

C1	21/03/08	EMISSIONE PER APPROVAZIONE E A SEGUITO COMMENTI CVN	JRA	LB	YE
C0	01/10/04	EMISSIONE PER APPROVAZIONE	JRA	SS	YE
REVISIONE		DESCRIZIONE	EL.	CON.	APP.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
MAGISTRATO ALLE ACQUE

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991
ATTO ATTUATIVO REP. 8249 DEL 28-12-2007

INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

CUP: D51B02000050001

PROGETTO ESECUTIVO

WBS: MA.E1.14.PE

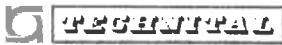
BOCCA DI MALAMOCCO CONCA DI NAVIGAZIONE PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE

STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE

ELABORATO  J.R. Augustijn	CONTROLLATO  L. Bottigelli	APPROVATO  Y. Eprim
N. ELABORATO MV036P-PE-MAR-4001-C1	CODICE FILE MV036P-PE-MAR-4001-C1.DOC	DATA 21 Marzo 2008

CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

<p>COORDINAMENTO PROGETTAZIONE</p> <p>VERIFICATO S. Dalla Villa </p> <p>CONTROLLATO M. Brotto </p> <p> CONSORZIO VENEZIA NUOVA</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p> PEGEMITAL</p> <p>IL RESPONSABILE : Ing. A. SCOTTI</p> <p>CONSULENZA SPECIALISTICA</p> <p> ALIVE</p> <p></p>
---	--

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 2
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE

MAGISTRATO ALLE ACQUE

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991

ATTO ATTUATIVO REP. 8249 DEL 28-12-2007

CONSORZIO VENEZIA NUOVA

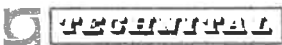
**INTERVENTI ALLE BOCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI
FLUSSI DI MAREA**

- PROGETTO ESECUTIVO -

**BOCCA DI MALAMOCCO – CONCA DI NAVIGAZIONE
PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE**

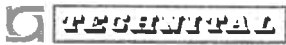
STRUTTURA DELLE PORTE

RELAZIONE TECNICA GENERALE

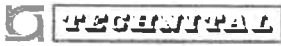
	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 3
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

INDICE

1.	PREMESSA	5
2.	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	7
2.1.	Elaborati del progetto definitivo	7
2.2.	Studi e documenti specialistici sviluppati per la Conca di navigazione nell'ambito del progetto delle opere di Regolazione dei Flussi di Marea	7
2.3.	Elaborati del progetto esecutivo	7
2.4.	Normative e standard applicabili	7
2.4.1.	Normativa italiana sulle strutture	8
2.4.2.	Eurocodici	8
2.4.3.	Norme specifiche sull'acciaio	9
2.4.4.	Norme sulle costruzioni marittime	9
2.4.5.	Norme specifiche sulle conche di navigazione	10
3.	CARICHI, FATTORI DI CARICO, SPOSTAMENTI	11
3.1.	Carichi	11
3.1.1.	Spinta di Archimede	11
3.1.2.	Carichi permanenti	11
3.1.3.	Carichi mobili 1 e 2: massimo battente idrostatico e carico idrostatico equivalente all'azione delle onde	12
3.1.4.	Carico variabile 3: vento	12
3.1.5.	Carico variabile 4: azione delle onde sulla porta in movimento	12
3.1.6.	Carico mobile 5: sisma	13
3.1.7.	Carico variabile 6: carichi da traffico (carichi mobili)	14
3.1.8.	Carico eccezionale 7: urto di una nave	14
3.1.9.	Carico variabile 8: forze d'attrito e resistenza dell'acqua	14
3.2.	Coefficienti di amplificazione dei carichi e di riduzione delle resistenze dei materiali	16
3.3.	Combinazioni di carico	17
3.4.	Il caso particolare dei carichi dovuti alla fatica	18
3.5.	Limiti di deformazione	18
4.	CONFIGURAZIONE E DIMENSIONE DELL'OPERA	19
5.	CONDIZIONI DI VINCOLO DELLA PORTA	20
6.	MANUTENZIONE E DURABILITA'	21
6.1.	Introduzione	21

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 4
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

6.2.	Corrosione	21
6.3.	Malfunzionamento / ridondanza	21
7.	QUALITA' DEI MATERIALI	22
8.	IMPOSTAZIONE DEL PROGETTO	23
8.1.	Calcoli strutturali	23
8.2.	Dinamica	23
8.3.	Stabilità nautica della struttura	23
9.	ALLEGATO A: DETERMINAZIONE DEI CARICHI DERIVATI DALL'AZIONE DELLE ONDE	25
9.1.	Carico idrostatico equivalente all'azione dell'onda	25
9.2.	Carico d'onda limite per la condizione di porta chiusa (quando la porta agisce come barriera contro l'acqua alta)	25
9.3.	Carico d'onda durante l'operazione di apertura e chiusura	27
9.4.	Fatica per effetto del carico d'onda	27
9.5.	Carichi dovuti all'onda riflessa	31
9.6.	Carico dovuto solamente all'onda	31
9.7.	Carico totale sulla struttura	32
10.	ALLEGATO B: PROPRIETA' DI SCORRIMENTO DELL'ACCIAIO INOX SU UHMWPE	35

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 5
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

1. PREMESSA

Le opere di difesa dall'acqua alta per la laguna di Venezia comprendono, per la bocca di Malamocco, la realizzazione di una conca di navigazione per grandi navi che consenta il transito dei vettori quando la barriera sia alzata, ovviando all'interdizione di ingresso nel canale della bocca e limitando i tempi di attesa per varco chiuso.

La conca è dotata di un sistema di porte scorrevoli. Ogni porta è installata all'interno di una struttura di alloggiamento che costituisce la battuta a porta chiusa e il ricovero quando sia aperta.

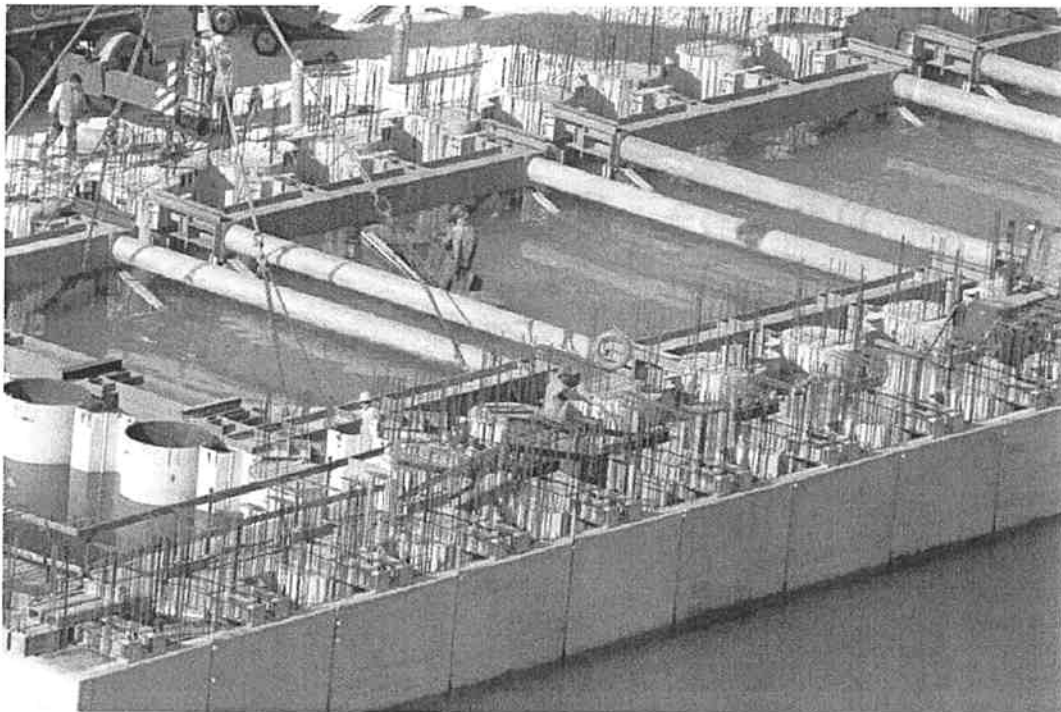



FIG. 1.1 - CONCA DI MALAMOCCO - REALIZZAZIONE DELL'ALLOGGIAMENTO PORTE LATO MARE


Il progetto strutturale viene suddiviso in una serie di componenti funzionali, analizzate singolarmente e nel loro insieme; in particolare si identificano i seguenti elementi/sistemi:

- fasciame/rivestimento;
- travature;
- saracinesche e valvole di livellamento;
- camere di galleggiamento (casce di zavorra);
- sistema di trazione;

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 6
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

- supporti e respingenti;
- tubi dell'idrogetto;
- pompe della presa d'acqua;
- vano di controllo (control space);
- sistema di protezione dalla corrosione;
- accessi stagni;
- sostegni dei componenti del piping;
- macchinari del locale macchine nell'alloggiamento porte.

