



COMUNE DI ROCCELLA JONICA



RIQUALIFICAZIONE E ADEGUAMENTO DEL PORTO DELLE GRAZIE DI ROCCELLA JONICA

Progetto Definitivo

E – IMPIANTI TECNOLOGICI

E.01

RELAZIONE SUL SISTEMA REWEC3

(a cura di Wavenergy.it srl)

Data:

05-08-2019

Scala:

PROGETTAZIONE:



Certified by Bureau Veritas Italia S.p.A.

ISO 9001:2015 ISO 14001:2015
Sistema di Gestione Qualità Sistema di Gestione Ambientale

ASSOCIATO
oice Associazione delle organizzazioni di Ingegneria
di architettura e di consulenza tecnico-economica

PROJECT MANAGER

ing. Antonino Sutera

PROGETTISTA

ing. Antonino Sutera
ing. Giuseppe Bernardo

GRUPPO DI LAVORO

ing. Giuseppe Cutrupi
ing. Roberta Chiara De Clario
ing. Simone Fiumara
ing. Tindara Cristina Grasso
ing. Fabio Vinci
arch. Elio Carrozza
arch. Nicola Cosenza

REVISIONI			
01	05-08-2019	Aggiornamento studio idraulico marittimo	
Rev. n°	Data	Motivazione	

R.U.P.

Visti/Approvazioni

Ing. Lorenzo Surace

Codice elaborato:

STUDIO REDATTO PER IL
Comune di Roccella Jonica

**STUDIO DI FATTIBILITA'
PER LA PROGETTAZIONE
DI UN SISTEMA REWEC3 DA INSTALLARE
PRESSO IL PORTO DI ROCCELLA JONICA (RC)**



WAVENERGY.it S.r.l.

Via F. Baracca, trav. De Salvo, 8/a – 89123 Reggio Calabria - Italy

Iscr. C.C.I.A. – R.E.A. 163446 - P. I. 02350390809

E-mail: info@wavenergy.it - Indirizzo Web: www.wavenergy.it

Tel.: 3497090773, 3497074760 – Tel-Fax: 0965 492708

Informazioni Generali

Progetto	REWEC3 PER IL PORTO DI ROCCELLA JONICA (RC)
Oggetto	STUDIO DI FATTIBILITÀ PER LA PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA REWEC3 DA INSTALLARE PRESSO IL PORTO DI ROCCELLA JONICA (RC)
Cliente	Amministrazione Comunale di Roccella Jonica
Rappresentante del Cliente	Ing. Lorenzo Surace
Progetto N.	
Nota Tecnica N.	
Nome del File	
Direttore Tecnico (DT) e Responsabile Operativo (UGAP)	Ing. Alessandra Romolo (RML) Ing. Anita Santoro (SNT)
Amministratore Delegato (AM) e Responsabile SGQ (RDGQ)	Ing. Saveria Meduri (MED)
Referente Scientifico (RSC)	Prof. Ing. Felice Arena (ARN)

WAVENERGY.IT SRL

Wavenergy.it non accetta responsabilità per l'uso da parte di terzi dei risultati o metodi presentati in questa nota tecnica.

STUDIO DI FATTIBILITA' PER LA PROGETTAZIONE

di un sistema REWEC3 da installare presso il porto di Roccella Jonica (RC)

Premesse

Il comune di Roccella Ionica è uno dei soli otto comuni italiani che ha ricevuto i riconoscimenti “5 vele” e “bandiera blu europea”. In particolare, il porto di Roccella Jonica, denominato "Porto delle Grazie" è uno dei porti più moderni e funzionali di tutto il mezzogiorno continentale, nonché unico approdo nel tratto di mare che va da Crotona a Reggio Calabria. Negli ultimi anni il porto, raggiungibile tramite una moderna pista ciclabile e distante solo 2km dal centro della cittadina, è divenuto oggetto di interesse dell'amministrazione locale che punta ad una *gestione green del porto* stesso e di una serie di servizi ad esso connessi. Soprattutto, data la sua posizione centrale rispetto all'area della Locride, caratterizzata dalla forte integrazione e complementarietà fra il mare e la montagna, dal porto si possono raggiungere i diversi comuni con elevato patrimonio storico, artistico, monumentale ed ambientale.

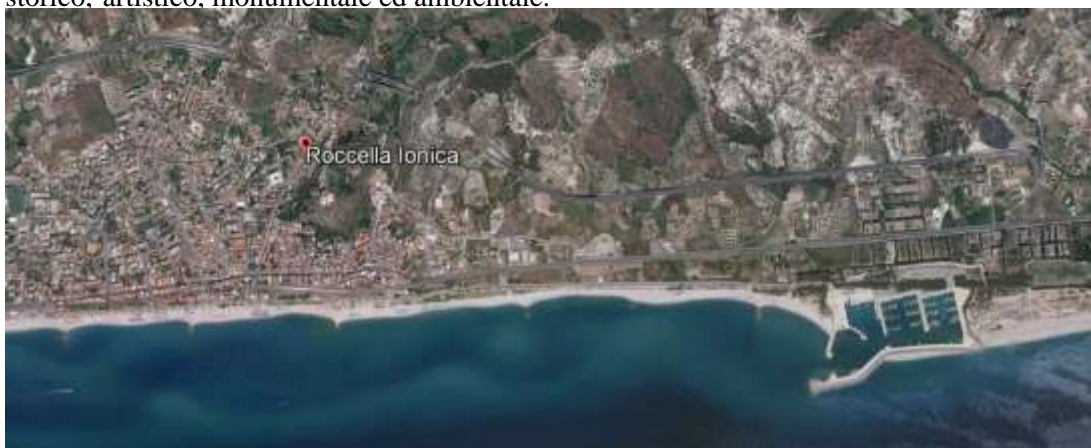


Figura 1. Inquadramento territoriale del comune di Roccella Jonica e del porto nella configurazione attuale esistente.

L'importanza dell'area a livello storico-culturale e la connessione tra i comuni della zona, rende il porto di Roccella centrale e dalle forti peculiarità ai fini dello sviluppo sia turistico che socio-economico dell'area su cui insiste.

Allo stato attuale si sta puntando ad un potenziamento dell'infrastruttura portuale esistente per incrementarne la fruibilità e potenziare la ricettività del porto. A tal scopo, si intende operare un ampliamento del molo di sovraflutto, mediante l'adozione di un'innovativa tipologia di cassoni portuali, i REWEC3 (*REsonant Wave Energy Converter*). Tali nuove strutture – di cui Wavenergy.it è licenziataria esclusiva (brevetto del prof. Paolo Boccotti) – oltre a svolgere la classica funzione di opere portuali, sono opportunamente modificate nella porzione lato mare per assorbire l'energia ondosa incidente e per trasformarla in energia elettrica mediante l'installazione di idonee turbine.

Il presente studio di fattibilità e progettazione per il Porto di Roccella Jonica prevede l'inserimento di tre cassoni REWEC3 adeguatamente dimensionati per massimizzare le prestazioni energetiche per la località in esame per un'estensione complessiva di circa 60m. I dettagli della configurazione adottata saranno forniti nel proseguo. L'obiettivo finale è quello di ottenere un porto totalmente green per ciò che attiene i propri fabbisogni di energia elettrica mediante l'apporto di energia elettrica verde fornita dai cassoni REWEC3.

1. I CONVERTITORI DI ENERGIA ONDOSA E I SISTEMI REWEC3

E' comunemente riconosciuto che l'energia ondosa può apportare un contributo energetico considerevole al soddisfacimento del fabbisogno di energia elettrica mondiale, grazie all'enorme potenziale di energia associato alle onde di mare.

Tra i sistemi maggiormente accreditati a livello internazionale per lo sfruttamento dell'energia associata alle onde di mare, ci sono i sistemi a colonna d'acqua oscillante - *Oscillating Water Column*, OWC - concepiti in chiave moderna da Yoshio Masuda negli anni '60-'70. Tali sistemi possono essere efficacemente incorporati in tradizionali dighe a cassoni a parete verticale. Uno schema concettuale è mostrato in Figura 2. Essi sono composti da 3 elementi fondamentali: una colonna d'acqua, una camera d'aria, e un condotto d'aria. Il principio di funzionamento è il seguente: le onde di mare interagiscono con l'impianto propagandosi al suo interno ed inducendo delle oscillazioni della colonna d'acqua. Tali oscillazioni provocano compressioni e decompressioni della camera d'aria. I cicli di compressione e decompressione inducono un flusso d'aria alternato nel condotto. Pertanto, la conversione in energia elettrica è condotto per mezzo di una turbina localizzata in detto condotto. In questo sistema, la turbina è del tipo bidirezionale. Cioè esso ruota nello stesso verso indipendentemente dal verso della corrente d'aria. Tali sistemi sono sicuramente tra i più studiati nella letteratura scientifica e sono tra i pochi ad aver raggiunto la fase di

progetto in scala reale. Esempi classici sono gli impianti LIMPET in Scozia e PICO in Portogallo. In chiave marittima è particolarmente interessante l'impianto di Mutriku (Spagna). Tale impianto è sì un sistema OWC, ma incorporato in una diga a parete verticale. Tale impianto è un esempio di come coniugare l'esigenza di produrre energia da fonte rinnovabile con le tipiche necessità legate alla costruzione di dighe portuali.

