lineare del moto ondoso, ricordando che per valutare accuratamente questi fenomeni è necessario costruire un modello matematico più affidabile che tiene anche conto della diffrazione.

Per le direzioni del settore di traversia, ovvero S, SO, O, NO si ottengono le onde di progetto:

H _d [m]	T [s]	L _o [m]	d [m]	k [l ⁻¹]	ω [Hz]	C _o [m/s]	L _d [m]	d/L _d	C _{go} [m/s]	C _d [m/s]
3.38	7.47	87.1	5	0.072	0.8 4	11.7	49.2	intermedie	5.83	6.58
Settore	dir [°]	α _o [°]	α _d [°]	K _r	n	K _s	H' _o [m]	H [m]		
S	180	50	25.6	0.844348	0.959113	0.960886	3.34	2.82		
SO	225	5	2.8	0.998701	0.959113	0.960886	3.34	3.34		
O	270	40	21.3	0.906696	0.959113	0.960886	3.34	3.03		
NO	315	85	34.2	0.324671	0.959113	0.960886	3.34	1.09		

Tabella 38: Calcolo rifrazione e shoaling

Per la valutazione degli effetti della diffrazione si prendere in considerazione aspetti locali e quindi ipotizzare il posizionamento del campo boe nello specifico.

10.5 Ipotesi posizionamento campo boe

La zona individuata per eseguire un progetto dimostrativo di installazione di un campo boe è quella antistante al porto.

Questa zona va dalla cala di Crepatura fino al promontorio di Punta Righini, formando un piccolo golfo totalmente esposto ai venti e alle mareggiate di ponente e libeccio, mentre è leggermente riparato rispetto al maestrale.

Le soluzioni che vengono prese in considerazione sono due: una prima che prevede l'installazione del campo boe in una posizione centrale rispetto al piccolo golfo, la seconda leggermente più riparata, posta davanti alla spiaggia di Crepatura e ridosso della diga di sottoflutto.

Nel primo caso si può ipotizzare un ormeggio alla ruota, con un gavitello semplice collegato al corpo morto tramite catena, e le barche possono ormeggiare agganciate direttamente al gavitello stesso.

Nel second caso, per via del minore spazio, o si riduce il numero di posti, o si può variare la tipologia di ormeggio con un sistema a due corpi morti: le barche dunque si ormeggiano legandosi alle trappe delle catene e direttamente quindi al corpo morto, e la boa è posta verso la poppa delle barche in modo tale che

gli agganci dei servizi siano vicini e facilmente fruibili. In questo caso le barche non trasmettono azioni alla boa.

10.5.1 Ipotesi 1

La grande disponibilità di spazio e l'altezza dei fondali maggiore di 5 metri permettono di dimensionare il campo boe per barche anche di 25-30 metri.

Si può valutare un campo boe alla ruota, ovvero con un solo punto di ormeggio, o con due punti di ormeggio. In questa fase preliminare si ipotizza un ormeggio singolo, ovvero alla ruota, viste anche le poche limitazioni della zona.

Ovviamente questa soluzione richiede più spazio per cui si deve valutare bene se le distanze con la costa sono compatibili con quelle minime predisposte dalla Guardia Costiera e dalla Capitaneria di Porto (200 m dalle spiagge e 100 m dagli scogli).

La forma e la disposizione del campo boe è stata scelta in modo tale da ottimizzare lo spazio, e mantenendo una fascia di rispetto all'imboccatura del porto di almeno 100 metri per permettere alle imbarcazioni di effettuare tutte le manovre di entrata e di uscita dal porto in totale sicurezza anche con mare mosso.

Tra le varie disposizioni (rettangolare, triangolare, sfalsata, ecc.) si è scelto quella con una fila di 4 boe e due file esterne di tre boe sfalsate le une rispetto alle altre. Questa soluzione comporta un ingombro areale di poco meno di 2 ha, inferiore alle altre del 10% circa.

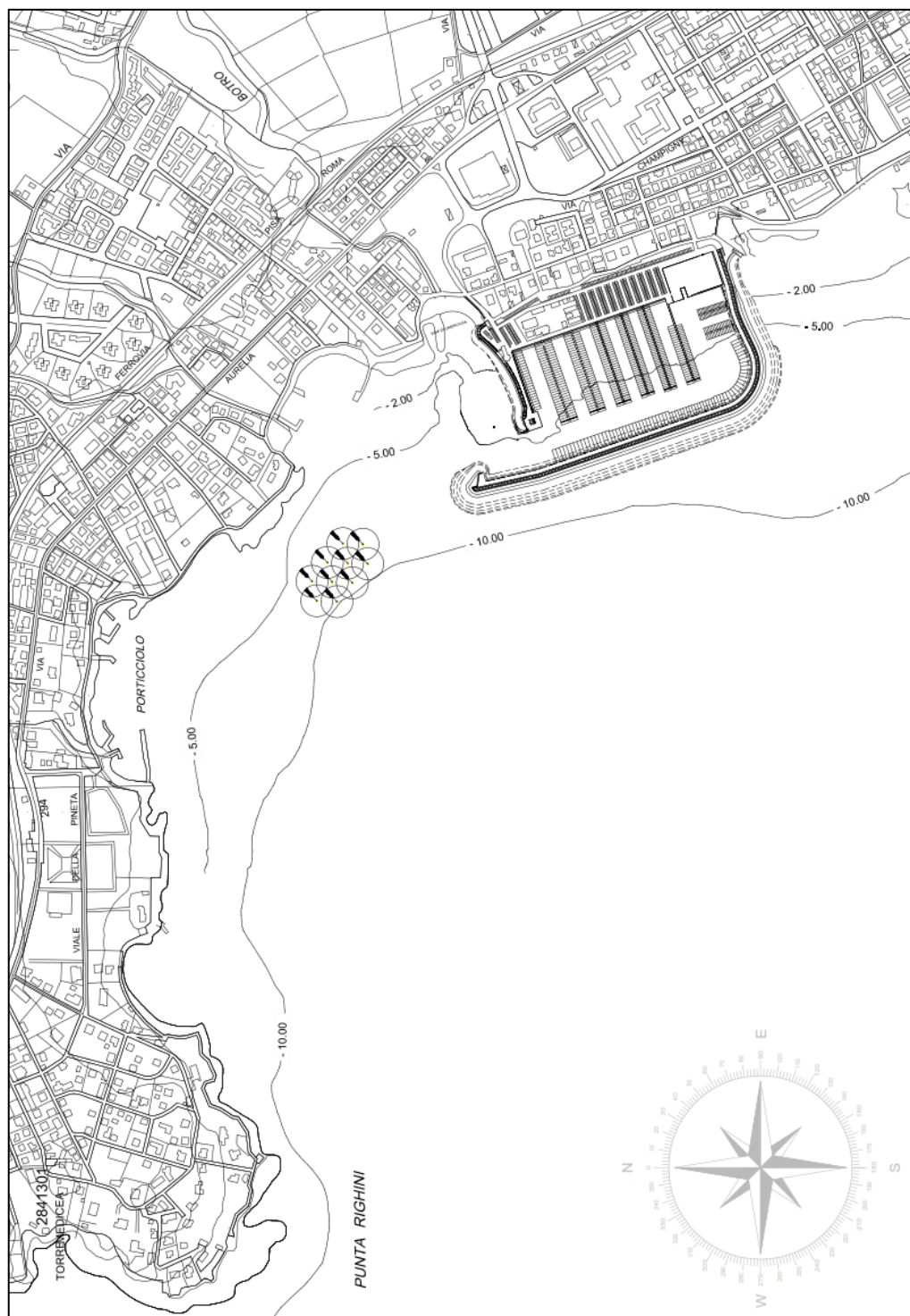


Figura 55: Planimetria Ipotesi 1

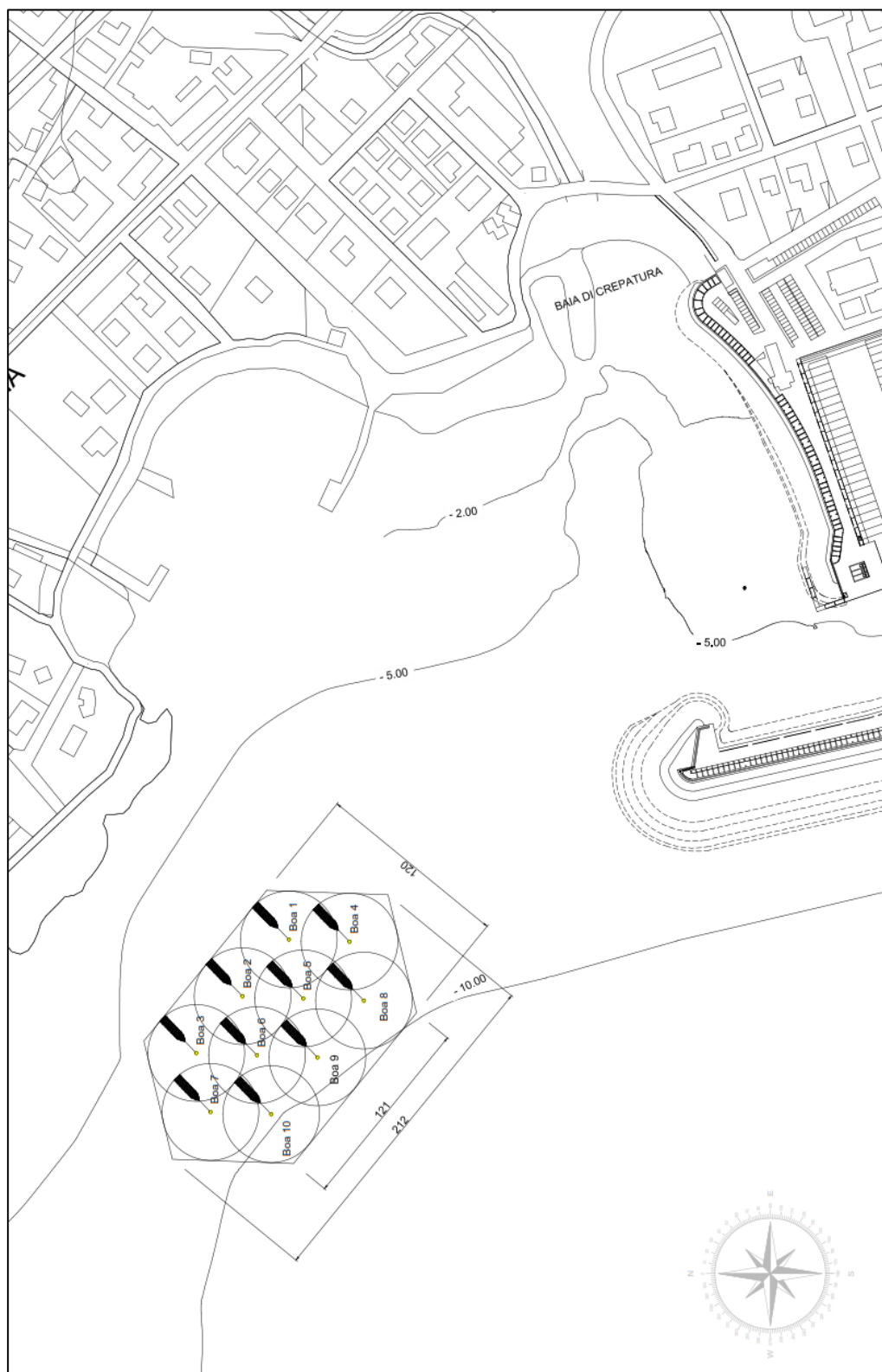


Figura 56: Dettaglio del campo boe

La distanza minima tra diga e campo di ormeggio è 150 m.

10.5.2 Ipotesi 2

La seconda ipotesi come detto è quella di mettere in posizione più riparata il campo boe, soprattutto rispetto alle direzioni ovest e sud ovest che sono quelle dominanti. Il punto scelto è quello davanti alla spiaggia di crepatura, a ridosso della diga di sottoflutto, il che faciliterebbe la fornitura dei servizi come energia e acqua diminuendone i costi. In questo caso a causa del minor spazio disponibile può essere conveniente un campo boe con due punti di ormeggio.



Figura 57: Ipotesi 2, Planimetria

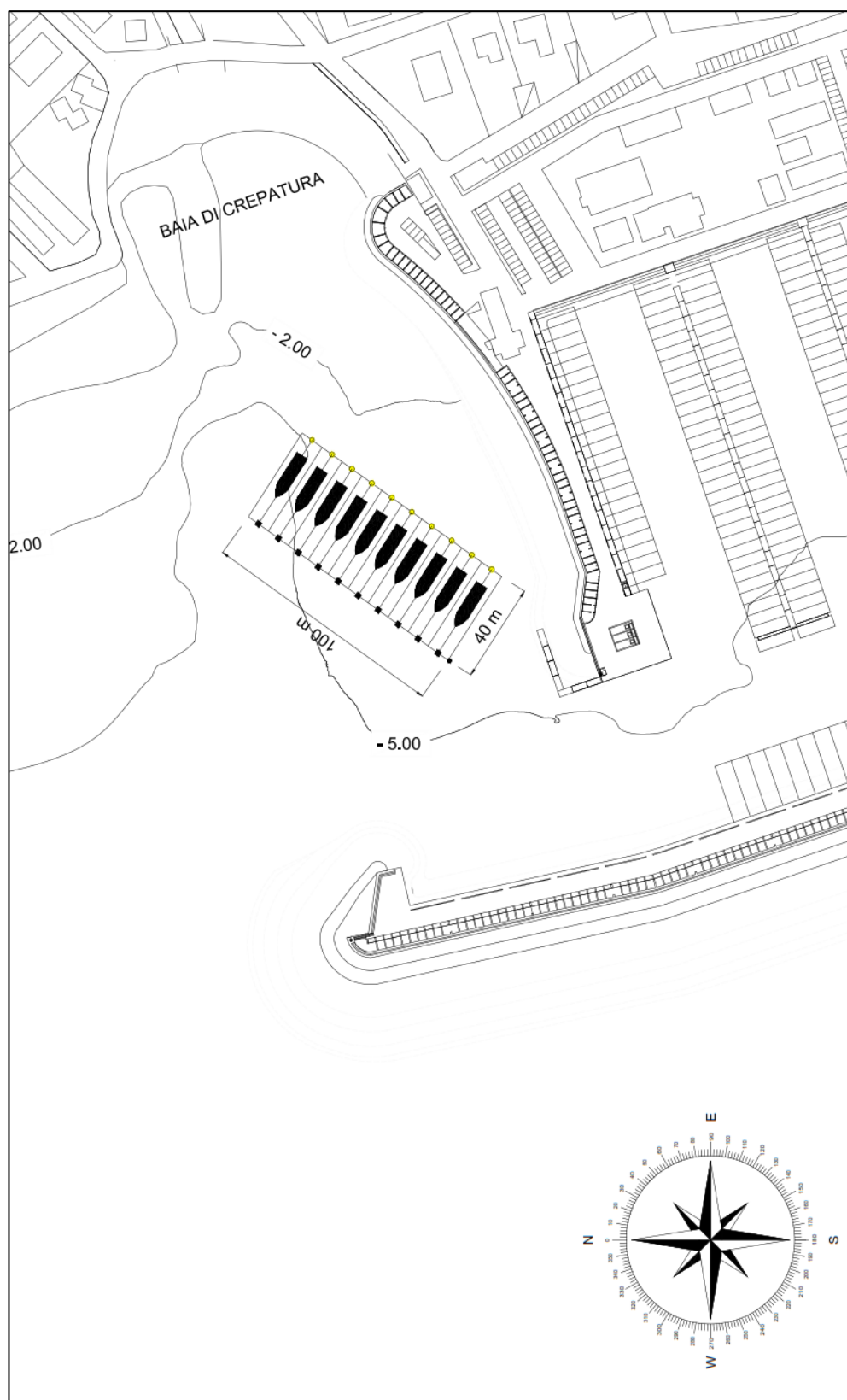


Figura 58: Ipotesi 2, Dettaglio

10.6 Diffrazione

Scelto il posizionamento del campo boe, è possibile fare una stima, almeno iniziale, della diffrazione con il metodo di Goda. Ovviamente in caso di un progetto esecutivo, oltre dei rilievi più accurati si rende necessario uno studio più nel dettaglio dei fenomeni di trasformazione del moto ondoso, tra cui la diffrazione, tramite simulazioni e modelli matematici.

