

I porti

Il porto è uno spazio di mare ampio e protetto, dove le navi possono accedere e sostare in tutta sicurezza, per trovare ricovero durante le tempeste o per effettuare riparazioni di avarie sofferte, sia per compiere le operazioni commerciali inerenti allo svolgimento dei traffici marittimi.

A seconda delle finalità si distinguono:

Rade : spazi dove le navi possono gettare l'ancora e sostare in sicurezza; possono essere naturali (Porto Grande di Siracusa) o artificiali (rada di Augusta). Si dicono protette se riparate da tutte le direzioni, foranee se offrono un limitato riparo da talune direzioni.

Porti rifugio : porti che adempiono essenzialmente le funzioni di asilo per le imbarcazioni sorprese da avaria. Si susseguono a breve distanza l'uno dall'altro lungo la costa.

Porti militari : sono destinati alle necessità della marina da guerra. Richiedono amplissimi bacini completamente protetti oltre che dalle condizioni meteomarine avverse anche dall'attacco nemico (Augusta).

Porti di commercio : sono dotati di specchi acquei e di bacini dove le navi stesse possono procedere alle operazioni commerciali. Tali bacini offrono pertanto banchine d'approdo e adeguati mezzi e impianti per il carico, lo scarico, il deposito e il transito delle merci, per l'imbarco o lo sbarco dei passeggeri, per la riparazione e l'approvvigionamento delle navi.

I porti

I porti possono essere situati in mari interni, dove la marea ha uno sviluppo piuttosto limitato, oppure sugli oceani o sui mari che comunicano direttamente con questi, dove la posizione del livello liquido può variare per effetto della marea di parecchi metri. In quest'ultimo caso lo sviluppo di marea ostacola gravemente le operazioni commerciali.

Si ovvia disponendo gli approdi entro bacini a livello costante (livello dell'alta marea) comunicanti con gli specchi a livello variabile per mezzo di sostegni a conca attraverso i quali le navi possono entrare o uscire in qualunque momento.



Conca di accesso al Porto di Cremona (da Quaderni della Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità - Regione Lombardia).

I porti

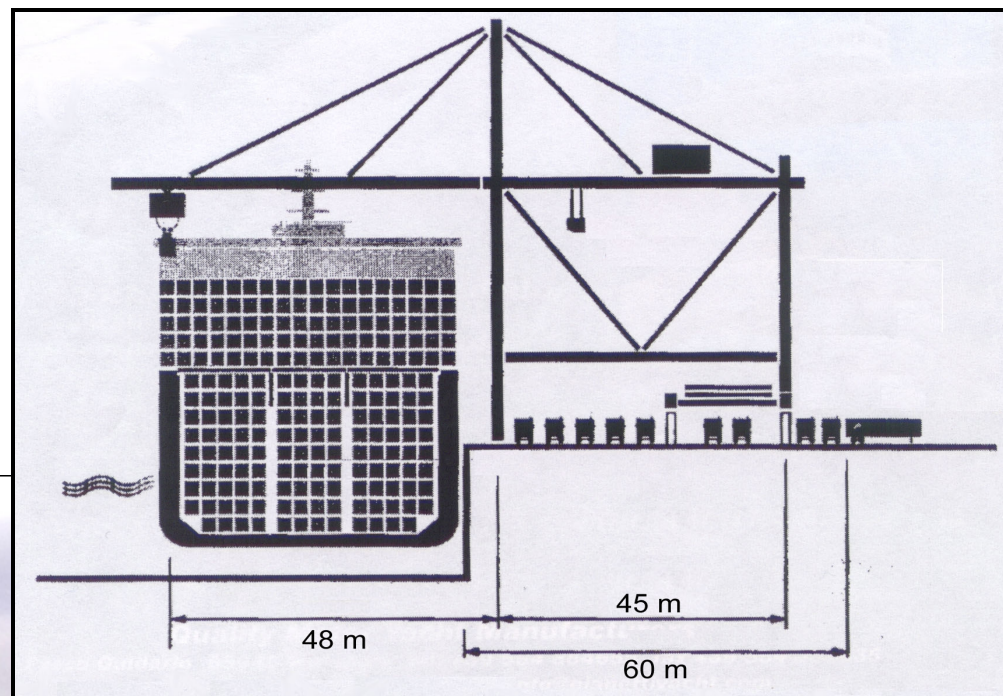
Porti esterni : sono formati sul mare e per essi assumono grande importanza le opere rivolte alla difesa dello specchio acqueo dalle agitazioni del mare. In molti casi, ove manchino delle rade idonee lungo costa, si provvede a munire il porto, all'esterno, di un avamposto ottenuto con opere opportunamente disposte (Genova).

Porti interni : possono a loro volta essere stabiliti entro lagune (Porto di Venezia), lungo la parte inferiore di un'asta fluviale (Fiumicino o, più in piccolo, porto canale di Brucoli). Caratteristica comune a questi porti è quella di essere protetti dalle agitazioni ondose. E' sufficiente difendere opportunamente la bocca di comunicazione tra gli specchi e il mare, con lo scopo di facilitare le manovre delle navi in ingresso e in uscita e di sottrarre la bocca stessa al pericolo di interrimento.

Porti intermodali : attrezzati per la velocizzazione delle merci containerizzate trasportate da grandi navi specializzate. Tali porti (per esempio, quello di Gioia Tauro) sono caratterizzati da notevoli fondali, notevole potenzialità nella movimentazione dei containers, speditezza di esercizio della rete ferroviaria e viaria, orari di lavori continuati per tutto l'anno, tariffe portuali omnicomprensive di scarico e messa su vettore terrestre, alto livello operativo, etc.

I porti

Schema di carico e scarico con
gru ad elevato scartamento



Nave porta contenitori.

Componenti di un porto

Un porto è usualmente composto dai seguenti elementi:

- **Diga** (a gettata o a parete verticale) realizzata allo scopo di proteggere il porto dall'attacco del moto ondoso;
- **Porto** vero e proprio, costituito da un canale d'accesso, da un'imboccatura, da un avamporto, ossia di un'area parzialmente protetta, separata dai bacini di ormeggio, dove le navi possono manovrare agevolmente con mezzi propri oppure trainate da rimorchiatori, da un'area dove le navi attendono il loro turno per l'ormeggio, da un'area di ormeggio vero e proprio in banchina destinata al carico e allo scarico delle merci
- **Banchina**, ossia un'area destinata all'ormeggio per favorire lo scarico e il carico delle merci. Essa è dotata di attrezzature specifiche per l'ormeggio (come le bitte e i parabordi);
- **Opere esterne** (canali navigabili, aree per l'ancoraggio e opere di protezione della costa).

