



Progettazione e realizzazione
di strutture idrauliche

OPERE IDRAULICHE

Ing Alessandro Cavagni

MACCAFERRI



Protezione sponale sul fiume Reno a Casalecchio di Reno (Bologna)





Prime applicazioni in gabbioni (1915)



Briglia in gabbioni (1920)



Gabbioni in aree urbane (1964)



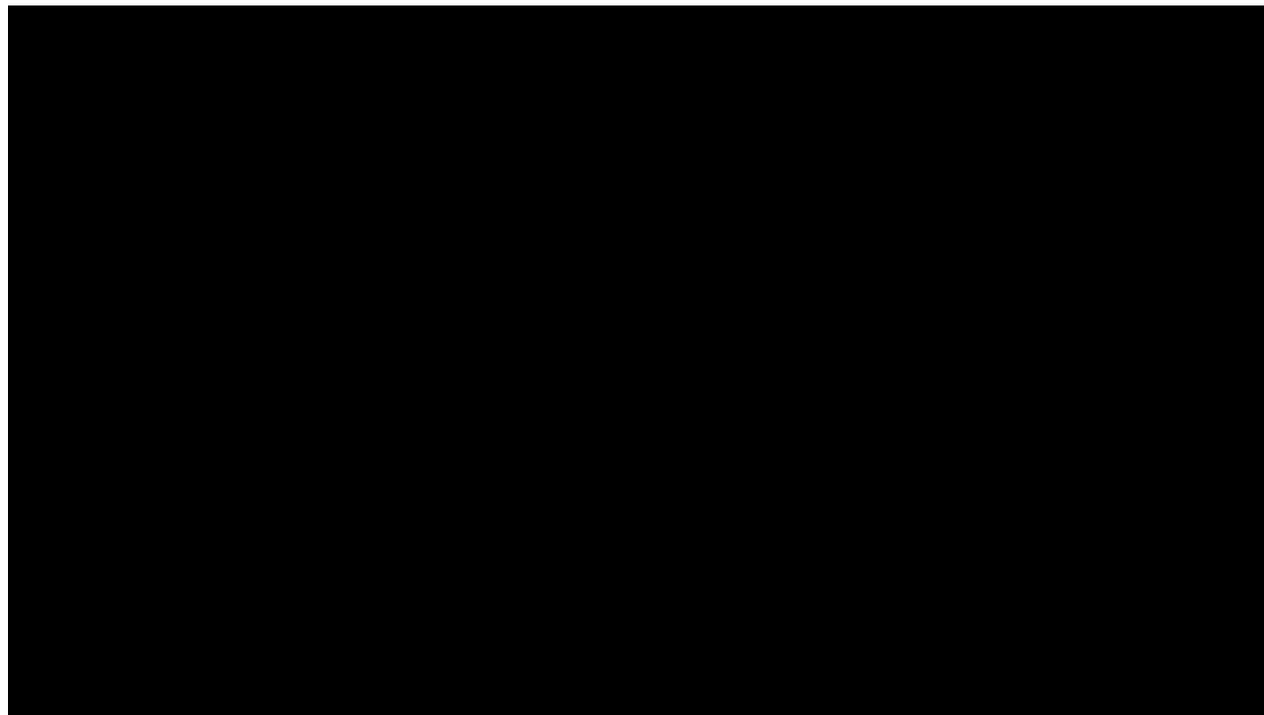
Gabbioni in servizio (2016)



In assenza di rivestimenti o protezioni....



TRATTO MONTANO: INTERVENTI



Opere longitudinali in Francia

TRATTO PEDEMONTANO

Erosion Control Project in
Belo Horizonte - Brazil



TRATTO VALLIVO

Groynes Rio Salta, Argentina

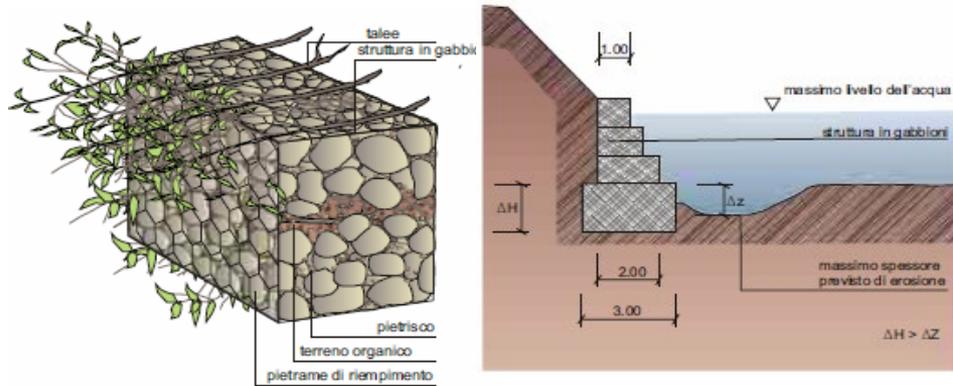




OPERE LONGITUDINALI



GABBIONI IN RETE DOPPIA TORSIONE



Le gabbionate sono strutture permeabili, resistenti e allo stesso tempo molto flessibili, in grado di sopportare agevolmente deformazioni dei singoli elementi, assestamenti e/o cedimenti del piano di posa o del terreno a tergo dovuti.

La struttura modulare e la forma degli elementi conferiscono all'opera una notevole capacità di adattamento alle conformazioni plano-altimetriche del terreno, rendendo i gabioni particolarmente adatti a interventi di sistemazione in alveo e di difesa di sponda.





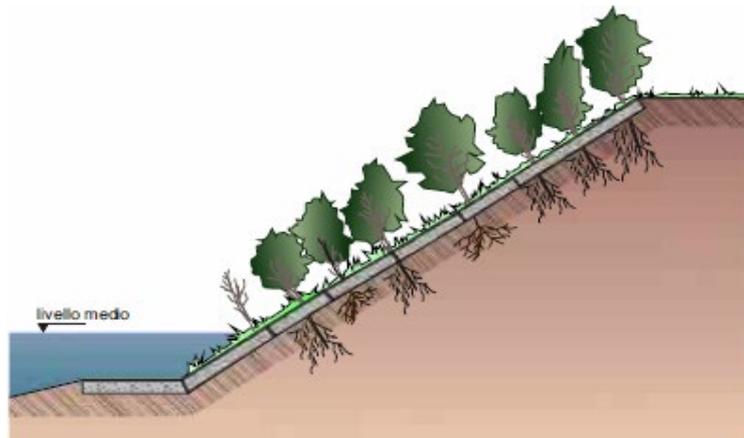
MATERASSI IN RETE DOPPIA TORSIONE



Una protezione contro l'erosione mediante strutture caratterizzate da una elevata resistenza alle azioni di trascinamento della corrente, può essere garantita da scatolari in rete metallica a doppia torsione, riempiti di pietrame di idonea pezzatura.

Di spessore variabile tra 23-30 cm i materassi sono difese studiate da lungo tempo sotto il profilo idraulico, meccanico ed ambientale.

MATERASSI IN RETE DOPPIA TORSIONE RINVERDITI

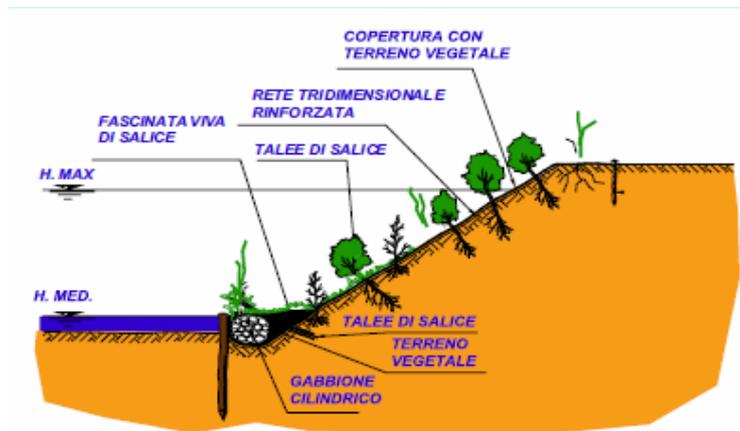


Materassi foderati all'interno con stuoie sintetiche o in fibra vegetale con funzione di filtro e ritenzione.

L'impiego di geotessili, che non consentono la radicazione delle piante, va limitato alle parti sommerse. Alcuni moduli non soggetti a sommersione, possono essere riempiti con terreno vegetale.

Vengono effettuate sulla superficie semina e messa a dimora di talee, rizomi, cespi e arbusti radicati di specie autoctone, nella parte che rimane al di fuori del livello medio di piena.

GEOSTUOIE



Rivestimento di sponde soggette a erosione mediante la stesa di una stuoia sintetica tridimensionale, spessore min. 10 mm, eventualmente rinforzate da una rete metallica a doppia torsione.

Le geostuoie vengono fissate al terreno mediante picchetti, eventualmente ancorati con una fune di acciaio.

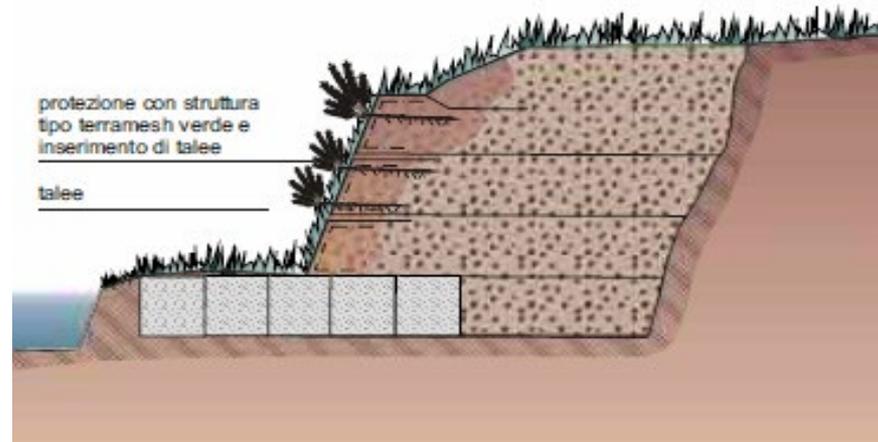
Il rivestimento viene abbinato ad idrosemina a spessore e messa a dimora di arbusti autoctoni e di talee di specie con capacità di propagazione vegetativa.







TERRE RINFORZATE



Questi sistemi puntano a migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno conferendogli anche un'adeguata resistenza a trazione.

Mediante l'inserimento nel terreno di elementi capaci di sviluppare resistenza a trazione, il risultato è un sistema composito dotato di caratteristiche meccaniche superiori rispetto a quelle del terreno originale.

BIOSTUOIE



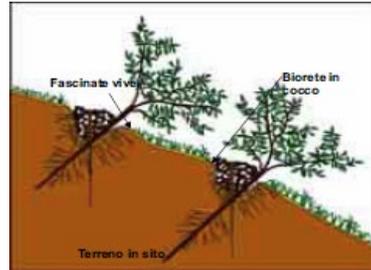
Biostuoia in fibra di cocco



Georete in fibra di cocco



Georete in fibra di Agave



Costituita da una biostuoia (biofeltro, biorete), fissata al terreno mediante picchetti metallici, eventualmente abbinata a idrosemina, posa di talee piantagione di arbusti.

Viene inserita lungo scarpate anche superiori a 40° rispetto all'orizzontale.

La disposizione spaziale consiste nel rivestimento totale della superficie di intervento.