Si ottengono i seguenti valori, in riferimento al metodo di Goda (§4.5.3.):

<i>Onde di progetto</i>									
Direzione	H	T	L0	α_0	(Smax) ₀	Smax	W	d	d/L0
S	2.82	7.47	87.05	5	10	27.5	12.657	10	0.1149
SO	3.34	7.47	87.05	50	10	36	14.896	10	0.1149
O	3.03	7.47	87.05	5	10	27.5	12.657	10	0.1149
NO	1.09	7.47	87.05	50	10	36	14.896	10	0.1149

Tabella 39: Onde di progetto e coefficienti Smax

Si valuta quindi il coefficiente di diffrazione $K(\theta)$ per ogni direzione di provenienza della mareggiata.

DIREZIONE S		DIREZIONE SO		DIREZIONE O		DIREZIONE NO	
$\vartheta [^\circ]$	$K(\vartheta)$	$\vartheta [^\circ]$	$K(\vartheta)$	$\vartheta [^\circ]$	$K(\vartheta)$	$\vartheta [^\circ]$	$K(\vartheta)$
-90	0.03	-90	0.02	-90	0.03	-90	0.03
-80	0.05	-80	0.03	-80	0.05	-80	0.05
-70	0.07	-70	0.05	-70	0.07	-70	0.07
-60	0.10	-60	0.08	-60	0.10	-60	0.10
-50	0.15	-50	0.12	-50	0.15	-50	0.15
-40	0.21	-40	0.18	-40	0.21	-40	0.21
-30	0.31	-30	0.27	-30	0.31	-30	0.31
-20	0.42	-20	0.40	-20	0.42	-20	0.42
-10	0.56	-10	0.55	-10	0.56	-10	0.56
0	0.71	0	0.71	0	0.71	0	0.71
10	0.83	10	0.84	10	0.83	10	0.83
20	0.91	20	0.92	20	0.91	20	0.91
30	0.95	30	0.96	30	0.95	30	0.95
40	1.00	40	1.00	40	1.00	40	1.00
50	1.00	50	1.00	50	1.00	50	1.00
60	1.00	60	1.00	60	1.00	60	1.00
70	1.00	70	1.00	70	1.00	70	1.00
80	1.00	80	1.00	80	1.00	80	1.00
90	1.00	90	1.00	90	1.00	90	1.00

Tabella 40: Valore del coefficiente di diffrazione al variare dell'angolo ϑ

10.6.1 Direzione Sud

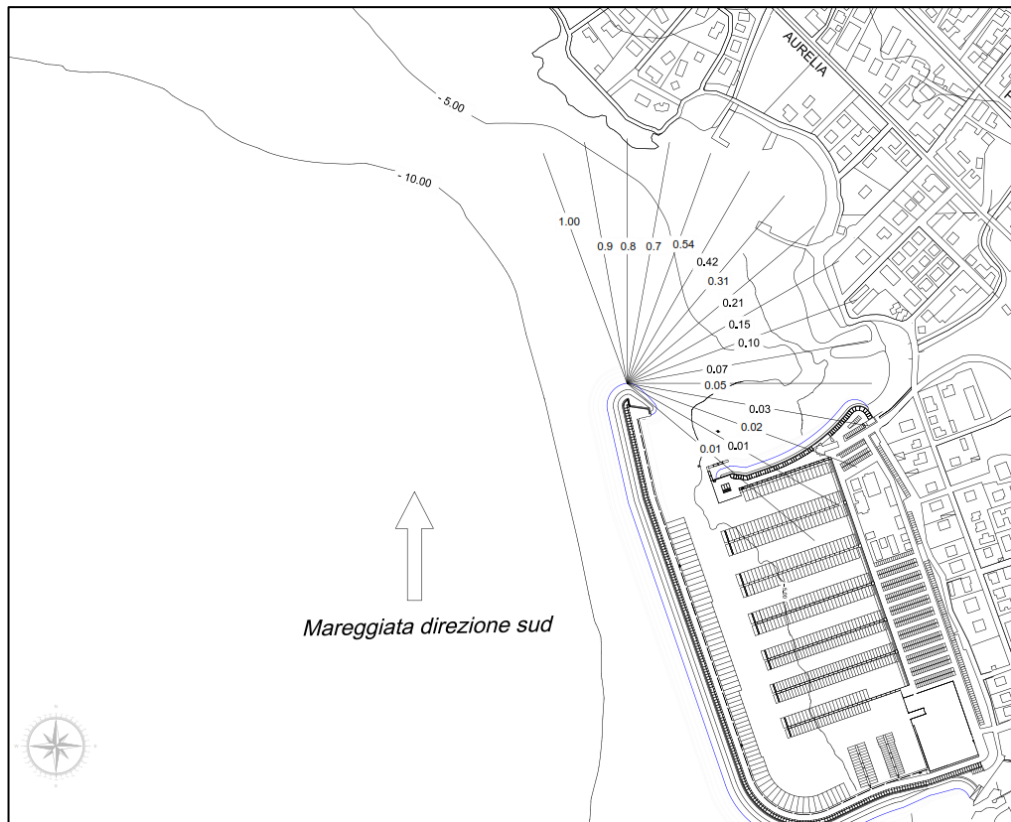


Figura 59: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Sud

Dunque è possibile a questo punto valutare l’altezza delle onde diffratte.