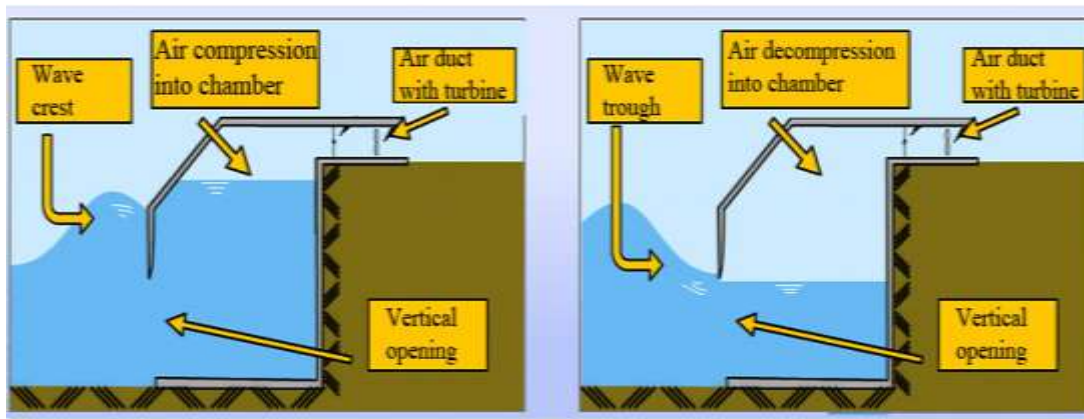


Figura 2. Schema di funzionamento di un impianto OWC. Fase di compressione (sinistra) e di decompressione (destra).

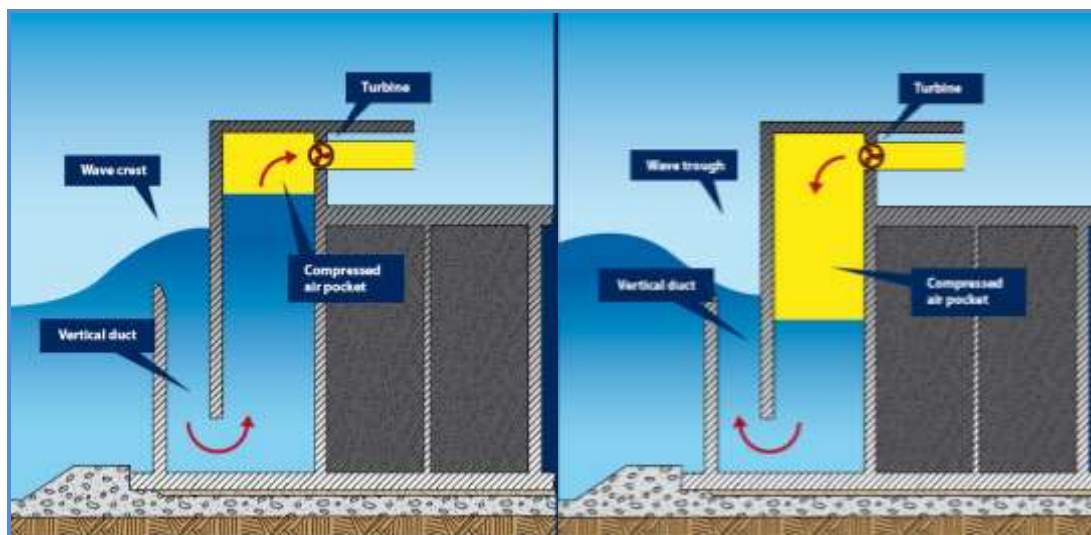


Figura 3. Schema di funzionamento di un impianto REWEC3. Fase di compressione in presenza di cresta d'onda (sinistra). Fase di decompressione in fase di cavo d'onda (destra).

Nell'ultimo decennio il principio del sistema OWC è stato rivisitato da Boccotti per mezzo dei sistemi REWEC (*REsonantWave Energy Converter*). Rispetto ai sistemi OWC essi includono un condotto verticale per collegare la colonna d'acqua con il mare aperto

(Figura 3). In questo sistema le onde non si propagano all'interno dell'impianto, ma inducono una forza nell'imboccatura superiore del condotto verticale, che è responsabile delle oscillazioni interne della colonna d'acqua. Nonostante il cambio di configurazione possa apparire minimo, in realtà esso è consistente, poiché si affianca alla possibilità di progettare l'impianto per andare in risonanza con gli stati di mare desiderati, raggiungendo capacità di assorbimento molto maggiori dei classici OWC.

L'impianto REWEC è stato concepito per essere usato in sinergia con le classiche strutture impiegate nel campo dell'ingegneria marittima. Esso è stato concepito per essere integrato nelle dighe a parete verticale usate in campo portuale (tale sistema è noto come REWEC3 – *realization 3*). In questo contesto, è stato dimostrato che l'impianto è in grado non solo di essere un eccellente impianto di produzione di energia da moto ondoso, ma anche di avere interessanti effetti benefici dal punto di vista strettamente portuale. Infatti, in confronto alle semplici barriere verticali, essi sono in grado di ridurre i fenomeni di riflessione migliorando, quindi, le condizioni di navigabilità in prossimità della struttura.

Quale opera portuale il REWEC3 si compone di una infrastruttura passiva costituita da una comune diga a parete verticale e di una struttura attiva posta lato mare che assorbe l'energia del mare. Tale parte attiva è costituita da una camera di assorbimento avente acqua al di sotto del livello di medio mare e aria al di sopra. La camera d'aria è collegata all'atmosfera tramite un breve condotto connesso ad una turbina avente il compito di produrre energia elettrica, mentre la camera d'acqua è collegata con il mare aperto tramite un condotto ad U. Il principio di funzionamento è il seguente: le onde di mare inducono delle variazioni di pressione all'ingresso del condotto ad U; tali variazioni inducono a loro volta delle oscillazioni dell'acqua all'interno del cassone, che quindi comprime e decomprime la camera d'aria. Tali cicli di compressione e decompressione determinano un flusso d'aria alternato all'interno del breve condotto. Infine, la turbina self-rectifying (tipicamente una turbina del tipo di Wells) che rappresenta la componente di Power Take Off (PTO) del sistema, opera la conversione dell'energia ondosa in energia elettrica da immettere in rete. L'insieme di: condotto verticale, camera d'aria e tubo contenente la turbina, costituisce la cosiddetta "parte attiva" dell'impianto.

2. DIMENSIONAMENTO GEOMETRICO DELLE PARTI ATTIVE DI UN REWEC3

Da un punto di vista progettuale, la parte “passiva” dei cassoni REWEC3 viene dimensionata per garantire la stabilità globale della struttura; la parte “attiva” per ottimizzare le performance energetiche dell’impianto, ovvero assorbimento dell’energia ondata incidente e produzione di energia elettrica da immettere in rete.

Nello specifico, il dimensionamento della parte “attiva” è effettuato avendo come punto di riferimento la determinazione del periodo naturale di oscillazione ottimale della colonna d’acqua. In particolare, il periodo proprio di oscillazione della massa all’interno dell’impianto dovrà essere calibrato sul periodo dell’onda incidente associata allo stato di mare di progetto. In questo contesto, si osserva che, il periodo proprio cresce al crescere della lunghezza del condotto verticale, al crescere del rapporto tra la larghezza della camera d’assorbimento e la larghezza del condotto verticale, al crescere dell’altezza della camera d’assorbimento, al crescere del diametro del tubo di collegamento con l’atmosfera. La progettazione ottimizzata dell’impianto avrà come finalità il raggiungimento della condizione di *risonanza*, ottenuta quando il periodo proprio dell’impianto risulta prossimo al periodo delle onde cui è associata la maggior parte dell’energia ondata che investe la diga nell’arco di un anno.

Il parametro progettuale di riferimento è il *coefficiente di risonanza* calcolato tramite la relazione,

$$R = \frac{4 T^*}{T_p}, \quad (1)$$

dove T_p indica il periodo di picco associato allo spettro delle fluttuazioni di pressione Δp sull’imboccatura superiore del condotto verticale, T^* indica l’ascissa del primo minimo della seguente funzione di cross-correlazione:

$$\psi(T) = \langle \Delta p(t) \zeta(t+T) \rangle. \quad (2)$$

La descrizione analitica dell’idrodinamica dell’impianto U-OWC è quella proposta da Boccotti (2007 Caisson breakwaters embodying an OWC with a small opening. Part I: theory *Ocean Engineering* 34, 806-819), che tiene conto di come non possa essere analizzato nel dominio delle frequenze a causa del comportamento non-lineare del sistema, da cui la necessità di integrare le equazioni che descrivono l’idrodinamica del REWEC3 nel dominio del tempo. Un sistema REWEC3 può essere a celle indipendenti, e l’idrodinamica del moto dell’acqua all’interno della singola cella è analizzata mediante la seguente espressione semplificata (Boccotti 2007)

$$h' - h'' - \Delta h_w = \frac{l}{g} \frac{du}{dt} + \frac{(l'' - \xi)}{g} \frac{d^2 \xi}{dt^2} \quad (3)$$

in cui tutte le grandezze geometriche sono riportate in Figura 4.