Disposizione delle opere esterne

Prendono il nome di *opere di difesa* di un porto (ovvero di opere esterne), quelle strutture che, limitando il bacino verso il mare aperto, sono destinate ad interdire il cammino dei flutti provenienti dal largo, così da assicurare sia la tranquillità delle acque del bacino stesso sia le manovre di ingresso di uscita delle navi in sicurezza.

In alcuni casi le opere di difesa svolgono anche il ruolo di protezione del bacino da fenomeni di interrimento.

Le opere di difesa sono chiamate:

- **dighe foranee** se sono distaccate da riva,
- **moli** se radicate a riva e dotate di banchine;
- **moli guardiani** le difese parallele (perpendicolari alla costa) dei porti canale
- **frangiflutti** le scogliere artificiali destinate a spezzare l'impeto delle onde. I frangiflutti foranei emergenti vengono anche detti antemurali.

Il layout del porto

Tra i fattori determinanti il layout portuale possiamo ricordare:

- Idraulico-marittimi (agitazione interna, insabbiamento, impatto litoraneo, circolazione idrica);
- Nautici;
- Geomorfologici;
- Ambientali (presenza di corsi d'acqua che scaricano all'interno del porto, come nel caso di Catania con il torrente Acquicella);
- Architettonici;
- Archeologici (come nel caso del Porto Grande di Siracusa).

Il layout del porto

Per i porti esterni, le varie disposizioni delle opere di difesa si possono ricondurre a 6 tipi fondamentali:

1. Moli convergenti e bocca rivolta alla traversia
2. Moli convergenti e bocca protetta da antemurale
3. Moli convergenti e bocca protetta dal molo principale
4. Molo unico radicato alla riva
5. Unica diga isolata parallela alla riva
6. Porto isola

I porti

1. Moli convergenti e bocca rivolta alla traversia.

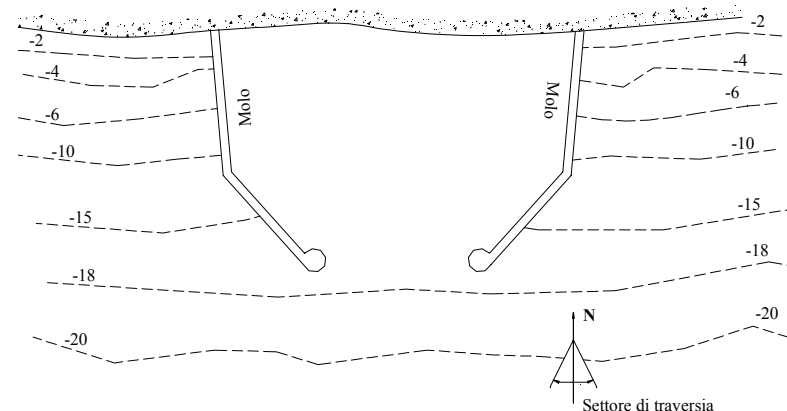
Tale disposizione è particolarmente adatta a combattere gli interrimenti nei mari a grande sviluppo di marea. Nei mari interni può trovare applicazione quando si voglia assicurare la più facile entrata con i mari più violenti e il settore di traversia sia ampio. La bocca deve essere rivolta il più possibile in direzione dei mari più pericolosi e ridotta alla minima ampiezza compatibile con la sicurezza della navigazione (150÷250m per i grandi porti)

e che proporzionalmente ampio sia il bacino al fine di ridurre l'agitazione interna.

Si definisce potere riduttore di un porto il rapporto tra l'altezza d'onda viva all'imboccatura e quella dell'onda nello specchio ridossato, alla distanza D dal centro dell'imboccatura. Esso è tanto più elevato quanto più simmetricamente distribuita rispetto all'imboccatura è la superficie dello specchio acqueo, quanto più uniforme è l'andamento batimetrico e tanto più le rive risultano assorbenti. Stevenson ha fornito la seguente formula empirica:

$$\tilde{H}_s = H_s \left\{ \sqrt{\frac{b}{B}} - \frac{\sqrt{D}}{50} \left(1 + \sqrt{\frac{b}{B}} \right) \right\}$$

in cui b è l'ampiezza della bocca e B quella del bacino interno nel punto in cui si vuole effettuare l'osservazione, misurata dall'arco di cerchio descritto facendo centro nel punto di mezzo della bocca, con raggio D .

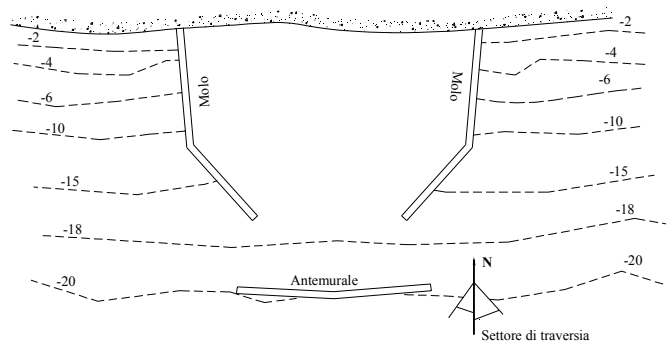


I porti

2. Moli convergenti e bocca protetta da antemurale

Tale disposizione è volta ad assicurare a tutto il bacino (soprattutto se di modeste dimensioni) l'ufficio di bacino interno. In questo caso infatti l'avamporto è costituito dallo specchio acqueo subito alle spalle dell'antemurale, accessibile dall'una dall'altra delle due bocche a seconda della direzione di provenienza del vento.

Moli convergenti e bocca protetta da antemurale



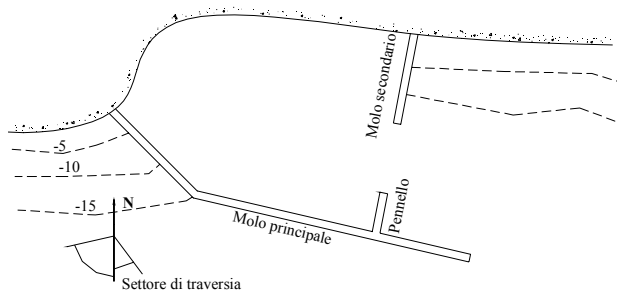
antemurale del Porto industriale di Taranto

3. Moli convergenti e bocca protetta dal molo principale

E' la disposizione più frequente quando una naturale prominenzza della costa offra un certo ridosso contro i mari dominanti e il settore di traversia si trovi aperto dalla parte stessa. La tipica conformazione è quella cosiddetta a bacino. Il bacino risulta infatti protetto dalle ondatazioni provenienti dalla traversia principale mediante la diga principale (molo di sopraflutto). La diga secondaria (molo di sottoflutto) protegge il porto dalla traversia secondaria. In generale, il molo di sopraflutto è costituito da due bracci: il primo consente di raggiungere con il minimo percorso (perpendicolare alle isobate) i fondali necessari; il secondo, parallelo alla linea di riva, è prolungato oltre l'imboccatura per proteggerla contro le ondatazioni dirette parallelamente al limite esterno del settore di traversia secondario e per facilitare l'ingresso della nave. Spesso a breve distanza dalla testata della diga secondaria si realizza un pennello, per accrescere la tranquillità delle acque interne al bacino.