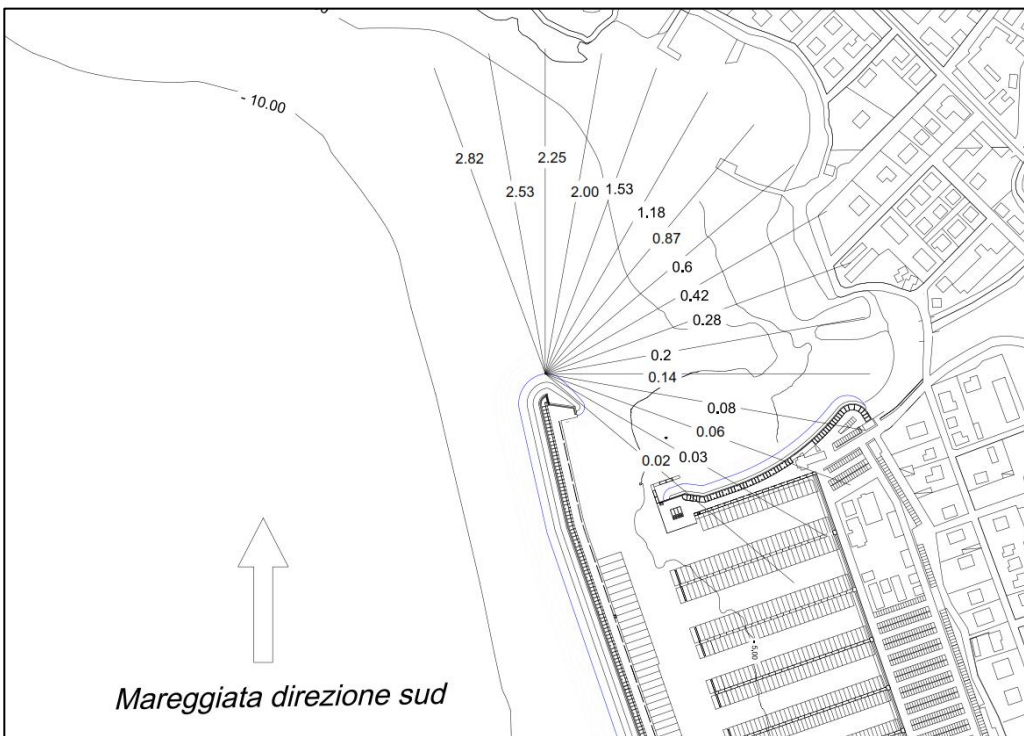


Figura 60: Altezza onda diffratta in metri, direzione Sud

10.6.2 Direzione Sud-Ovest

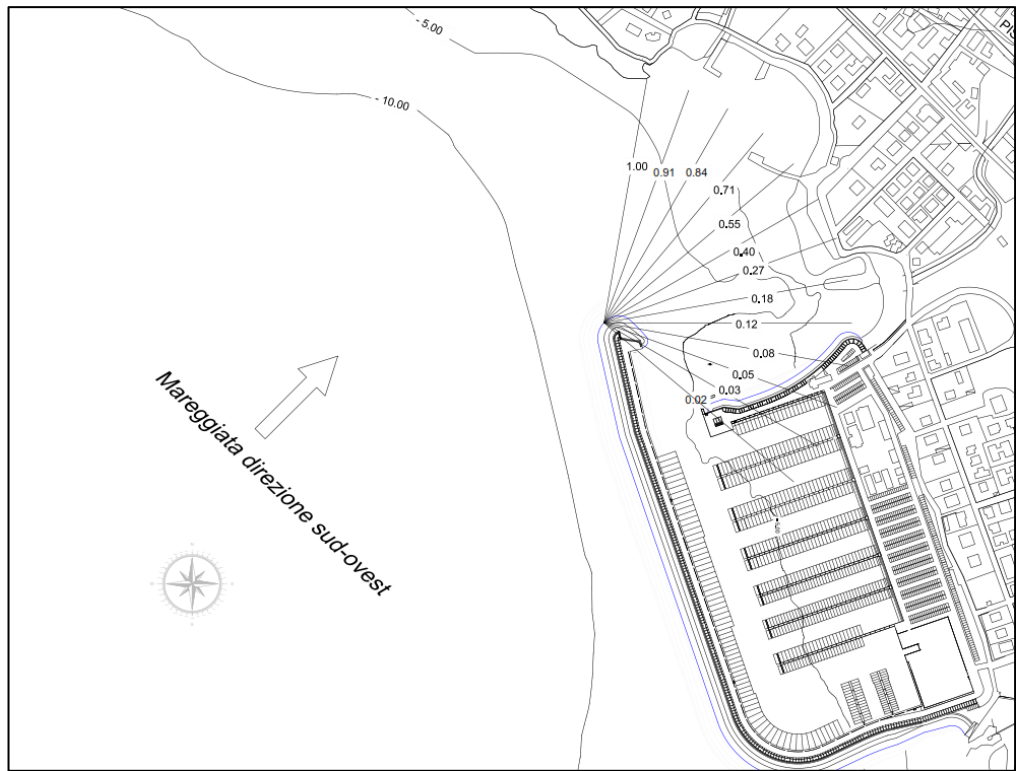


Figura 61: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Sud-Ovest

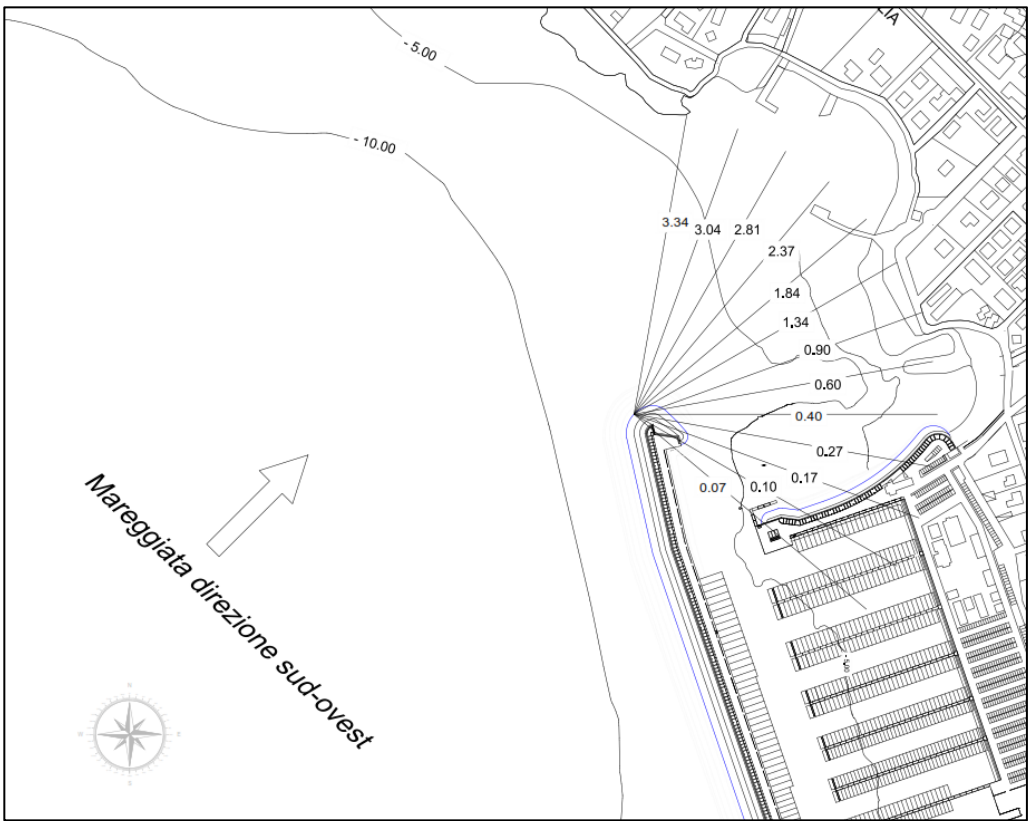


Figura 62: Altezza onda diffratta in metri, direzione Sud-Ovest

10.6.3 Direzione Ovest

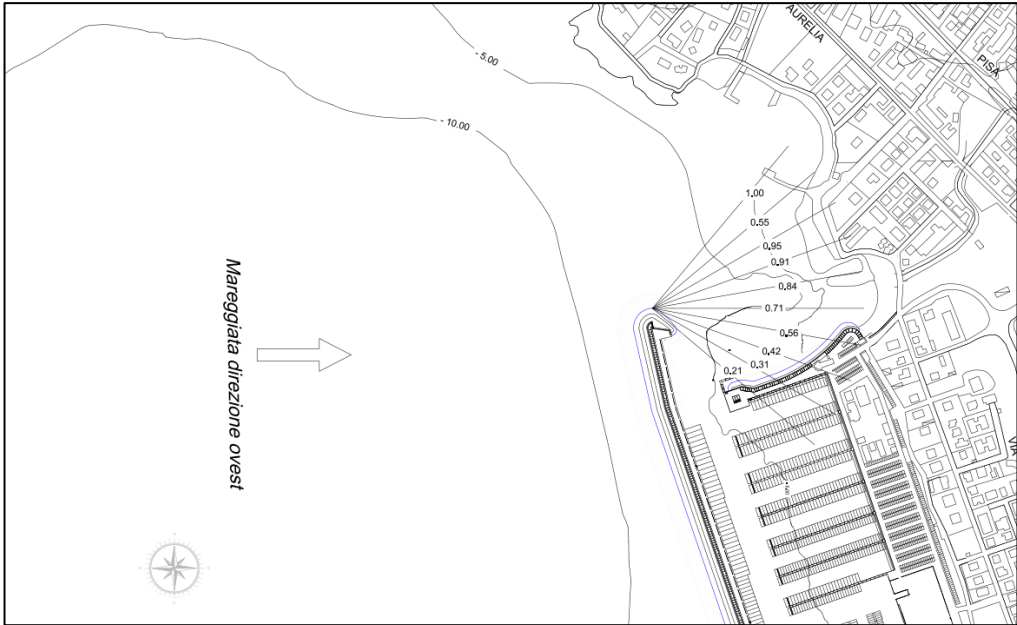


Figura 63: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Ovest

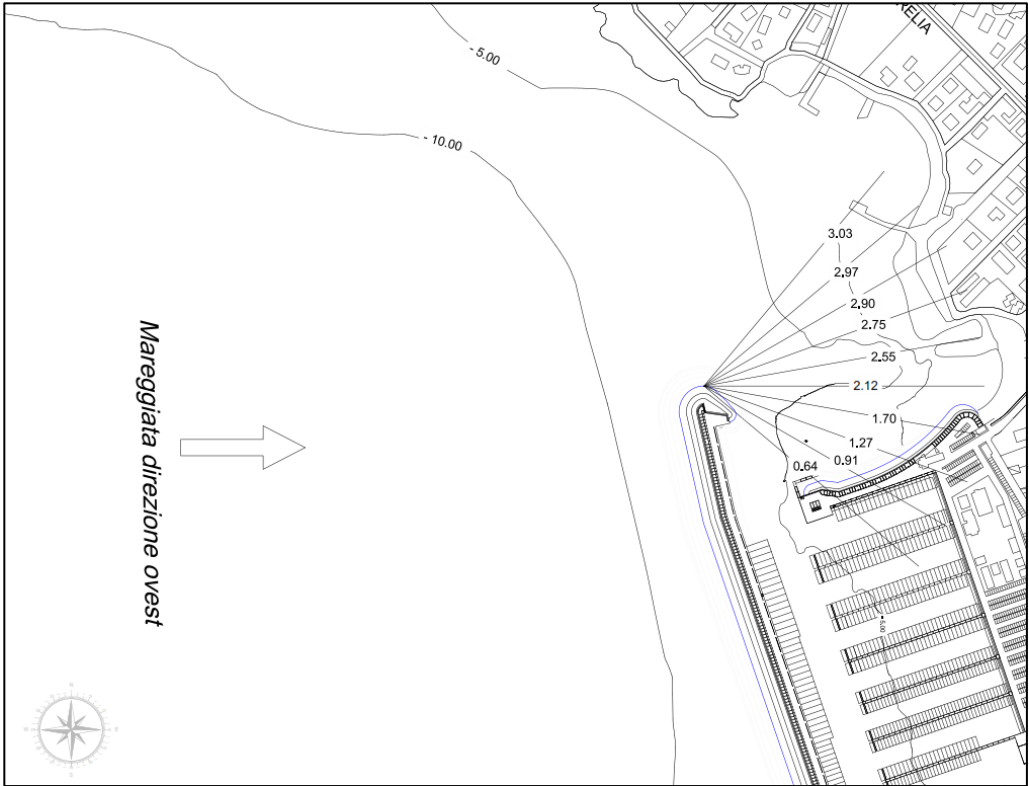


Figura 64: Altezza onda diffratta in metri, direzione Ovest

10.6.4 Direzione Nord-Ovest

In questo caso si ha una doppia diffrazione dovuta prima a punta righini e poi alla diga di sopraflutto (in quest'ultimo caso si considera l'onda diffratta ruotata fino ad una direzione Ovest).