GABBIONI PRERIEPITI CUBIMAC MATERASSI PRERIEPITI RENOMAC

Nel caso di installazione subacquea del rivestimento, le unità possono essere preriepite a terra e varate mediante gru ed appositi telai



Criteri progettuali

METODOLOGIE PROGETTUALI

APPROCCI DISPONIBILI

La verifica di una protezione spondale può essere fatta usando 2 diversi metodi basati su:

VELOCITA'

$$V < V_{all}$$

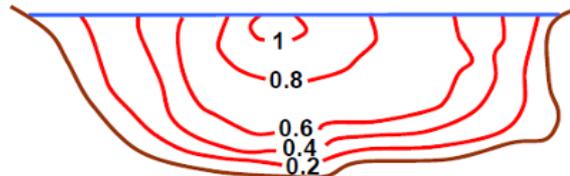
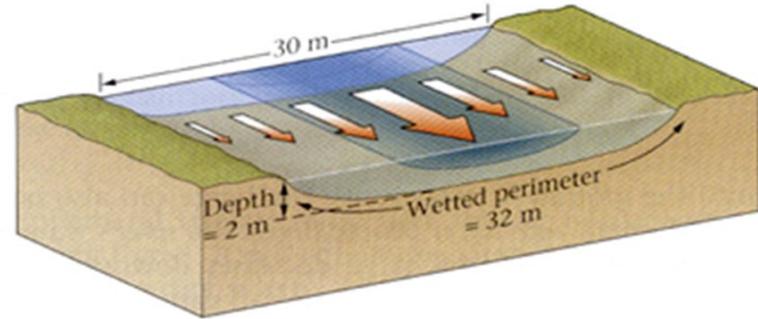
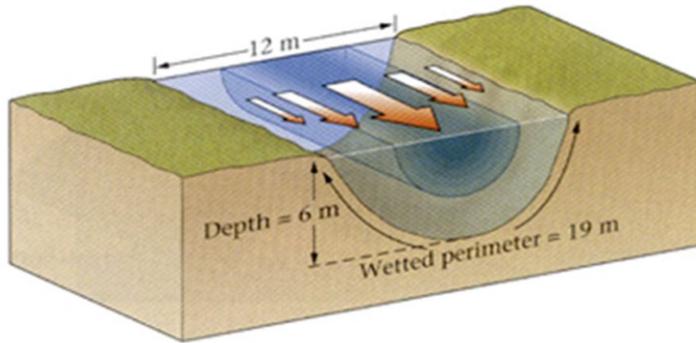
TENSIONI DI TRASCINAMENTO

$$T < T_{all}$$

T_{all} e v_{all} sono rispettivamente lo sforzo di taglio prodotto dalla corrente e la velocità di flusso dell'acqua in corrispondenza dei quali hanno inizio i movimenti delle particelle solide.

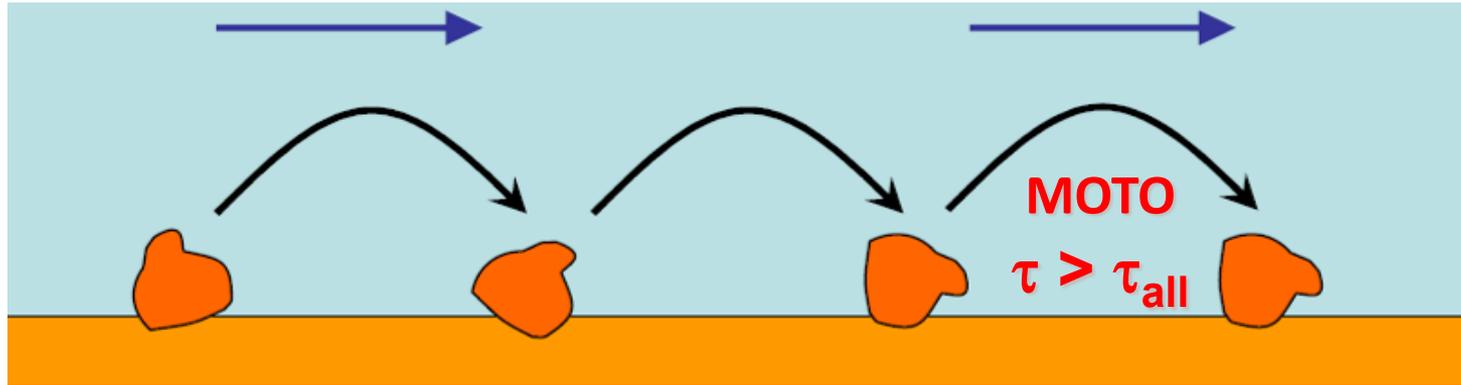
Metodo delle velocità ammissibili

La distribuzione delle velocità dipende dalla sezione idraulica; i valori minori sono in prossimità delle sponde e quelli massimi in prossimità della superficie nella sezione centrale



METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI

I processi di erosione possono essere affrontati in maniera più razionale considerando le forze agenti su una particella posta sul fondo o sulle sponde. La sezione del canale viene erosa se la risultante delle forze che tende a muovere le particelle è maggiore delle forze resistenti; in caso contrario la sezione è stabile



Metodo delle tensioni ammissibili

La verifica di stabilità è soddisfatta quando:

$$\tau_{all} > \tau$$

E il coefficiente di sicurezza?

Poichè per il calcolo delle tensioni agenti τ si usa un'equazione che sovrastima i valori, si può assumere un **coefficiente di sicurezza pari a 1**

Fattori di sicurezza compresi >1 possono essere appropriati nei casi di:

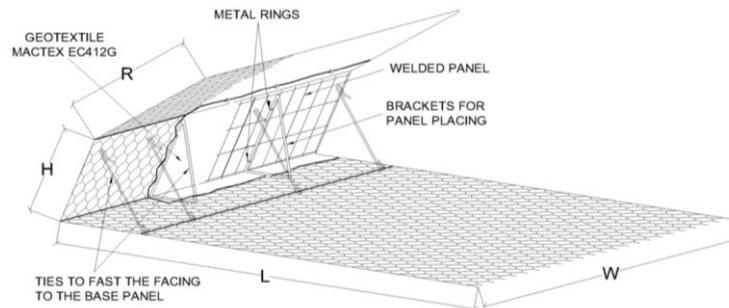
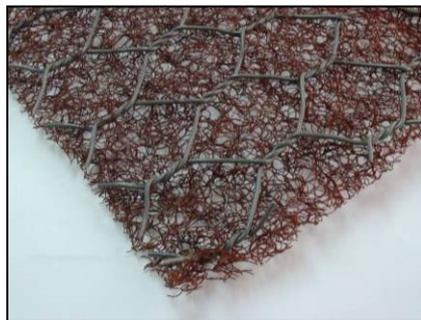
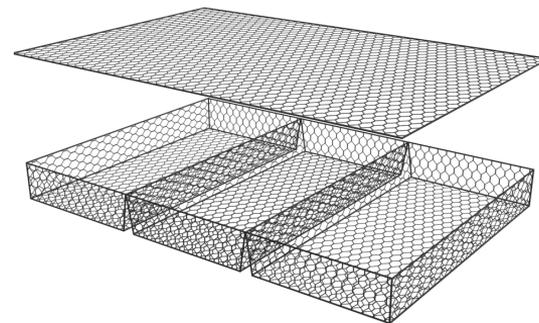
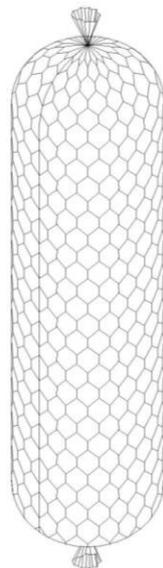
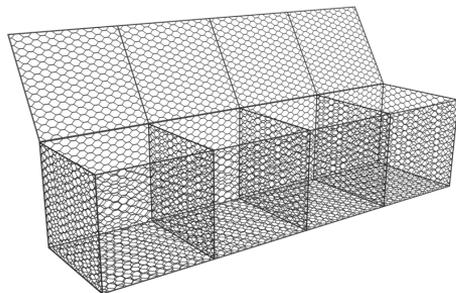
- Corrente critica o supercritica ($F \geq 1$)
- Zone a basso o nullo sviluppo vegetazionale (deserti)
- Elevata incertezza sulla portata di progetto

TENSIONI AMMISSIBILI - TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

MATERIALE	NON VEGETATO struttura appena realizzata senza lo sviluppo delle piante vive (N/m²)	VEGETATO con le piante vive sviluppate dopo il terzo periodo vegetativo (N/m²)
Sabbia fine	3.5	-
Sabbia e ghiaia	15	-
Ghiaia grossolana	32	-
Ciottoli	52	-
Argilla compatta	22	-
Cotici erbosi	10 - 20	25 - 60
Gradonata viva (brush layer)	20	100 - 120
Copertura diffusa con ramaglia viva (living brush mattress)	50 - 150	200 - 300
Fascinata viva (willow fascine)	20	60 - 150
Ribalta viva (fascine with brushlayers, willow protection)	20	80 - 150
Palificata viva (vegetated log cribwall)	200	300 - 600

Metodo delle tensioni ammissibili

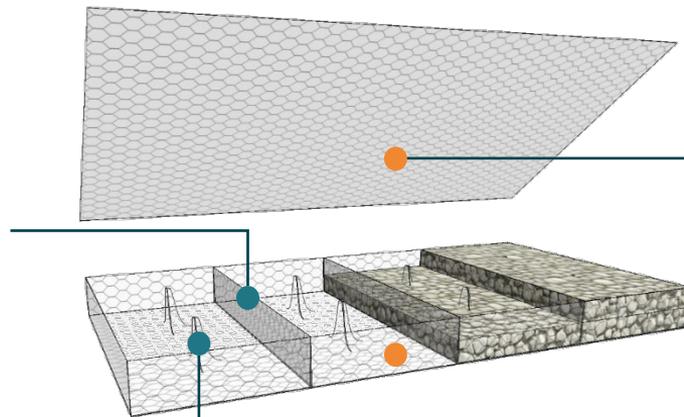
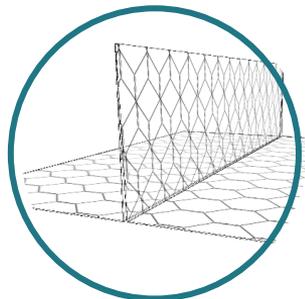
PRODOTTI IN RETI DOPPIA TORSIONE



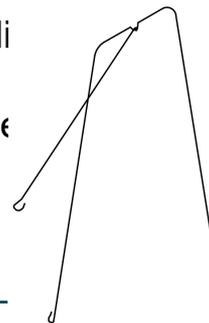
La ricerca CSU del 2019

+ Materasso Reno Plus con X-Ties

Il doppio diaframma verticale rende le operazioni di riempimento più semplici.



X-Tie è un Sistema di aggancio sviluppato sperimentalmente che massimizza la resistenza strutturale del materasso



Il rivestimento **PoliMac®** fornisce una protezione eccezionale contro gli agenti abrasivi e le aggressioni chimiche



La ricerca del 2019

CAMPAGNA DI
TEST 2019
ALLA
COLORADO
STATE
UNIVERSITY



SOLUZIONI INNOVATIVE: MATERASSI RENO PLUS

La ricerca CSU del 2019

COLORADO STATE UNIVERSITY (Fort Collins)



La ricerca CSU del 2019

TASK 4 (Test B)
Materasso Reno Plus 17 cm
Doppio diaframma con X-Ties
 $D_{50} = 100 \text{ mm}$
 $C_u = 1$

Massima tensione agente = 445 N/m²



Metodo delle tensioni ammissibili

TENSIONI AMMISSIBILI PRODOTTI IN RETE DOPPIA TORSIONE

MATERIALE	NON VEGETATO struttura appena realizzata senza lo sviluppo vegetativo	VEGETATO Struttura con piante sviluppate dopo il terzo periodo vegetativo
	(N/m²)	(N/m²)
Materassi Reno Plus 17 cm	445 ⁽¹⁾	445 – 800 ⁽³⁾
Materassi Reno Plus 23 cm	534 ⁽¹⁾	534 – 800 ⁽³⁾
Materassi Reno Plus 30 cm	638 ⁽¹⁾	638 – 800 ⁽³⁾
Gabbione 50 cm	896 ⁽¹⁾	896 - 1000 ⁽³⁾
Macmat R	20 – 120 ⁽²⁾	100 – 300 ⁽²⁾

(1) $D_{50} = 95$ mm; $C_u = 1$

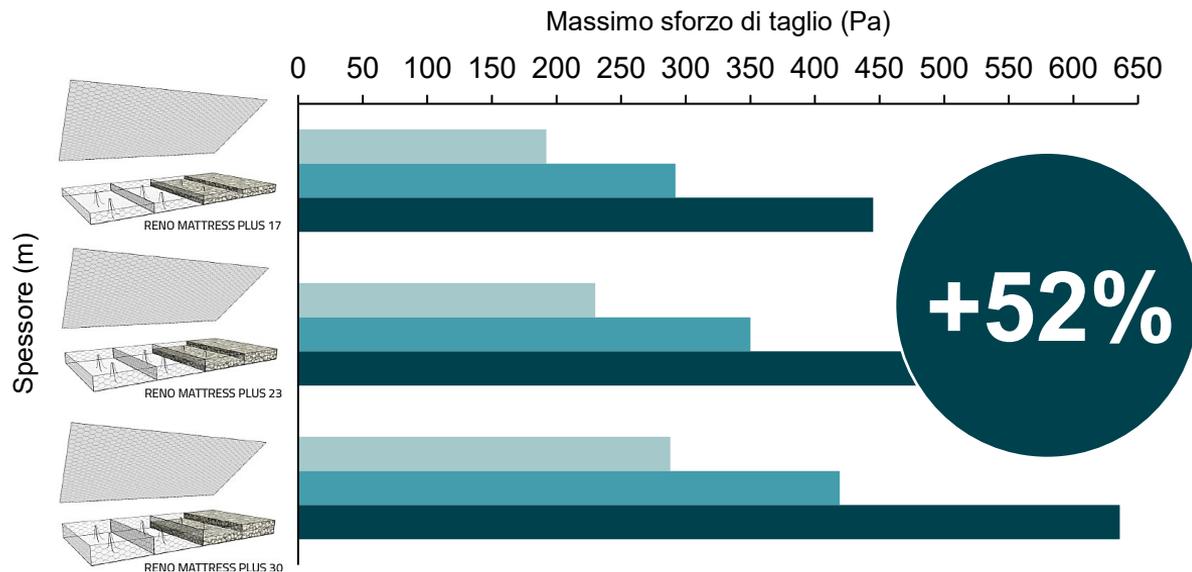
(2) Funzione della durata di piena (1-60 h)

(3) Coperchio in Macmat R

CAMPAGNA DI TEST PRESSO DELTARES WATER INSTITUTE

MACCAFERRI

Lo scopo della ricerca



- 1984 Campagna di test in Colorado con Reno Mattress con diaframma singolo
- 2019 Campagna di test in Colorado con Reno Mattress con diaframmi doppi
- 2019 Campagna di test in Colorado con Reno Mattress con X-Ties



Testati in conformità con:



Designation: D6460 - 12

CONDIZIONI DI PROGETTO

Le verifiche alle tensioni ammissibili vanno eseguite in due condizioni progettuali, al fine di tenere conto dello sviluppo vegetazionale nel tempo

1 - FINE LAVORI

La sezione è in grado di convogliare la portata massima e le tensioni resistenti sono minime: questa è la condizione critica per i rivestimenti

$\ll n$

$\ll \tau_{all}$

2 - VEGETAZIONE SVILUPPATA

Quando la vegetazione è sviluppata (>3 anni) la resistenza all'erosione è maggiore per effetto dell'apparato radicale, ma si ha al contempo un aumento della scabrezza: questa è la condizione critica per il deflusso.