A questa suddivisione in componenti elementari si farà riferimento nel seguito.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 7
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1. Elaborati del progetto definitivo

Gli elaborati di riferimento facenti parte del progetto definitivo sono:

- Relazione tecnica della Bocca di Malamocco, doc. TCH VE0734-PDRT003;
- Conca di navigazione - Camera della conca - Palancolato, doc. TCH VE0734-PDDS4102.

2.2. Studi e documenti specialistici sviluppati per la Conca di navigazione nell'ambito del progetto delle opere di Regolazione dei Flussi di Marea

Gli studi e i documenti specialistici impiegati sono:

- Doc. Studio B.13.7 - Analisi di una nuova configurazione della conca di navigazione da realizzare alla bocca di Malamocco: studio sulle dimensioni ottimali e degli effetti sull'ambiente e sulle attività portuali - Technital, gennaio 2002
- Navigational study through the Inlets of Venice Lagoon - DMI - Ottobre 2002
- Doc. Studio B.6.70 - Studio delle strutture e delle modalità operative per separare le esigenze della navigazione da quelle della salvaguardia nei canali di bocca di Lido, Malamocco e Chioggia, Technital, Ottobre 2003.

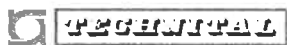
2.3. Elaborati del progetto esecutivo

Per l'elenco degli elaborati del progetto esecutivo della conca si rimanda all'elenco elaborati MV036P-PE-MZL-3000. In particolare sono stati considerati:

- MV036P-PE-MMR-5001 – Impianti Meccanici – Relazione tecnica - Criteri di progetto e Dati di riferimento;
- MV036P-PE-MER-6601 – Impianto elettrico – Relazione generale;
- MV036P-PE-MAR-4xxx – Struttura delle porte - Relazioni
- MV036P-PE-MAD-4xxx - Struttura delle porte – Elaborati grafici

2.4. Normative e standard applicabili

Le principali normative impiegate per la redazione della progettazione sono riportate nei paragrafi che seguono.

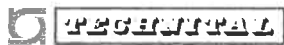
	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 8
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

2.4.1. Normativa italiana sulle strutture

- Legge n. 1086 del 5/11/1971, “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso, e a struttura metallica”;
- DM.LL.PP. del 16/1/96, Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi” e relative Istruzioni applicative;
- Circolare 4/7/96, “Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi” di cui al DM prec.;
- DM.LL.PP. 9/1/96, “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” e relative Istruzioni applicative;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionali e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive integrazioni e modificazioni;
- Circolare Min.LL.PP. del 15/10/96, “Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al D.M. prec.;
- DM. Infrastrutture e Trasporti 14/09/05, “Norme tecniche per le costruzioni”.

2.4.2. Eurocodici

- UNI EN 1990:2004 - “Eurocodice - Criteri generali di progettazione strutturale”;
- UNI ENV 1992-1-1:1993 - “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1 - 1 -Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI ENV 1993-1-1:1994 - “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1 - 1 -Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI - ENV 1994-1-1 - Eurocodice 4 - “Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1 - 1 -Regole generali e regole per gli edifici”
- UNI EN 1997-1:2005 - “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: regole generali”;
- UNI EN 1998-1:2005 - “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 9
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

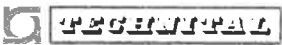
- UNI EN 1998-5:2005 – “Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.

2.4.3. Norme specifiche sull'acciaio

- CNR UNI 10011, “Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione”, 1987;
- UNI EN 10025:1995 – “Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali. Condizioni tecniche di fornitura”;
- API - Specification 5L – March 1983 – “Api Specification for Line Pipe”;
- API - Recommended Practice 2A-LRFD – Giugno 1993 – “Recommended practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and resistance factor design”;
- DNV - Environmental conditions and environmental loads – No.30.5, 1991.

2.4.4. Norme sulle costruzioni marittime

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici, 23-09-0994 n.156 – “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”;
- USACE: “Coastal Engineering Manual”, 2006
- BSI 6349: part 1 - 1984 – “Maritime structures - Part. 1 - General criteria”, issued by the British Standard Institution;
- BSI 6349: part 2 - 1988 – “Maritime structures - Part. 2 -Design of quay walls, jetties and dolphins”, issued by the British Standard Institution;
- BSI 6349: part 3 - 1988 – “Maritime structures - Part. 1 –Code of practice for general criteria”, issued by the British Standard Institution;
- BSI 6349: part 1 - 2000 – “Maritime structures - Part. 1 - General criteria”, issued by the British Standard Institution;
- ROM 0.2-1990 – “Actions in the design of maritime and harbour works”, Maritime works recommendations issued by Puertos del estado, Spain;
- ROM 0.2-2000 – “General procedure and requirements in the design of harbour and maritime structures”, Maritime works recommendations issued by Puertos del estado, Spain;
- EAU 1996 – “Recommendations of the Committee for waterfront structures, Harbours and Waterways”, issued by the Committee for Waterfront Structures

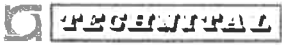
	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 10
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

of the Society for Harbour Engineering and the German Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering;

- PIANC - 2003 - “Breakwaters with vertical and inclined concrete walls”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 2002 - “Guidelines for the design of fender systems”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 1997 - “Dredged material management guide”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 1997 - “Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 1987 - “Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses.

2.4.5. Norme specifiche sulle conche di navigazione

- PIANC - 1986 - “Final report of the international commission for the study of locks”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- USACE - 1995 - "Planning and design of navigation locks", EM1110-2-2602;
- USACE - 2006 - “Hydraulic design of navigation locks”, EM1110-2-1064;
- USACE - 1975 - “Hydraulic design of dams”, EM1110-2-1610;
- USACE- 1994 - “Navigation locks. Fire protection provisions”, EM1110-2-2608;
- USACE - 2003 - “Lock and dam gate operating and control systems”, EM1110-2-2703;
- Regio decreto 9/12/1937, 2669, “Regolamento sulla tutela delle opere idrauliche di 1a e 2a categoria e delle opere di bonifica”.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	EI. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 11
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

3. CARICHI, FATTORI DI CARICO, SPOSTAMENTI

3.1. Carichi

I carichi impiegati in fase di progetto vengono elencati sinteticamente nel seguito; ulteriori informazioni di supporto saranno fornite direttamente negli specifici documenti di calcolo.

3.1.1. Spinta di Archimede

In relazione ad ogni diversa configurazione di assetto, i pesi della porta vengono ricalcolati per tenere in conto gli effetti della spinta di Archimede sulla configurazione in analisi.

3.1.2. Carichi permanenti

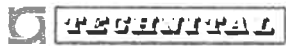
I carichi permanenti considerati sono i seguenti:

- Peso proprio della struttura e dei rivestimenti incluso quello dei macchinari e delle strutture dei dispositivi di supporto per gli impianti, ecc.;
- Peso proprio della protezione catodica: assunto pari al 5% del peso proprio della struttura
- Fouling (insieme degli organismi marini incrostanti): massimo peso considerato 250 kN. Nel mare Adriatico la velocità di crescita del fouling è mediamente sostenuta; per prevenirne la formazione sulla superficie esposta si è predisposto un sistema di rivestimento, che, rendendo la superficie estremamente liscia, impedisce lo sviluppo di incrostazioni spesse provocandone il distacco 'meccanico'. Si assume in ogni caso, dati i cicli di vita dei rivestimenti, che un certo accumulo possa comunque svilupparsi fra una manutenzione programmata e l'altra. Superato il peso complessivo citato (rilevabile in fase di determinazione dell'assetto operativo), dovrà procedersi alla rimozione in sito con getti d'aria o acqua calda, secondo quanto previsto nel manuale di manutenzione.