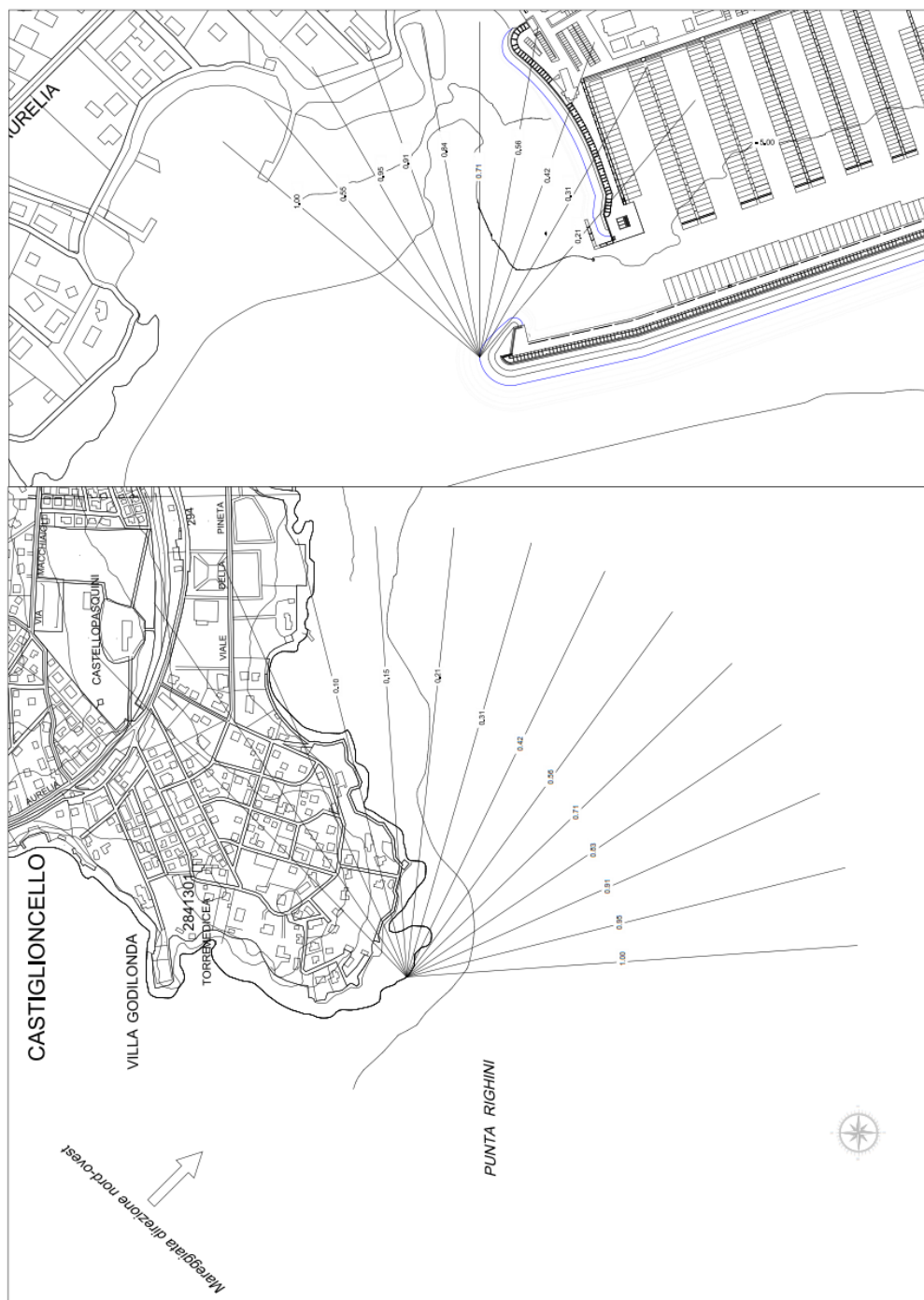


Figura 65: Coefficiente di diffrazione per mareggiate direzione Nord-Ovest

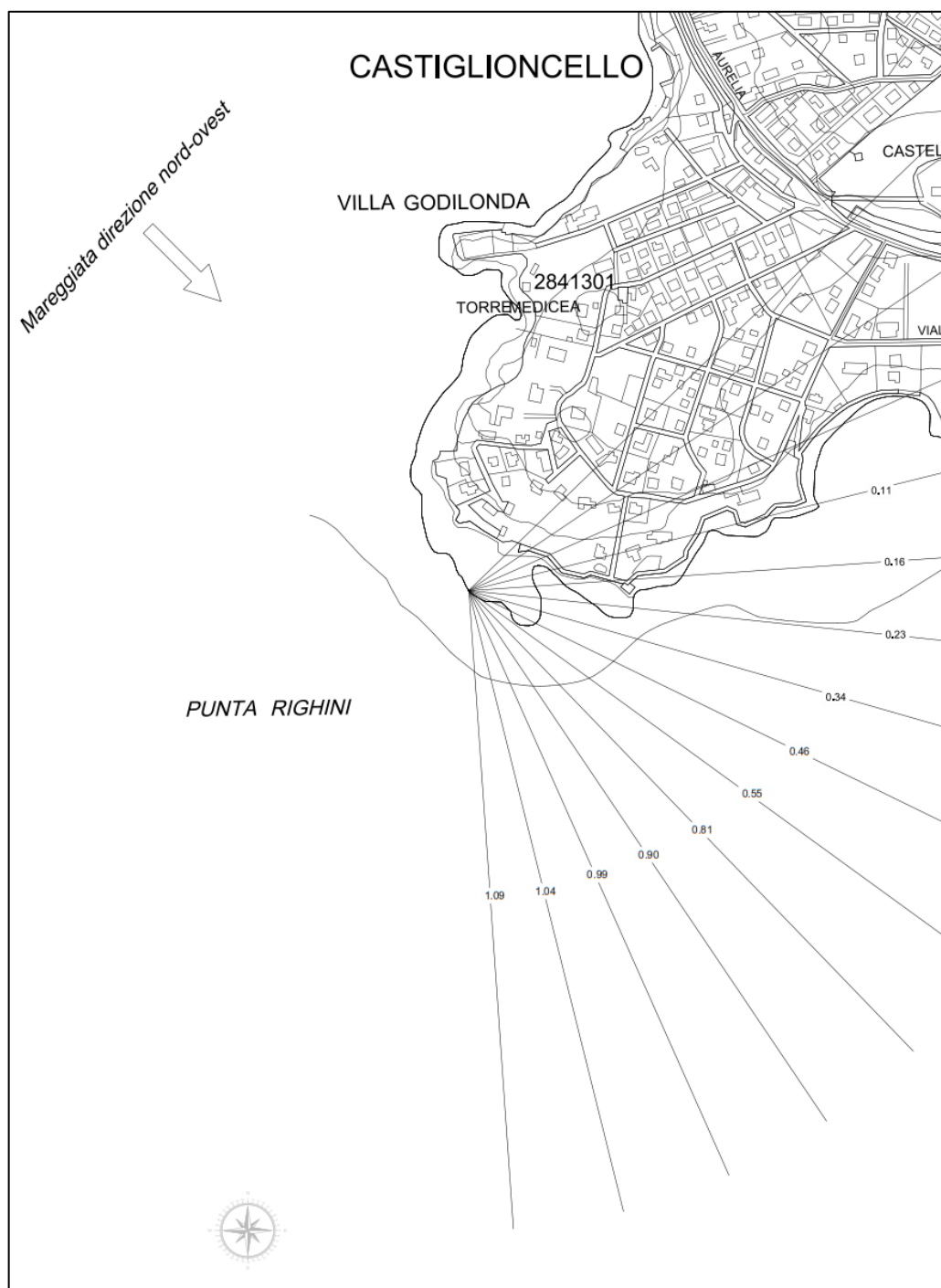


Figura 66: Altezza onda diffratta in metri, direzione Nord-Ovest

10.7 Confronti

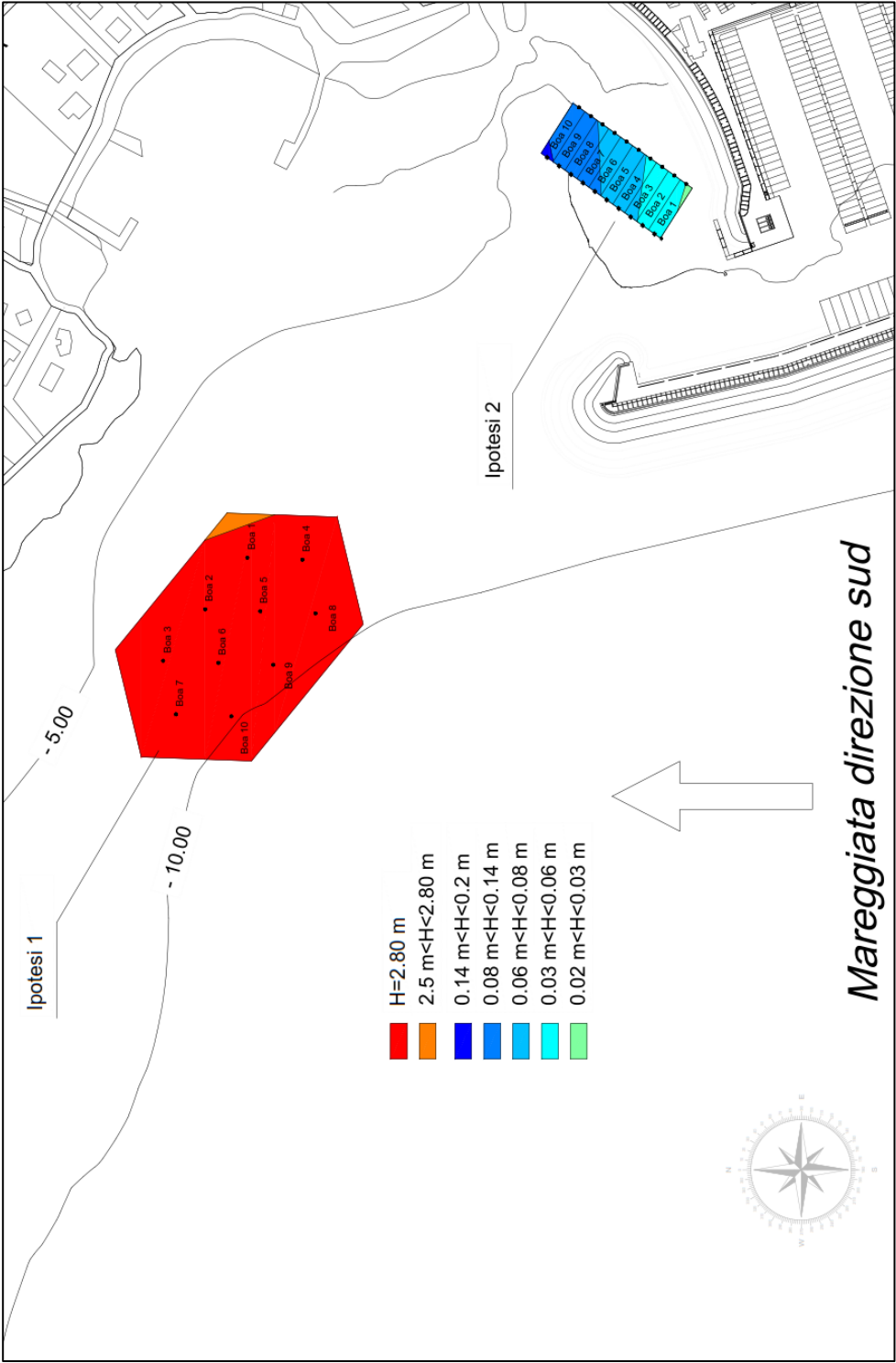


Figura 67: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Sud

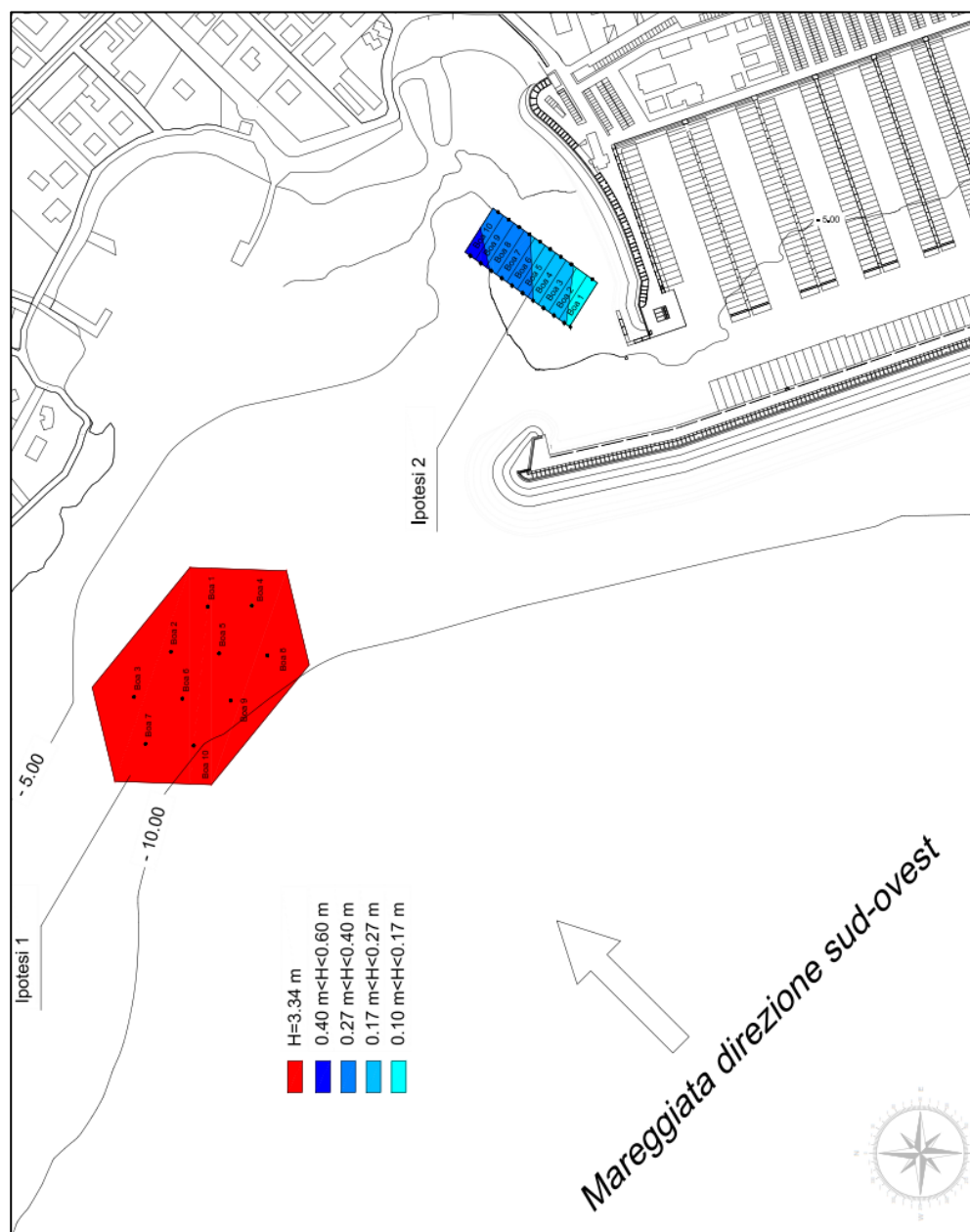


Figura 68: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Sud-Ovest

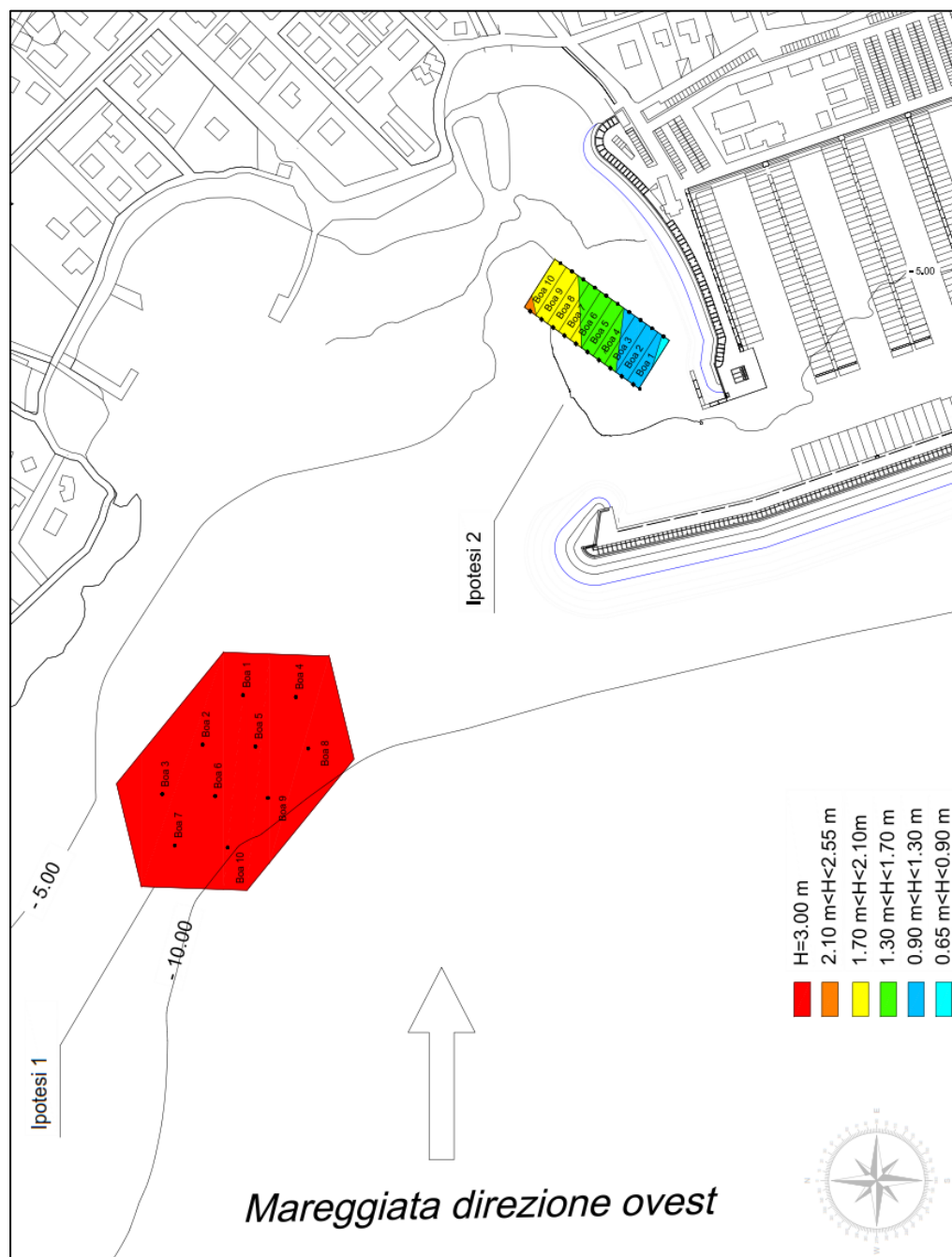


Figura 69: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Ovest

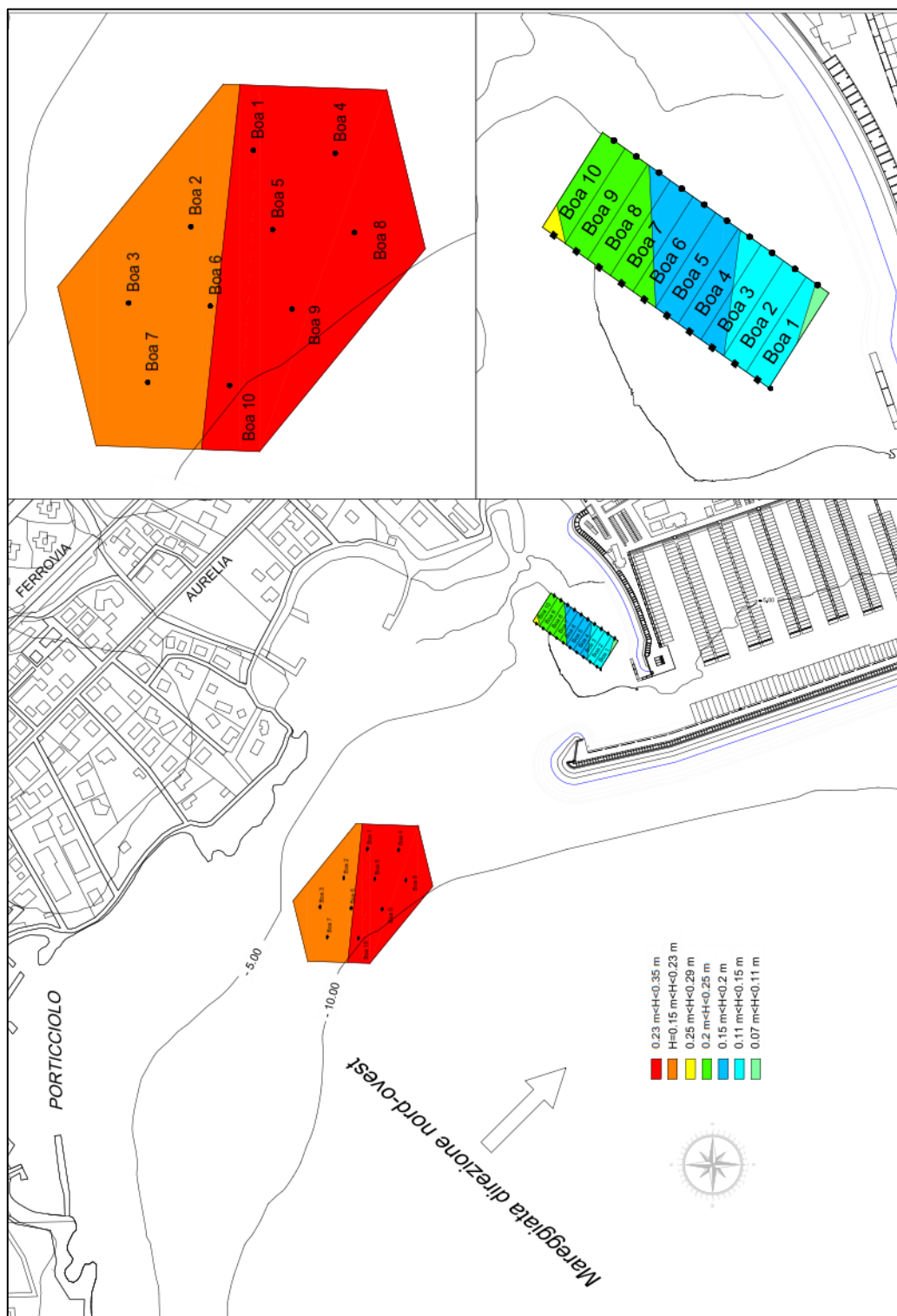


Figura 70: Confronto ipotesi 1 e 2 per mareggiate provenienti da Nord-Ovest

Come si vede l'ipotesi 2 è molto più riparata e l'onda diffratta, almeno ad una prima valutazione, è molto più piccola rispetto all'ipotesi 1.

Questo era ovvio per il fatto che la diga di sopraflutto offre un riparo più sicuro, mentre nell'ipotesi 1 l'alta esposizione alle mareggiate comporta onde di altezza maggiore. Invece nel caso di mareggiate da Nord-Ovest, punta righini offre una discreta protezione anche per l'ipotesi 1, e i due casi hanno agitazione confrontabile, nonostante l'ipotesi 2 favorisca della doppia diffrazione, dovuta anche alla diga di sopraflutto seppur in quantità modesta.

Si può vedere come in media l'ipotesi 2 è più riparata ed ha un'agitazione, in termini di altezza d'onda partendo dall'onda di progetto $H_{max} = H_{1/250}$, minore per ogni direzione di provenienza della mareggiata:

	DIREZIONE S		DIREZIONE SO		DIREZIONE O		DIREZIONE NO	
Ipotesi	1	2	1	2	1	2	1	2
H_{min}	1.5	0.02	3	0.10	3	0.65	0.15	0.07
H_{max}	2.8	0.20	3.34	0.60	3	2.10	0.35	0.29
H_{media}	2.15	0.11	3.17	0.35	3	1.38	0.25	0.18
Variazione ipotesi 2 rispetto all'ipotesi 1	0	95%	0	89%	0	54%	0	28%

Tabella 41: Agitazione nelle due ipotesi di campo boe (1e2) in funzione della direzione della mareggiata

Considerando i livelli di comfort per i porti²², che valgono:

- condizione di "comfort" (particolarmente importante nel caso di porti in cui si prevede la presenza prolungata di persone a bordo delle imbarcazioni): $H_s = 0.15\text{ m}$ per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni/anno;
- condizione di "sicurezza": $H_s = 0.30\text{ m}$ per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 5 anni;
- condizione "limite": $H_s = 0.50\text{ m}$ per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 50 anni;

si può vedere come, in riferimento all'altezza d'onda media, si ha:

	DIREZIONE S		DIREZIONE SO		DIREZIONE O		DIREZIONE NO	
	ipotesi 1	ipotesi 2	ipotesi 1	ipotesi 2	ipotesi 1	ipotesi 2	ipotesi 1	ipotesi 2
H_{media}	2.15	0.11	3.17	0.35	3	1.38	0.25	0.18
Condizione	oltre la cond. limite	cond. comfort	oltre la cond. limite	entro la cond. limite	oltre la cond. limite	oltre la cond. limite	cond. di sicurezza	cond. di sicurezza

²² Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici - PIANC

Riassumendo:

<i>IPOTESI 1</i>	<i>IPOTESI 2</i>
Vantaggi	
Maggiore Spazio:	Meno esposto ai venti ed alle onde: agitazione ridotta anche del 90% rispetto ipotesi 1
Più libertà di disposizione	Più giorni possibili di utilizzo
Maggiore sicurezza per barche in manovra	Maggior Sicurezza
Maggiore privacy utenti	Maggior Comfort
Maggiore distanza dalla spiaggia	Servizi più facilmente collegabili ed a minor costo
Maggior profondità del fondale (da 5 a 10m), possibilità di ormeggio per barche più grandi	Vicinanza maggiore al porto nel caso di mareggiata
Svantaggi	
Più esposizione alle mareggiate: onde molto più alte	Minor fondale (da 2.5 a 6 m) e quindi possibilità di ormeggio per barche più piccole
Più esposizione ai venti	Due punti di ormeggio fissano la barca e quindi è più soggetta a spinte trasversali del vento
Maggior fondale, necessità di catenarie per ormeggi più lunghe e quindi più costose	Più vicino alla spiaggia
Più difficoltosi e costosi i collegamenti ai servizi: acqua, energia	

10.8 Conclusioni

Alla luce di quanto analizzato, si possono dedurre le seguenti conclusioni di carattere progettuale.

Infatti, in riferimento alle due ipotesi per il posizionamento del campo di ormeggio tramite boe, si può vedere per quanto tempo sono rispettate le condizioni di comfort, sicurezza e limite in riferimento alle “Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici” redatte dal PIANC.

Tali condizioni sono riferite alle altezze massime delle onde all'interno dei porti turistici e sono:

	Comfort	Sicurezza	Limite
Hs [m]	0.15	0.30	0.50

Tabella 42: Condizioni di comfort, sicurezza e limite secondo il PIANC

Per definire il tempo per cui si hanno tali condizioni, è stato fatto riferimento alla percentuale di tempo per cui si hanno mareggiate in una specifica direzione. In base a ciò è stato possibile determinare l'onda di ognuna direzione per cui la sua trasformazione comporta il rispetto delle condizioni di comfort, sicurezza e limite, e determinare, sulla curva cumulata, la rispettiva frequenza di accadimento.