$\gg \tau_{all}$

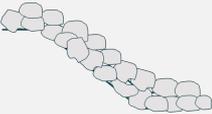
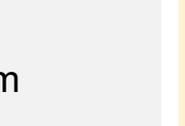
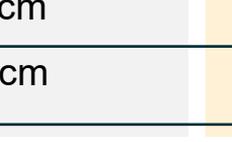
$\gg n$

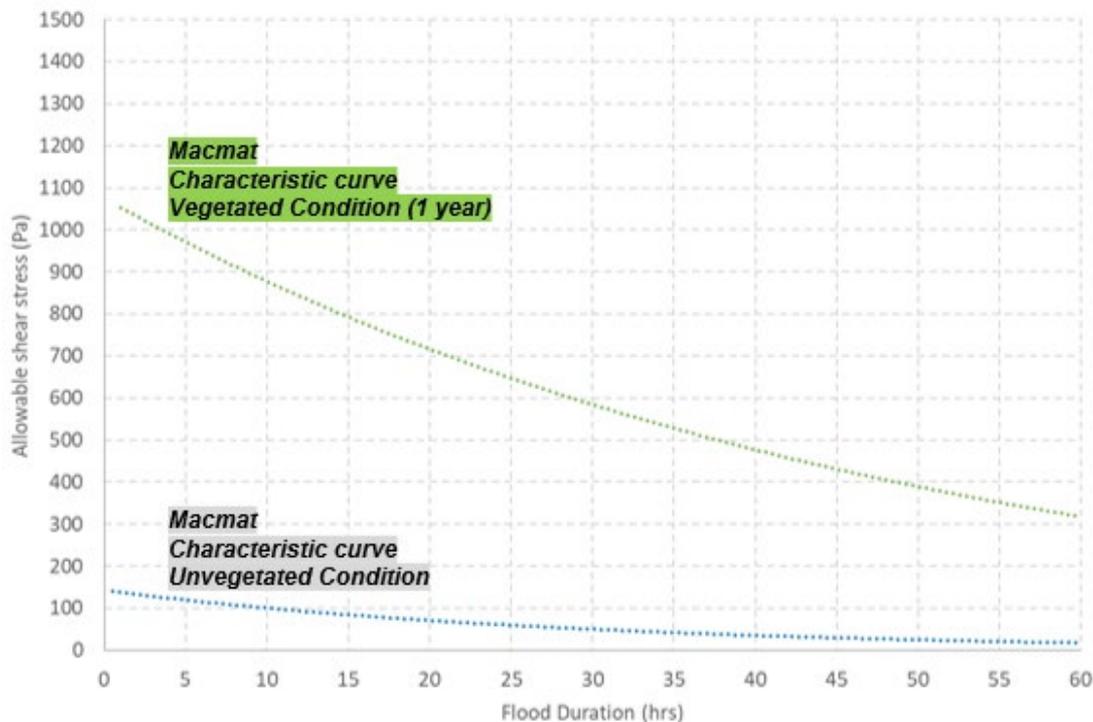
$\ll Q_{all}$

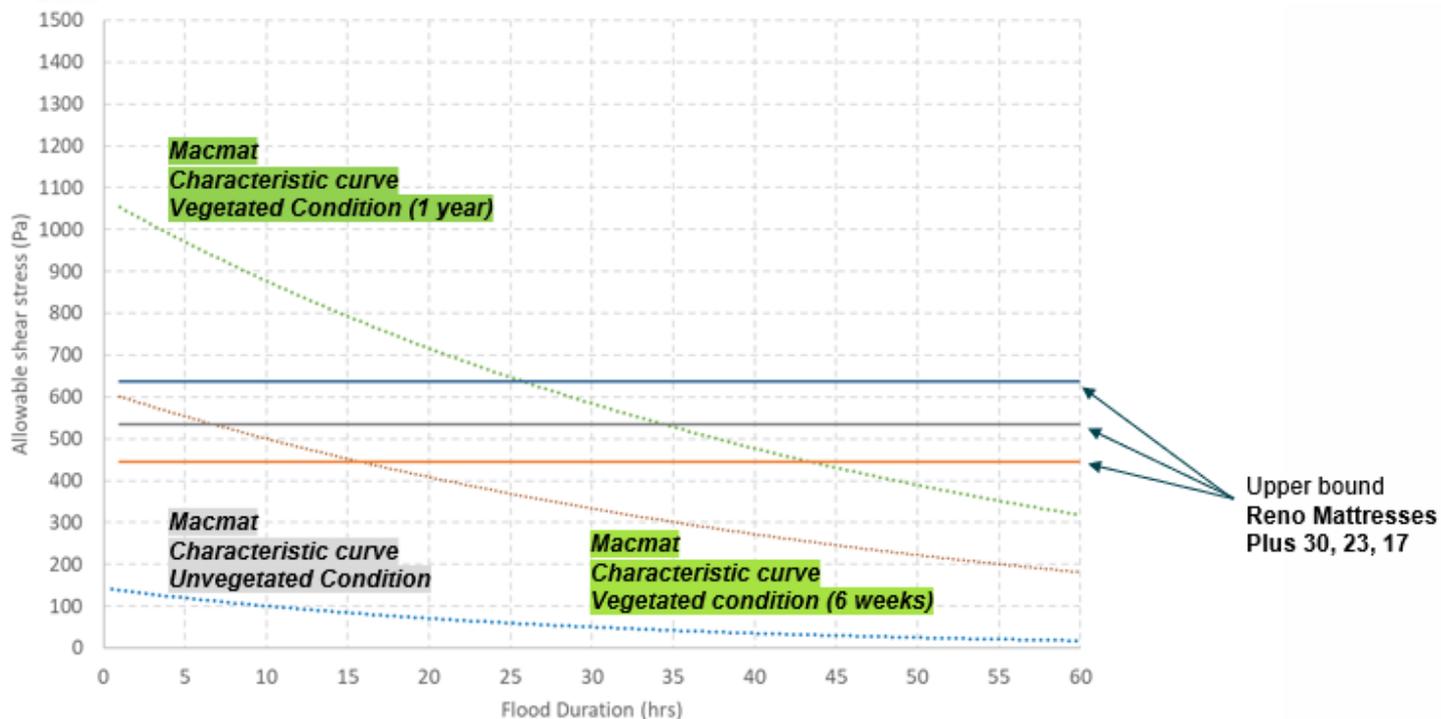
SOLUZIONI INNOVATIVE: MATERASSI RENO PLUS

La ricerca CSU del 2019 - RISULTATI

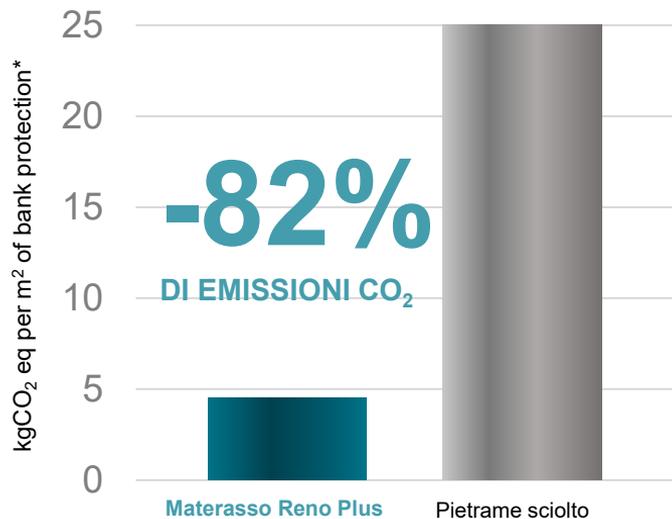
Progetto di protezione spondale usando **LA TENSIONE TANGENZIALE** come parametro di progetto

TENSIONE AGENTE (N/m ²)	PIETRAMME SCIOLTO	MATERASSO RENO	MATREASSO RENO RENO PLUS (con X-Ties)
< 200	 40 cm	 17 cm	 17 cm
200-250	45 cm	23 cm	17 cm
250-300	60 cm	30 cm	17 cm
300-400	84 cm	50 cm	23 cm





BENEFICI AMBIENTALI



VS.

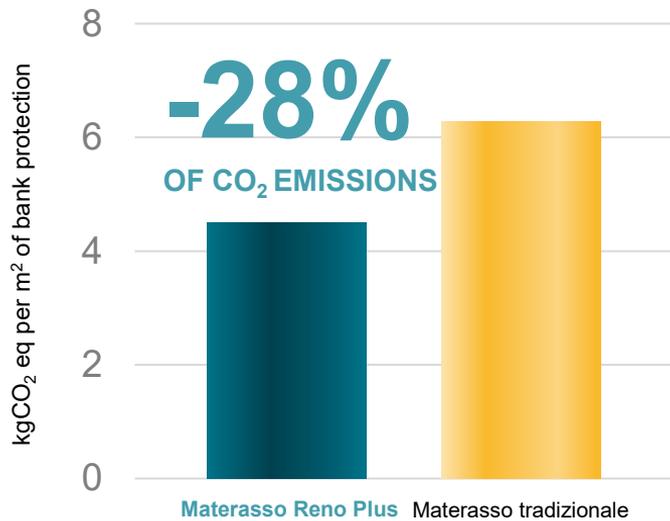


Il **Materasso Reno Plus** riduce l'impatto ambientale della protezione delle sponde fluviali. Ciò è dovuto al risparmio di materiali e di trasporto.

Poiché il materasso favorisce la crescita della vegetazione, produce anche un sequestro di carbonio di 0,46 kgCO₂/m² all'anno**.

Il **Materasso Reno Plus** reduce le emissioni di CO₂ dell'82% rispetto al pietrame sciolto

BENEFICI AMBIENTALI



Il **Materasso Reno Plus con X-Ties** riduce ulteriormente il carico ambientale rispetto ai materassi standard.