La porta ha una camera di galleggiamento, composta da casse di zavorra, che consente di regolarne l'assetto (agendo sul peso sommerso). Il peso della porta può essere variato riempiendo o svuotando d'acqua la camera di galleggiamento

Pertanto la massima e la minima forza che carica l'idrogetto (da ottenersi con le procedure di regolazione dell'assetto) valgono:

- Forza massima: 1350 kN (il massimo valore che l'idrogetto può 'contrastare')
- Forza minima: 100 kN (il minimo valore che garantisce la non fuoriuscita della struttura dalla soglia di scorrimento)

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 12
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

3.1.3. Carichi mobili 1 e 2: massimo battente idrostatico e carico idrostatico equivalente all'azione delle onde

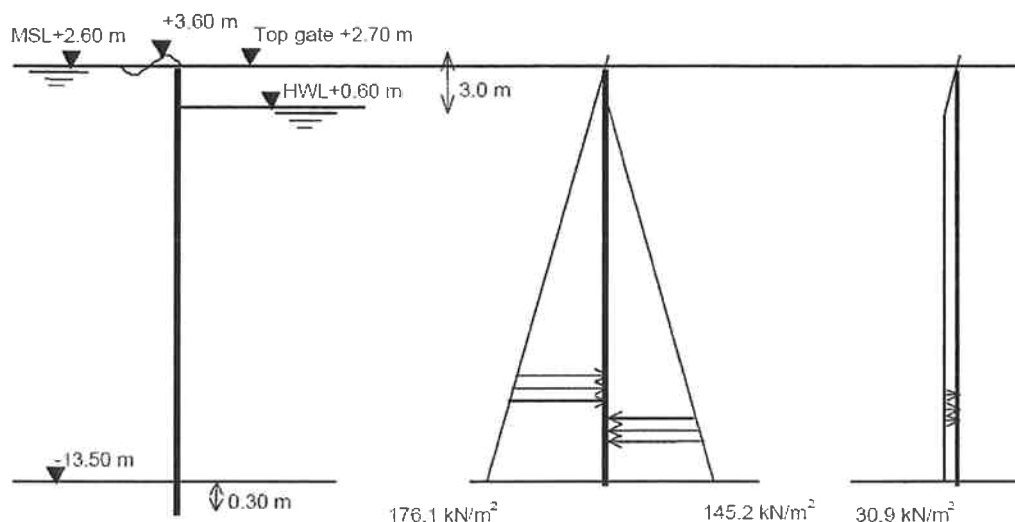


FIG. 3.1 - CONCA DI MALAMOCCO - CARICHI 1 E 2: MASSIMO BATTENTE DOVUTO AI LIVELLI IDROSTATICI

La differenza massima di battente d'acqua e i carichi risultanti è indicata nella figura precedente

La densità dell'acqua di mare è assunta pari a 10.3 kN/m^3 . La massima differenza di livello è 3.0 m; questo determina una pressione orizzontale costante pari a 30.9 kN/m^2 sulla superficie della porta e una distanza tra il livello d'acqua e l'intradosso della porta di 16.10 m.

Per inciso si noti che alla base della porta vi è un elemento flessibile di altezza 0.30 m (per la tenuta), quindi l'altezza totale teorica della porta è di 16.50 m.

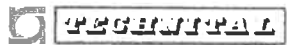
Il carico dovuto alla pressione idrostatica qui considerato è una condizione estrema. Nell'allegato A viene mostrato che questa assunzione è valida per livelli di marea combinati con significative onde sulla struttura.

3.1.4. Carico variabile 3: vento

Dal momento che la struttura è quasi completamente immersa, il vento non ha effetti rilevanti. Tuttavia durante la fase di installazione sarà considerata una velocità massima del vento pari a 4 m/s.

3.1.5. Carico variabile 4: azione delle onde sulla porta in movimento

I carichi statici equivalenti agli effetti dell'onda sono trattati nell'allegato A.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	EI. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 13
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

Il modello di carico sulla porta in movimento, come anche il carico d'onda per fatica sulla porta chiusa verranno basati su un'onda massima di 0.70 m.

Si è considerato inoltre, nella determinazione delle resistenze per attrito, un effetto dovuto a un dislivello addizionale d'acqua che può derivare dall'accumulo/ritenzione locale dovuto all'azione delle onde, delle manovre, del livellamento, ecc.; in termini di dislivello equivalente:

- durante l'alta marea $\Delta h = 0.10 \text{ m.}$
- durante la bassa marea (porta aperta, nessun battente) $\Delta h = 0.05 \text{ m.}$

Qualora questi valori fossero superati, ciò accadrebbe per intervalli di tempo molto brevi, e dato l'impiego che si è fatto di tale informazione (nel calcolo delle resistenze al moto), se ne potrà avere come conseguenza soltanto un lieve effetto sulla velocità della porta, a parità di forza di trazione.

3.1.6. Carico mobile 5: sisma

La normativa nazionale classifica tutto il territorio italiano come territorio a rischio sismico. Nell'ambito di tale orientamento vengono individuate quattro categorie sismiche di cui la prima è soggetta al maggior rischio e la quarta al minore. Il comune di Venezia e la Laguna sono classificati come zona sismica di quarta categoria, caratterizzati da una accelerazione orizzontale su suolo rigido pari a $a_g = 0.05 \times g$ (tempo di ritorno del sisma di progetto $T_r = 475$ anni) o da un livello di sismicità, espresso ai sensi del DM96 e delle circolari del C.S.LL.PP., pari a $S = 4$.

Per determinare il massimo carico sismico, l'accelerazione sismica è moltiplicata per la massa della porta come anche per la massa dell'acqua circostante (forze di trascinarsi).

Forza di inerzia dell'acqua attorno alla porta

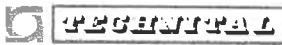
La determinazione di tale forza fa riferimento all'articolo 6.1.2, Classification Notes 30.5, DER NORSKE VERITAS.

Nei casi in cui l'equazione di Morison è applicabile, la forza di inerzia può essere calcolata mediante la formula:

$$F_m = \rho * V * a + \rho * C_m * V_R * a_r$$

in cui:

- F_m : Forza di inerzia agente ortogonalmente all'asse dell'elemento;
- ρ : peso specifico del liquido (1000 kg/m³);
- C_m : coefficiente bi o tri-dimensionale della massa aggiunta (1.0; tabella 6.1);
- a : accelerazione della particella in direzione normale all'asse dell'elemento (5% di g);

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 14
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

- a_r : accelerazione relativa tra la particella liquida e l'elemento (5% di g);
- V_R : volume di riferimento (totale o parziale) a cui deve essere riferito il coefficiente idrodinamico della massa aggiunta;
- V : volume o volume parziale del liquido spostato dall'elemento (1560m^3).

Si veda la tabella 6.2. (norme citate) in merito al valore da attribuire al coefficiente per massa aggiunta per corpi tridimensionali.

$$- V_R = \pi a^2 b / 4 \quad \text{in cui: } b = 54\text{m e } a = 16.5\text{m}$$

Quindi risulta:

$$- V_R = \pi * 16.5^2 * 54 / 4$$

$$V_R = 11547 \text{ m}^3$$

$$- F_m = (1560 * 0.05 * 10) + (1 * 11547 * 0.05 * 10) = 6554 \text{ kN}$$

3.1.7. Carico variabile 6: carichi da traffico (carichi mobili)

Si assume un carico uniformemente distribuito pari a 4 kN/m^2 e il transito di un veicolo da 50 kN . Per marciapiedi, scale e pianerottoli si assume un carico distribuito di 4 kN/m^2 .

3.1.8. Carico eccezionale 7: urto di una nave

L'azione dell'urto di una nave della massima dimensione che può transitare in conca non può essere realisticamente sopportato da alcuna struttura, senza completa perdita di funzionalità e stabilità e quindi il ricorso ad un intervento di manutenzione straordinaria o ricostruzione. Non si considera pertanto che la struttura possa essere progettata per tale genere di sollecitazione.