Inoltre:

- $u = u(t)$ è la velocità dell'acqua nel condotto verticale. Varia in funzione del tempo ed è definita positiva se è uscente dall'imboccatura;
- $\xi = \xi(t)$ è la quota istantanea dell'aria all'interno del polmone della camera di assorbimento, definita positiva se rivolta verso il basso.

Tali grandezze, u e ξ , sono mutuamente legate mediante l'equazione di continuità.

Nell'equazione (3), Δh_w , sono le perdite di carico nel condotto verticale valutate secondo la seguente relazione:

$$\Delta h_w = \left(\frac{\lambda_w}{4R} l + k_w \right) \frac{u^2}{2g |u|} \quad (4)$$

nella quale l è la lunghezza del percorso considerato, R è il raggio idraulico del condotto verticale, k_w sono le perdite di carico concentrate, ed, infine, λ_w sono le perdite di carico distribuite.

h' ed h'' sono i carichi idraulici (energia per unità di peso), riferiti al livello di medio mare, relativi rispettivamente alla quota di interfaccia acqua/aria nella camera di assorbimento e all'imboccatura del condotto superiore. Sono stimati rispettivamente mediante le seguenti relazioni:

$$h' = (\xi_0 - \xi) + \frac{1}{2g} \left(\frac{d\xi}{dt} \right)^2 + \frac{(p_a - p_{atm})}{\rho g} \quad (5)$$

in cui

- ξ_0 quota dell'acqua nella camera in condizioni di quiete;
- p_{atm} pressione atmosferica;
- p_a pressione dell'aria all'interno del polmone di aria della camera di assorbimento al generico istante t ;
- $d\xi/dt$ velocità dell'acqua nella camera di assorbimento;
- ρ densità della massa d'acqua all'interno dell'impianto;
- g accelerazione di gravità;

e

$$h'' = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad \text{if } \eta > -a, \quad (6)$$

essendo Δp la fluttuazione dell'onda sull'impianto alla quota dell'imboccatura del condotto verticale ($z = -a$, con riferimento a Figura 4).

Per quanto concerne le grandezze relative al polmone di aria all'interno della camera di assorbimento – ovvero la pressione, p_a , e la densità, ρ_a , dell'aria – queste sono valutate come di seguito esplicitato.

La densità dell'aria, ρ_a , all'interno del polmone d'aria è legata alla variazione della massa d'aria, M_a , all'interno del polmone e alla quota dell'acqua nella camera di assorbimento, ξ , secondo la seguente espressione

$$\rho_a = \frac{M_a}{bs''\xi}, \quad (7)$$

essendo b la larghezza longitudinale della singola cella attiva dell'impianto non comunicante con le altre.

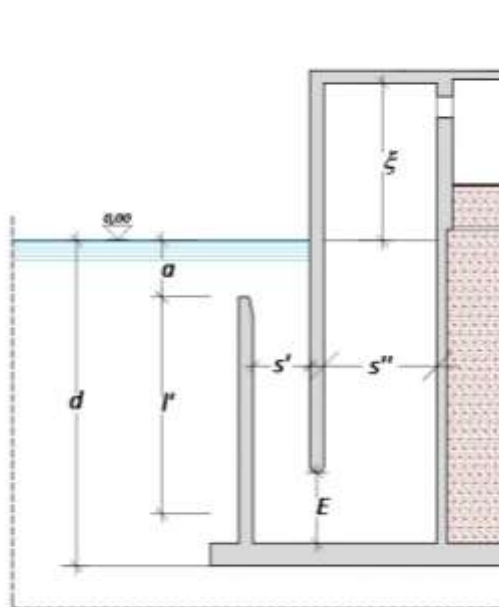


Figura 4. Grandezze geometriche di riferimento del cassone REWEC3 a celle indipendenti.

La pressione dell'aria, p_a , all'interno del polmone d'aria è legata alla densità dell'aria, ρ_a , mediante l'equazione di stato, secondo cui

$$\frac{p_a}{\rho_a^k} = \frac{p_{\text{atm}}}{\rho_{\text{atm}}^k} \quad (8)$$

dove $k = 1$ se si assume la trasformazione isoterma, $k = 1.4$ se si assume adiabatica. In generale, $1.0 \leq k \leq 1.4$.

Un'altra grandezza fondamentale per la determinazione dell'idrodinamica all'interno dell'impianto è la velocità dell'aria, u_a , all'interno del condotto che connette il polmone d'aria della camera di assorbimento con l'atmosfera. Tale grandezza è direttamente connessa alla pressione dell'aria, p_a , all'interno del polmone della camera attraverso la seguente relazione

$$k_a \frac{u_a^2}{2} \frac{u_a}{|u_a|} = \frac{p_{atm}}{\rho_{atm}} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_a}{p_{atm}} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]. \quad (9)$$

Nel caso di assenza di turbina l'Eq. (9) non deve essere considerata.

Note la velocità dell'aria, u_a , nel condotto contenente la turbina e la pressione, p_a , è possibile valutare la variazione della massa d'aria del polmone all'interno della camera di assorbimento, che è ricavabile mediante la condizione

$$\frac{dM_a}{dt} = -\frac{1}{2} (\rho_a + \rho_{atm}) \frac{\pi(D^2 - D_{in}^2)}{4} u_a \quad (10)$$

essendo D il diametro esterno della turbina e D_{in} il diametro del mozzo rotante della turbina che si prolunga lungo l'asse del condotto per la presenza di due ogive e per la presenza del generatore accoppiato alla turbina.

La velocità u_a è legata alla pressione dell'aria all'interno della camera tramite l'equazione di Eulero:

$$\frac{l_a}{g} \frac{du_a}{dt} = \frac{1}{g} \frac{p_{atm}}{\rho_{atm}} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_a(t)}{p_{atm}} \right)^{(1-1/k)} - 1 \right] - \Delta h_a, \quad (11)$$

dove l_a indica la lunghezza del condotto d'aria. La perdita di carico Δh_a tra la camera d'aria e l'atmosfera è espressa nella forma seguente:

$$\Delta h_a = \left(\frac{\lambda_a}{D} l_a + K_a \right) \frac{u_a^2}{2g} \frac{|u|}{u} + \Delta h_T. \quad (12)$$

Si assume K_a pari a 2.5. La perdita di carico attraverso la turbina Δh_T è espressa in funzione della velocità adimensionale u^* , nella forma seguente:

$$\Delta h_T = F(u^*) \frac{\omega^2 D^2}{4g}, \quad (13)$$

dove:

$$u^* = \frac{u_A}{\omega D / 2}. \quad (14)$$

La potenza elettrica prodotta dalla turbina è espressa in funzione del rendimento R , legato alla velocità adimensionale u^* :

$$P(t) = R(u^*) \frac{1}{2} (\rho_a(t) + \rho_{am}) g \frac{\pi(D^2 - D_{mt}^2)}{4} u_A \Delta h_T. \quad (15)$$

Per turbine del tipo Wells, i fattori $F(u^*)$ e $R(u^*)$ sono valutati per mezzo degli abachi di Curran & Gato (1997) in funzione di u^* .

Tutte le grandezze idrodinamiche istantanee in gioco sono determinate per integrazione numerica delle equazioni differenziali (5) e (10) essendo nota, come input iniziale, la fluttuazioni di pressione prodotta dalle onde all'imboccatura del condotto verticale ed assumendo per alcune grandezze i seguenti valori iniziali (istante $t=0$)

$$\frac{d\xi}{dt} = 0, \quad \xi = \xi_0, \quad M_a = \rho_{am} b s'' \xi_0. \quad (16)$$

Il procedimento di calcolo sviluppato segue le indicazioni proposte da Boccotti (2007).

La dinamica del REWEC3 è studiata integrando numericamente le equazioni differenziali che governano il moto dell'acqua nel dominio del tempo, a partire dall'azione dell'onda sull'imboccatura del condotto verticale. La descrizione analitica del campo di moto di fronte la struttura fu inizialmente proposta da Boccotti (2007). La soluzione ricavata è stata validata per mezzo di prove sperimentali su modelli in scala ridotta presso il laboratorio NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory) di Reggio Calabria.

Il metodo qui adottato si avvale di una procedura iterativa per la stima del campo di moto interagente con il REWEC3. Nello specifico, ciascuna iterazione si avvale della stima dell'elevazione d'onda e delle fluttuazioni di pressione tramite le relazioni

$$\eta = C_d \eta_i, \quad (17)$$

e

$$\Delta p = C_a \Delta p_i, \quad (18)$$

dove η_i e Δp_i indicano, rispettivamente, l'elevazione istantanea della superficie libera e la pressione dell'onda incidente, calcolate a partire dalla simulazione numerica dello stato di mare di progetto, per assegnate caratteristiche spettrali. C_d indica il coefficiente di diffrazione computato in funzione del coefficiente di riflessione C_r e del coefficiente di assorbimento C_a :

$$C_d = 1 + C_r - C_a. \quad (19)$$

Il coefficiente C_r è assunto pari ad 1; il coefficiente C_a è ricavato per mezzo di una procedura iterativa a partire dal valore iniziale $C_a = 0$. Tale quantità è calcolata per ciascuna iterazione tramite la relazione,

$$C_a = \frac{\bar{\phi}_p}{\bar{\phi}_m}, \quad (20)$$

ovvero il rapporto tra la potenza media assorbita dall'impianto in un dato stato di mare e la potenza media incidente.

Solitamente la procedura converge dopo poche iterazioni.