porto di Riposto-CT

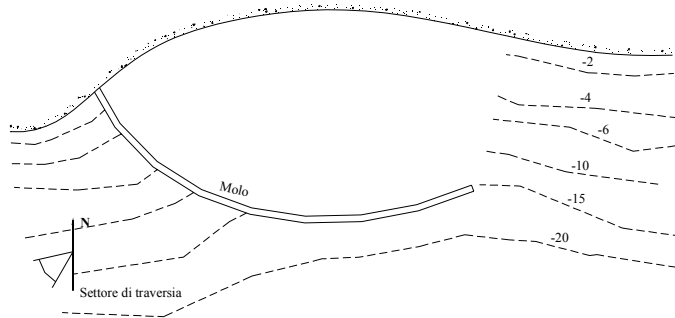
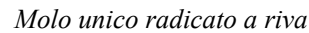
Moli convergenti e bocca protetta dal molo principale



I porti

4. Molo unico radicato alla riva

La disposizione può tornare utile quando il settore di traversia sia poco aperto e raccolto tutto dal un lato della costa

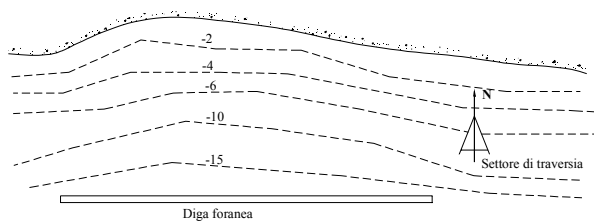


porto di Reggio Calabria

5. Unica diga isolata parallela alla riva

Originariamente tale disposizione veniva adottata in prossimità di coste rocciose caratterizzate da acque profonde ed esposte a un ristretto settore di traversia orientato normalmente alla riva. La disposizione è andata diffondendosi anche in altre situazioni, poiché essa si presta a gradualni ampliamenti.

Unica diga isolata parallela alla riva

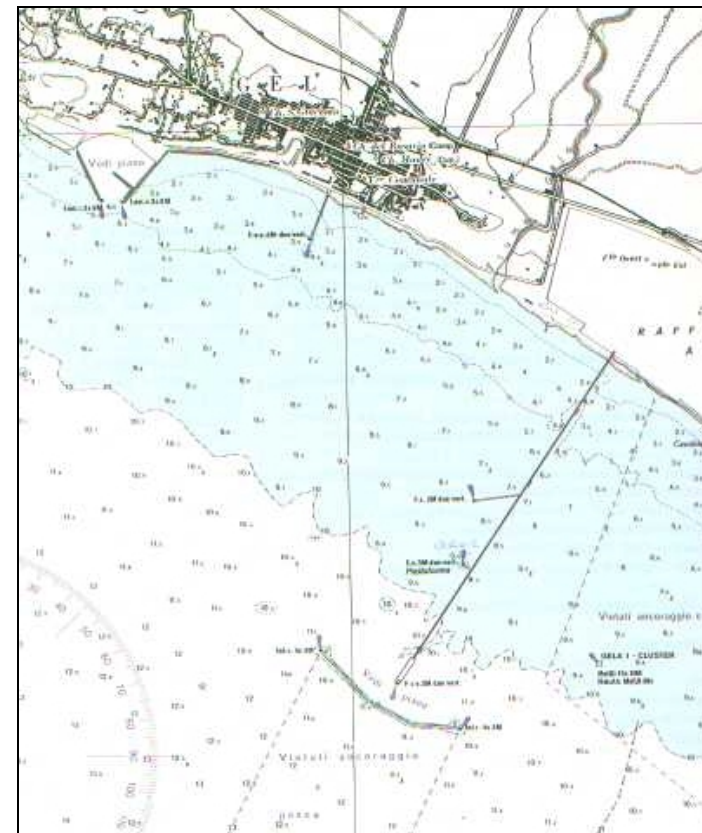


porto di Genova

I porti

6. Porto isola

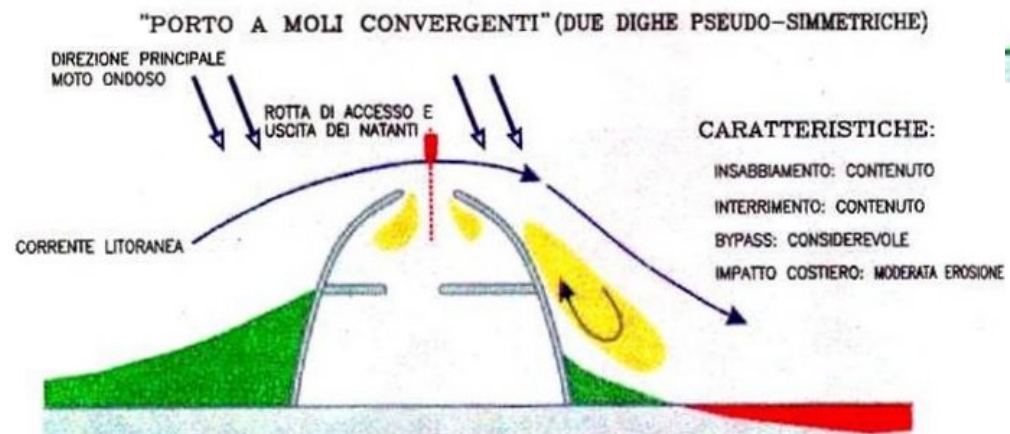
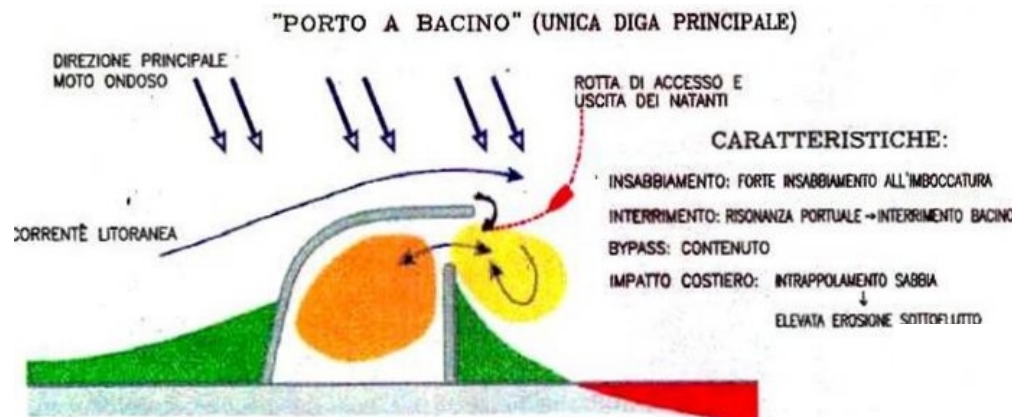
Tale schema viene proposto quando si vogliono limitare i costi per raggiungere profondità necessarie, oppure per ubicare lontano dalla costa installazioni industriali che possono risultare inquinanti o pericolose.