Meno pietre significa meno emissioni di CO₂, meno spostamenti di camion

Il **Materasso Reno Plus** rivestito con **PoliMac®** **reduce** riduce le emissioni di CO₂ del 28% rispetto al materasso tradizionale

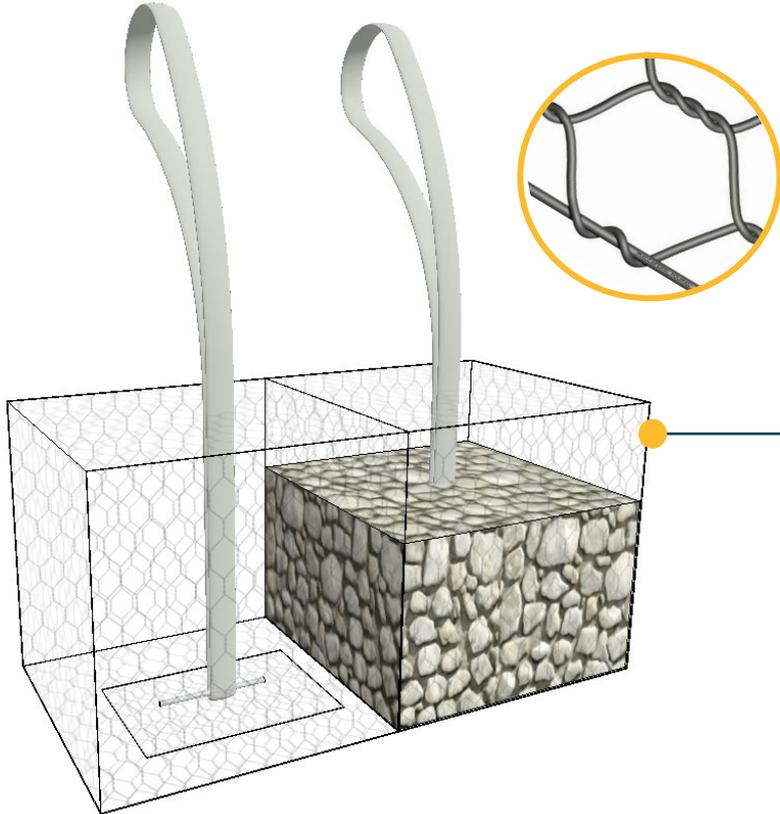


SOLUZIONI PRERIEMPITE

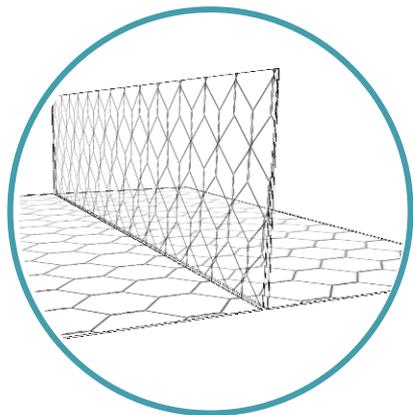


TECHNOLOGICAL IMPROVEMENTS

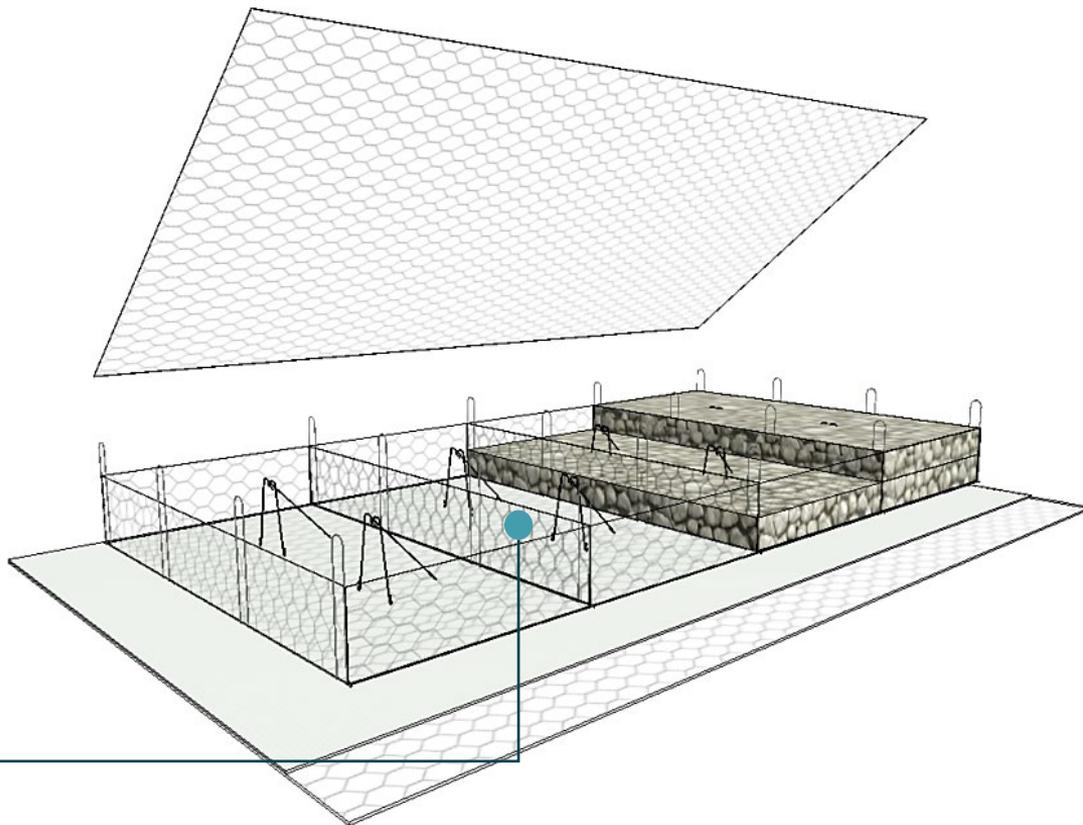
PREFILLED GABION (CubiMac®)

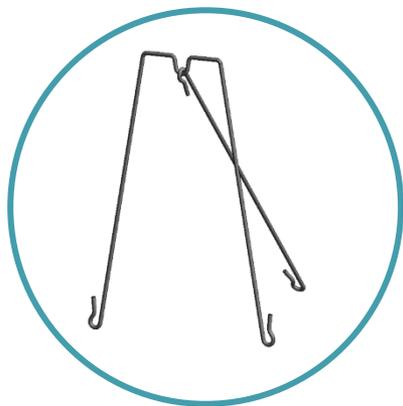


Manufactured with a bigger wire diameter, to provide a higher grade of strength in the hexagonal **double twist wire mesh** ($\varnothing 3.4 \text{ mm}$), due to the high stresses during handling operations (lifting & launching)

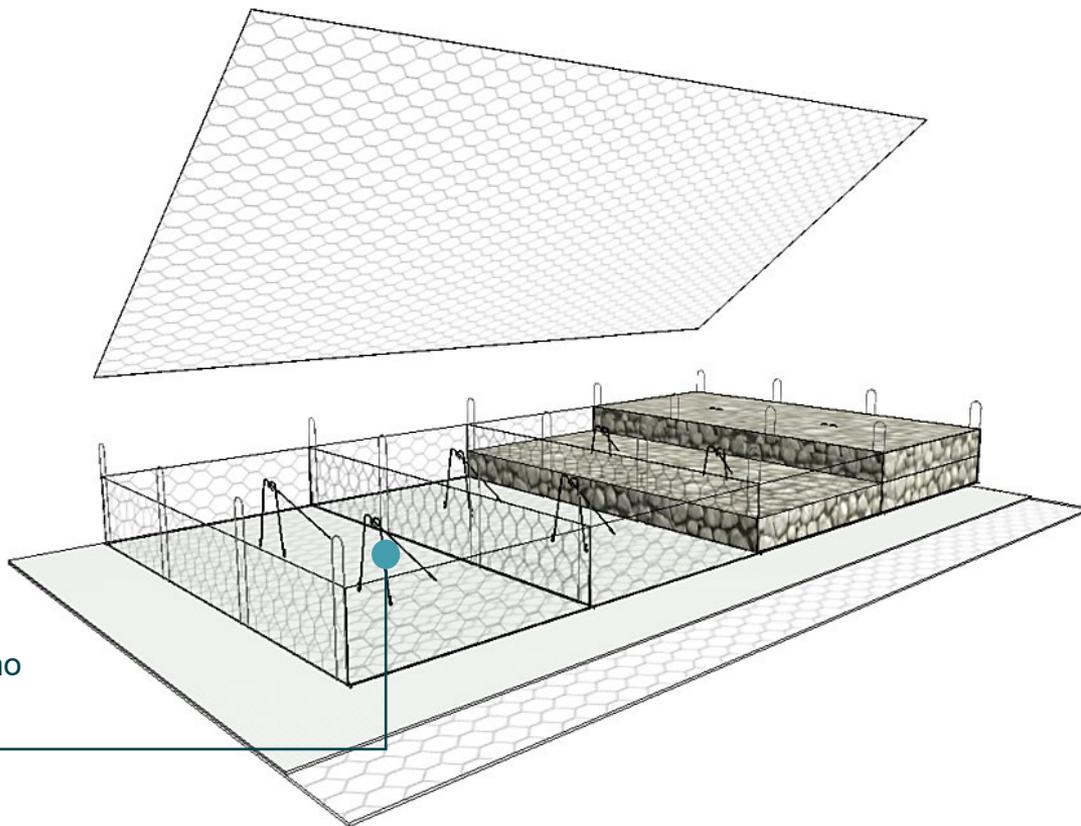


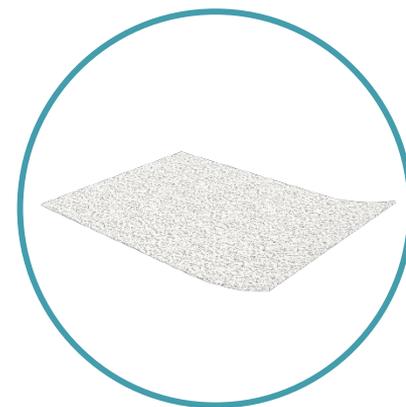
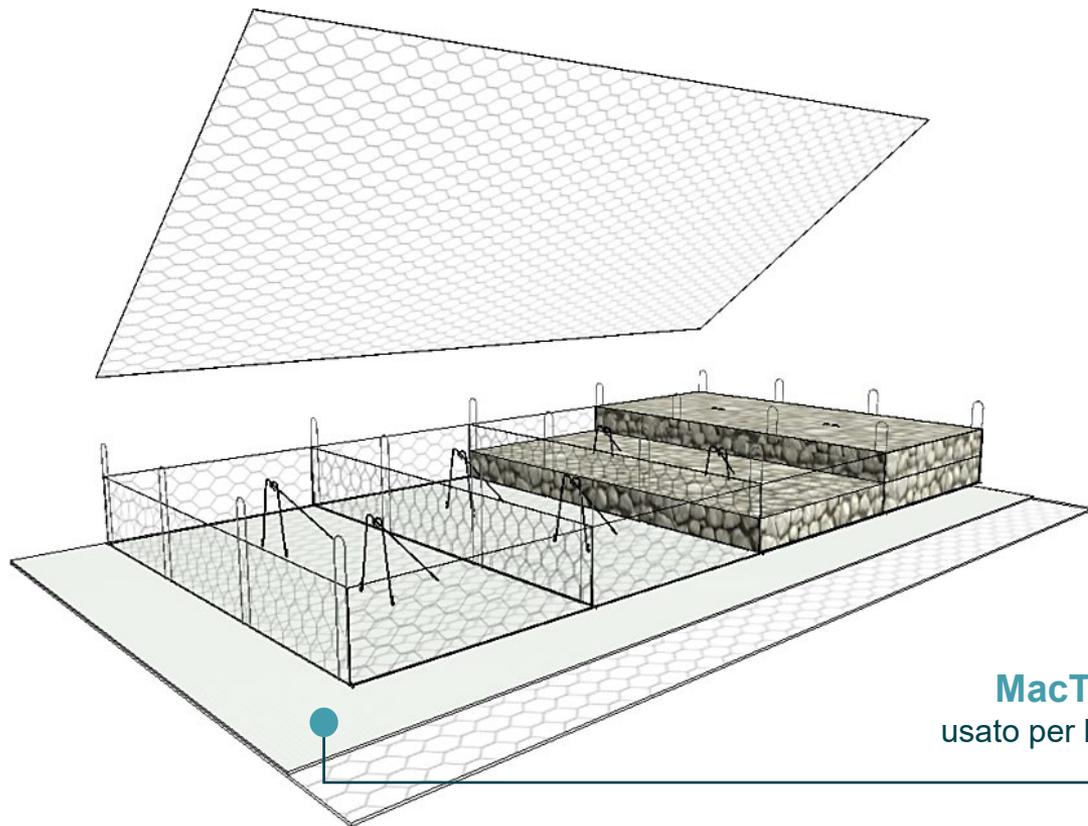
I **doppi diaframmi** verticali rendono più facili le operazioni di riempimento