In fase di progetto definitivo il dimensionamento delle parti attive del REWEC3 è seguito dalla fase di verifica, che comprende il controllo dei livelli idrici e delle pressioni all'interno dell'impianto. Occorrono due verifiche: allo stato di mare estremo per l'impianto fermo e allo stato di mare di progetto per l'impianto in produzione.

Le verifiche idrauliche si articolano nelle fasi seguenti:

- stima del livello istantaneo massimo raggiunto dall'acqua nella camera di assorbimento, al fine di verificare che l'acqua non urti la copertura evitando quindi la comparsa di pressioni di carattere impulsivo;
- stima dei livelli istantanei minimi dell'acqua nel condotto verticale e nella camera di assorbimento; tali livelli non dovranno scendere sotto la quota di sommità dell'apertura tra il condotto verticale e la camera di assorbimento;
- stima dei carichi massimi agenti sulle pareti della camera e del condotto verticale, finalizzata alla progettazione dell'armatura.

In ultima fase, occorre verificare la stabilità globale del REWEC3 secondo i metodi già usati per le dighe a parete verticale.

3. DESCRIZIONE DELLE OPERE DEL PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DEL MOLO DI SOVRAFLUTTO MEDIANTE L'ADOZIONE DI CASSONI REWEC3

Il progetto prevede l'ampliamento del molo sopraflutto del porto di Roccella Jonica tramite l'installazione di due cassoni REWEC3 collegati all'attuale molo di sopraflutto tramite una struttura di collegamento in massi artificiali.

I due cassoni affiancati compongono una diga di 30 m di lunghezza, sulla quale è prevista la sperimentazione della soluzione innovativa di cassoni REWEC3, per produrre energia elettrica dal moto ondoso (cassoni REWEC3, brevetto del prof. Paolo Boccotti – Wavenergy.it licenziataria esclusiva).

Il singolo cassone avrà una lunghezza di 15 m ed un'altezza di 14 m, mentre la larghezza sarà variabile in funzione della profondità:

- alla base (quota -8.00 m) sarà pari a 23.4m, tale larghezza include due mensolotti laterali aventi ciascuno lunghezza di 1 m ed altezza di 0.8 m, realizzati per allargare la soletta di base in c.a. in modo da garantire ulteriore stabilità al manufatto e distribuire i carichi su una maggiore superficie del fondale.
- dalla quota -7.20 m fino a -2.00 m, corrispondente alla sommità del condotto verticale, la larghezza del cassone si riduce a 21.4 m;
- dalla quota -2.00 m fino a +3.00, corrispondente al piano di calpestio, la larghezza del cassone è pari a 18.9 m;
- dalla quota +3.00 m alla quota +6.00, la larghezza del cassone si riduce ulteriormente fino ad arrivare a 9.10 m (comprensiva della pensilina).

La parte lato mare del cassone contiene la parte attiva per lo sfruttamento del moto ondoso, in cui si individuano:

- il condotto verticale (sommerso) che si sviluppa dal fondo fino alla quota -2 m rispetto al livello di medio mare, con una larghezza di 2 m;
- la camera di assorbimento, che è collegata al condotto verticale da una luce verticale di 2.5m, e si sviluppa dal fondo fino a +6m sopra il l.m.m. e ha una larghezza di 4m.

Le parti attive (camera di assorbimento e condotto verticale) hanno lunghezza longitudinale di 3.2 m. La parte interna del cassone, lato porto, contiene invece quattro celle riempite con materiale proveniente dagli scavi ed una sovrastruttura in c.a., fino alla quota +3 m.

Preliminarmente alla collocazione dei cassoni verrà effettuato un dragaggio del fondale fino alla quota -9.50. Successivamente verrà costituito lo scanno di imbasamento dei cassoni in pietrame scapolo 5-50 kg, dello spessore pari a 1.50 m (fino alla quota -8.00 m).

I cassoni saranno protetti al piede, lato mare, da massi naturali di II categoria per una larghezza di 6 m e pendenza 1 (V) : 2 (H). Lato porto invece la protezione al piede sarà effettuata con massi di pezzatura di I categoria con berma orizzontale a quota -6.30 m.

Tali dimensioni potranno essere modificate in fase di progettazione esecutiva, con la redazione di un rapporto finale per l'ottimizzazione delle celle REWEC3.

Lo spessore dei setti del cassone è variabile. I setti perimetrali più esterni hanno spessore di 0.50 m; i setti interni delle celle 'passive', riempite di materiale arido di cava, hanno spessori pari a 0.20 m e 0.30 m; anche gli spessori dei setti potrebbero essere ottimizzati in sede di progettazione esecutiva.

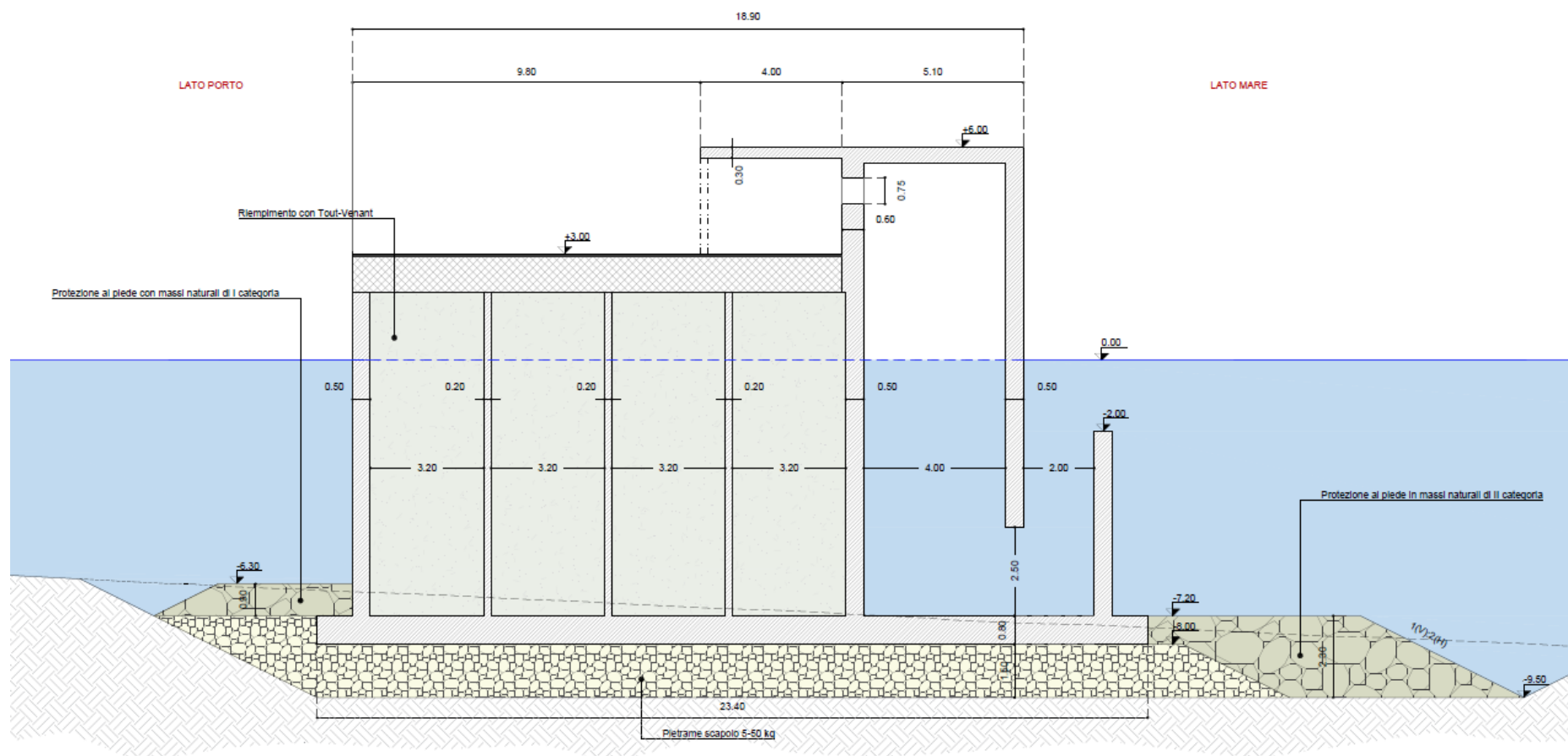


Figura 5. Sezione trasversale di progetto dei cassoni REWEC3 a celle indipendenti per la località di Roccella Jonica.