- Comfort

	ipotesi 1				ipotesi 2			
	Sud	SudOvest	Ovest	NordOvest	Sud	SudOvest	Ovest	NordOvest
H _s [m]	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Coeff. Di diffrazione max	0.34	1.00	1.00	1.00	0.20	0.18	0.84	0.27
H _{max}	0.44	0.15	0.15	0.15	0.75	0.83	0.18	0.56

Tabella 43: H_{max} per la condizione di Comfort, per ogni direzione

In riferimento a ciò l'altezza d'onda, derivante dalla media pesata in funzione della direzione di provenienza, vale per le due ipotesi:

	Ipotesi 1	Ipotesi 2
Hs [m]	0.21	0.66

Tabella 44: Onda massima che garantisce la condizione di Comfort

Inserendo queste altezze d'onda nella curva cumulata si può vedere come si ha la condizione di comfort per il 35% nell'ipotesi 1 e per il 72% nell'ipotesi 2.

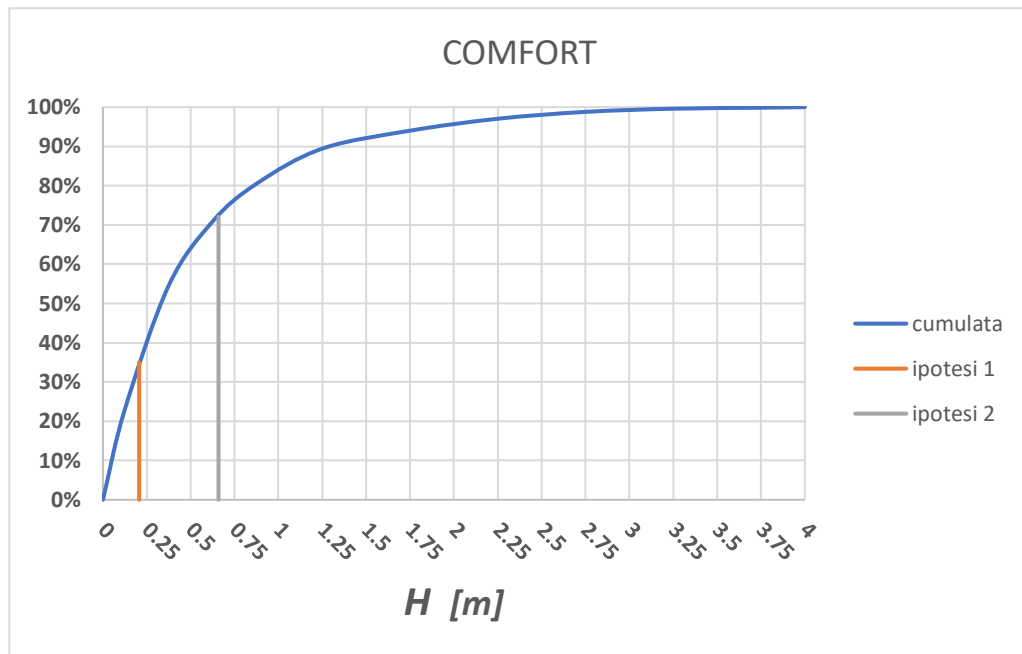


Figura 71: Curva Cumulata e percentuale di Comfort nelle due ipotesi

- Sicurezza

	ipotesi 1				ipotesi 2			
	Sud	SudOvest	Ovest	NordOvest	Sud	SudOvest	Ovest	NordOvest
Hs [m]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Coeff. Di diffrazione max	0.34	1.00	1.00	1.00	0.20	0.18	0.84	0.27
Hmax	0.88	0.30	0.30	0.30	1.50	1.67	0.36	1.13

Tabella 45: Hmax per la condizione di Sicurezza, per ogni direzione

In riferimento a ciò l'altezza d'onda, vale per le due ipotesi:

	Ipotesi 1	Ipotesi 2
Hs [m]	0.41	1.32

Tabella 46: Onda massima che garantisce la condizione di Sicurezza

Inserendo queste altezze d'onda nella curva cumulata si può vedere come si ha la condizione di comfort per il 58% nell'ipotesi 1 e per il 90% nell'ipotesi 2.

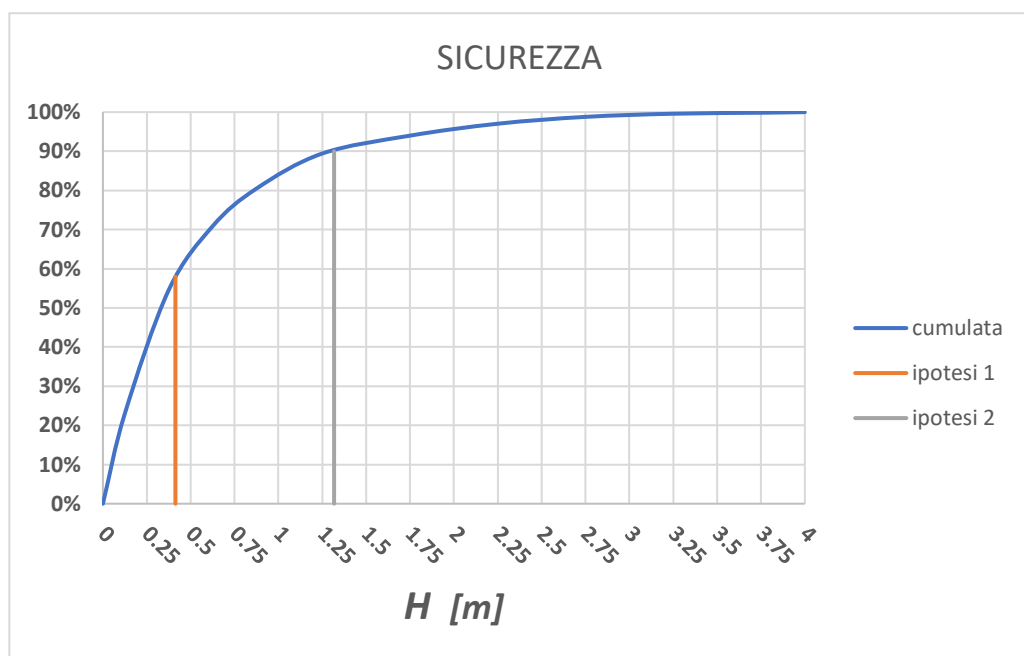


Figura 72: Curva Cumulata e percentuale di Sicurezza nelle due ipotesi

- Limite

	ipotesi 1				ipotesi 2			
	Sud	SudOvest	Ovest	NordOvest	Sud	SudOvest	Ovest	NordOvest
Hs [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Coeff. Di diffrazione max	0.34	1.00	1.00	1.00	0.20	0.18	0.84	0.27
Hmax	1.47	0.50	0.50	0.50	2.50	2.78	0.60	1.88

Tabella 47: Hmax per la condizione Limite, per ogni direzione

In riferimento a ciò l'altezza d'onda, vale per le due ipotesi:

	Ipotesi 1	Ipotesi 2
Hs [m]	0.69	2.20

Tabella 48: Onda massima che garantisce la condizione Limite

Inserendo queste altezze d'onda nella curva cumulata si può vedere come si ha la condizione di comfort per il 74% nell'ipotesi 1 e per il 97% nell'ipotesi 2.

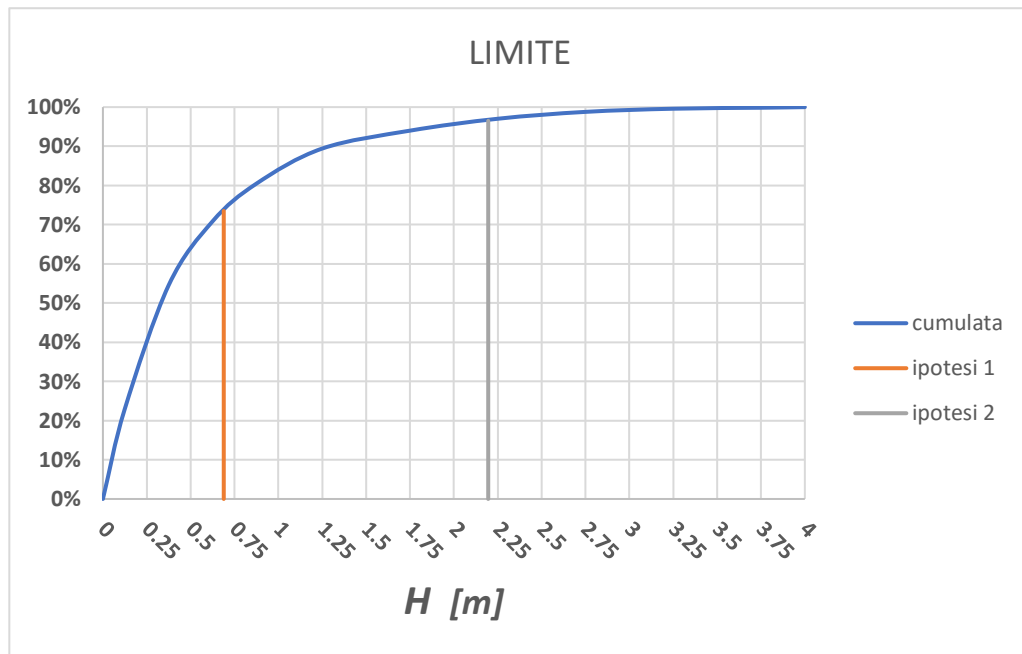


Figura 73: Curva Cumulata e percentuale di Sicurezza nelle due ipotesi

Riassumendo:

	COMFORT	SICUREZZA	LIMITE
Ipotesi 1	35%	58%	74%
Ipotesi 2	72%	90%	97%

Tabella 49: Percentuale di tempo estivo in cui si ha rispetto delle condizioni di Comfort, di Sicurezza e Limite

A questo punto si passa al dimensionamento dei corpi morti e delle catene.

Per il dimensionamento si fa riferimento alla velocità massima di vento registrata dalle raffiche.

$$V_d = 30 \text{ nodi} = 15 \text{ m/s}$$

Si considerano così divisi gli ormeggi per le barche:

	n°
barche fino a 15 m	4
barche fino a 24 m	4
barche fino a 30 m	2

Tabella 50: Suddivisione ormeggi

Le ipotesi utilizzate sono:

- Vento e moto ondosio hanno stessa direzione;
- Coeff. Aereodinamico della prua pari a 0.82;
- Fondale sabbioso e calcestruzzo dei corpi morti scabro: coefficiente di attrito pari a 0.69 che corrisponde ad un angolo di attrito pari a 34° circa;

- Si trascura l'eventuale e probabile insabbiamento del corpo morto che aumenta la resistenza allo slittamento laterale;

10.8.1 Ipotesi 1

In questo caso si tratta di ormeggi alla ruota, ovvero con un singolo punto di ormeggio, per cui la lunghezza della catena è maggiore, e pari ad un terzo della lunghezza del fondale. Supposto che gli ormeggi sono posti ad un fondale massimo di 10 m, la lunghezza della catena vale:

$$L_c = 30 \text{ m}$$

	Forza Aerodinamica [kg]	Forza Idrodinamica [kg]	Totale [kg]
Fino a 15 m	1430.4	172.7	1603.1
Fino a 24 m	2203.9	281.6	2485.5
Fino a 30 m	3035.8	423.6	3459.4

Tabella 51: Sforzi sulle barche

Le forze trasmesse dalle imbarcazioni alla catena, quando questa è in tiro, valgono:

	F _h [kg]	F _v [kg]
Fino a 15 m	1134	1134
Fino a 24 m	1758	1758
Fino a 30 m	2446	2446

Tabella 52: Sforzi trasmessi alla catena

La catena oppone allo sforzo verticale F_v il suo peso immerso. Si utilizzano catene più grandi per la prima metà e più piccole per la seconda metà. In particolare:

	ϕ_1 [mm]	ϕ_2 [mm]	L ₁ [m]	L ₂ [m]	Totale [kg]
barche fino a 15 m	16	8	15	15	97
barche fino a 24 m	20	10	15	15	152
barche fino a 30 m	24	12	15	15	219

Tabella 53: Caratteristiche catene

Dunque si calcola il minimo peso immerso del corpo morto e quello asciutto.

	W _{min} [kg]
barche fino a 15 m	5138
barche fino a 24 m	7964
barche fino a 30 m	11072

Tabella 54: peso minimo asciutto del corpo morto

Dunque si decide di utilizzare corpi morti pari a:

	W [kg]	n°
barche fino a 15 m	6000	4
barche fino a 24 m	8000	4
barche fino a 30 m	12000	2

Tabella 55: Peso e numero dei corpi morti scelti

Il coefficiente di sicurezza allo slittamento è pari a $\frac{W_{min}}{F_h} = 4.5$ ed è accettabile.

Volendo mantenere un'altezza massima del corpo morto di 50 cm, e considerando la base quadrata, si ottengono le seguenti dimensioni:

	W [kg]	Volume [m ³]	h _{max} [m]	B [m]
barche fino a 15 m	6000	2.40	0.5	2.2
barche fino a 24 m	8000	3.20	0.5	2.5
barche fino a 30 m	12000	4.80	0.5	3.1

Tabella 56: Dimensioni dei corpi morti

Le catene hanno un carico di rottura pari a:

φ [mm]	Carico Rottura [kg]
8	3000
10	5500
12	8000
16	12600
20	20000
24	30000

Tabella 57: Carico di rottura delle catene

Dunque:

	φ ₁ [mm]	φ ₂ [mm]	T [kg]	Carico Rottura [kg]	Coeff. Di Sicurezza	Verifica
barche fino a 15 m	16	8	1603	3000	1.9	Verificato
barche fino a 24 m	20	10	2486	5500	2.2	Verificato
barche fino a 30 m	24	12	3459	8000	2.3	Verificato

Tabella 58: Verifica degli sforzi sulle catene

Il prezzo delle catene in acciaio galvanizzato a caldo è circa 2.8 €/kg per cui:

	Prezzo catene €
barche fino a 15 m	272
barche fino a 24 m	426
barche fino a 30 m	613

Tabella 59: Prezzo catene

Al cento del corpo morto è posto un ferro φ20 mm (due sarebbero meglio in quanto se uno si rovina nel tempo si può utilizzare il secondo senza cambiare il corpo morto) opportunamente sagomato a forma di omega di acciaio galvanizzato a caldo a cui viene attaccata la catena. Inoltre agli angoli vengono posti n°4 golfari φ10, utili per il posizionamento del corpo morto in acqua tramite galleggianti opportunamente dimensionati in modo da dare stabilità al corpo morto stesso durante l'affondamento.

Il prezzo stimato dei soli materiali di questo intervento è circa 10500€.

10.8.2 Ipotesi 2

In questo caso si tratta di ormeggi con due punto di ormeggio, per cui si avranno due catene, una a prua e una a poppa. Supposto che gli ormeggi sono posti ad un fondale massimo di 7 m, la lunghezza delle catene vale:

	Forza Aerodinamica [kg]	Forza Idrodinamica [kg]	Totale [kg]
Fino a 15 m	1430.4	172.7	1603.1
Fino a 24 m	2203.9	281.6	2485.5
Fino a 30 m	3035.8	423.6	3459.4

Tabella 60: Sforzi sulle barche

Le forze trasmesse dalle imbarcazioni ad ognuna delle due catene valgono:

	F_h [kg]	F_v [kg]
Fino a 15 m	567	567
Fino a 24 m	869	869
Fino a 30 m	1223	1223

Tabella 61: Sforzi trasmessi a ciascuna catena

La catena oppone allo sforzo verticale F_v il suo peso immerso. Si utilizzano catene più grandi per la prima metà e più piccole per la seconda metà. In particolare:

Catena di prua							
	φ1 [mm]	φ2 [mm]	L1 [m]	L2 [m]	F1 [kg]	F2 [kg]	Totale [kg]
barche fino a 15 m	16	8	7.5	7.5	39	10	49
barche fino a 24 m	20	10	7.5	7.5	61	15	76
barche fino a 30 m	24	12	7.5	7.5	88	22	109
Catena di poppa							
	φ1 [mm]	φ2 [mm]	L1 [m]	L2 [m]	F1 [kg]	F2 [kg]	Totale [kg]
barche fino a 15 m	16	8	3.75	3.75	19	5	24
barche fino a 24 m	20	10	3.75	3.75	30	8	38
barche fino a 30 m	24	12	3.75	3.75	44	11	55

Tabella 62: Caratteristiche catene

Dunque si calcola il minimo peso immerso del corpo morto e quello asciutto.