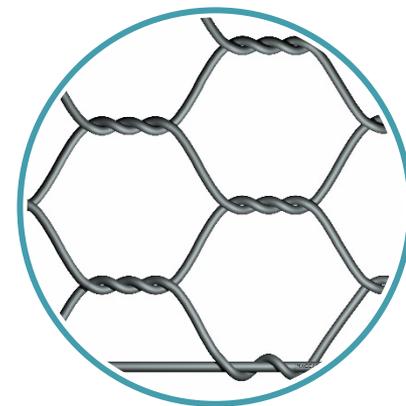
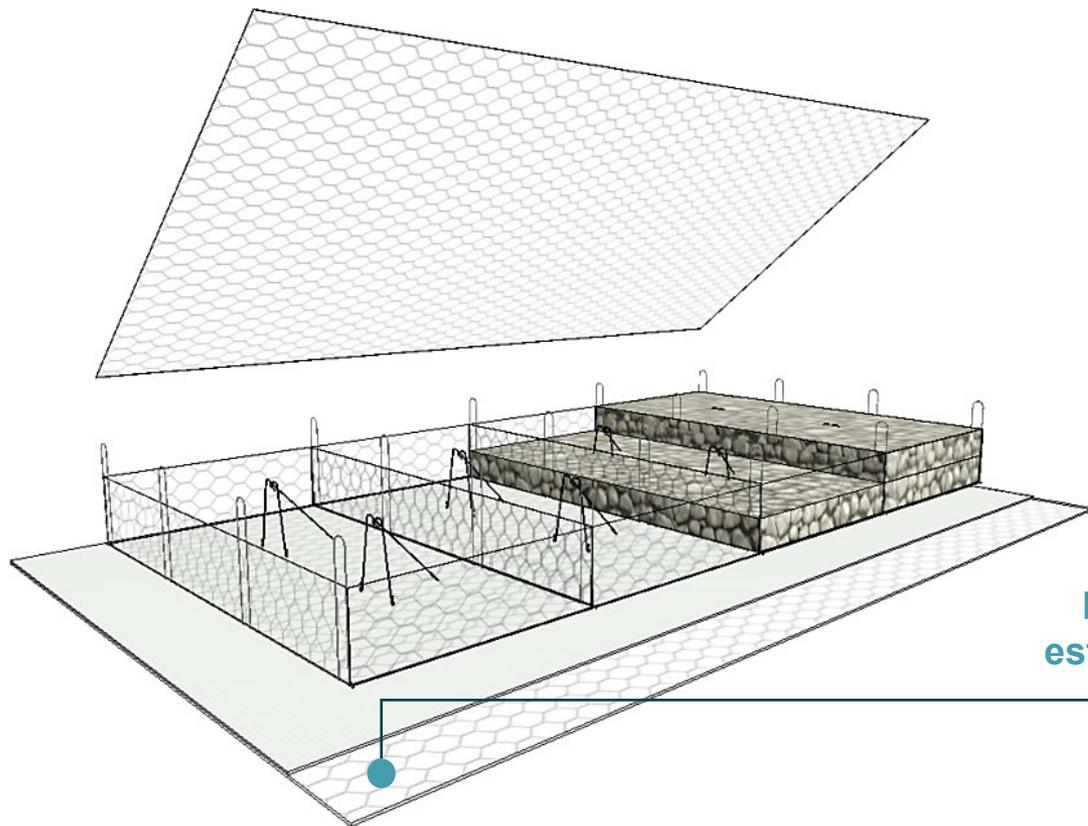


Gli **X-Tie** sono i tiranti brevettati e sviluppati durante i test che massimizzano la resistenza strutturale del materasso

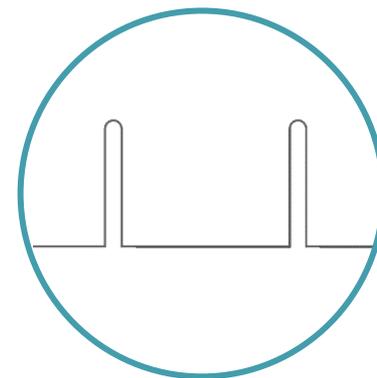
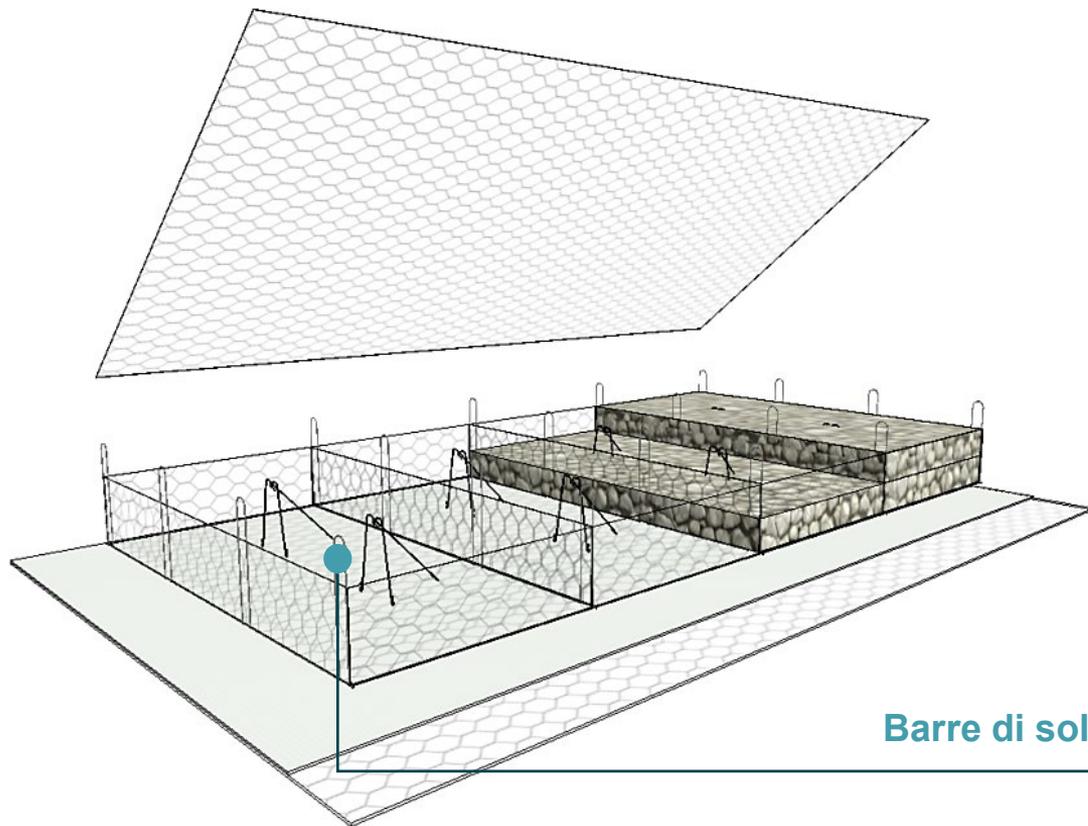




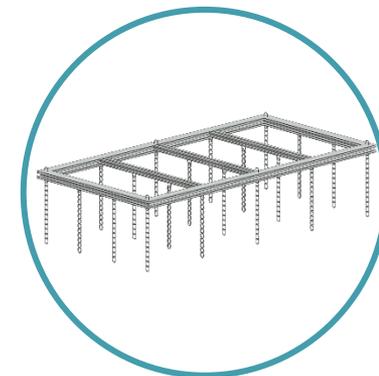
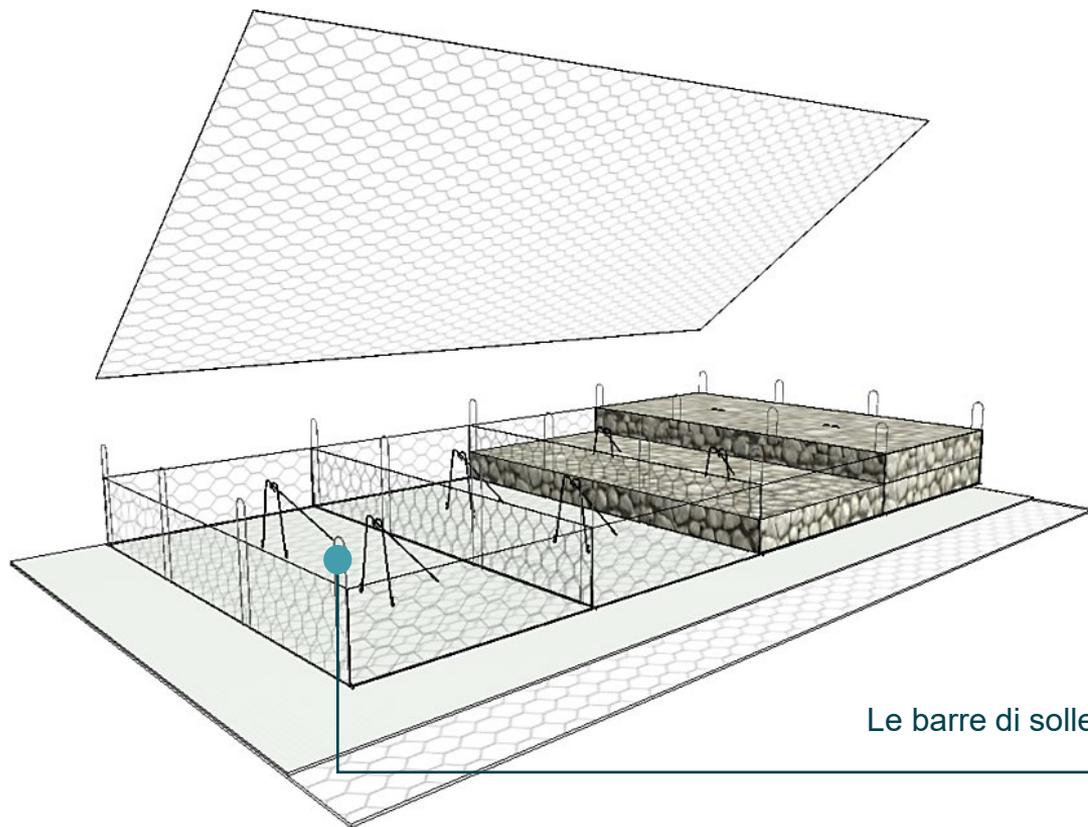
MacTex™ è il geotessile non tessuto di alta qualità
usato per la separazione e la protezione dei materiali fini



Pannello di base in rete doppia torsione
esteso per garantire una protezione continua



Barre di sollevamento per facilitarne la movimentazione



Elementi e Telaio di Sollevamento

Le barre di sollevamento si adattano a diverse tipologie di telai

2023 L'inizio di una
nuova ricerca

MACCAFERRI

con

Deltares



Lo scopo della ricerca

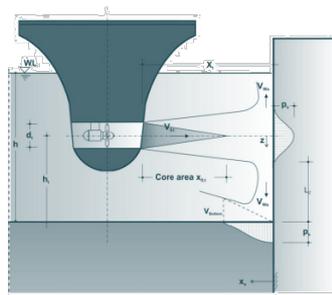
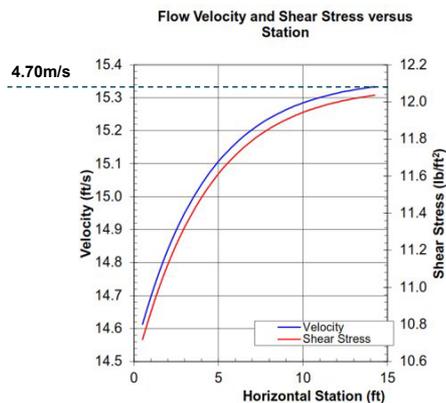


Figure 3.2: Flow field induced by a bow thruster



Nuovo **metodo di valutazione** con parametri di resistenza aggiornati per la progettazione di RenoMac Plus

PIANC report n° 180 (2015) *Guidelines for protecting berthing structure from scour caused by ships*

Approccio integrato: valori di velocità vicino alla superficie misurati durante la campagna di test presso la Colorado State University

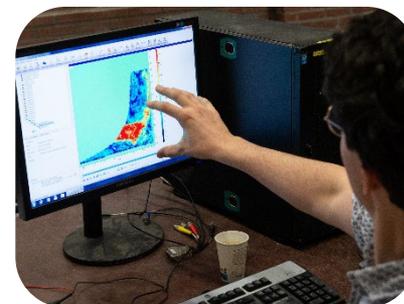
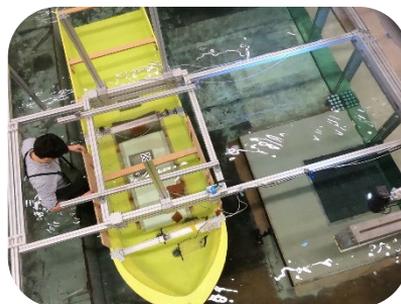
Tramite un nuovo modello

Lo scopo della ricerca



Fino alla campagna di test

Lo sviluppo della ricerca



1 Produzione dei modelli in scala dei RenoMac Plus

La stampa 3D è stata utilizzata per ricreare la rete metallica a doppia torsione. Sono state riprodotte tutte le caratteristiche uniche come il doppio diaframma, gli X-ties e il geotessile.

2 Misure di Velocità

Effettuate tramite tecnica PIV, il flusso viene illuminato con un laser e vengono seguite piccole particelle traccianti. Un algoritmo specifico calcola i valori di velocità che si generano sulla superficie dei materassi RenoMac Plus.

3 Test di Deformazione

I materassi RenoMac Plus sono dotati di accelerometri e posizionati su un letto di sabbia. Qualsiasi movimento viene rilevato dai sensori e monitorato con telecamere 3D.