porto di Gela

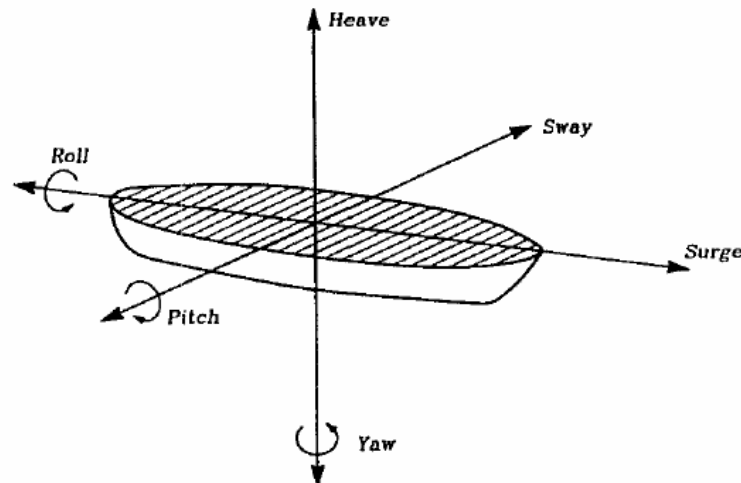
I porti

Effetti di alcuni tipi di porti



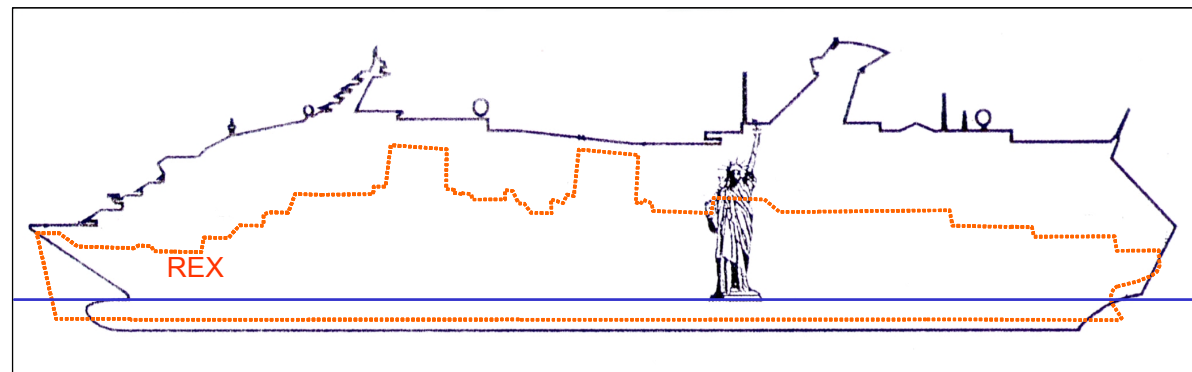
Le navi

Negli ultimi decenni si è assistito ad un drammatico sviluppo delle dimensioni delle navi che hanno raggiunto dimensioni gigantesche. Tale crescita ha riguardato le navi specializzate in una particolare tipologia di merci, quali quelle porta container (misurati in TEU – ossia Twenty Equivalent Unit, misura equivalente a 20 piedi pari a 6.10m), le petroliere, ma anche quelle da crociera. Ciò è stato principalmente dovuto al fatto che il costo unitario decresce al crescere della stazza della nave.



Definizione delle dimensioni e dei principali movimenti

Le navi



Esempio di nave passeggeri (Carnival destiny: 3400 passeggeri;
DWT=8200t; LOA=272 m ; B=38 m ; d=8.2 m ; D=62 m).

Le navi



Esempio di nave Ro-Ro (roll on - roll off).

I porti

Le navi

Type	GRT ton	DWT ton	DT ton	Overall length m	Beam width m	Moulded depth m	Max. draft m.
Bulk cargo (oil, ore)		400000	460000	392	66.0	29.0	24.0
		300000	356000	364	59.5	27.0	22.0
		200000	240000	345	51.0	25.0	19.5
		100000	125000	280	41.0	21.0	15.0
		50000	60000	225	32.0	16.5	12.0
		15000	20000	165	21.0	12.0	9.5
Container		50000	73500	290	32.4		13.0
		42000	61000	285	32.3		12.0
		30000	41500	220	31.0		11.3
		20000	27000	198	28.7		10.0
		10000	13500	159	23.5		8.0
Mixed cargo (on deck)	10000	15000	20000	165	21.5	12.0	9.5
	7000	10000	14000	145	20.0	11.5	8.5
	4000	6000	8000	125	16.5	9.5	7.5
	1000	1500	2000	70	10.0	5.1	4.3
	500	700	1000	55	8.5	4.5	3.8
Passenger	40000		35000	265	29.5	18.0	10.0
	30000		30000	230	28.0	17.0	10.0
	20000		20000	200	25.0	15.0	9.2
	10000		10000	165	20.5	12.3	8.2
	5000		5000	135	17.2	8.4	6.0
	2000		2000	90	14.0	6.2	4.5
Fishing	2500		2800	90	14.0		5.9
	1000		1750	75	11.0		5.0
	200		400	40	7.0		3.5

Dimensioni medie di vari tipi di nave. DWT (Deadweight Tonnage) è la portata, ossia capacità di carico della nave, comprendente, tra l'altro, il carburante, l'acqua, etc.; GRT (Gross Registered Tonnage) è la stazza lorda pari al volume totale della nave in m³ diviso per 2.83 m³; NRT (Net Registered Tonnage) è la stazza netta, pari al GRT meno i volumi delle sale macchine e di controllo; DT (Displacement tonnage) è il dislocamento, pari al peso dell'acqua di mare "spostato" dalla nave (da Liu & Burcharth; 1999).