	Prua	Poppa
	Wmin [kg]	Wmin [kg]
barche fino a 15 m	2419	2470
barche fino a 24 m	3882	3946
barche fino a 30 m	5336	5429

Tabella 63: peso minimo asciutto dei corpi morti

Dunque si decide di utilizzare corpi morti pari a:

	W [kg]	n°
barche fino a 15 m	2500	8
barche fino a 24 m	4000	8
barche fino a 30 m	5500	4

Tabella 64: Peso e numero dei corpi morti scelti

Il coefficiente di sicurezza allo slittamento è pari a $\frac{W_{min}}{F_h} = 4.5$.

Volendo mantenere un'altezza massima del corpo morto di 50 cm, e considerando la base quadrata, si ottengono le seguenti dimensioni:

	W [kg]	Volume [m³]	h _{max} [m]	B [m]
barche fino a 15 m	2500	1.00	0.5	1.4
barche fino a 24 m	4000	1.60	0.5	1.8
barche fino a 30 m	5500	2.20	0.5	2.1

Tabella 65: Dimensioni dei corpi morti

Le catene hanno un carico di rottura pari a:

φ [mm]	Carico Rottura [kg]
8	3000
10	5500
12	8000
16	12600
20	20000
24	30000

Tabella 66: Carico di rottura delle catene

Dunque, essendo in questo caso il carico diviso in due catene, risulta sicuramente soddisfatta la verifica degli sforzi.

Il prezzo delle catene in acciaio galvanizzato a caldo è circa 2.8 €/kg per cui:

	Prezzo €
barche fino a 15 m	204
barche fino a 24 m	319
barche fino a 30 m	460

Tabella 67: Prezzo catene

Al cento del corpo morto è posto un ferro φ20 mm (due sarebbero meglio in quanto se uno si rovina nel tempo si può utilizzare il secondo senza cambiare il corpo morto) opportunamente sagomato a forma di omega di acciaio galvanizzato a caldo a cui viene attaccata la catena. Inoltre agli angoli vengono posti n°4 golfari φ10, utili per il posizionamento del corpo morto in acqua tramite galleggianti opportunamente dimensionati in modo da dare stabilità al corpo morto stesso durante l'affondamento.

Il costo totale dei materiali stimato per questa seconda ipotesi è pari a 9000€.

10.9 Allegati

Si riportano in allegato le tavole di progetto per le due ipotesi, in formato A3.

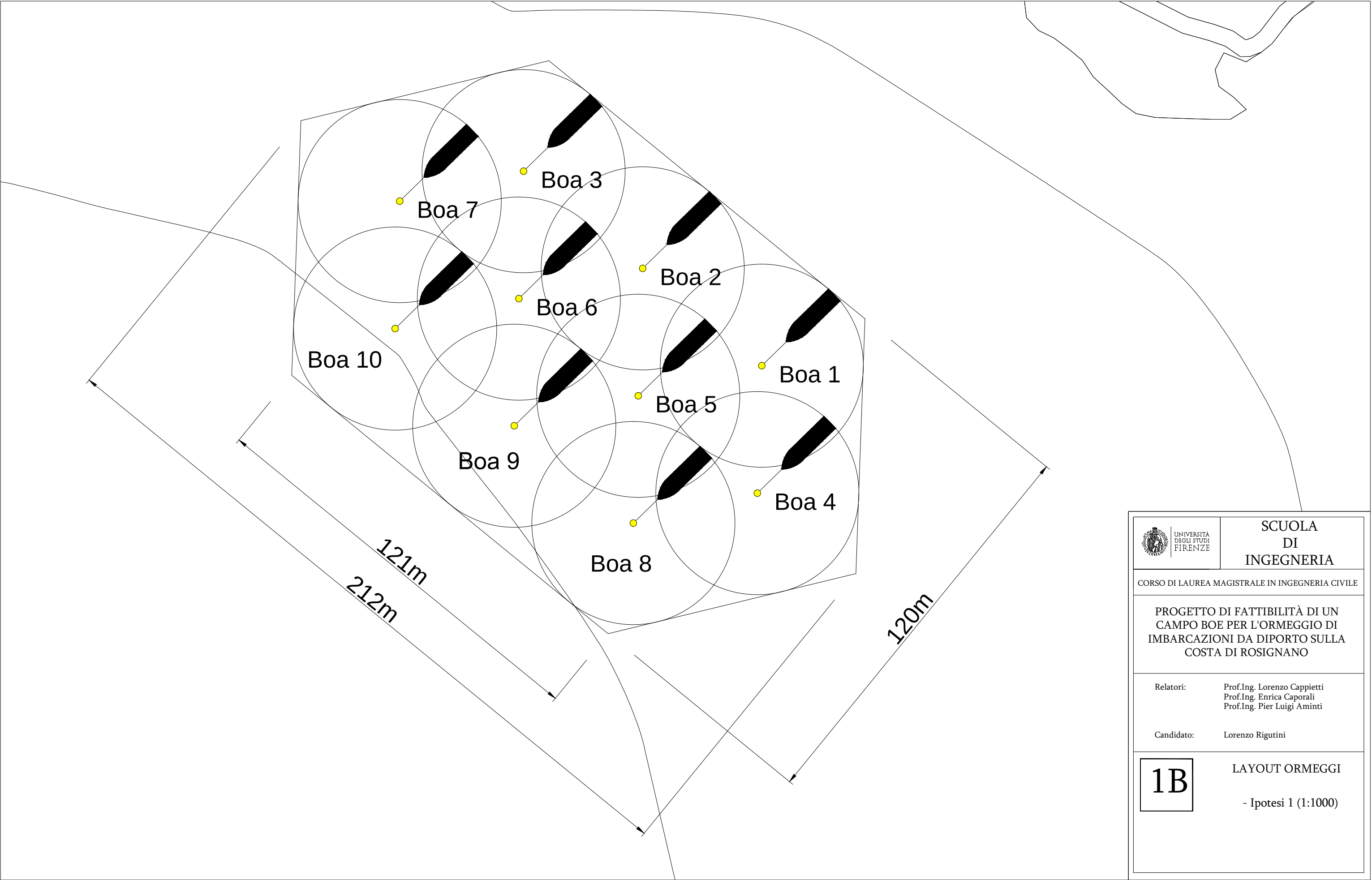
- 1A Planimetria ipotesi 1 ; Scala 1:10000
- 1B Layout ormeggi ipotesi 1 ; Scala 1:1000
- 1C Dettagli ipotesi 1:
 - Inquadramento ; Scala 1:1000
 - Prospetto laterale ; Scala 1:100
 - Particolare corpi morti ; Scala 1:50
 - Particolare ferro a Ω ; Scala 1:25
 - Particolare golfare ; Scala 1:5
- 2A Planimetria ipotesi 2 ; Scala 1:10000
- 2B Layout ormeggi ipotesi 2 ; Scala 1:1000
- 2C Dettagli ipotesi 2:
 - Inquadramento ; Scala 1:1000
 - Prospetto laterale ; Scala 1:100
 - Particolare corpi morti ; Scala 1:50
 - Particolare ferro a Ω ; Scala 1:25
 - Particolare golfare ; Scala 1:5

11 Bibliografia

- AIPCN/PIANC. (2002). *Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici*.
- Bergdahl, L. (2009). *Wave-Induced Loads and Ship Motion*. Goteborg, Sweden: Department of Civil and Environmental Engineering .
- Berteaux, H. (1976). *Buoy Engineering*. Woods Hole Oceanografic Institute.
- Goda, Y. (2000). *Random Seas And Design Of Maritime Structures*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Hinz, R. (1994). *The Complete Book of Anchor and Mooring*. Cornell Maritime Press, Inc.
- Kamphuis. (s.d.). *Introduction to coastal engeneering and management*. Canada: Queen's University.
- Kulhawy, W. B.-F. (1983). *Coastal Structures Handbook- Dock, Piers and Wharves*.
- Misra, S. (2015). *Design Princiles of Ships and Marine Stuctures*. CRC Press.
- Taylor, R. (1982). *Interaction of anchors with soil and anchor design*. Naval Facilities Engineering Command.
- Tommasicchio, P. I. (2011). Lo stato dell'arte dell'ingegneria costiera in Italia. In P. I. Tommasicchio, *Manuale di ingegneria portuale e costiera*.
- US Army Corps of Engineers, U. (1984). *Shore Protection Manual vol. I*.
- US Army Corps of Engineers, U. (1984). *Shore Protection Manual vol. II*.
- US Army Corps of Engineers, U. (2008). *Coastal Engineering Manual*.

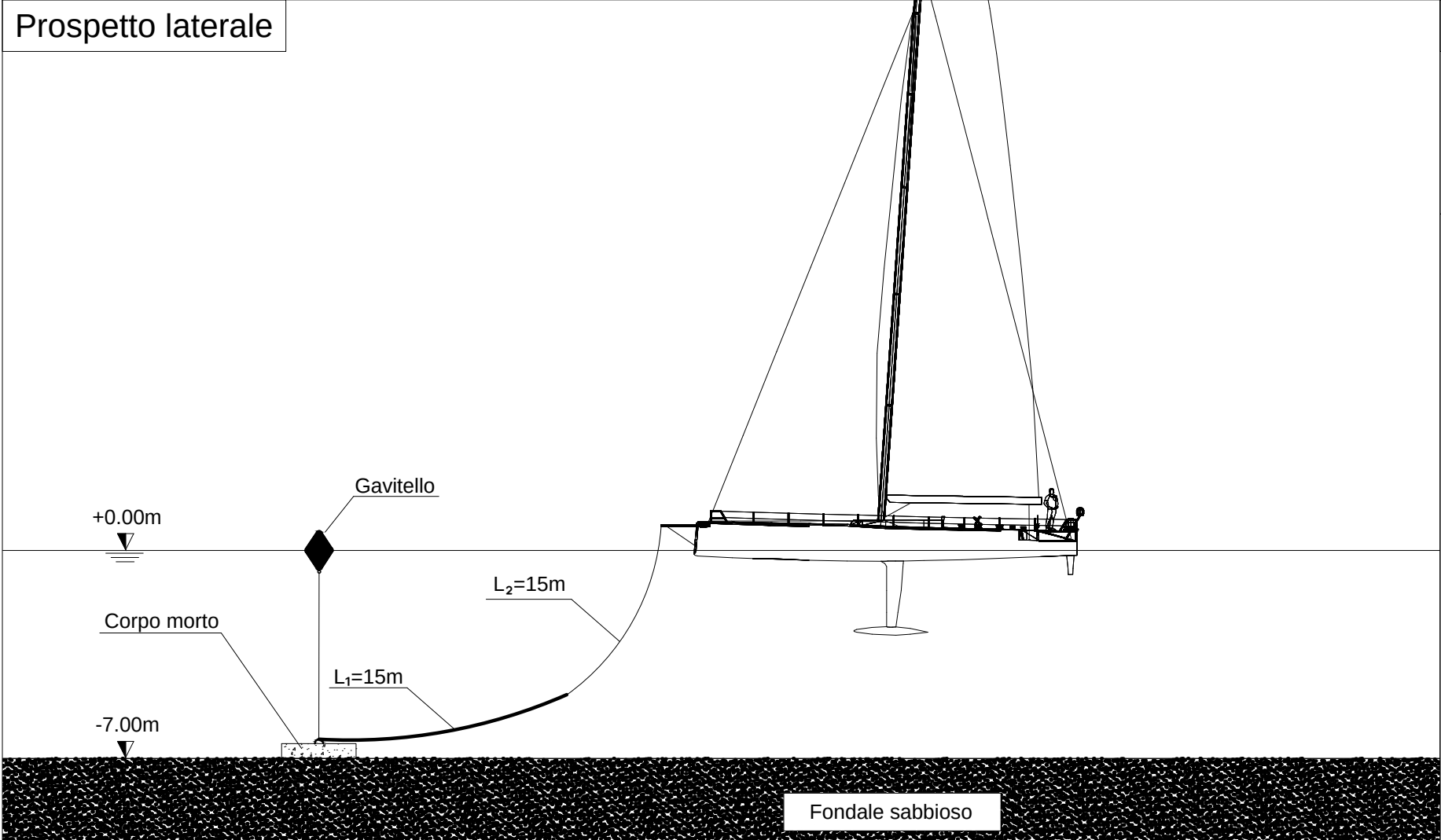


 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE	SCUOLA DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE	
PROGETTO DI FATTIBILITÀ DI UN CAMPO BOE PER L'ORMEGGIO DI IMBARCAZIONI DA DIPORTO SULLA COSTA DI ROSIGNANO	
Relatori:	Prof.Ing. Lorenzo Cappietti Prof.Ing. Enrica Caporali Prof.Ing. Pier Luigi Aminti
Candidato:	Lorenzo Rigutini
1A	PLANIMETRIA - Ipotesi 1 (1:10000)