In ogni caso si sono considerate due condizioni di carico 'di danno' nel progetto della porta:

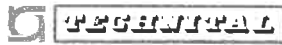
- La porta è in grado di funzionare efficacemente con una camera di galleggiamento distrutta o forata in conseguenza dell'urto accidentale di una nave.
- Forza orizzontale di 5000 kN (dovuto all'urto di una piccola imbarcazione).

3.1.9. Carico variabile 8: forze d'attrito e resistenza dell'acqua

Durante il movimento della porta varie forze resistenti dovute all'attrito si svilupperanno e contrasteranno l'azione del sistema di trazione.

Attriti fra materiali da costruzione

Tutte le superfici di contatto/scorrimento fra parti della struttura sono protette con almeno una interfaccia di polietilene ad elevata densità molecolare, in maniera da ridurre decisamente l'entità delle resistenze in gioco.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 15
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

Il valore delle forze d'attrito dipende dal materiale utilizzato e sarà determinato con la seguente formula:

$$F_{fr} = N_d \eta$$

dove:

- $N_d =$ Forza normale applicata
- $\eta =$ Coefficiente d'attrito dipendente dal tipo di materiale utilizzato:
- $\eta_{\text{acciaio-UHMWPE}} = 0.2$
- $\eta_{\text{acciaio inossidabile-UHMWPE}}$ non lubrificato = 0.22
- $\eta_{\text{acciaio inossidabile-UHMWPE}}$ lubrificato = 0.07

I valori assunti sono conservativi, perché per tutti gli elementi dove vi è attrito il materiale impiegato è acciaio inox con UHMWPE o titanio con UHMWPE. Le proprietà di scorrimento del polietilene UHMWPE con l'acciaio inox sono fornite nell'annesso B. Il fattore 0.22, dedotto dalla tabella, è, conservativamente, il valore più alto presente nella tabella (tiene conto della corrosione dell'acciaio normale, non inox).

Resistenza offerta dall'acqua

Durante il movimento della porta, l'acqua che la circonda tenderà ad offrire una resistenza (drag force) che agisce direttamente sul sistema di trazione.

Tale forza viene valutata con la seguente formula:

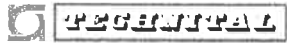
$$F_D = \sum \frac{1}{2} \rho C_D v_r |v_r| A$$

dove:

- $\rho =$ densità dell'acqua;
- $C_D =$ coefficiente di drag per un flusso perpendicolare all'asse dell'elemento
- $v_r =$ componente normale all'asse dell'elemento della velocità relativa della particella d'acqua rispetto all'elemento, perciò, la velocità della porta è sommata a quella della corrente, in direzione opposta.
- $A =$ proiezione dell'area di tutti gli elementi di acciaio soggetti alla forza di trascinamento.

Nel documento MV036P-PE-MAR-4003, sono calcolate le forze di trazione per la porta.

Di seguito sono riportati i risultati (tiro delle funi di trazione):

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 16
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

- Situazione 1: Porta completamente operativa all’inizio del movimento:

$$F_{TR} = 2 * 216 \text{ kN}$$

- Situazione 2: Porta funzionante; 1 argano danneggiato:

$$F_{TR} = + 351 \text{ e } - 51 \text{ kN}$$

- Situazione 3: Malfunzionamento dell’idrogetto:

$$F_{TR} = 2 * 312 \text{ kN}$$

3.2. Coefficienti di amplificazione dei carichi e di riduzione delle resistenze dei materiali

La struttura in acciaio in esame sarà calcolata con i seguenti coefficienti di carico:

Stato Limite Ultimo (USL):

Azione permanente		Continuo/Transitorio	Situazione accidentale
Sfavorevole	γ_{Gsup}	[1.35]	[1.00]
Favorevole	γ_{Gsinf}	[1.00]	[1.00]
Azione variabile			
Sfavorevole	γ_Q	[1.50]	[1.00]
Azione accidentale	γ_A	[-]	[1.00]

Stato limite di servizio (SLS): in tutte le combinazioni i coefficienti sono assunti unitari.

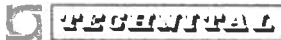
Coefficienti impiegati nelle combinazioni di carico:

Tutte le combinazioni con carichi, tranne la pressione idrostatica (sia quella dovuta al battente che quella statica equivalente dovuta alle onde) e il peso proprio, sono considerate caratteristiche, cosicché la pressione idrostatica, quando è combinata con uno dei carichi caratteristici dovrà essere moltiplicata per un fattore Ψ (si noti che nell'EC 1 Ψ non è specificato per strutture idrauliche e/o marittime, pertanto per tutti i tipi di azioni viene utilizzato il coefficiente più conservativo)

- ULS: per i carichi considerati il coefficiente Ψ_0 è assunto pari a 0.7

- SLS: per i carichi considerati il coefficiente Ψ_0 è assunto pari a 0.6

Per questo tipo di struttura, il coefficiente parziale di sicurezza del materiale utilizzato (Eurocodice 1) è $\gamma_M = 1.1$

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 17
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

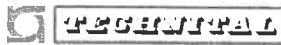
3.3. Combinazioni di carico

Stato Limite Ultimo (USL)

Situazioni transitorie	Combi T1		Combi T2		Combi T3		Combi T4	
EC1	Peso proprio		Carico dovuto all'acqua		Traffico		Forza di trazione	
ENV-1991-1:1994	Part.	Mom	Part.	Mom	Part.	Mom	Part.	Mom
Peso proprio	1.35	-	1.35	-	1.35	-	1.35	-
Acqua (onda+galleggiamento)			1.50	-	1.50	0.70	1.50	0.70
Traffico					1.50	-		
Movimento porta							1.50	-

Situazioni accidentali	Combi A1		Combi A2		Combi A3		Combi A4	
EC1	Peso proprio		Carico dovuto all'acqua		Traffico		Forza di trazione	
ENV-1991-1:1994	Part.	Mom	Part.	Mom	Part.	Mom	Part.	Mom
Peso proprio	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-
Acqua (onda+galleggiamento)	1.00	-	1.00	0.70	1.00	0.70	1.00	0.70
Terremoto			1.00					
Impatto da nave					1.00	-		
Forze di trazione situazione A							1.20*	-
Forze di trazione situazione B	1.00	-						

* Secondo l'EC1 questo valore dovrebbe essere posto pari a 1, trattandosi di un valore da situazione accidentale, tuttavia tale valore è esattamente determinato e non statisticamente stimato, pertanto si preferisce fattorizzarlo con un fattore di sicurezza pari a 1.20.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 18
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

Stato Limite di Esercizio (SLS)

Situazioni accidentali	Combi T1		Combi T2		Combi T3		Combi T4	
	Peso proprio		Carico dovuto all'acqua		Traffico		Forza di trazione	
EC1	Part.	Mom	Part.	Mom	Part.	Mom	Part.	Mom
ENV-1991-1:1994								
Peso proprio	1.00	-	1.00	-	1.00		1.00	-
Acqua (onda+galleggiamento)			1.00	-	1.00	0.60	1.00	0.60
Traffico					1.00	-		
Movimento della porta							1.00	-

3.4. Il caso particolare dei carichi dovuti alla fatica

Per la verifica al carico da fatica viene utilizzato lo stato limite di servizio. Poiché le ispezioni periodiche e la manutenzione sono difficilmente praticabili (la struttura è praticamente sempre immersa) e le parti componenti la struttura non sono conformi alle norme di sicurezza secondo la tabella 9.3.1 delle ENV 1993-1-1:1992, si considera un parziale fattore di sicurezza $\gamma_{Mf} = 1.35$.

Si considera che il massimo carico idrostatico corrisponda ad un intervallo di carico da fatica di 40000 cicli durante i 100 anni di vita della struttura, in particolare si è considerato un carico d'onda di altezza massima di 0.70m ad un intervallo di carico di $15 \cdot 10^6$ cicli durante i 100 anni di vita della struttura.