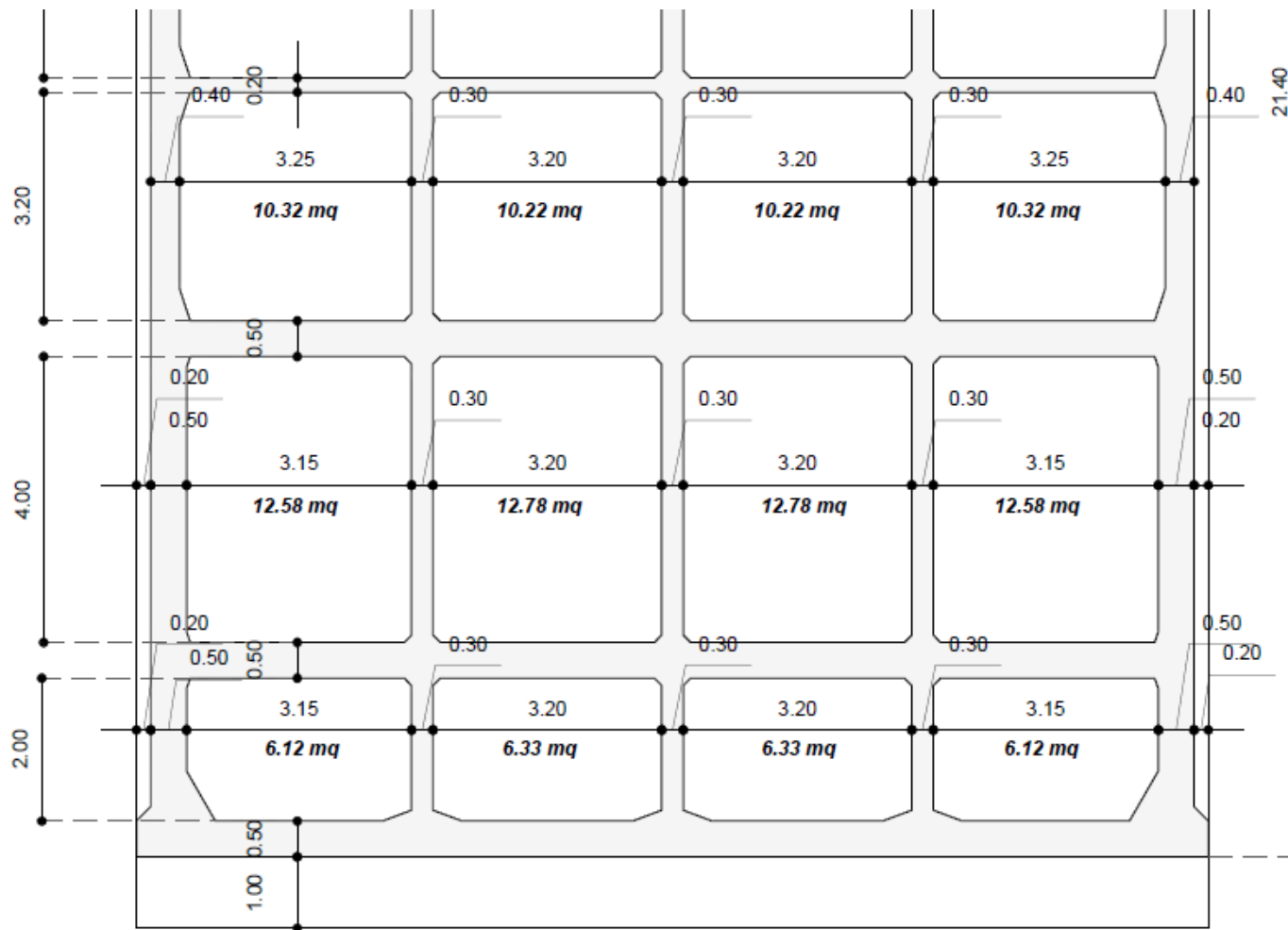


Figura 6. Vista planimetrica celle attive cassoni REWEC3 per la località di Roccella Jonica.

4. CONDIZIONI DI CARICO PIÙ GRAVOSE AGENTI SUI SETTI DELLA PARTE ATTIVA

Ai fini della corretta progettazione dell'impianto ed in modo tale da ottenere un dimensionamento delle pareti analogo a quelle delle dighe tradizionali si sono calcolati, nelle due configurazioni di impianto attivo e di impianto fermo e con sfiato aperto, i massimi carichi agenti sulle pareti sia del condotto verticale che della camera di assorbimento – carichi prodotti dall'idrodinamica interna dell'impianto generata dal campo di moto interagente con la struttura.

Si vuole innanzi tutto osservare cosa si intende per carico ovvero la differenza tra il valore istantaneo di pressione agente sull'intradosso e l'estradosso in un generico punto della parete dell'impianto.

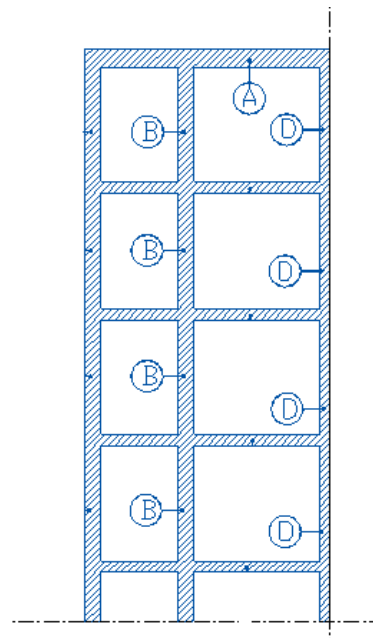


Figura 7 Schema di riferimento per la definizione dei setti.

Per la comprensione delle tabelle di seguito inserite e riportanti le condizioni di carico è utile fare riferimento alla Figura 7. Sono state rispettivamente definite con il termine

- setto A: le pareti verticali perimetrali – trasversali - esterne della camera di assorbimento, tra cassone e cassone o di estremità;
- setto B: le pareti verticali longitudinali tra il condotto verticale e la camera di assorbimento;

- setto D: le pareti verticali longitudinali tra la camera di assorbimento e la parte tradizionale dell'impianto (parallelo al setto B, posizionato lato terra).

Sono state individuate inoltre due differenti possibili configurazioni estreme per l'impianto ovvero quelle di:

- impianto in pressione;
- impianto in depressione.

Per le due suddette configurazioni è stata calcolata la distribuzione di carico sui differenti setti. Le condizioni di carico per i setti A e D sono state determinate considerando la pressione idrostatica agente all'esterno.

Di seguito sono riportati in forma tabellare, i valori dei carichi agenti sui diversi elementi strutturali che definiscono la camera di assorbimento, nelle diverse configurazioni esaminate e in corrispondenza di quote significative. Con riferimento a tali valori significativi, al variare delle quote le distribuzioni dei carichi seguono, poi, un andamento lineare.

Assumendo, preliminarmente, un'onda significativa massima pari a $H_{Smax} = 6.00$ m, sono stati computati i carichi relativi alla configurazione di trasformazione quasi isoterma. In Allegato 1 sono riportate le tavole con tutte le configurazioni di carico.

TAV. 1 – IMPIANTO IN PRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: COPERTURA (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	15.0

TAV. 2 – IMPIANTO IN PRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: SETTO A (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	13.8
-2.00	13.4
-4.70	11.3
-7.20	11.3

TAV. 3 – IMPIANTO IN PRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: SETTO B (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	12.6
-2.00	9.8
-4.70	1.8

TAV. 4 – IMPIANTO IN PRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: SETTO D (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	15.0
-2.00	17.0
-4.70	14.3
-7.20	14.3

TAV. 5 – IMPIANTO IN DEPRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: COPERTURA (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	3.0

TAV. 6 – IMPIANTO IN DEPRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: SETTO A (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	3.0
-2.00	5.4
-4.70	3.8
-7.20	3.8

TAV. 7 – IMPIANTO IN DEPRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: SETTO B (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	3.0
-2.00	6.4
-4.70	1.1

TAV. 8 – IMPIANTO IN DEPRESSIONE	
CARICHI MASSIMI NELLA CAMERA DI ASSORBIMENTO: SETTO D (i versi sono quelli riportati nella Figura relativa)	
quota z rispetto l. m. m. [m]	carico agente [t/m ²]
5.55	3.0
-2.00	3.5
-4.70	3.1
-7.20	3.1

Si osserva che tutte le condizioni di carico, che sono riportate dalla TAV. 1 alla TAV. 8 (Allegato 1), sono state ricavate assumendo che la trasformazione di stato, che si realizza all'interno del polmone d'aria della camera di assorbimento, sia una trasformazione isoterma.

Tali valori saranno rideterminati in fase di progettazione esecutiva, a partire dalla configurazione finale delle camere di assorbimento.

5. DEFINIZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO PER UN CASSONEI REWEC3

Per i cassoni REWEC3 di Roccella Jonica è opportuno definire già in fase di progettazione le caratteristiche generali di un sistema di monitoraggio di una camera di assorbimento. Tale sistema è realizzato per valutare le performance dell'impianto attraverso il monitoraggio dei livelli idrici all'interno del cassone e le pressioni nella sacca d'aria.

La strumentazione utilizzata si avvale di trasduttori di pressione aventi lo scopo di fornire delle misurazioni di pressione in ben definiti punti dell'impianto oltre a misuratori di livello. Le misure di pressione sono effettuate sia sotto-battente, cioè al di sotto del livello idrico, che nella camera d'aria. Inoltre, si prevede il loro utilizzo sia nel condotto esterno che nella colonna d'acqua oscillante interna.

Il sistema di monitoraggio si compone, in totale, di almeno 10 strumenti la cui disposizione è illustrata in Figura 8 e 9. In dettaglio, si hanno:

- Trasduttori in cima al condotto verticale che collega la colonna d'acqua

oscillante con il campo di moto esterno;

- 6 trasduttori nella colonna d'acqua oscillante posizionate a diverse quote sotto il livello di medio mare;
- 2 trasduttori in cima alla camera d'aria.