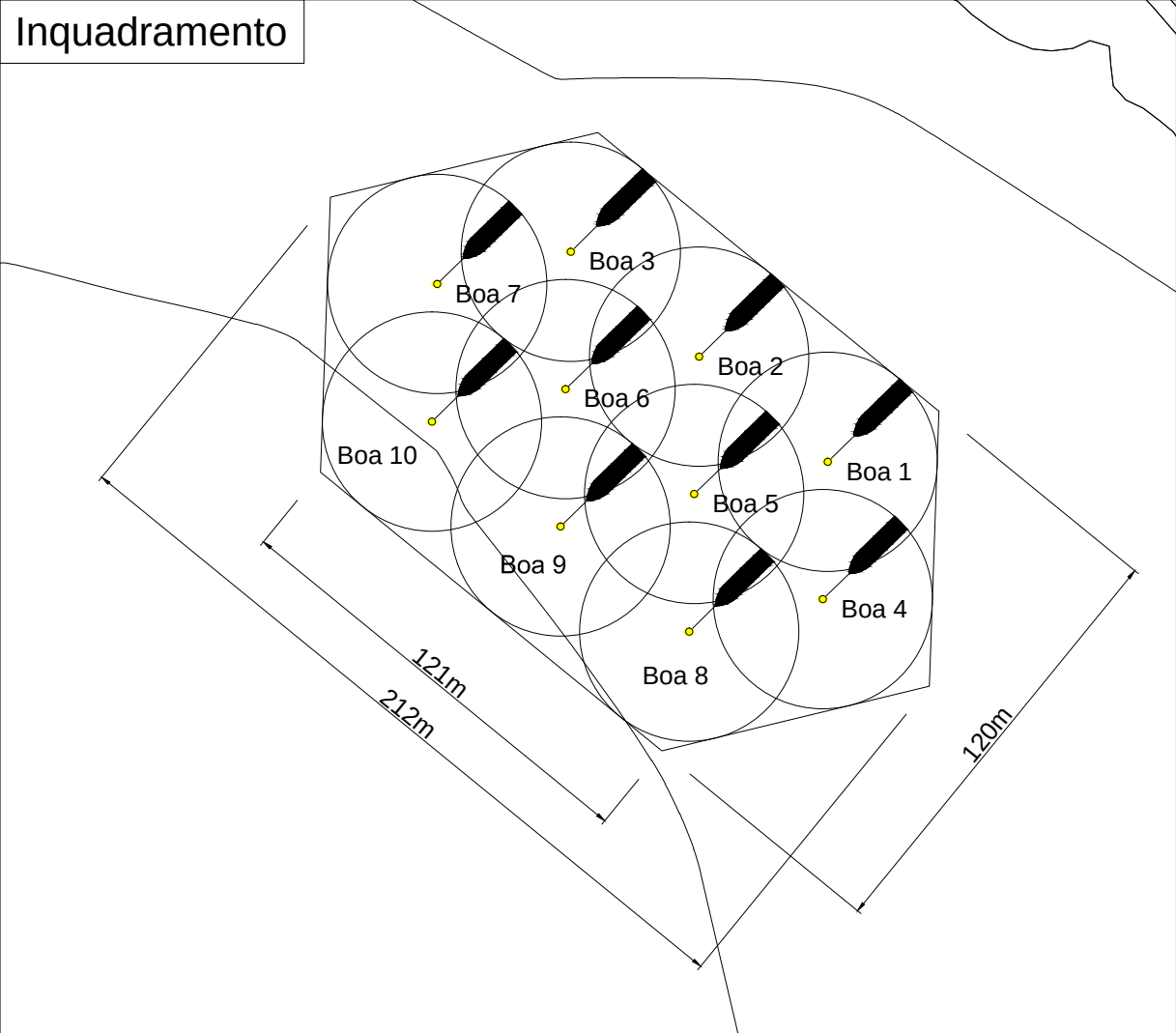


 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE		SCUOLA DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE		
PROGETTO DI FATTIBILITÀ DI UN CAMPO BOE PER L'ORMEGGIO DI IMBARCAZIONI DA DIPORTO SULLA COSTA DI ROSIGNANO		
Relatori:	Prof.Ing. Lorenzo Cappietti Prof.Ing. Enrica Caporali Prof.Ing. Pier Luigi Aminti	
Candidato:	Lorenzo Rigutini	
1B	LAYOUT ORMEGGI - Ipotesi 1 (1:1000)	

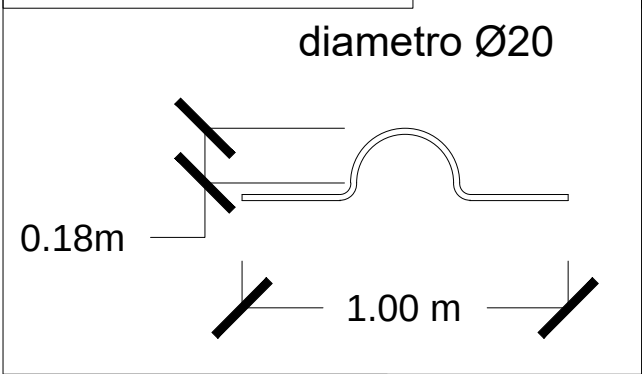
Prospetto laterale



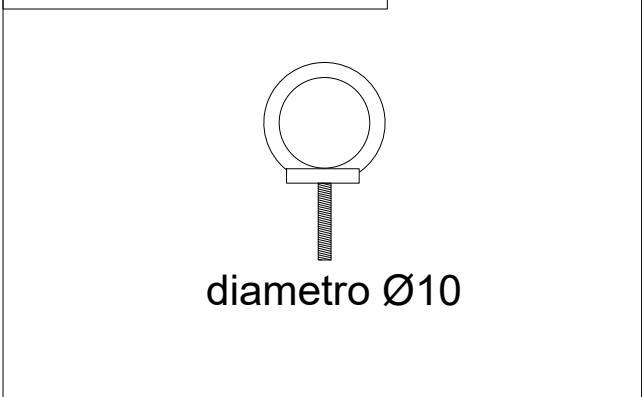
Inquadramento



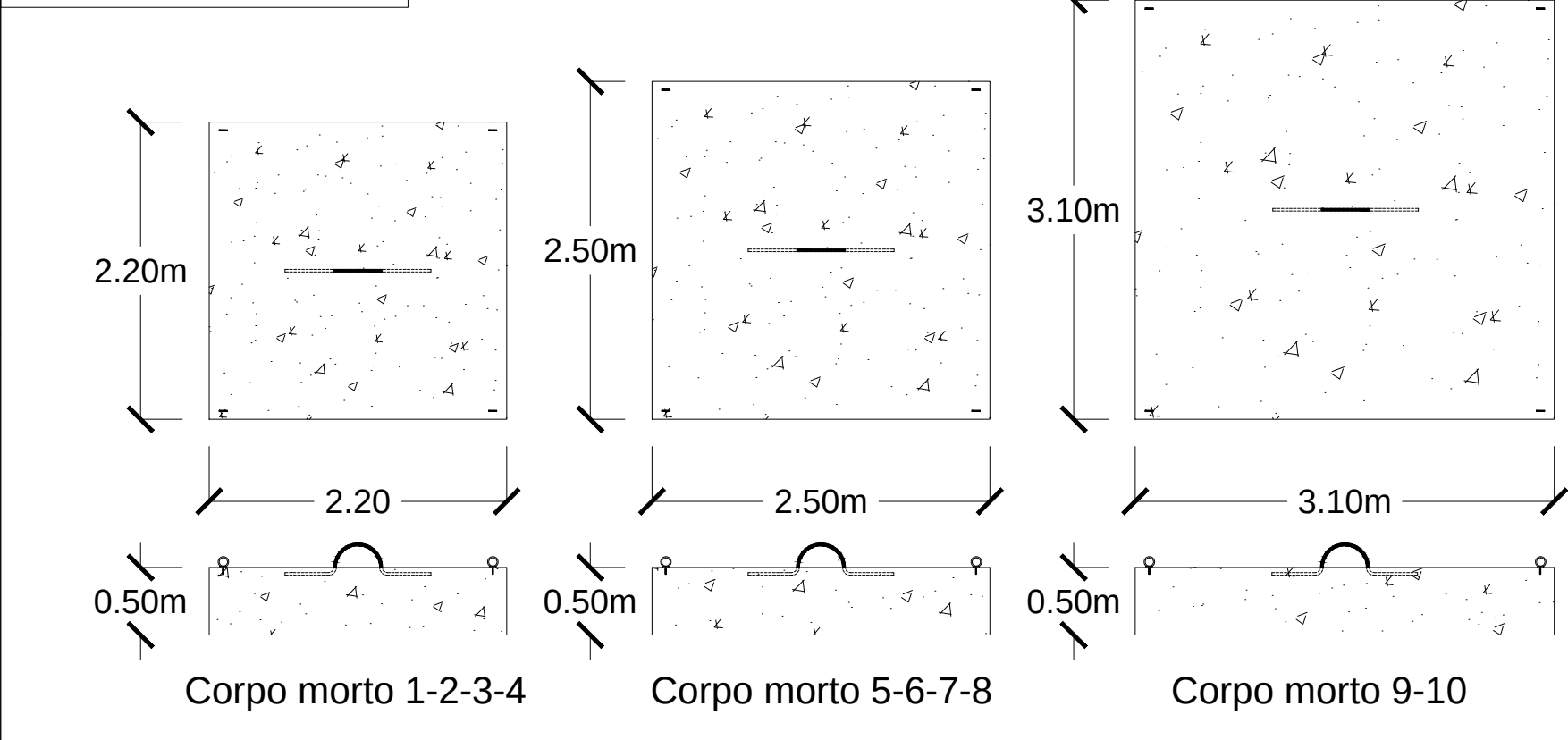
Particolare ferro a Ω



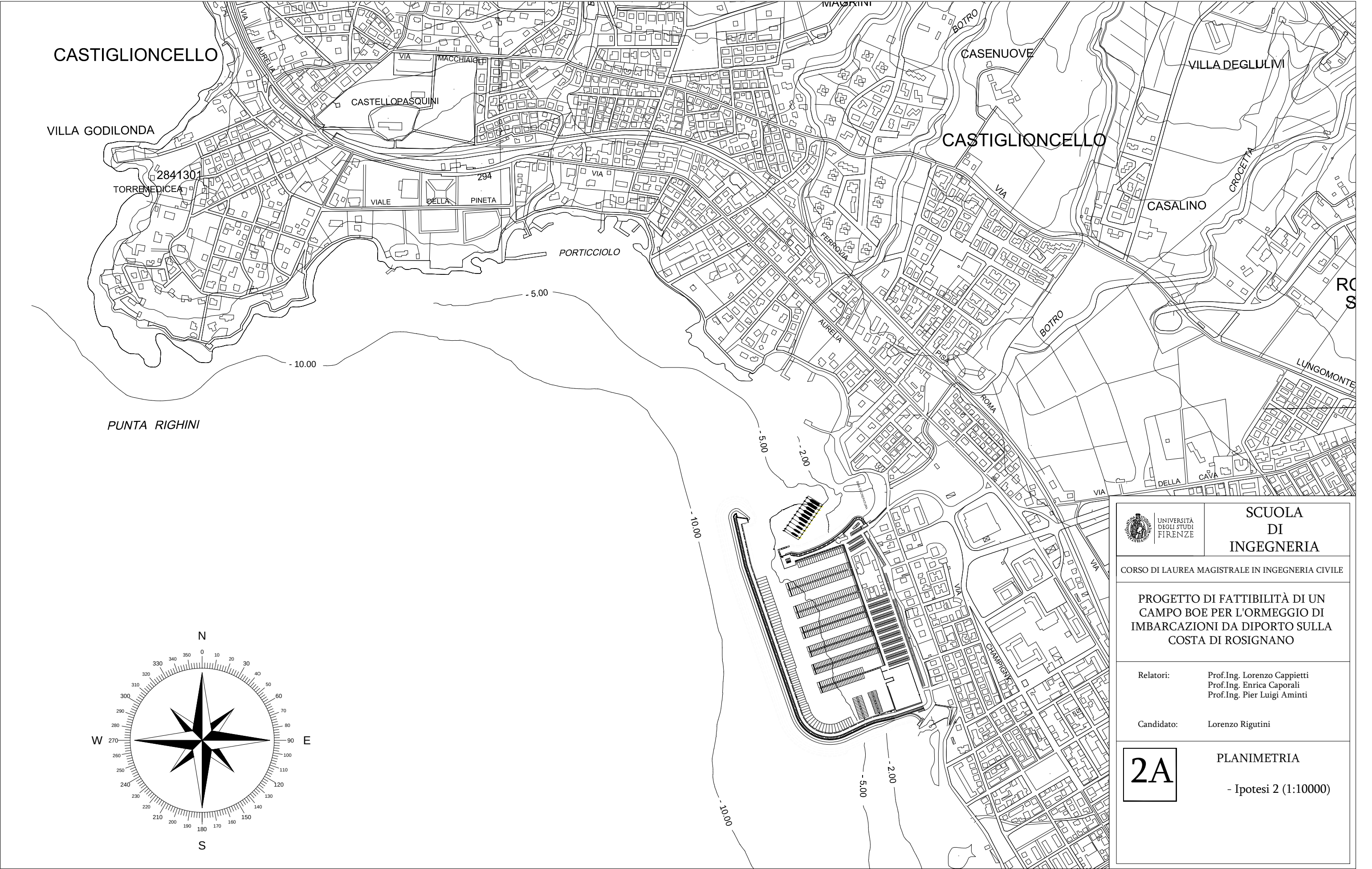
Particolare Golfare



Particolare corpi morti



 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE	SCUOLA DI INGEGNERIA	
	CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE	
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ DI UN CAMPO BOE PER L'ORMEGGIO DI IMBARCAZIONI DA DIPORTO SULLA COSTA DI ROSIGNANO	
Relatori:	Prof.Ing. Lorenzo Cappietti Prof.Ing. Enrica Caporali Prof.Ing. Pier Luigi Aminti	
Candidato:	Lorenzo Rigutini	
1C	DETTAGLI - Inquadramento (1:1000) - Prospetto laterale (1:100) - Particolari corpi morti (1:50) - Particolare ferro Ω (1:25) - Particolare golfare (1:5)	
	NOTE CALCESTRUZZO: C35/45 ACCIAIO PER C.A.: B450C COPRIFERRO: 50 mm CLASSE DI ESPOSIZIONE: XS2	



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

SCUOLA
DI
INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ DI UN
CAMPO BOE PER L'ORMEGGIO DI
IMBARCAZIONI DA DIPORTO SULLA
COSTA DI ROSIGNANO

Relatori: Prof.Ing. Lorenzo Cappietti
Prof.Ing. Enrica Caporali
Prof.Ing. Pier Luigi Aminti

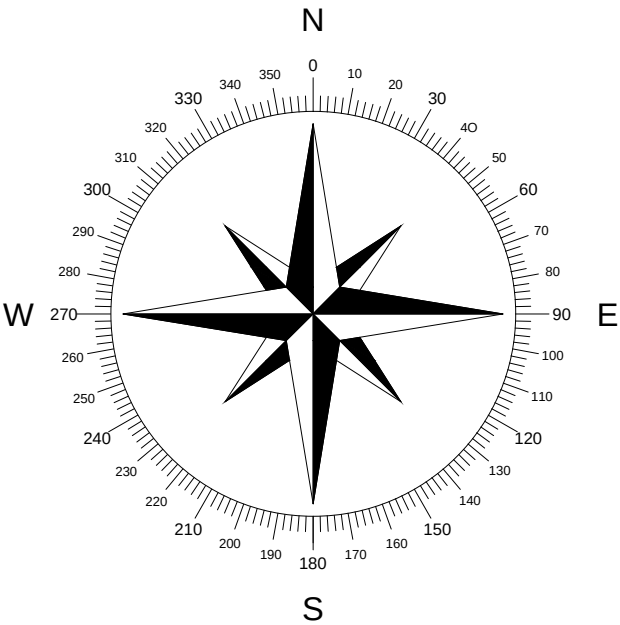
Candidato: Lorenzo Rigutini

2A

PLANIMETRIA
- Ipotesi 2 (1:10000)

Diga di Sopraflutto

●	Boe dei Servizi
●	Boa di Tonneggio
Bk	Bunkeraggio
TD	Torre Direzionale



Corpo morto C

Corpo morto B

Corpo morto A

-5.00

-2.00

BAIA DI CREPATURA

TD

Bk



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

SCUOLA
DI
INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ DI UN
CAMPO BOE PER L'ORMEGGIO DI
IMBARCAZIONI DA DIPORTO SULLA
COSTA DI ROSIGNANO