I porti

Le navi

Evoluzione delle dimensioni delle navi portacontainer

CAPACITA' LORDA (t)	DISLOCAMENTO (t)	LUNGHEZZA FUORI TUTTO (m)	LUNGHEZZA FRA LE PERPENDICOLARI (m)	LARGHEZZA (m)	IMMERSIONE (m)	GENERAZIONE (m)
75000	90,0000	350	335	45,0	14,0	Post PANAMAX
66300	80,0000	275	262	40,0	14,0	Post PANAMAX
64500	77,5000	294	282	32,2	13,5	Post PANAMAX
55000	77,0000	275	260	39,4	12,5	IV
50000	73,5000	290	275	32,4	13,0	III
42000	61,0000	285	270	32,3	12,0	III
36000	51,0000	270	255	31,8	11,7	III
30000	41,5000	228	214	31,0	11,3	II
25000	34,0000	212	198	30,0	10,7	II
20000	27,0000	198	184	28,7	10,0	II
15000	20,0000	180	166	26,5	9,0	I
10000	13,5000	159	144	23,5	8,0	I
7000	9,6000	143	128	19,0	6,5	I

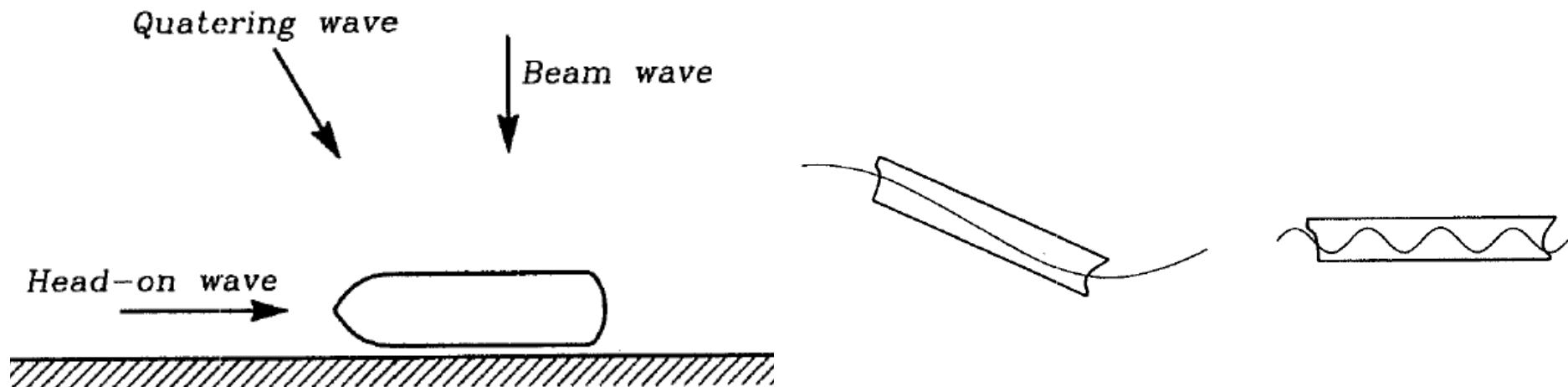
Le navi

Le onde possono entrare all'interno del porto per diffrazione, ma anche attraverso i frangiflutti per penetrazione ovvero per tracimazione. Le onde sono in genere la causa prima del movimento delle navi.

L'altezza dell'onda massima accettabile all'interno di un porto dipende dalla stazza della nave, oltre che dalla direzione e dal periodo dell'onda.

Con riferimento alla direzione, le onde vengono classificate in onde di prua, di $\frac{3}{4}$ e di traverso.

Anche il periodo ha grande influenza sull'accettabilità dell'onda. Per pescherecci e piccole imbarcazioni, le onde corte, (periodi inferiori a 8s) sono le più pericolose, mentre per le grandi navi le onde più pericolose sono quelle caratterizzate da periodi superiori ai 20 s.



I porti

Le navi

Linee guida per la scelta dell'altezza significativa ammissibile all'interno di un porto (periodo compreso tra 7-12s) in funzione dei diversi tipi di imbarcazioni.

Type of ships			0 ⁰ (head-on)	45 ⁰ - 90 ⁰
Fishing boat			0.15	
Passenger			0.70	
Contain			0.5	
General cargo	(DWT ≤ 30000)		1.0	0.8
Bulk cargo	(DWT ≤ 200000)	loading	1.5	1.0
		unloading	1.0	0.8
	(DWT ≤ 30000)		1.5	1.0
Oil tank	(DWT ≤ 200000)		2.5	1.2
	DWT ≥ 200000)		3.0	1.5

I porti

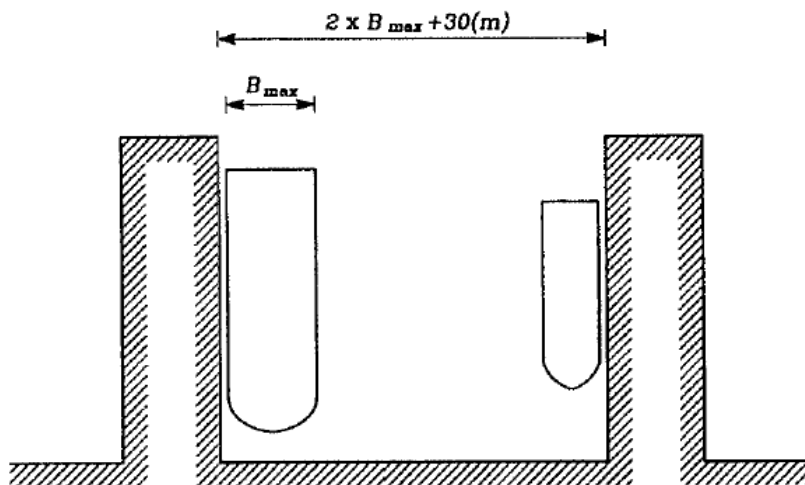
Indicazioni di massima sulle dimensioni da assegnare ad un porto

Larghezza

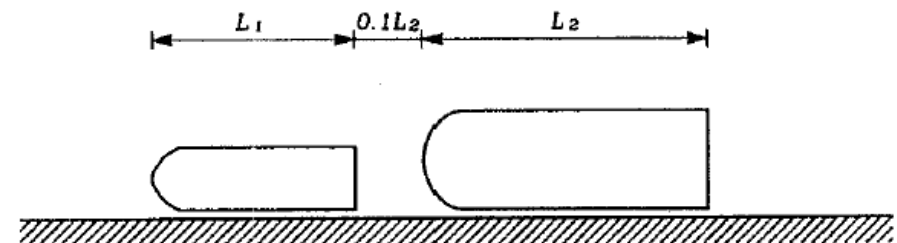
Il problema dei porti è che le navi e le onde da cui ci si vuole proteggere, accedono ai bacini interni dalla stessa bocca. Pertanto la larghezza dell'entrata deve essere sufficientemente grande da garantire l'ingresso in tutta sicurezza anche alle navi più grandi ma, al tempo stesso, sufficientemente piccola da limitare l'attacco del moto ondoso.