4 Analisi dei Risultati

I risultati dei test PIV e dei test di deformazione sono analizzati e discussi in un report finale. Viene effettuato un confronto con il nuovo metodo di valutazione e le linee guida PIANC.

Risultati – Test di deformazione

Senza protezione

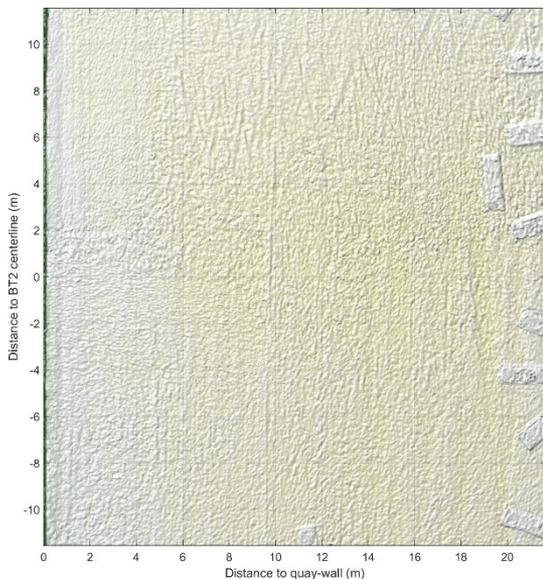
 RenoMac+



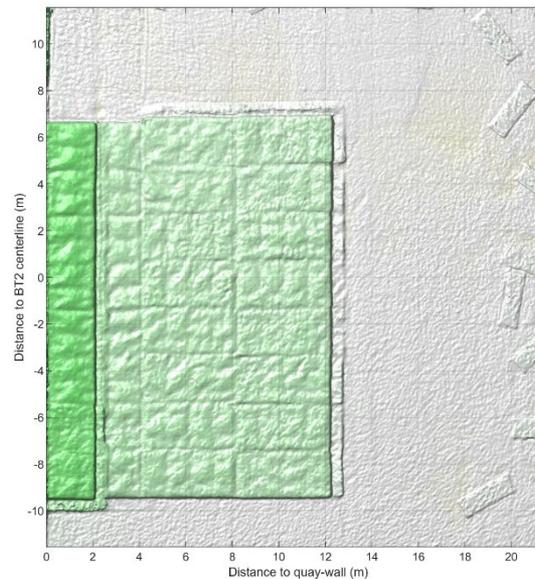
Nessuna deformazione

Risultati – Test di deformazione

Nessuna protezione



 RenoMac+

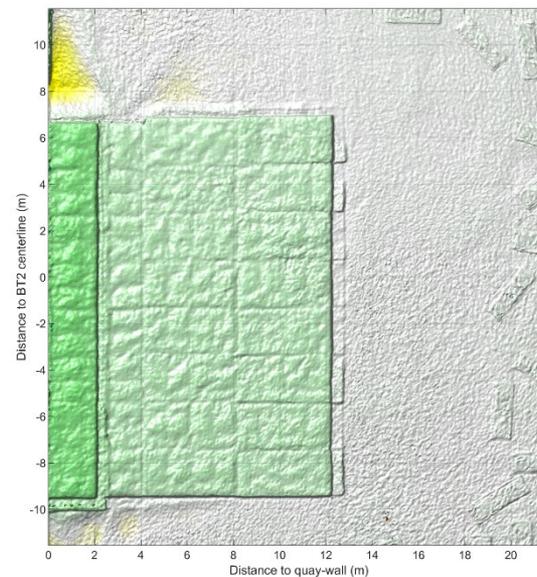
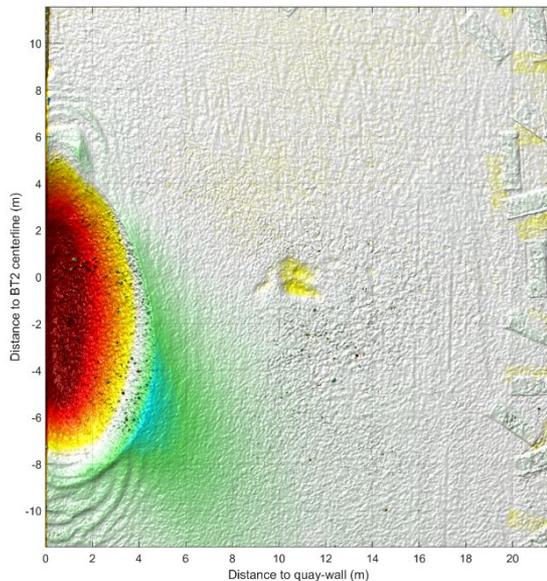


Prima

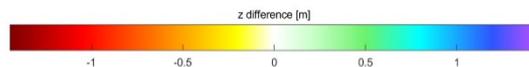
Risultati – Test di deformazione

Nessuna protezione

 RenoMac+



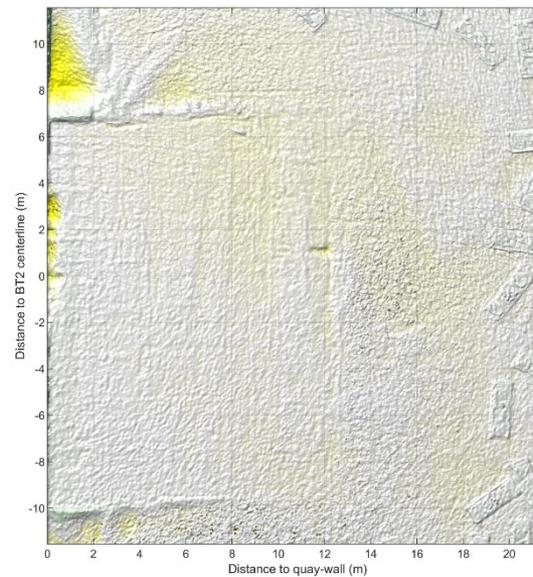
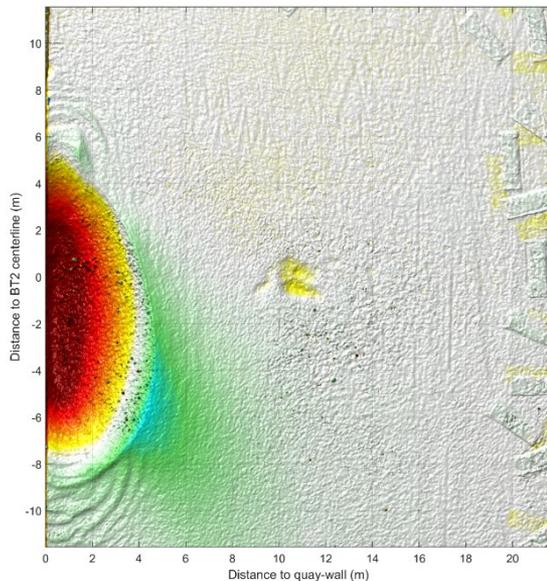
Dopo



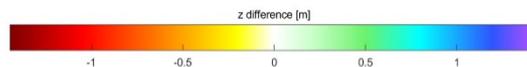
Risultati – Test di deformazione

Nessuna protezione

 RenoMac+



Dopo



Risultati – Considerazioni finali

4.70 m/s

Velocità superficiali che
RenoMac Plus può sopportare

Considerazioni finali

Risultati – Considerazioni finali

4.70 m/s

Velocità superficiali che
RenoMac Plus può sopportare

Qual è lo spessore minimo richiesto
per resistere a queste velocità?

Considerazioni finali

Risultati – Considerazioni finali

	RenoMac Plus	Materassi in cemento	Rip-Rap
Qual è lo spessore minimo richiesto per resistere a queste velocità?	0.30 m	0.70 m	2,22 m

Considerazioni finali

Risultati – Considerazioni finali

Qual è lo spessore minimo richiesto per resistere a queste velocità?

RenoMac Plus

0.30 m

Materassi in cemento

2 x

Rip-Rap

7.5 x

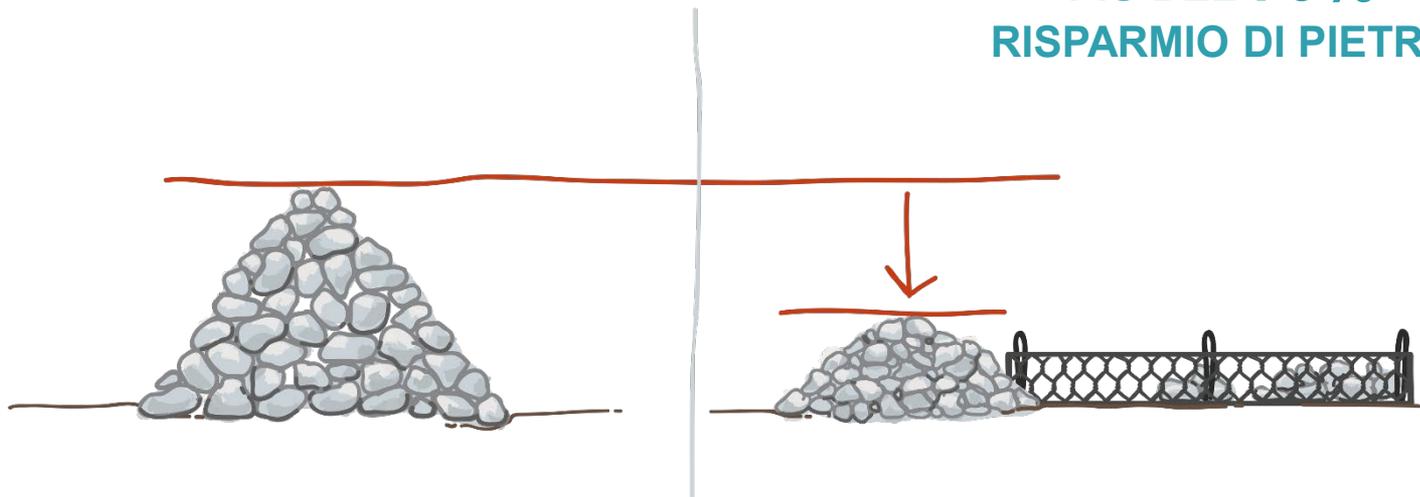
Riduzione dello spessore della protezione

Considerazioni finali

QUALI SONO I VANTAGGI DI RENOMAC PLUS?

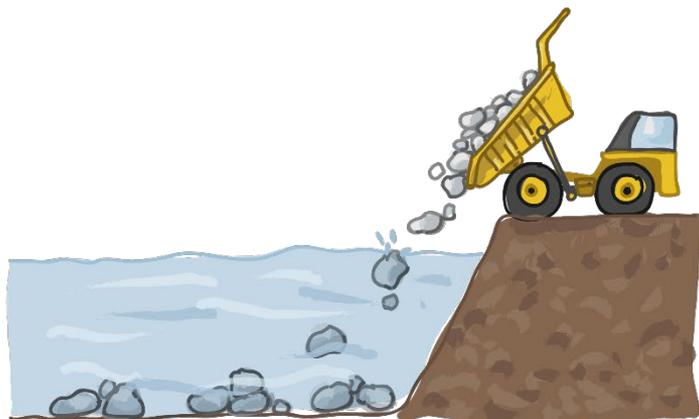
Le protezioni tradizionali degli argini costruite con massi sciolti (rip-rap) richiedono spessi strati di materiale per essere efficaci. RenoMac Plus ha un **design conveniente ed efficace**, ottimizzando l'utilizzo dei materiali senza compromettere l'efficacia della soluzione, con conseguenti significativi risparmi.

PIÙ DEL 70%
RISPARMIO DI PIETRE



QUALI SONO I VANTAGGI DI RENOMAC PLUS?

Le caratteristiche uniche di RenoMac Plus eliminano la necessità di riempire i materassi dopo l'installazione. Pertanto, la disposizione delle pietre all'interno delle unità può essere eseguita in modo più **accurato**, riducendo al minimo lo spreco di materiale.



**NESSUNO SPRECO
DI MATERIALI**



QUALI SONO I VANTAGGI DI RENOMAC PLUS?

La posa e il riempimento delle unità assemblate in condizioni subacquee può essere difficoltosa. RenoMac Plus è una soluzione **completa** e **pronta all'uso** che può essere spostata direttamente in cantiere; così, l'installazione diventa più sicura ed accurata.



INSTALLAZIONE
SICURA ED
ACCURATA



QUALI SONO I VANTAGGI DI RENOMAC PLUS?

Quando si tratta di proteggere i fondali portuali dall'erosione e dal cedimento dei muri di sostegno delle banchine, RenoMac Plus consente di costruire un fondamento solido che previene efficacemente lo scalzamento lasciando al tempo stesso uno **spazio adeguato** per la navigabilità di grandi navi.