3.5. Limiti di deformazione

In accordo all'EC3-ENV 1993-1-1:1992 sono state prese in considerazione le seguenti limitazioni:

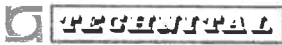
Struttura intera:

- Spostamento orizzontale massimo ammissibile: $L/500$

Tuttavia, in questo progetto il valore sopraccitato è incrementato a $L/1000$ a causa della notevole luce, degli effetti di distorsione locale e degli effetti che la deformabilità può avere sui sistemi di tenuta predisposti.

Elementi strutturali:

- Spostamento orizzontale massimo ammissibile: $L/300$;
- Spostamento verticale massimo ammissibile: $\delta_{max} = L/250$; $\delta_2 = L/300$.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 20
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

5. CONDIZIONI DI VINCOLO DELLA PORTA

Vincoli orizzontali:

Nel progetto si è assunto che i carichi dovuti alla pressione idrostatica siano uniformemente ripartiti lungo l'intera altezza della porta.

Nella situazione di porta chiusa, soggetta al battente idrostatico, la porta è appoggiata su tre lati, in corrispondenza delle due battute verticali e della battuta orizzontale del settore di soglia della struttura di alloggiamento.

Nella situazione di porta in movimento si considerano agenti sulla porta:


- Un'onda massima di 0.70 m, che si riflette (completamente) sulla porta (l'altezza d'onda è determinata da un'onda significativa di 0.50 m, associata al tempo necessario per l'apertura e la chiusura dello sbarramento).
- Battente residuo durante l'operazione: 0.10 m;

In questa situazione la porta è vincolata orizzontalmente in tre punti: inferiormente in corrispondenza dei due ritegni a quota -13.70 in asse agli idrogetti e superiormente sulle travi longitudinali al cassone a quota +1.50 m nel punto di contatto con la guida sul piastro dell'alloggiamento.

Vincoli verticali:

I vincoli verticali sono posti in corrispondenza dei due idrogetti alle due estremità.

Per consentire la manutenzione, le strutture degli idrogetti possono essere temporaneamente rimosse. In questa situazione la porta viene appoggiata sui due supporti verticali appositamente predisposti e solidali alla struttura della porta.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 21
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

6. MANUTENZIONE E DURABILITA'

6.1. Introduzione

Il requisito richiesto, in termini di funzionalità, alla struttura è una vita utile di 100 anni. Esso ha influenzato, fra il resto, anche la scelta del materiale per gli idrogetti e per le guide di scorrimento.

Tutti gli elementi aventi vita utile inferiore ai 100 anni (esempio: parti meccaniche, ecc.) sono accessibili per la manutenzione in condizioni normali, durante l'alta marea.

La guida scorrevole può essere ispezionata in sito con apposite strutture di ispezione sottomarine (tipo "habitat"). Questo genere di dispositivi può essere temporaneamente connessa alla parte frontale o retrostante della porta e realizza un ambiente asciutto e pressurizzato.

6.2. Corrosione

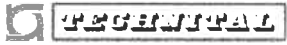
La soluzione di protezione dalla corrosione presentata in progetto, oltre ad essere frequentemente adottata, è di facile realizzazione e richiede una manutenzione ridotta. In particolare si ricorre a :

- trattamento superficiale di verniciatura
- protezione catodica con anodi sacrificali in alluminio
- messa in conto nelle verifiche di resistenza di uno spessore sacrificale di 1 mm attorno al perimetro di tutti gli elementi strutturali in acciaio.

In tal modo, fra una manutenzione straordinaria e la successiva, la struttura viene interessata unicamente da ispezioni periodiche.

6.3. Malfunzionamento / ridondanza

Una volta selezionate le condizioni di danno che la struttura deve ragionevolmente essere in grado di sopportare, si è operato, in fase di progetto e nella redazione del manuale di manutenzione, in maniera da ridurre l'occorrenza e gli effetti di malfunzionamenti della struttura durante la sua vita utile.

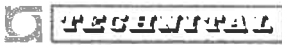
	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 22
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

7. QUALITA' DEI MATERIALI

Di seguito vengono riportati i materiali impiegati nel progetto.

La classe dell'acciaio impiegato è stata scelta in accordo alla norma NEN6774 (una verifica secondo la tabella 2.1 in questa norma mostra che la resistenza JR sufficiente per la struttura) e la norma UNI-EN 10025.

- piatti acciaio strutturale: S355JR
- travi acciaio strutturale: S355JR
- tubi rettangolari acciaio strutturale: S355JR
- tubi rotondi acciaio strutturale: S355J0H
- piattaforma stradale: grigliato carrabile zincato a caldo Z60/5 o equivalente
- piede dell'idrogetto:
 - piatto di base: S355JR
 - piatto sul fondo: anello di titanio – saldato con il piatto di base (scelta fatta in base alla massima durezza ottenibile e alla resistenza alla corrosione all'acqua salina in combinazione con l'erosione della sabbia)
- superfici a contatto: UHMWPE - non rigenerato
- sigillature: gomma naturale - profili estrusi e guarnizioni
- protezione catodica: anodi in alluminio tipo "Impalloy III"
- strato di rivestimento: verniciatura a base epossidica per ambiente marino e trattamento antifouling a base siliconica.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 23
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

8. IMPOSTAZIONE DEL PROGETTO

8.1. Calcoli strutturali

Calcoli statici: la struttura principale in acciaio è stata calcolata utilizzando come normativa l'Eurocodice, mentre il modello è stato eseguito utilizzando il programma SAP2000.

Il modello 3D è costituito da elementi trave; i piatti o comunque gli elementi piani sono stati modellati come elementi trave e come elementi shell con due modellazioni distinte. Le verifiche strutturali di resistenza e di deformazione sono state separatamente estrapolate e presentate.

I dettagli in acciaio della struttura vengono anch'essi calcolati a mano separatamente.

I profili e i dettagli strutturali utilizzati rispettano i requisiti forniti nell'Eurocodice 1,3 e 8.

Fatica: la struttura in esame non presenta nessuna particolarità con riferimento a problemi di fatica in quanto durante la sua presunta vita utile è sottoposta ad un modesto numero di cicli i carico.

I parametri significativi sono i seguenti:

- tempo di funzionalità della porta: 5-6 giorni all'anno, incrementato di 50 volte all'anno dopo 100 anni.
- Vita utile della struttura: 100 anni
- Ore di funzionalità al giorno: 24
- Ciclo di riempimento e di svuotamento: 100 min. in media

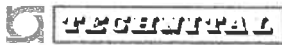
Negli elaborati di calcolo verrà eseguita inoltre una verifica a fatica sulla struttura dovuta all'azione del carico d'onda.

8.2. Dinamica

Dal calcolo risulta che la struttura ha valori delle frequenze proprie molto bassi e corrispondenti ai periodi di onde lunghe, condizione questa con probabilità di accadimento molto bassa nella zona in esame. Pertanto la frequenza propria della struttura della porta è lontana dalle frequenze dell'onda di progetto.

8.3. Stabilità nautica della struttura

Il calcolo della stabilità dell'assetto in galleggiamento è stato sviluppato mediante il seguente approccio:

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 24
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

Calcolo del peso della porta

Sulla base di un computo metrico di dettaglio, il peso totale della struttura in acciaio, comprensivo dei macchinari e delle apparecchiature E&I, è stato stimato in circa 13000 kN. Il volume della struttura sommersa genera una forza verso l'alto che viene equilibrata operando su una camera di galleggiamento. La struttura della porta è costruita in modo tale che il centro di gravità corrisponda, nella maggior parte delle fasi operative, con la linea d'asse degli idrogetti.


Per il calcolo della stabilità della struttura sono stati considerati i seguenti pesi e carichi con la loro posizione rispetto al centro di gravità:

- Peso proprio, peso dell'acqua di zavorra nella camera di galleggiamento
- Nel calcolo del peso, si è preso in considerazione un incremento dell'2.5% del peso della struttura in acciaio (saldature/dettagli); si rintegrono inclusi i collegamenti dei piatti considerando la lunghezza degli elementi compresa tra i due assi schema ed escludendo le sovrapposizioni.
- 120 kN materiale per la protezione catodica (anodi)
- 250 kN dovuti alle incrostazioni depositate sulla struttura per effetto del mare.
- Forze di galleggiamento

Sulla struttura reale sarà eseguito il calcolo accurato del peso e della posizione del centro di gravità e del centro di galleggiamento.