- canale di accesso e imboccatura $> (0.7 \div 1.0) L_n$ e comunque maggiore di 3 volte la larghezza della nave più larga;
- avamporto (diametro dell'avamporto) $> 2 \div 4 L_n$ ($1.2 \div 2 L_n$ nel caso di ingresso guidato da rimorchiatore).

L_n è la lunghezza della nave.



Larghezza dell'area destinata all'ormeggio



I porti

Indicazioni di massima sulle dimensioni da assegnare ad un porto

Distanza di arresto

La distanza di arresto è parte del canale di navigazione entro il porto. Essa deve essere sufficientemente lunga da consentire l'arresto della nave. In prima battuta si può porre:

- distanza minima di arresto: $7 \div 8 L_n$

Profondità

Le profondità del canale di accesso e del bacino devono essere tali da assicurare una movimentazione delle imbarcazioni in tutta sicurezza.

- canale di accesso e imboccatura > pescaggio massimo+2.5-3.5m;
- avamporto > pescaggio massimo+2.0m;
- porto interno > pescaggio massimo+1.0m (si può anche scendere al di sotto di 1.0m se il fondo non è roccioso).

La profondità nei canali di accesso può essere calcolata tenendo conto del pescaggio e dell'appoppamento (squat) della nave e delle forzanti idrodinamiche (dovute al moto ondoso e alle oscillazioni di marea), con l'aggiunta di un determinato franco:

$$\text{Depth}_{\min} = \text{Pescaggio} + \text{appoppamento} + 0.5H_d + \text{franco}$$

in cui $H_d = 0.63H_s$; franco=0.3+0.5m (se il fondo è limo-sabbioso, maggiore, fino a 1 m, se è roccioso).

I porti

Indicazioni di massima sulle dimensioni da assegnare ad un porto

$$\text{Depth}_{\min} = \text{Pescaggio} + \text{appoppamento} + 0.5H_d + \text{franco}$$

L'appoppamento (squat) può essere calcolato con la formula di Barras, funzione del fattore di ingombro e della velocità della nave.

$$S_q = C_b/30 * S_2^{2/3} * v^{2.08}$$

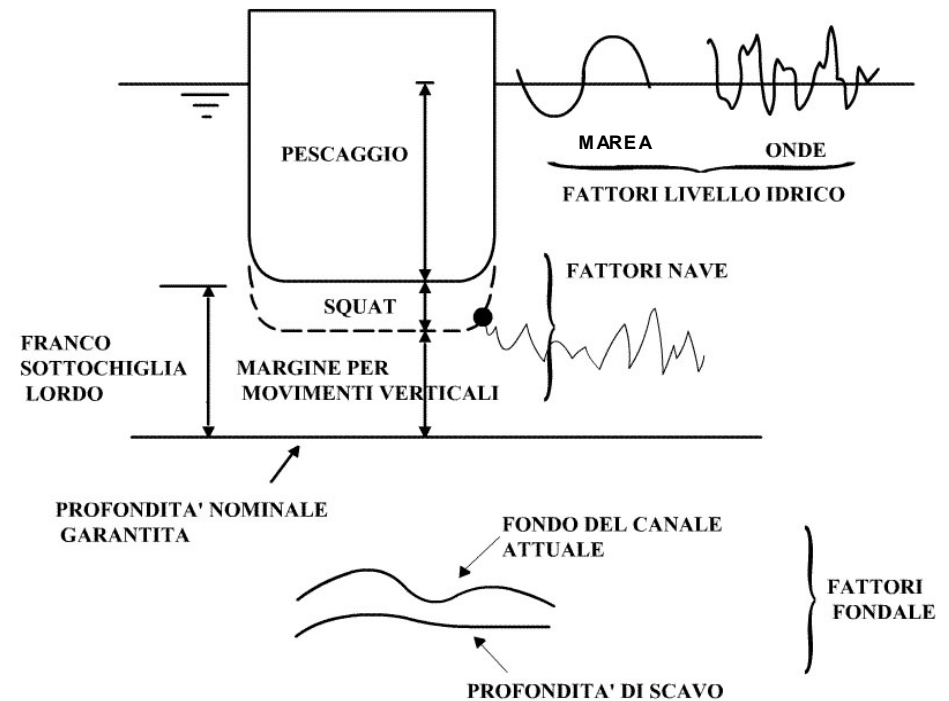
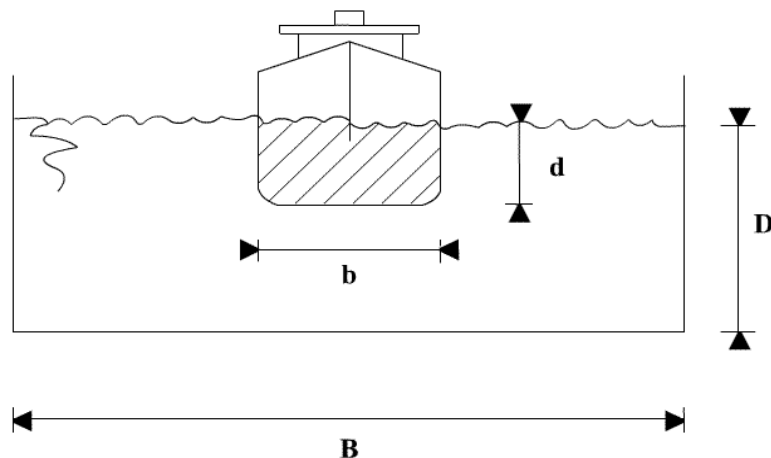
S_q = squat (m);

v = velocità (m/s);

C_b = coeff. di finezza;

S = fatt. d'ingombro ($b \cdot d / B \cdot D$);

$S_2 = S / (1 - S)$;



Tipi di banchine

Lo scopo delle banchine portuali è quello di fornire una parete verticale a cui le navi possono essere ormeggiate per le operazioni di carico e di scarico delle merci.