MENO DRAGAGGIO RICHIESTO

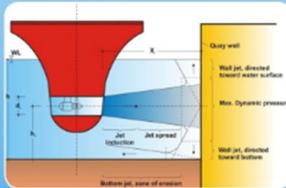
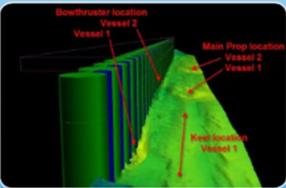


UNA SOLUZIONE
SOTTILE PER
RISPARIARE
SPAZIO



PIANC
'Setting the Course'

Report n° 180 - 2015



GUIDELINES FOR PROTECTING BERTHING STRUCTURES FROM SCOUR CAUSED BY SHIPS

The World Association for Waterborne Transport Infrastructure

Nella nuova edizione del manuale PIANC sono stati aggiunti RenoMac e CubiMac

9. MATERIALS AND TECHNOLOGIES

9.1. Overview

To protect the bottom at the toe of the quay wall different materials can be used. The most commonly used materials are:

9.3 Prefilled Reno Mattresses and gabions

1. Rock
2. Rock grouted with liquid asphalt
3. Rock grouted with hydro concrete
4. Concrete block mattresses
5. Concrete slabs
6. Concrete mattresses
7. Fibrous open stone asphalt mattresses
8. Geosynthetics and geosystems
9. Soft soil improvement

It is obvious that specific documents have been prepared to describe the properties of these materials and their use in hydraulic, coastal and port engineering. Examples are PIANC WG 22 (1997), BAW (2005), EAU (2009) and the Rock Manual [CIRIA, CUR, CETMEF, 2007]. The reference book concerning geosynthetics and geosystems [Pilarczyk, 2000] and a similar book concerning asphalt prepared for Dutch Rijkswaterstaat [Van Herpen, 1985], to which the reader is referred for more details.

Important properties of scour protection materials are in general : permeability, ground tightness, flexibility, reparability and durability.

9.3.1 Material

Prefilled Reno mattresses® are special units designed for scour protection in underwater installations. They are manufactured with a main mattress unit made of double twisted steel wire mesh with uniform partition diaphragms made by double pleating the base unit, a geotextile and an additional wire mesh panel below the mattress to provide additional strength and robustness. Additionally, the mesh panel and the geotextile below extend on two sides of the mattress to provide a continuous protection against scour along all joint lines. Prefilled Reno mattresses are delivered to the construction site with all required components ready for installation.

The double twisted mesh is made by steel wire coated with a high abrasion resistant polymer. Units are equipped with lifting rebars to allow for their lifting once units have been properly filled, and special wire bracing components designed to firmly connect the base unit to the lid. All connections are made by stainless steel C-Rings.

Units are assembled and filled with stones at the project site prior to their installation underwater. The high shear stress resistance to the concentrated action of scour propellers has been thoroughly tested in the high flow conditions of a steep flume, where velocity values, both on the mattress contact surface and through and below the mattress at the interface with soil, were recorded. Prefilled Reno mattress units are particularly suitable to resist against high concentrated flows.

Prefilled Reno mattresses require minimal amount of rocks for the filling, resulting in cost effectiveness and environmental friendliness due to the lesser use of material. Suitable judgement should be exercised to ensure safe design to determine the required thickness. Calculations shall be in accordance with proper testing and an adequate performance history of projects.

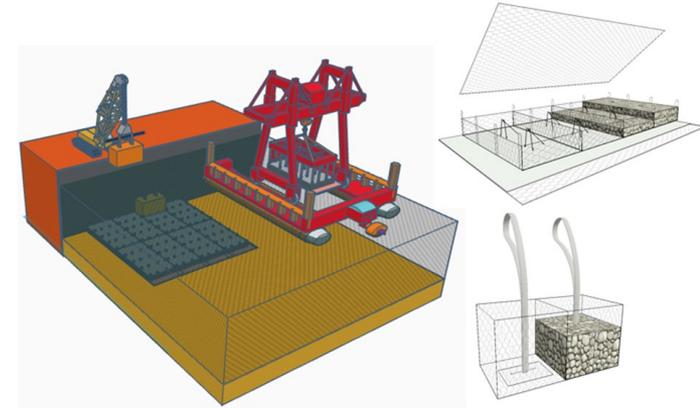


Fig. 5 – Installation scheme for prefilled Reno mattress® (by pontoon) and Gabions (by crane)

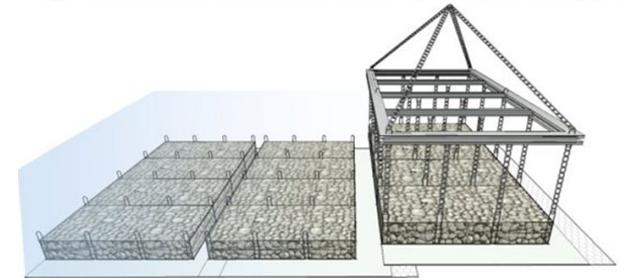


Fig. 1 - Prefilled Reno mattress®: single unit and installation detail

CRITERI PROGETTUALI DEL NUOVO PIANC

$$\Delta D = \phi \frac{0.035}{\psi_{cr}} k_h k_{sl}^{-1} \frac{k_t^2 V^2}{2g}$$

Lo spessore del rivestimento D è inversamente proporzionale al valore del parametro di Shields ψ_{cr}

With the critical Shields parameter ψ_{cr} the type of material can be taken into account.

Revetment type	Shields parameter ψ_{cr}
Riprap	0.035
Loose, placed blocks	0.05
<u>Blockmats and concrete mattresses</u> ⁹	0.07
<u>Prefilled gabions and mattresses</u>	0.07 ¹⁰

$\psi_{cr} = 0.19$ per RenoMac Plus

⁹ Also applicable for concrete slabs.

¹⁰ For prefilled mattresses, in case admissible velocities at surface level are available through suitable testing, higher values for the Shields parameter ψ_{cr} , calculated using the Elzarsky's formula may be permitted. More specifically, tests on special mattresses with double pleated quadrangula and vertical connections performed at Colorado State University allow a value of $\psi_{cr} = 0.19$.



TIPOLOGIE BRIGLIE



**A PARETE
VERTICALE**



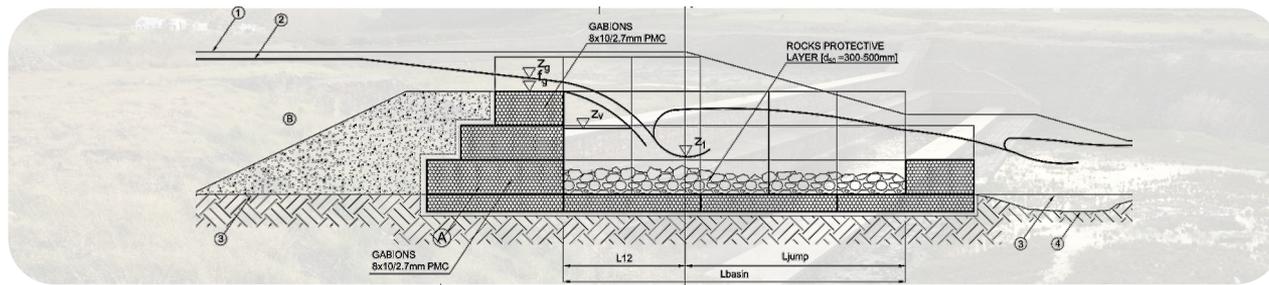
A GRADONI



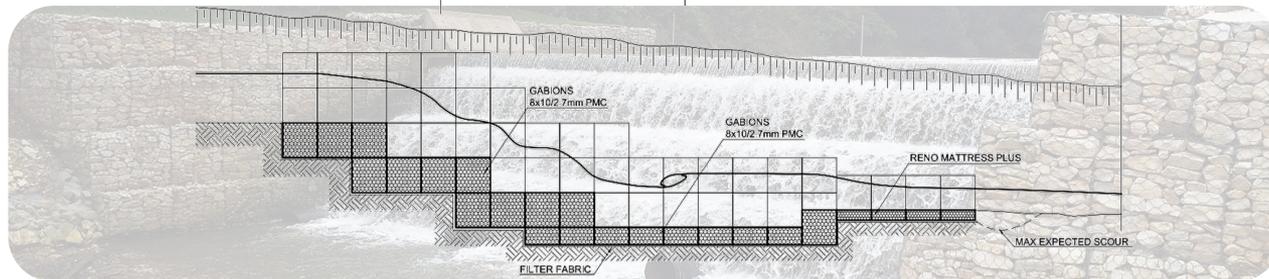
A SCIVOLO



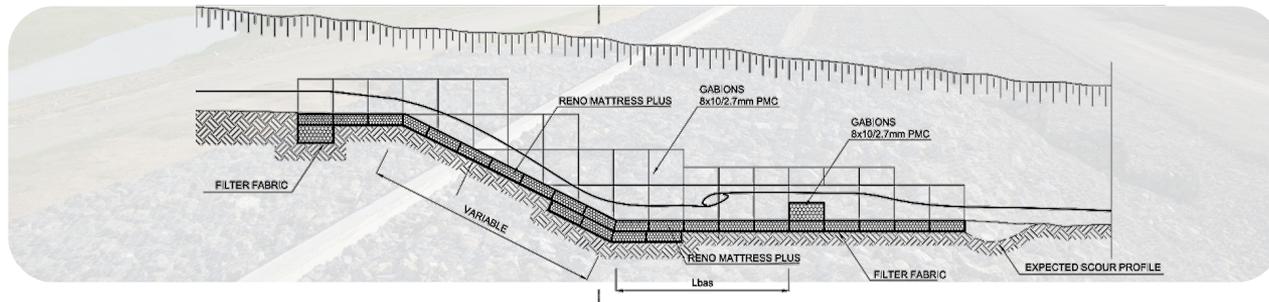
A PARETE
VERTICALE



A GRADONI



A SCIVOLO

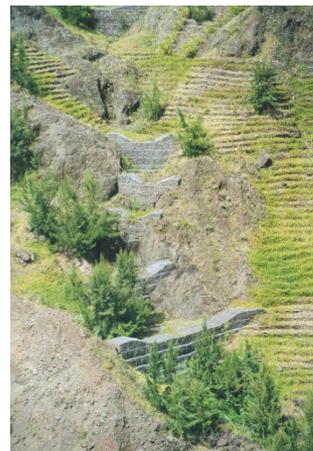
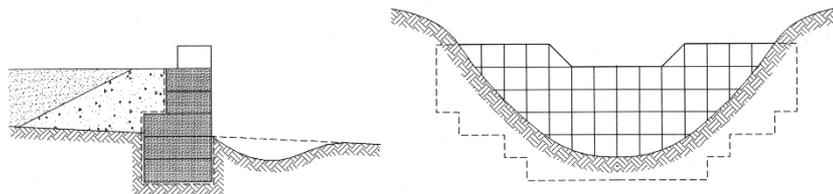


A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO NON RIVESTITO

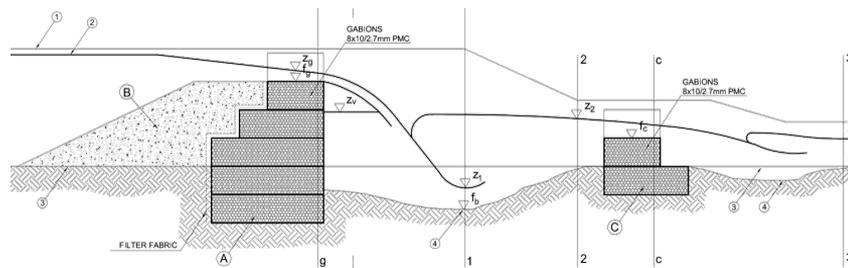


A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO NON RIVESTITO & CONTROBRIGLIA



A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO NON RIVESTITO & CONTROBRIGLIA



A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO NON RIVESTITO & CONTROBRIGLIA



A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO NON RIVESTITO & CONTROBRIGLIA

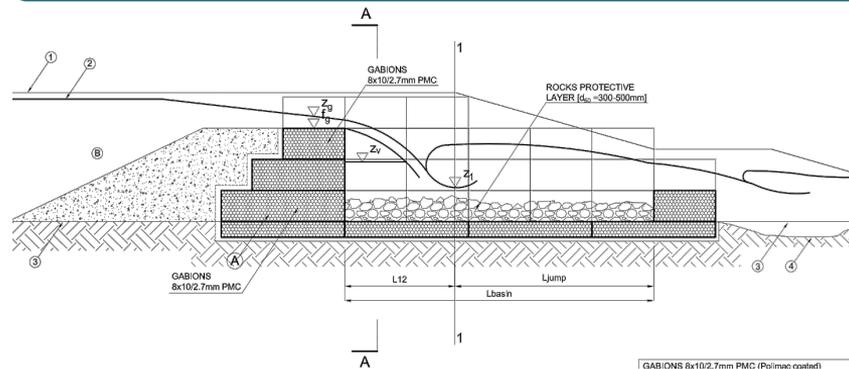


A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO RIVESTITO & CONTROBRIGLIA