Da un punto di vista generale, è necessario osservare che le misurazioni sono sempre sovrabbondanti per poter identificare in fase di funzionamento la qualità della misura. Inoltre, tale sovrabbondanza permette di supplire ad un'eventuale avaria di parte della strumentazione. Oltretutto, è da osservare che gli strumenti posti nella camera d'aria possono essere sostituiti celermente poiché sono di facile accesso, pertanto il problema dell'avaria strumentale è aggirabile in corso d'opera.

Lo scopo di ciascuno strumento è il seguente:

- Trasduttori posizionati in cima al condotto: forniscono le stime di pressione utilizzate per quantificare, insieme alla cinematica del fluido, la potenza assorbita

dall'impianto. Inoltre, essendo posti all'interfaccia tra il campo di moto ed il condotto, forniscono la misura della forzante del sistema REWEC3;

- Trasduttori nella colonna oscillante: valutano la pressione attraverso cui stimare i livelli idrici. Inoltre, permettono di monitorare le sollecitazioni sulle pareti;
- Trasduttori in cima alla camera d'aria: permettono di monitorare l'andamento delle sollecitazioni nella camera d'aria.

L'acquisizione delle misure è implementata tramite cavi di collegamento strumento – stazione di acquisizione. I cavi saranno ospitati in canali fissati alla struttura, per garantire la sicurezza e la stabilità sia degli strumenti che dei cavi. Inoltre, i canali con i relativi supporti per il fissaggio alla struttura saranno costituiti da materiali progettati per operare in ambiente marino.

La stazione di acquisizione è ubicata in prossimità del muro paraonde, in modo minimizzare l'utilizzo di cavi di collegamento. Tale stazione funge da collettore di tutte le misure ottenute in situ, ed ha il compito di inviare le informazioni acquisite ai server ospitanti le componenti software dedicate alla elaborazione dei dati.

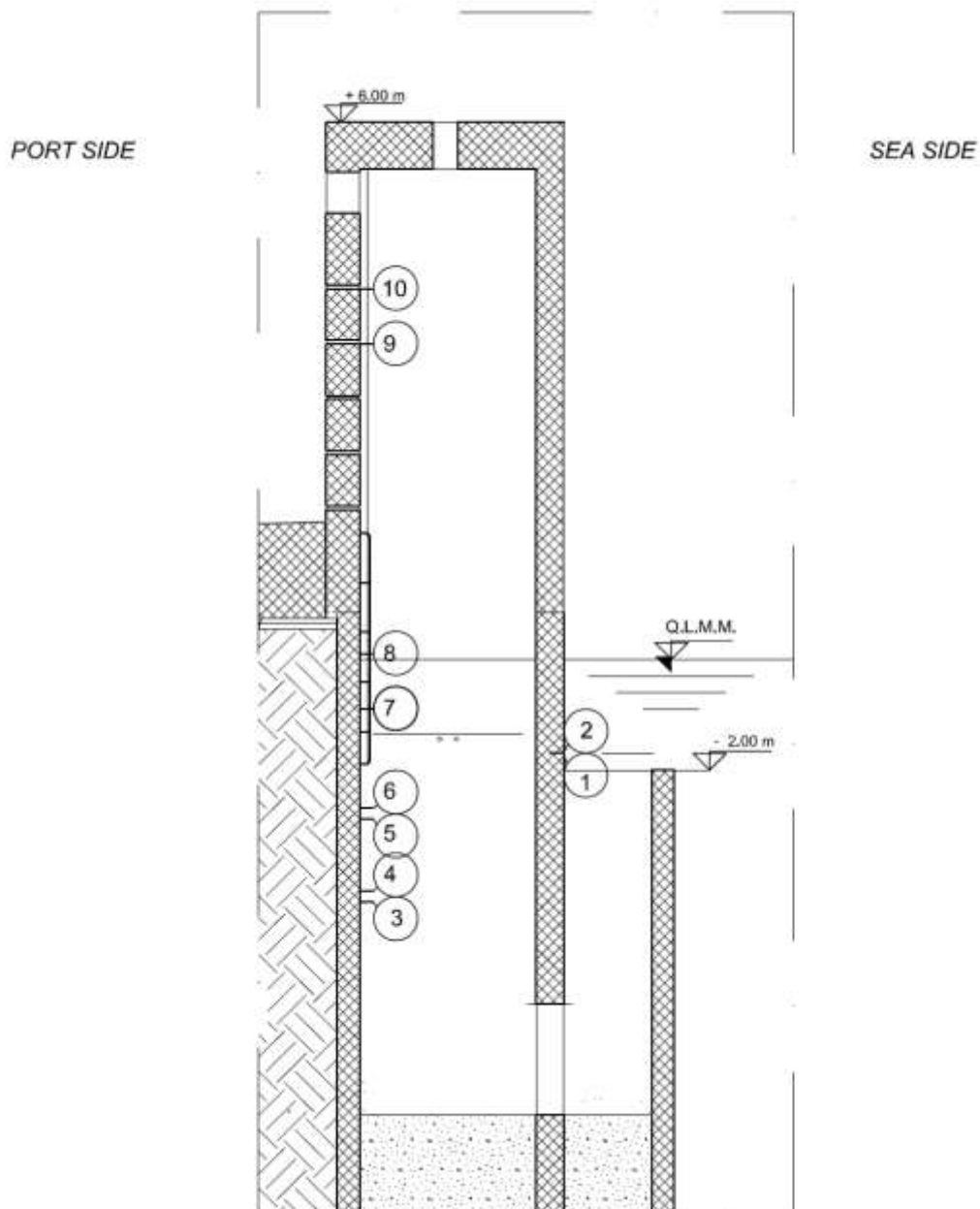


Figura 8 Sezione cella cassone REWEC3 in cui verrà implementato il sistema di monitoraggio.