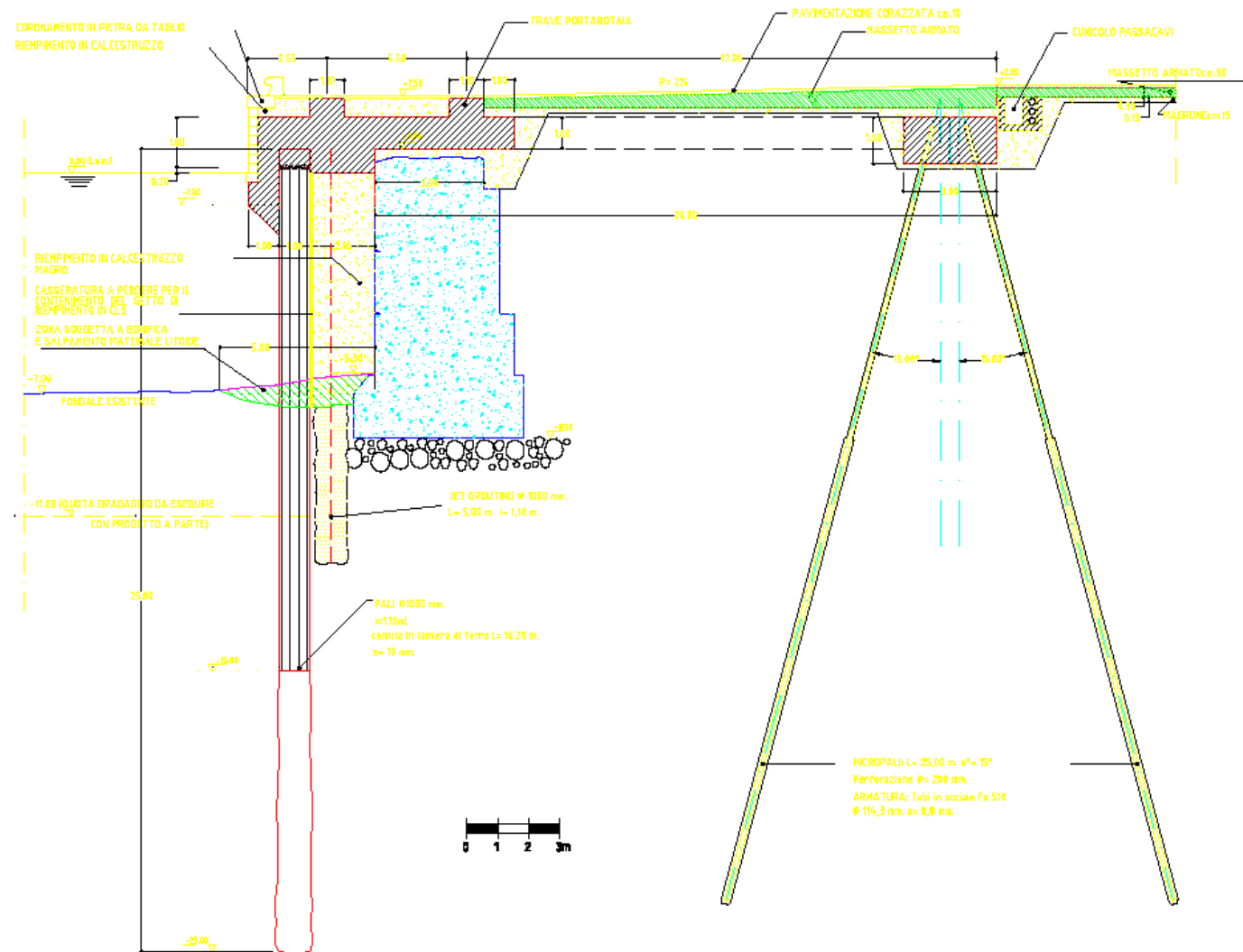
Le banchine, con riguardo alla loro disposizione rispetto alla linea di costa, possono essere semplicisticamente classificate in tre diverse tipologie:

- 1) parallele alla linea di spiaggia;
- 2) perpendicolari o oblique rispetto alla linea di spiaggia;
- 3) a isola.

Per quanto concerne la struttura vera e propria, esse vengono classificate in:

- gravità (muri a blocchi, cassoni, celle);
- palancole;
- a sbalzo o a giorno su pali.

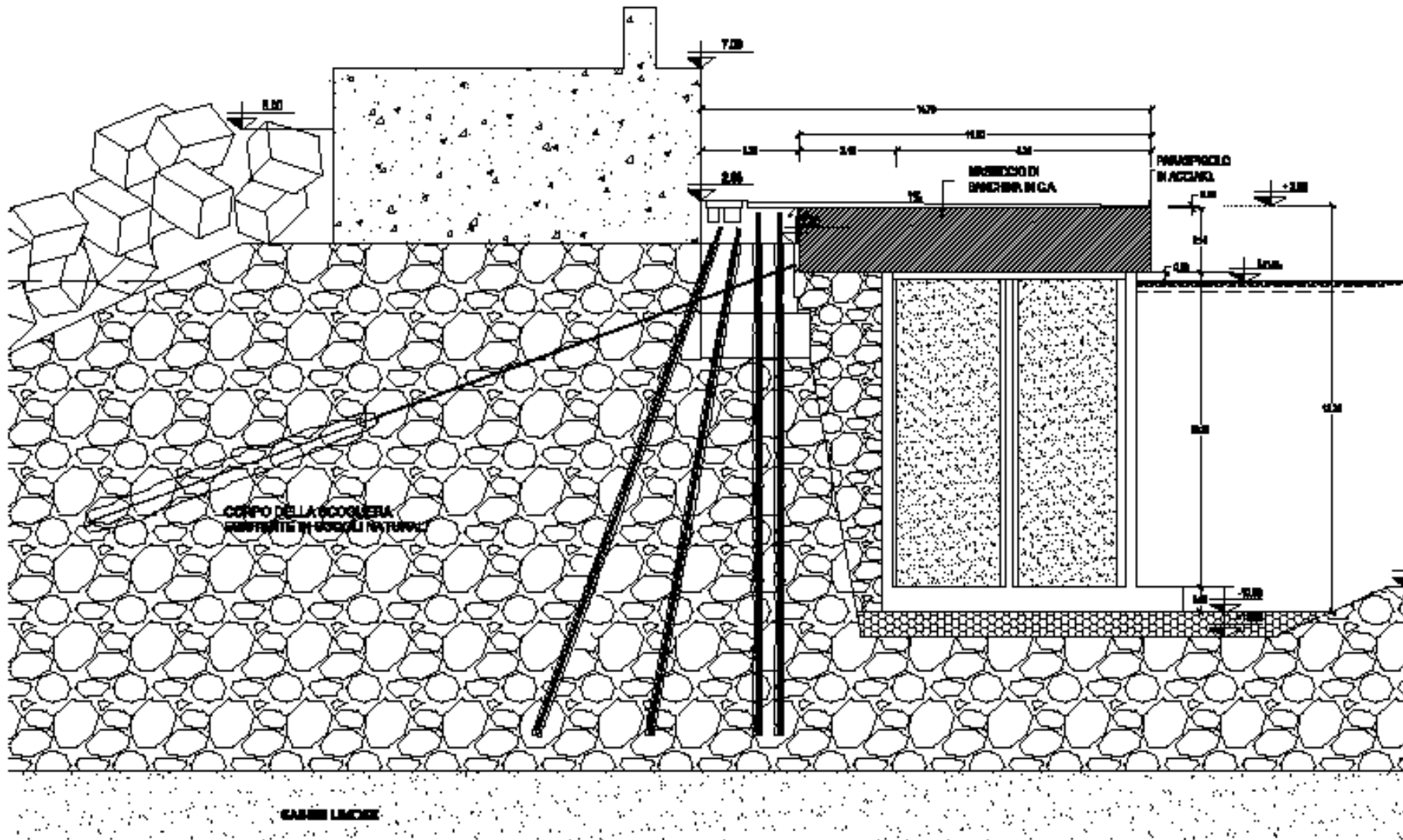
Tipi di banchine



Lavori di consolidamento del piazzale Norimberga del porto di Messina. Banchina a gravità preesistente oggi consolidata con palancolate.