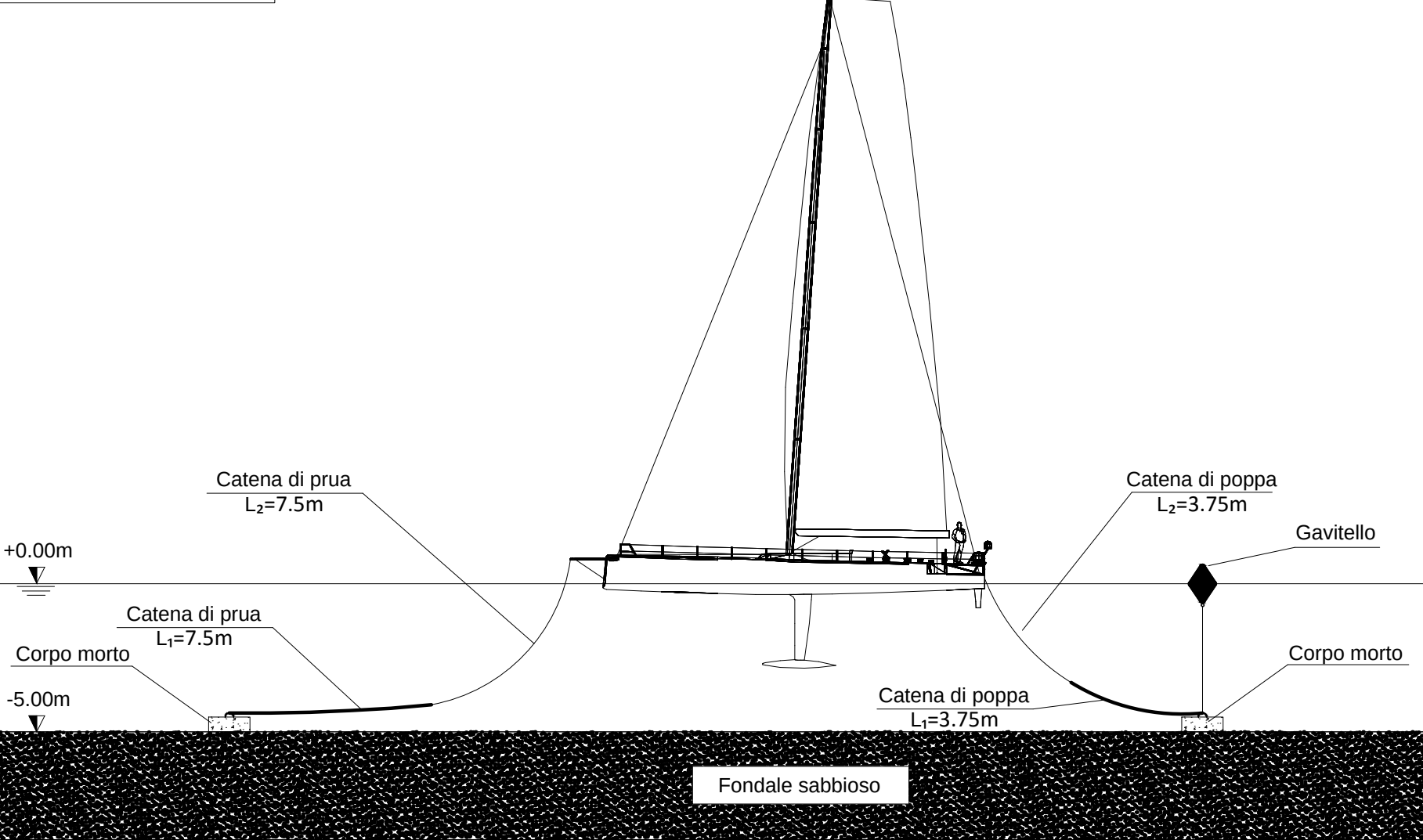
Relatori: Prof.Ing. Lorenzo Cappietti
Prof.Ing. Enrica Caporali
Prof.Ing. Pier Luigi Aminti

Candidato: Lorenzo Rigutini

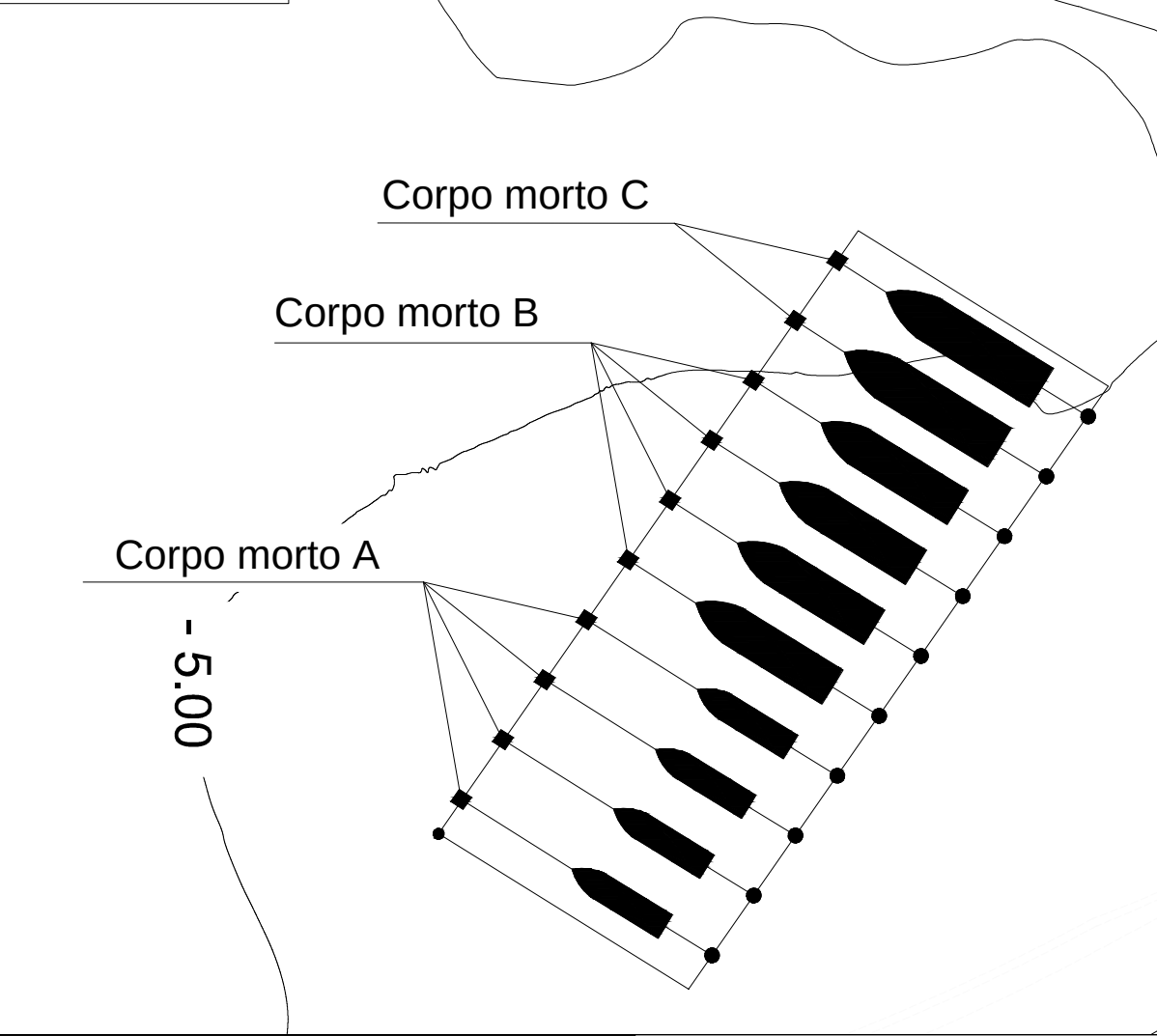
2B

LAYOUT ORMEGGI
- Ipotesi 2 (1:500)

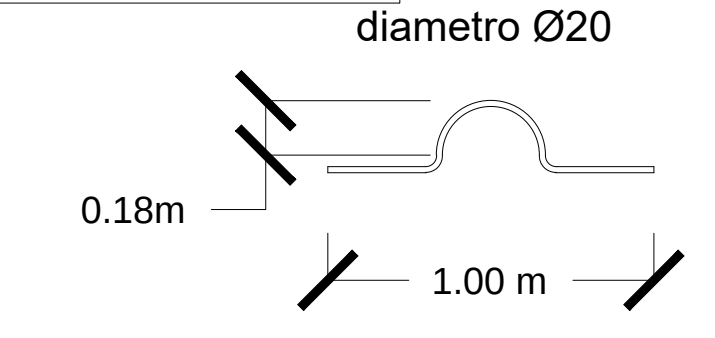
Prospetto laterale



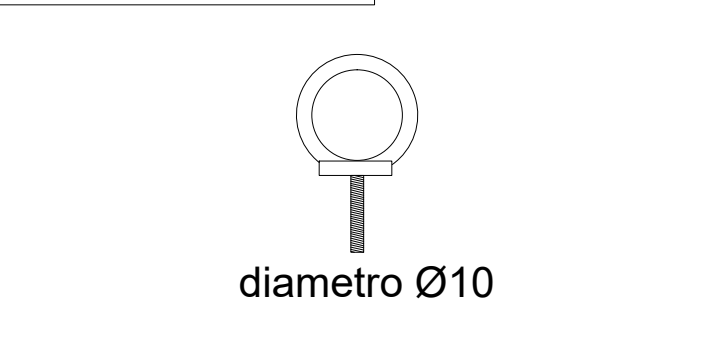
Inquadramento



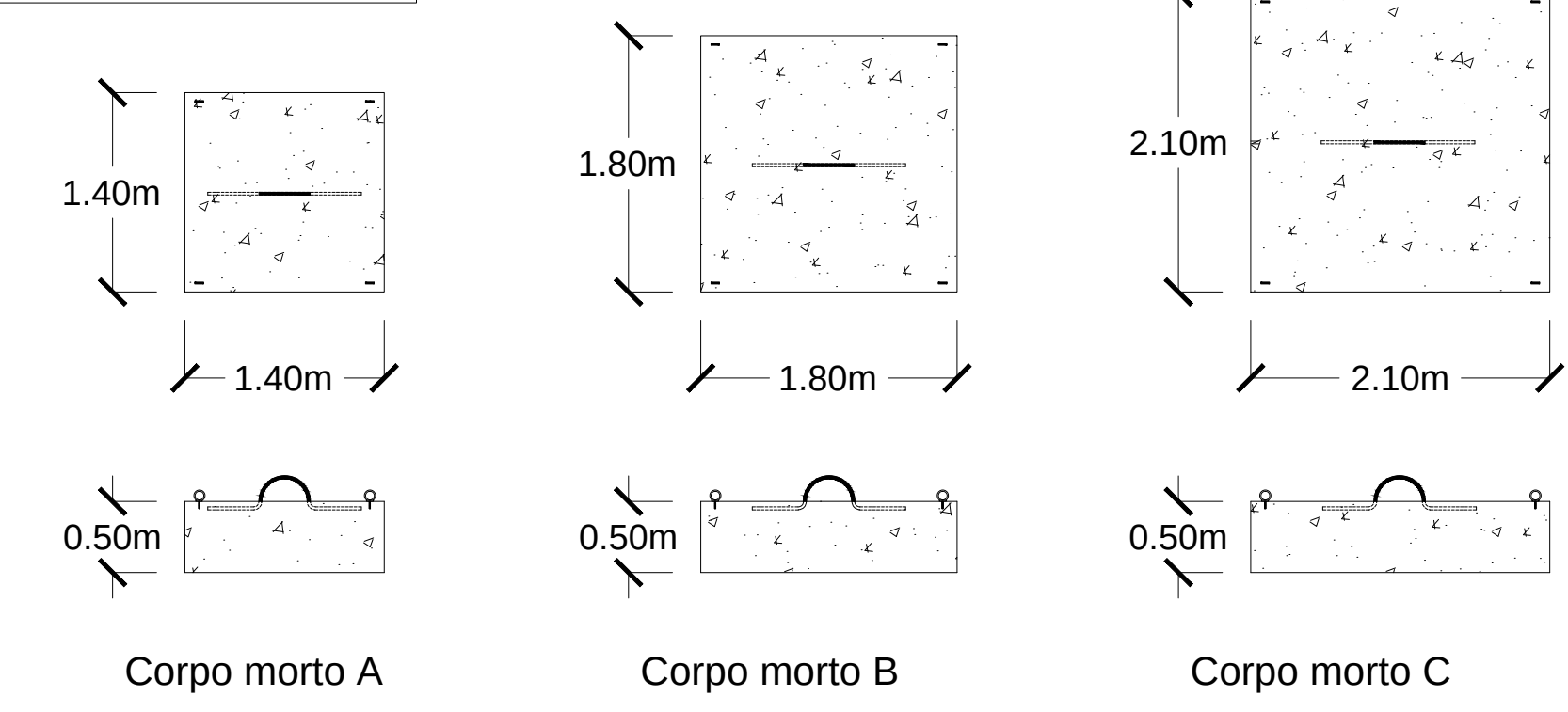
Particolare ferro a Ω



Particolare Golfare



Particolare corpi morti



 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE	SCUOLA DI INGEGNERIA
	CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE
PROGETTO DI FATTIBILITÀ DI UN CAMPO BOE PER L'ORMEGGIO DI IMBARCAZIONI DA DIPORTO SULLA COSTA DI ROSIGNANO	
Relatori:	Prof.Ing. Lorenzo Cappietti Prof.Ing. Enrica Caporali Prof.Ing. Pier Luigi Aminti
Candidato:	Lorenzo Rigutini
2C	DETTAGLI - Inquadramento (1:1000) - Prospetto laterale (1:100) - Particolari corpi morti (1:50) - Particolare ferro Ω (1:25) - Particolare golfare (1:5)
	NOTE CALCESTRUZZO: C35/45 ACCIAIO PER C.A.: B450C COPRIFERRO: 50 mm CLASSE DI ESPOSIZIONE: XS2

RINGRAZIAMENTI

Dopo tanti e intensi anni, finalmente il giorno è arrivato. È stato un periodo di crescita e apprendimento, sia scientifico che personale. Vorrei spendere due parole nei confronti di tutte le persone che mi hanno accompagnato, sostenuto e aiutato in questo percorso.

Ringrazio il Professore Pier Luigi Aminti, relatore di questa tesi di laurea, oltre che per l'aiuto fornitomi in questo percorso e la grande conoscenza che mi ha donato, per la disponibilità e precisione dimostratemi durante tutto il periodo del tirocinio e della stesura. I Suoi consigli e la Sua esperienza sono state preziose per me e saranno sicuramente un bagaglio in più che mi aiuterà nel futuro lavorativo.

Un ringraziamento particolare va a Matteo Italo Ratti, Direttore Portuale del Marina Cala de' Medici, per la Sua disponibilità e per avermi dato l'opportunità di farmi esperienza riponendo in me molta fiducia. La Sua professionalità e la Sua competenza sono per me motivo di stima nei Suoi confronti, sperando di poter continuare a crescere professionalmente tramite i Suoi consigli.

Vorrei ringraziare anche tutti i colleghi che ho incontrato durante il mio tirocinio presso la Marina cala de' Medici per la loro collaborazione e per la disponibilità dimostrata nei miei confronti.

Ringrazio i miei amici, con i quali ho condiviso le gioie e i dolori di questo percorso, e che mi hanno sempre fatto capire di non essere solo. Siete il colore della mia vita. Un pensiero particolare va a Tommaso, Matteo e Francesco, compagni di questo lungo viaggio fin dal principio. Vi voglio bene!

Un grazie enorme va alla mia fidanzata Sara, che forse più di tutti ha condiviso e vissuto con me questo percorso e mi ha aiutato e sostenuto nelle decisioni, e mi è sempre stata accanto con pazienza e amore. Sei speciale!

Infine vorrei ringraziare la mia famiglia, perché è solo grazie al loro sostegno ed ai loro sacrifici se ho potuto raggiungere questo traguardo. Grazie a mio padre Virgilio, per essermi stato vicino ed avermi sempre incoraggiato, a mia madre Maria Grazia, per la forza che mi ha trasmesso anche nei momenti di difficoltà,

e a mio fratello Leonardo, che per me è sempre stato l'esempio da seguire.

Tutto ciò che sono lo devo a voi! Vi amo!

Grazie di cuore a tutti.

Lorenzo Rigutini

*“e fu il calore di un momento
poi via di nuovo verso il vento”*