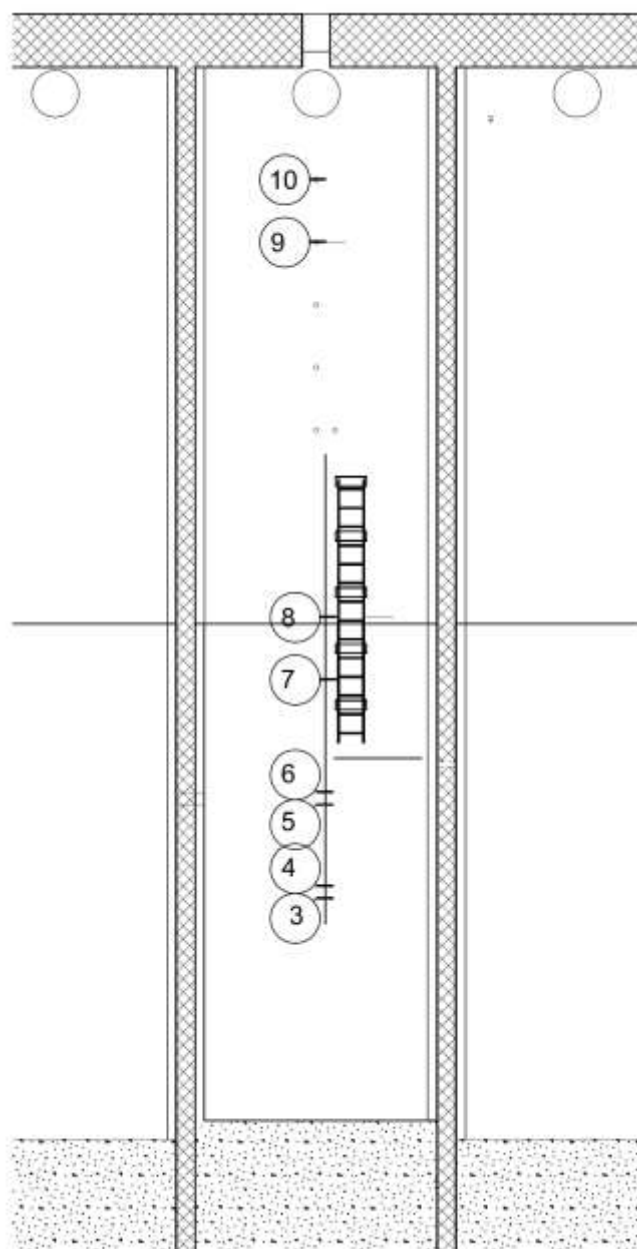
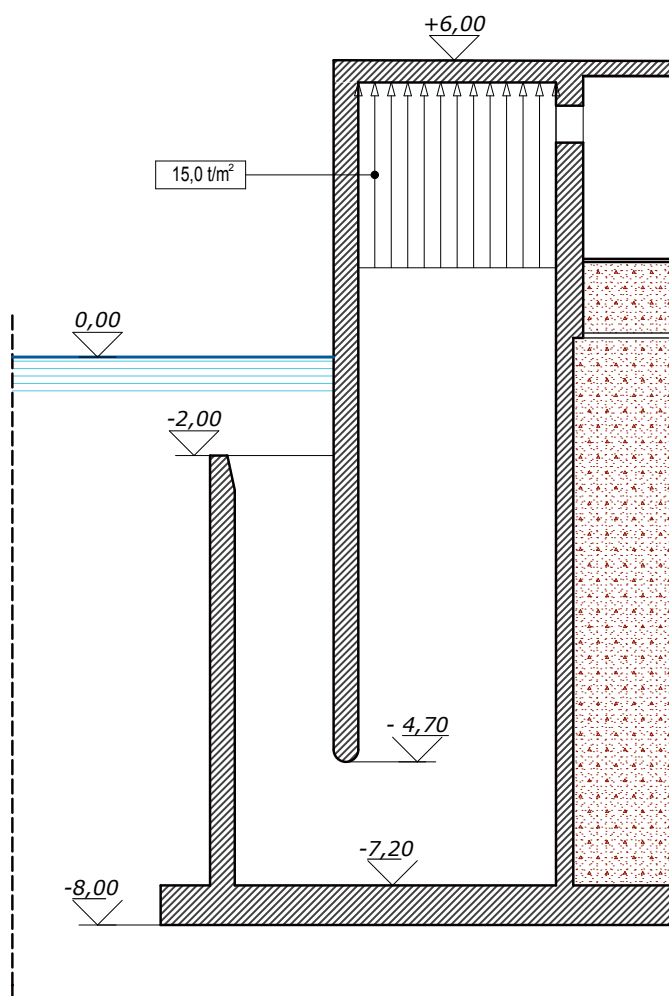
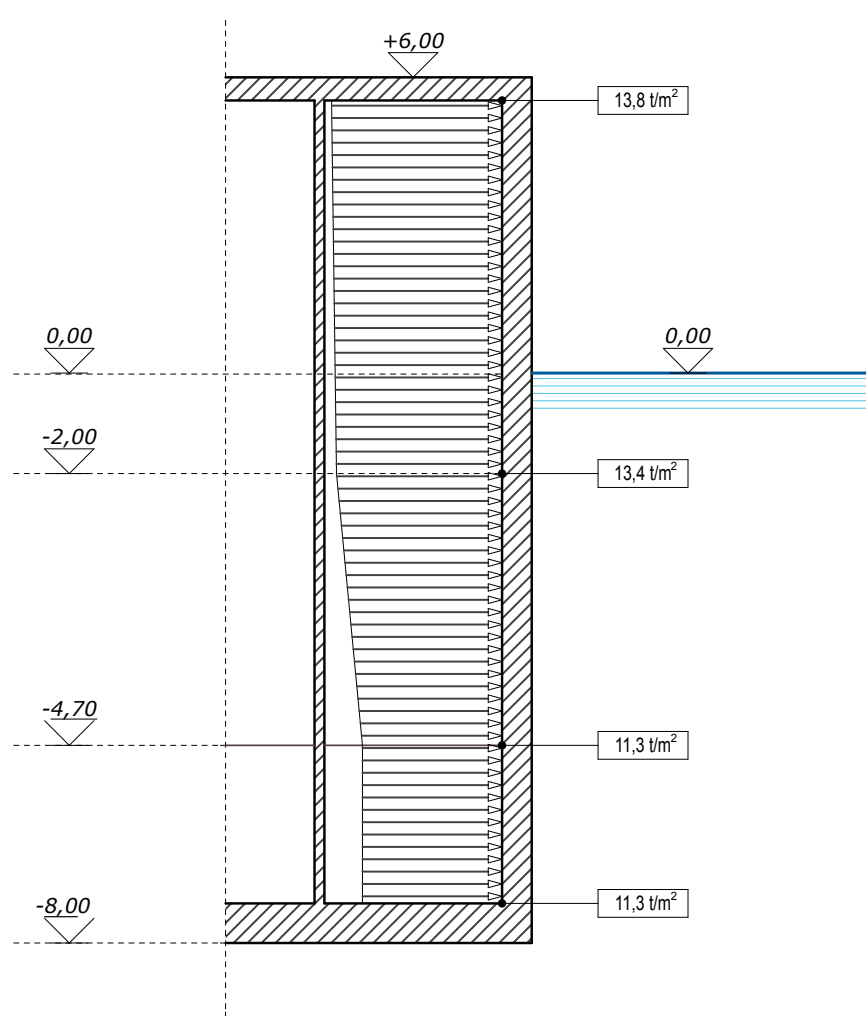
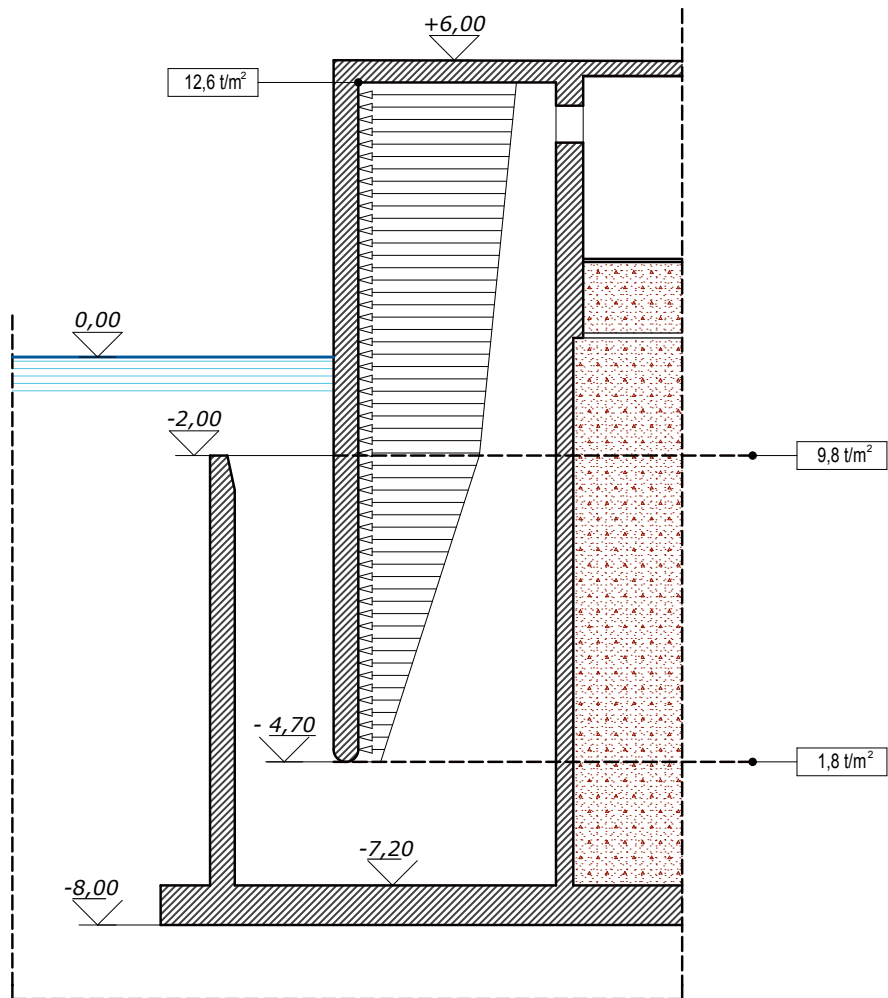


Figura 9 Planimetria cella cassone REWEC3 in cui verrà implementato il sistema di monitoraggio.