Ulteriori requisiti per il calcolo della stabilità della struttura:

- Durante la procedura d'installazione si accetta un tolleranza minima di 0.25 m (sommità della camera di galleggiamento).
- Durante la procedura d'installazione si accetta una massima inclinazione di 2.5°
- Durante il trasporto e installazione si accetta un valore minimo di distanza tra il metacentro e il centro di gravità di 0.50 m.
- La struttura deve essere in grado di galleggiare anche con il carico addizionale dovuto al fouling, nei limiti di quanto già specificato.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	EI. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 25
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

9. ALLEGATO A: DETERMINAZIONE DEI CARICHI DERIVATI DALL'AZIONE DELLE ONDE

9.1. Carico idrostatico equivalente all'azione dell'onda

La tabella allegata fornisce informazioni sui livelli dell'acqua e sulle altezze d'onda significative, i relativi periodi e l'entità delle sesse (onde di lungo periodo).

In questo allegato, tali informazioni saranno impiegate per la determinazione dei carichi sulle strutture da utilizzare nel modello di calcolo.

Il carico d'onda può essere suddiviso in tre condizioni di carico distinte:

- Carico d'onda limite per la condizione di porta chiusa (funzione di barriera contro le mareggiate)
- Carico d'onda durante le operazioni di apertura e chiusura della porta (in queste circostanze la porta è vincolata in soli tre punti ed ha un angolo libero)
- Carico d'onda da fatica (porta chiusa)

9.2. Carico d'onda limite per la condizione di porta chiusa (quando la porta agisce come barriera contro l'acqua alta)

Dati di base per la determinazione del massimo livello di calcolo

- Nei calcoli saranno utilizzate informazioni sul livello, sulle onde e sulle onde di lungo periodo esse per tutti gli eventi di marea con probabilità di occorrenza fino a uno in mille anni.
- Sul lato della laguna si considera un livello della superficie del mare pari a +0.60 m (minore della quota di salvaguardia, in quanto tiene conto dei tempi di avvio delle manovre alle barriere).
- La tabella mostra le altezze d'onda sulla porta così come sono state desunte da un apposito modello di calcolo numerico che combina la statistica delle onde con quella delle maree (si vedano le relazioni sulle condizioni meteomarine di cui al secondo stralcio di progetto).
- L'effetto delle onde è combinato con l'effetto delle sesse. L'azione di queste ultime è considerata in termini di livello equivalente, in particolare la loro azione viene messa in conto come innalzamento idrostatico pari a metà dell'altezza caratteristica dell'onda lunga; l'innalzamento idrostatico assunto corrisponde alla misura h-lunga nella tabella.
- L'onda massima nel modello alla Rayleigh è calcolata moltiplicando per un fattore 1.85 il valore significativo.

- Per effetto della tracimazione, si considera che le onde che produrrebbero un innalzamento idrostatico più alto rispetto a [sommità della porta (2.70 m)] + l'altezza d'onda relativa all'ipotesi di riflessione totale, non vengano riflesse e che perciò determinino un innalzamento idrostatico uguale alla sola ampiezza dell'onda;
- Nel caso di riflessione totale si considera che l'altezza totale d'onda si origini dal livello d'acqua (Ampiezza = $\frac{1}{2} * H$; riflessione totale: $2 * \text{Ampiezza}$).

Calcolo dell'incremento idrostatico equivalente all'azione dell'onda:


- Riflessione: $h_{\text{lato mare}} = h_{\text{livello mare}} + H_{s, \text{ porta (corta)}} + h_{\text{sessa (lunga)}}$
- Tracimazione: $h_{\text{lato mare}} = h_{\text{livello mare}} + H_{s, \text{ porta (corta)}} 0.5 * 0.85 + h_{\text{sessa (lunga)}}$

Risultati:

Tempeste, altezze		Altezze sulla struttura		Incremento del battente idrostatico	
T* [anni]	Alt. [m]	Hs corta [m]	h lunga [m]	Riflessione [quota +...m]	Tracimaz. [quota +...m]
100	0.80	0.98	0.34	3.10	
100	1.30	0.90	0.30	3.40	
100	1.50	0.84	0.25	3.43	
100	1.65	0.74	0.17	3.30	
100	1.65	0.50	0.10	2.75	
300	1.00	1.09	0.40	3.58	
300	1.50	0.96	0.33	3.75 ⇒	2.79
300	1.70	0.90	0.30	3.80 ⇒	2.90
300	1.85	0.74	0.17	3.50 ⇒	2.76
300	1.85	0.50	0.10	2.95	
1000	1.25	1.19	0.44	4.07 ⇒	2.88
1000	1.70	1.09	0.40	4.28 ⇒	3.19
1000	2.00	0.90	0.30	4.10 ⇒	3.20
1000	2.05	0.74	0.17	3.70 ⇒	2.96
1000	2.05	0.50	0.10	3.15	

* Periodo di ritorno

Conclusione: Per la posizione di porta "chiusa", si è assunto un incremento della pressione idrostatica fino ad una quota di +3.60 m. I calcoli sopra riportati dimostrano che questa assunzione è sufficientemente conservativa nei confronti delle possibili onde che possono interessare la struttura.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 27
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

9.3. Carico d'onda durante l'operazione di apertura e chiusura

Si determina il massimo carico d'onda dovuto al generarsi di onde durante maree con tempo di ritorno di 100 anni:

Dati di base:

- Nei calcoli saranno utilizzati dati su onde verificatesi in tutte le maree con periodo di ritorno pari 100 anni.
- Sono considerate solo onde caratterizzate, in un periodo, da un'altezza significativa sul mare pari a 2.5 m in prossimità della bocca (vicino al canale in direzione della conca; tale condizione è quella per cui le condizioni meteomarine sono ancora compatibili con la navigazione)
- La tabella mostra le altezze d'onda sulla porta così come sono state desunte da un apposito modello di calcolo numerico che combina la statistica delle onde con quella delle maree (si vedano le relazioni sulle condizioni meteomarine di cui al secondo stralcio di progetto).
- L'operazione di apertura o di chiusura ha una durata di circa 160 sec. Combinando tale intervallo di tempo con il periodo minimo dell'onda pari a 6.6 sec, si ottiene $160/6.6=25$ onde. Statisticamente (modello di Rayleigh) un'onda ogni venti ha un'altezza pari al 122% di quella significativa. Sarà preso in considerazione un fattore di 1.4 (corrispondente ad un'onda che statisticamente ha un'occorrenza di 1 su 40).
- A causa della crescita molto lenta delle sesse, tali fenomeni sono trascurati in questa situazione.

Calcolo del carico d'onda:

L'altezza e il periodo d'onda considerati sono:

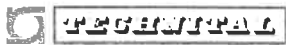
- Periodo massimo: $T_{p, \text{scirocco}} = 7.4 \text{ sec.}$
- Altezza massima dell'onda: $h_{\text{max}} = 1.4 * 0.5 = 0.70 \text{ m.}$

Nel caso di lunghezze d'onda limitate, la crescita della pressione idrostatica sott'acqua è meno che lineare. L'effetto sulla pressione sott'acqua viene ricavato nel documento di calcolo tramite una formula analitica.

La determinazione dei carichi distribuiti uniformemente sul modello, dovuti al carico d'onda, è presentata alla fine di questo allegato.