I porti

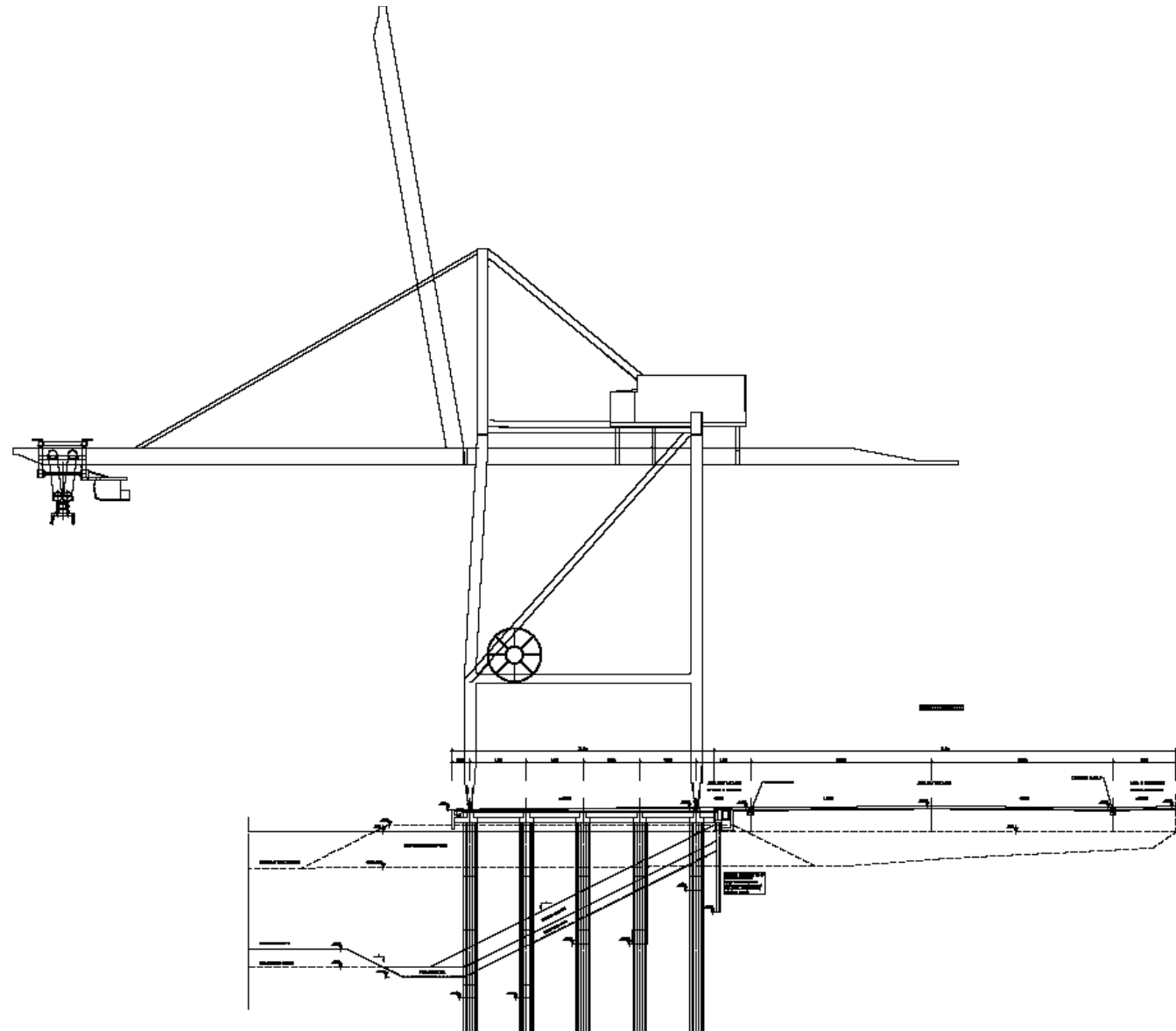
Tipi di banchine



Lavori di ampliamento del molo foraneo di Catania: realizzazione di banchine in cassoni cellulari e a giorno

Tipi di banchine

Darsena del porto
di Catania
realizzata a giorno
su pali



Tipi di banchine

La scelta della tipologia avviene sulla base dei seguenti fattori:

- Condizioni del suolo: se il terreno possiede una modesta capacità portante, bisogna affidarsi alle strutture su pali;
- Profondità d'acqua: quando la struttura che si vuole realizzare è in acque basse oppure in prossimità della terra ferma, ossia quando si ritiene di dover dragare per raggiungere le profondità necessarie, appare utile affidarsi alle palancolate che possono essere infisse attraverso il terreno esistente. Quando invece la profondità esistente è prossima a quella desiderata, le strutture a giorno su pali possono diventare vantaggiose sul piano economico;
- Resistenza ai carichi: le strutture a gravità sono più resistenti ai carichi orizzontali e verticali di quelle a giorno; pertanto quando si ritiene di dover progettare per resistere a carichi notevoli (imbarcazioni di notevoli dimensioni) ci si affida alle strutture a gravità;
- Materiali: i materiali generalmente impiegati sono l'acciaio, il legno, il calcestruzzo, o una combinazione di essi.
- Lavori sottomarini: i lavori sottomarini devono essere in generale evitati il più possibile. Al riguardo le palancolate e le strutture a giorno sono ideali.

I porti

Tipi di banchine

Per quanto concerne i carichi che bisogna considerare, è necessario riguardare quelli lato mare (onde, correnti, ghiaccio, impatto delle navi durante l'ormeggio, forze di trazione dovute all'ormeggio), quelli propri (peso della banchina e peso dei mezzi di costruzione) e quelli lato terra (materiale di riempimento, forze idrostatiche dovute ai diversi livelli d'acqua, etc.).

I vari carichi non vanno semplicemente sommati tra loro, ma vanno combinati secondo la loro probabilità di accadimento.

L'azione del moto ondoso vero e proprio è solitamente non considerata poiché si presume che la banchina sia sufficientemente protetta dall'azione diretta di onde severe.

Ciò non riguarda il caso delle forze orizzontali sui pali di una struttura a giorno per cui invece tali azioni devono essere considerate.

Per quanto concerne i carichi attivi e passivi dovuti al terreno, ci si rifà alle normali metodologie della geotecnica.