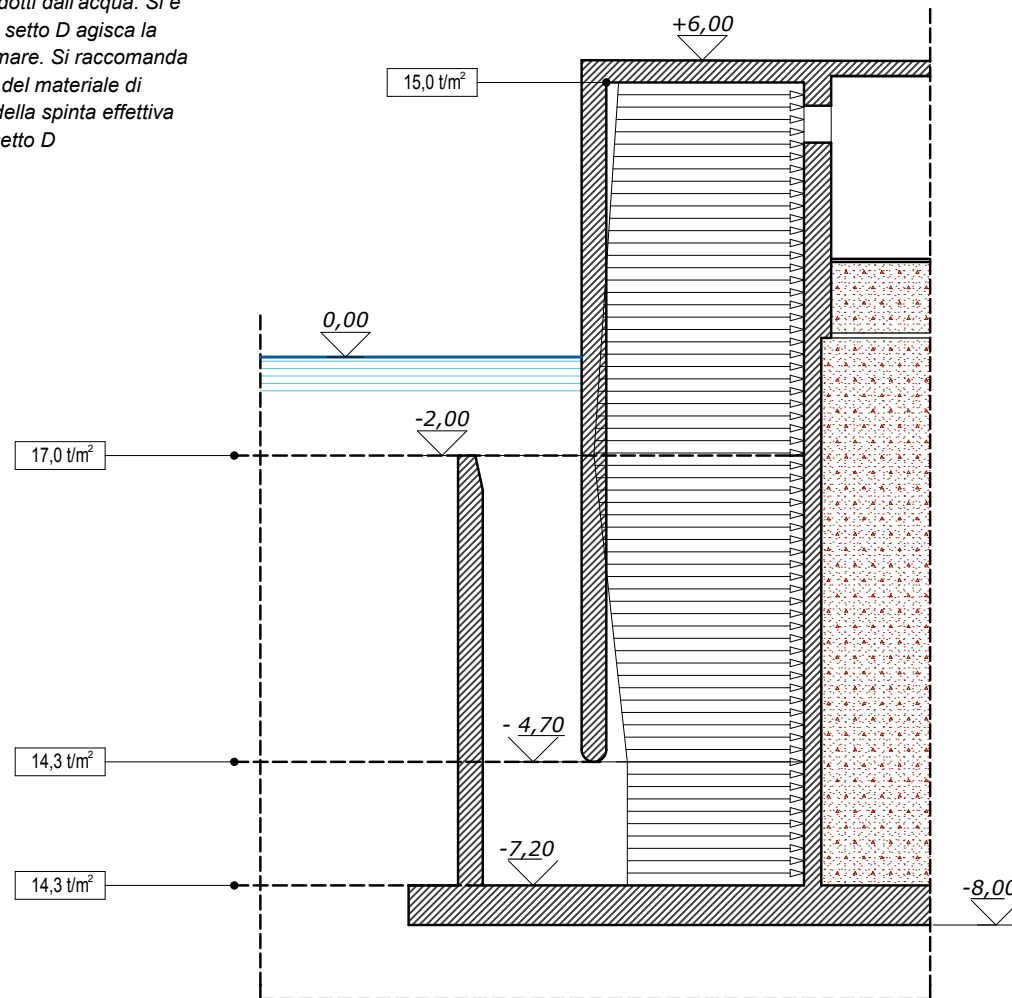


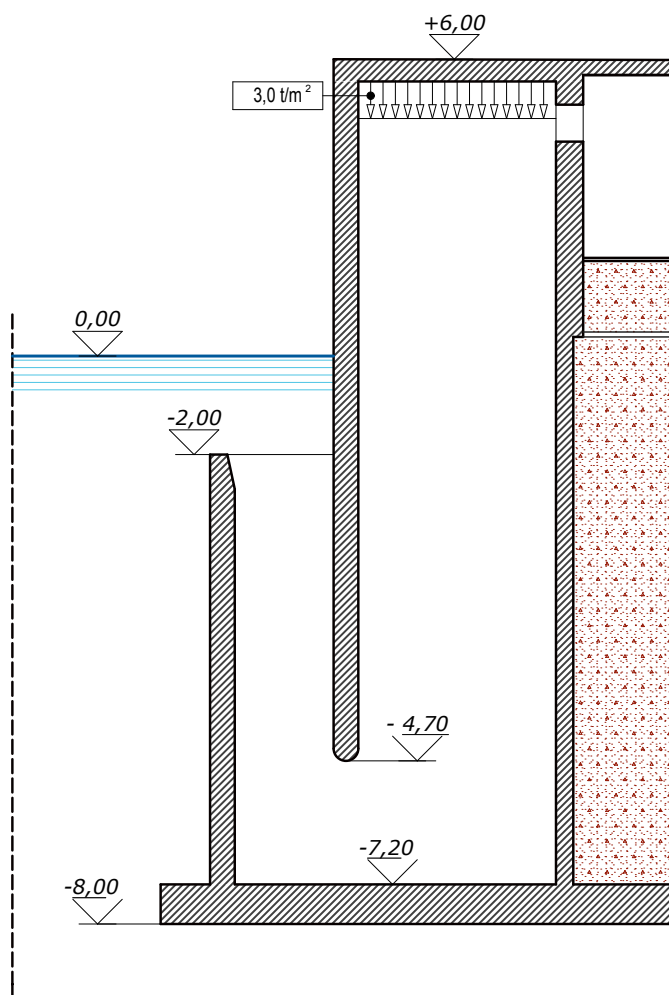


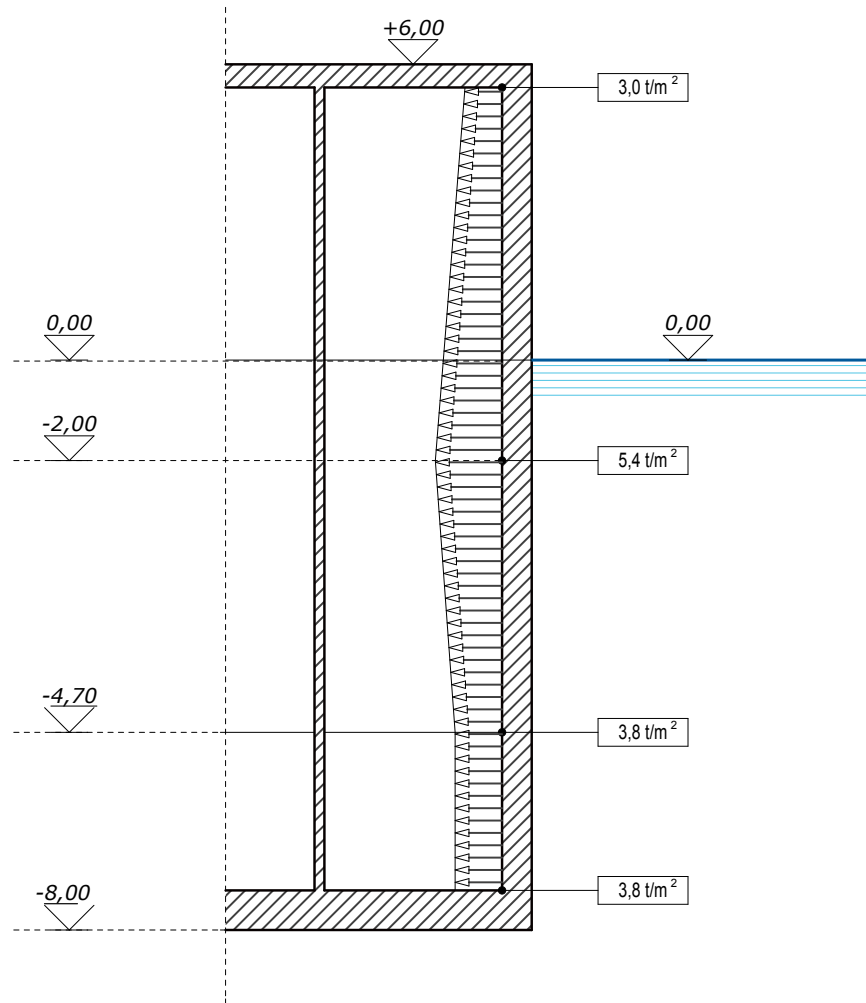
Tiene conto che all'esterno la pressione (all'interstizio) max è incrementata dell'onda

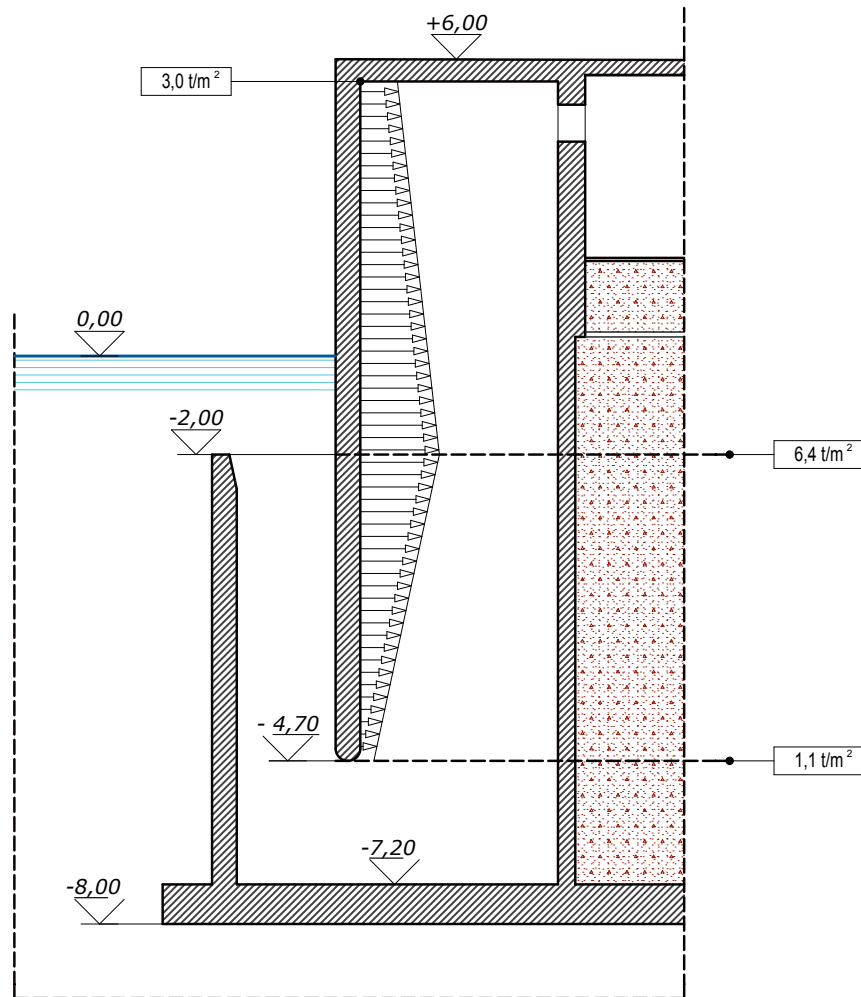


Come carichi si intendono i carichi prodotti dall'acqua. Si è assunto che sulla faccia esterna del setto D agisca la pressione idrostatica sotto il livello del mare. Si raccomanda di tenere conto di eventuali spinte del materiale di riempimento delle celle per il calcolo della spinta effettiva sulla faccia esterna del setto D









Come carichi si intendono i carichi prodotti dall'acqua. Si è assunto che sulla faccia esterna del setto D agisca la pressione idrostatica sotto il livello del mare. Si raccomanda di tenere conto di eventuali spinte del materiale di riempimento delle celle per il calcolo della spinta effettiva sulla faccia esterna del setto D