9.4. Fatica per effetto del carico d'onda

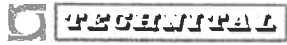
Dati di base:

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 28
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

- Per l'analisi dei fenomeni di fatica i calcoli saranno sviluppati utilizzando la somma delle aperture e delle chiusure della porta e sarà considerato il massimo battente. Per questa ragione saranno prese in considerazione per le onde risultanti solo le altezze d'onda significative sulla porta
- Le sesse sono incluse nella somma degli intervalli di carico dovuti alle operazioni di apertura e chiusura della porta (i più elevati in numero, circa 40000; vedi il documento MV036-PE-M-A-R-4002) e perciò non saranno computati negli intervalli di carico dovuti al carico d'onda.
- Fatica dovuta al carico d'onda imposto dalle onde durante le tempeste periodo di ritorno pari a 100 anni:
 - Poiché (per semplicità) le altezze dell'onda massima sono comprese nel massimo carico per fatica (vedi il carico d'onda limite nella condizione di porta chiusa), non è necessario considerare tutte le onde nel carico da fatica dovuto alle onde. Un calcolo non raffinato, che tenga in conto il periodo d'onda, la possibilità di occorrenza, e una durata media della tempesta di tre ore mostra che il numero totale di onde con altezza $H_s > 0.7$ m è inferiore a 40000 e può essere inclusa nel carico da fatica dovuto all'apertura e alla chiusura:
 - numero di onde significative sulla porta= S (numero di tempeste*durata della tempesta / periodo medio d'onda)

Onda di 1.0 m (1/100 anni)	20% di 1 temp.* 3 h * 3600 s / 10.5	215
Onda di 0.90 m (1/10 anni)	20% di 10 temp.* 3 h * 3600 s / 9.25	2919
(1/100 anni)	20% di 1 temp.* 3 h * 3600 s / 9.5	227
Onda di 0.80 m (1/5anni)	25% di 20 temp.* 3 h * 3600 s / 8.9	6067
(1/10 anni)	25% di 10 temp.* 3 h * 3600 s / 8.9	3034
(1/100 anni)	20% di 1 temp.* 3 h * 3600 s / 9.15	236
Onda di 0.70 m (1/5anni)	25% di 20 temp.* 3 h * 3600 s / 8.5	6353
(1/10 anni)	25% di 10 temp.* 3 h * 3600 s / 7.95	3396
(1/100 anni)	20% di 1 temp.* 3 h * 3600 s / 8.5	254
Numero totale di onde:		<u>22702</u>

Il numero di intervalli considerati dovuto alle operazioni di chiusura è più grande del numero totale di onde significative ≥ 0.7 m durante la vita utile della struttura ed è per questo che risulta valida l'ipotesi che queste onde siano incluse nelle ipotesi di carico.

	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 29
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

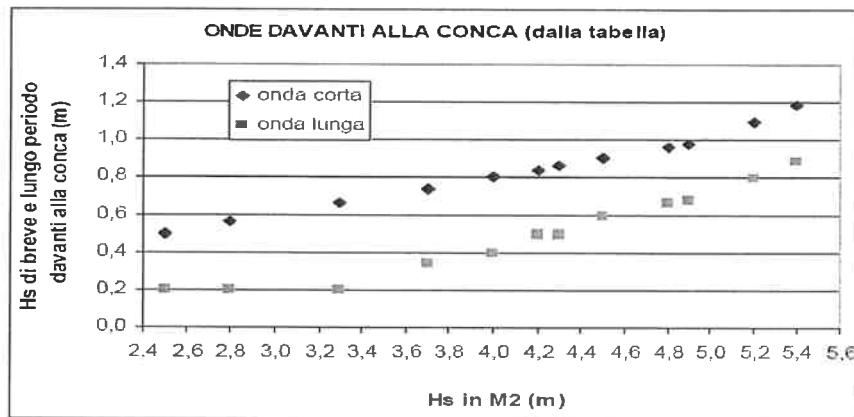
- Per la verifica a fatica, sarà considerato un carico d'onda minore di $H = 0.70$ m. E' utilizzata la stessa distribuzione di carico come per il carico d'onda durante l'apertura e la chiusura (non è richiesta alcuna estensione di H_s , poiché tutte le onde più alte di 0.7 sono incluse nel numero sopramenzionato di intervalli).

Numero di onde ripetute < 0.7:

Il numero di ripetizioni può essere considerato molto alto ($1.5 \cdot 10^7$), poiché gli intervalli dovuti a questi carichi risulteranno minori del limite per fatica nelle curve S-N.

Statistica combinata alla piattaforma					A Malamocco			
ma					punto M2	Davanti alla conca		
T* [anni]	Alt. [m]	Hs [m]	Tp [s] bora	Tp [s]	Hs corta [m]	Hs corta [m]	Hs lunga [m]	Hs lunga [m]
5	0.70	4.40	8.40	9.40	4.00	0.80	0.40	0.20
5	1.00	4.00	8.00	9.00	3.70	0.70	0.34	0.17
5	1.18	3.00	6.90	7.80	2.80	0.60	0.20	0.10
5	1.18	2.70	6.60	7.40	2.50	0.50	0.20	0.10
10	0.75	4.70	8.70	9.80	4.30	0.90	0.50	0.25
10	1.00	4.40	8.40	9.40	4.00	0.80	0.40	0.20
10	1.30	3.50	7.50	8.40	3.30	0.70	0.20	0.10
10	1.30	2.70	6.60	7.40	2.50	0.50	0.20	0.10
100	0.80	5.60	9.50	10.60	4.90	1.00	0.68	0.34
100	1.30	5.00	8.90	10.1	4.50	0.90	0.60	0.30
100	1.50	4.60	8.60	9.70	4.20	0.80	0.50	0.25
100	1.65	4.00	8.00	9.00	3.70	0.70	0.34	0.17
100	1.65	2.70	6.60	7.40	2.50	0.50	0.20	0.10
300	1.00	6.00	9.80	11.00	5.20	1.10	0.79	0.40
300	1.50	5.50	9.40	10.60	4.80	1.00	0.66	0.33
300	1.70	5.00	8.90	10.10	4.50	0.90	0.60	0.30
300	1.85	4.00	8.00	9.00	3.70	0.70	0.34	0.17
300	1.85	2.70	6.60	7.40	2.50	0.50	0.20	0.10
1000	1.25	6.40	10.10	11.40	5.40	1.20	0.89	0.44
1000	1.70	6.00	9.80	11.00	5.20	1.10	0.79	0.40
1000	2.00	5.00	8.90	10.10	4.50	0.90	0.60	0.30
1000	2.05	4.00	8.00	9.00	3.70	0.70	0.34	0.17
1000	2.05	2.70	6.60	7.40	2.50	0.50	0.20	0.10

* Periodo di ritorno



Load case : wave load (gate in motion)

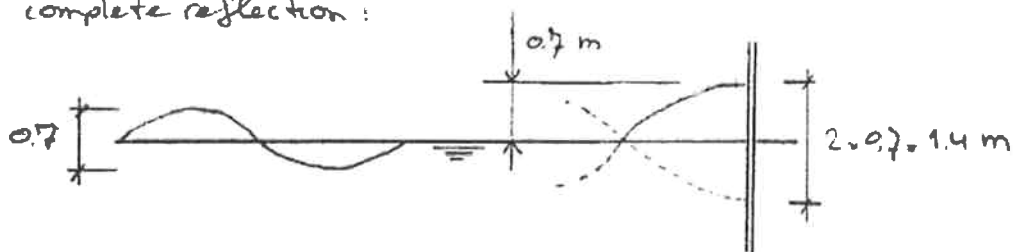
Significant wave : 0.5 m

Water level : 1.65 m

Max. wave height (gate in motion) :

$$1.4 \cdot 0.5 \text{ m} = 0.7 \text{ m}$$

complete reflection :



Calculation water pressure : page 2 & 3

9.5. Carichi dovuti all'onda riflessa

Livello acqua	$h = 1.65 \text{ m.}$
Profondità	$d = h + 13.8 \text{ m.} \Rightarrow d = 15.45 \text{ m.}$
$\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
$H_i = 0.70 \text{ m.}$	ampiezza d'onda (di uno stato d'onda)
$T = 7.40 \text{ sec.}$	periodo d'onda
$L = 74.00 \text{ m.}$	lunghezza onda; determinata iterando con L_{th}
$k = 2\pi / L$	fattore d'onda $k = 0.08 \text{ l/m}$
$c = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(k \cdot d)}$	$c = 9.99 \text{ m/s}$ velocità d'onda
verifica della lunghezza d'onda	$L_{th} = T \cdot c$ $L_{th} = 73.95 \text{ m.}$

9.6. Carico dovuto solamente all'onda

coordinate z e y rispetto al livello dell'acqua:

$$-d < z < 0, \quad 0 < y < H_i$$

$$p(z) = \rho \cdot g \cdot H_i \frac{\cosh[k \cdot (d + z)]}{\cosh(k \cdot d)} \quad q(y) = \left(1 - \frac{y}{H_i}\right) \rho \cdot g \cdot H_i$$

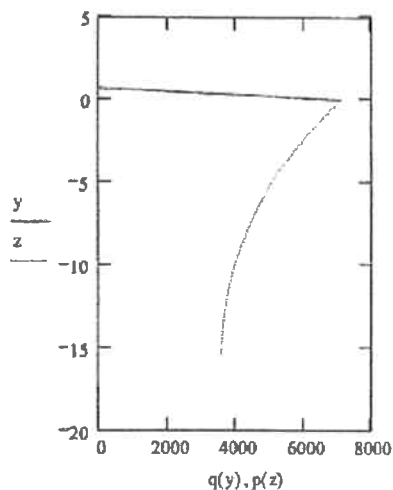
$$z = -15.45, -15.4 \dots 0 \quad y = 0, 0.05 \dots 0.7$$

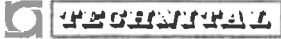
$$q(0 \cdot m) = 7.07 \frac{kN}{m^2}$$

$$p(0 \cdot m) = 7.07 \frac{kN}{m^2}$$

pressione al livello -12.60 m.

$$p(-14.25 \text{ m}) = 3.57 \frac{kN}{m^2}$$



	Rev. C1	Data: 21/03/08	El. MV036P-PE-MAR-4001	Pag. n. 32
	Rev.	Data:	STRUTTURA DELLE PORTE RELAZIONE TECNICA GENERALE	

9.7. Carico totale sulla struttura

$$p_{tot}(z) = -\rho \cdot g \cdot z + \rho \cdot g \cdot H_i \frac{\cosh[k \cdot (d+z)]}{\cosh(k \cdot d)}$$

$$d = 15.45 \text{ m}$$

$$d' = d - 1.2 \text{ m} \quad \text{profondità sul livello d'acqua } -12.60 \text{ m.}$$

$$d = 14.25 \text{ m}$$

$$F_{tot} = \rho \cdot g \cdot H_i \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{[\exp(k \cdot d) - \exp(-k \cdot d)]}{k \cdot \cosh(k \cdot d)} + \frac{H_i}{2} \right]$$

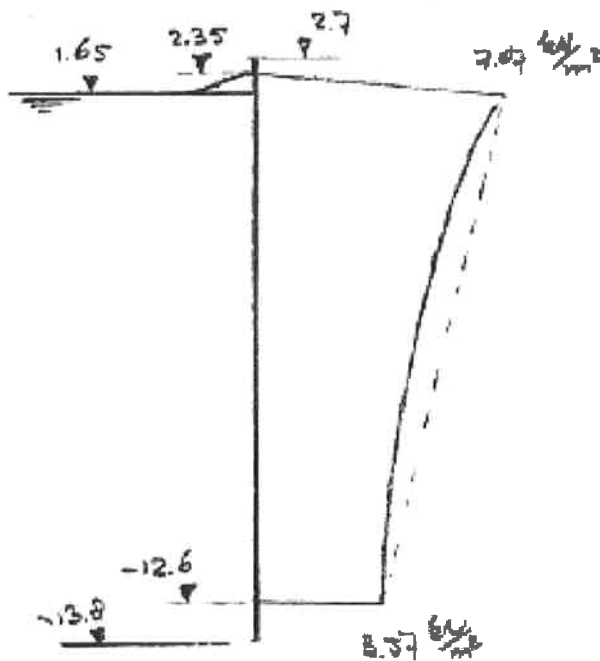
Forza totale a metro lineare

$$F_{tot,1} = 72.1 \text{ kN/m}$$

Totale forza sulla struttura

$$F_{tot} = F_{tot,1} \cdot 53.9 \text{ m} = 3889 \text{ kN}$$

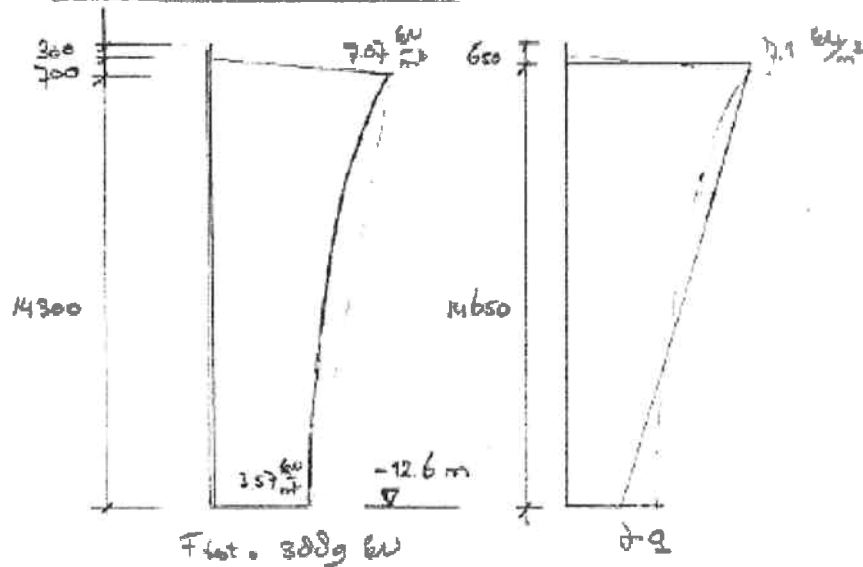
Theoretical load on gate due to waves



$$F_{tot} = 5889 \text{ kN}$$

(see p. 2)

Simplified wave load



model:

$$\begin{aligned}
 F_{tot} &= 14.65 \text{ m} \cdot q \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + \frac{1}{2} \cdot (7.1 - q) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 14.65 \text{ m} \\
 &= 14.65 \cdot q + 52.0 - 7.325 \cdot q \\
 &= 7.325 \cdot q + 52.0
 \end{aligned}$$

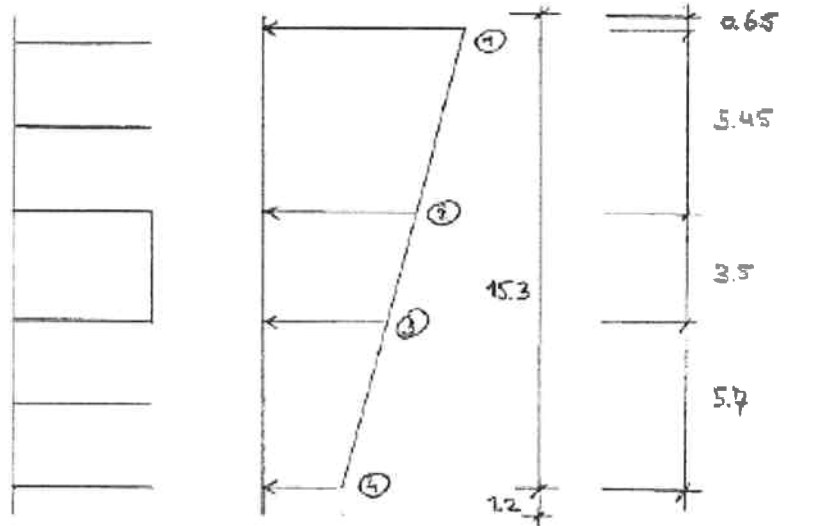
$$\begin{aligned}
 F_{tot} = 3889 \text{ kN} &\Rightarrow 7.325 \cdot q + 52.0 = \frac{3889 \text{ kN}}{53.9 \text{ m}} \\
 &q = 2.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

check:

$$F_{tot} = 14.65 \text{ m} \cdot \left(2.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + \frac{1}{2} (7.1 - 2.8) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \cdot 53.9 \text{ m} = 3909 \text{ kN}$$

O.K.

Loads in model (EPW)



	c.t.c. width 1.0 m	c.t.c. width 3.5 m	c.t.c. width 5.0 m
①	7.1 $\frac{kg}{m}$	24.9	35.5
②	5.4	18.9	27.0
③	4.4	15.4	22.0
④	2.8	9.8	14.0

— // —