A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO RIVESTITO & CONTROBRIGLIA

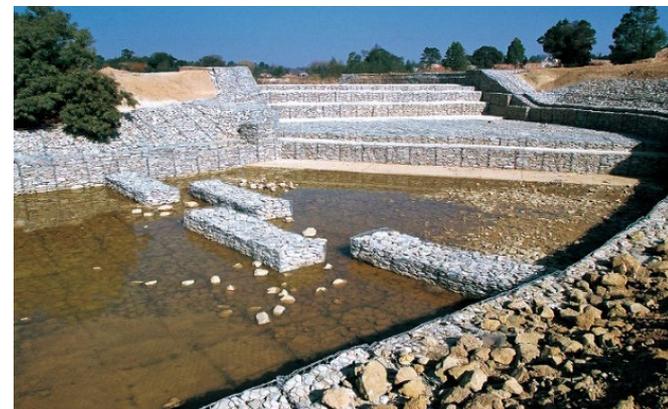
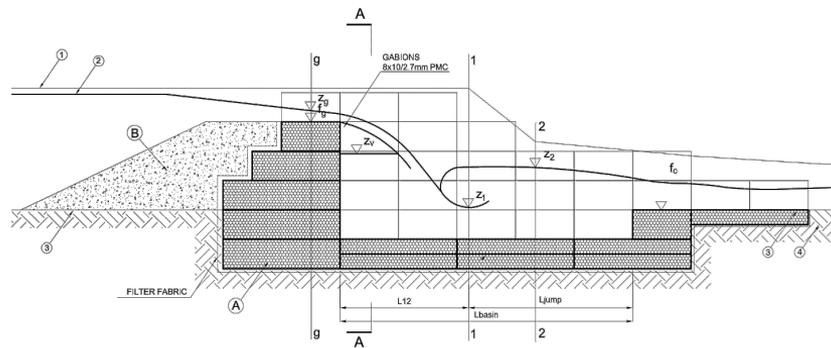


A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO RIVESTITO & CONTROBRIGLIA



A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

SLOPED WEIR

BACINO RIVESTITO & CONTROBRIGLIA



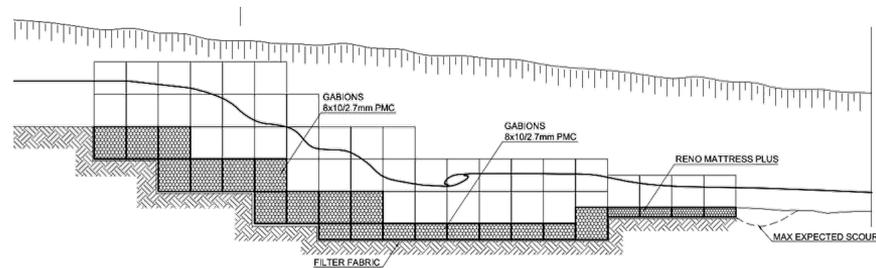
A PARETE
VERTICALE

STEPPED WEIR

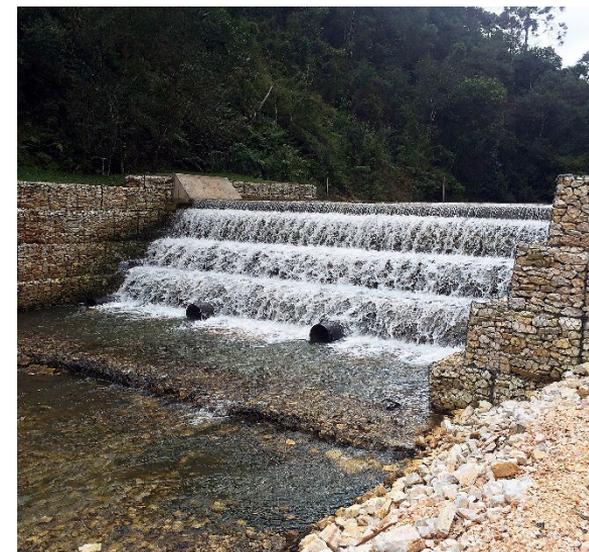
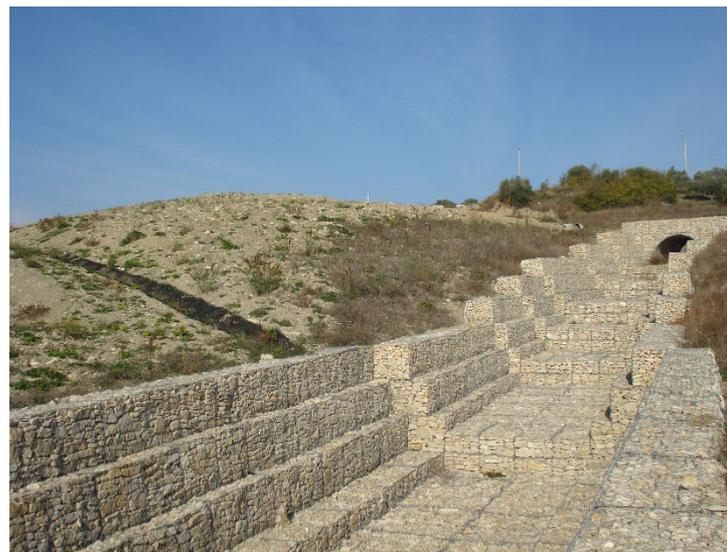
SLOPED WEIR



SINGLE VERTICAL
DROP

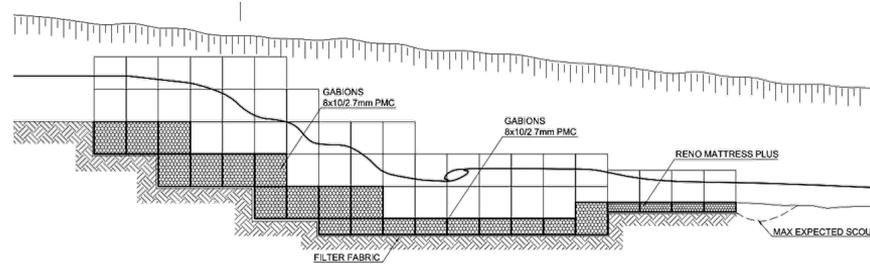


A GRADONI



SLOPED WEIR

SINGLE VERTICAL
DROP



A GRADONI

LIMITI DI APPLICAZIONE

Step ratio (1/1, 1/2, 1/3, 1/5)
Flow type: NAPPE or SKIMMING



Positive features

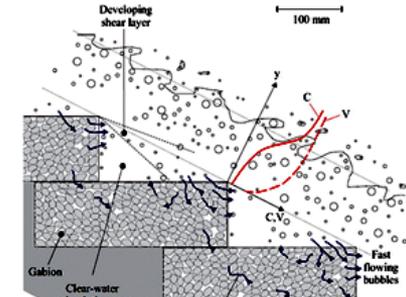
- better stability
- dissipation on each step (stilling pool reduced)



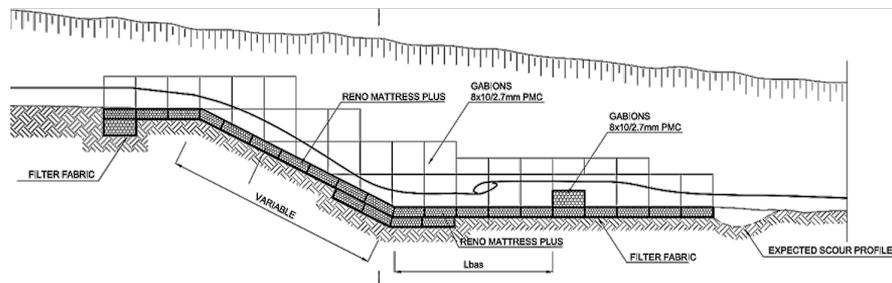
Critical issues

- possible damage/abrasion on the steps
- determination of energy on each step & residual difficult
- the water can move stones hitting the step, causing damage

SLOPED WEIR



SINGLE VERTICAL
DROP



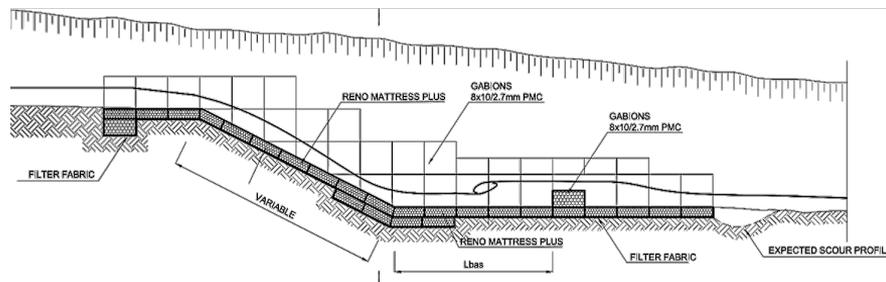
STEPPED WEIR



A SCIVOLO



SINGLE VERTICAL
DROP



LIMITI DI
APPLICAZIONE

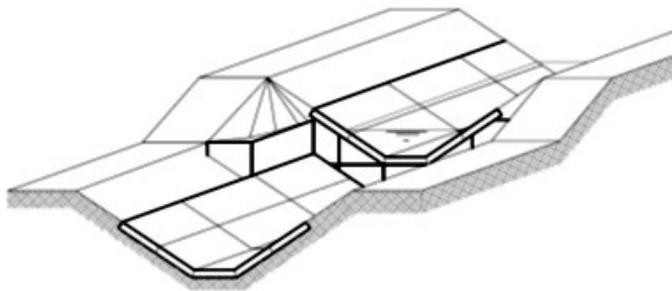
$q = Q/L = 0.5-5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$
Slope ratios (1/2, 1/3, 1/4)
Total spillway height
2-3-4-5m

STEPPED WEIR

A SCIVOLO



RIVESTIMENTI DI CANALI A GRADONI MULTIPLI (DROP STRUCTURES)





VASCHE DI LAMINAZIONE











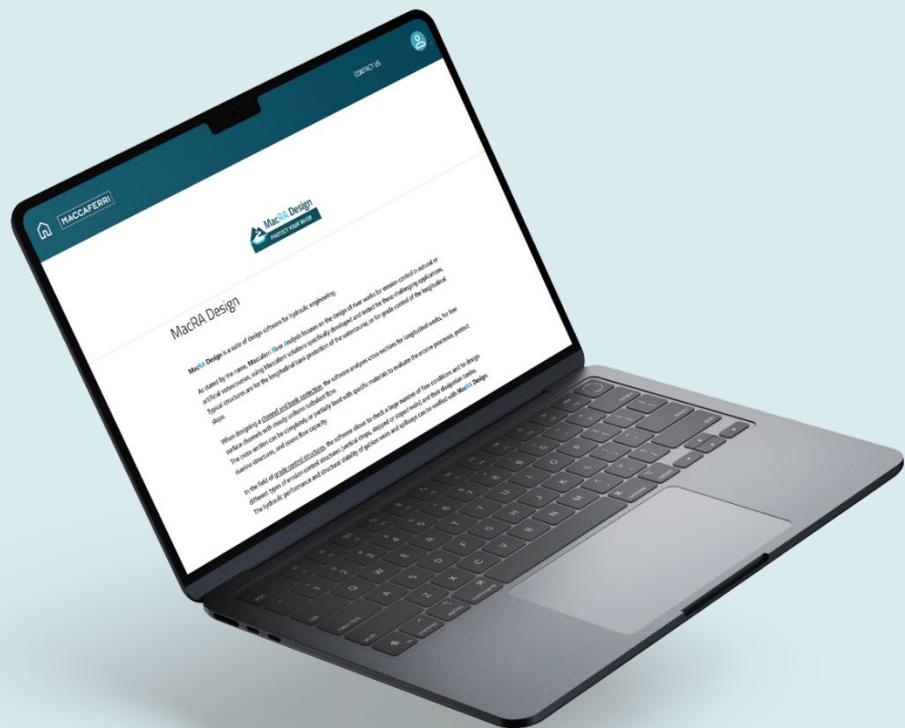






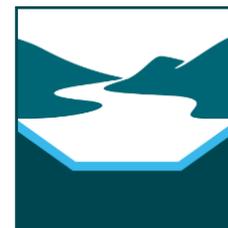
**SOFTWARE
MACRA DESIGN**





Maccaferri River Analysis è una suite di software di progettazione per l'ingegneria idraulica, che si concentra sulla progettazione di opere fluviali riguardanti il controllo dell'erosione in corsi d'acqua naturali o artificiali, utilizzando soluzioni Maccaferri appositamente sviluppate e testate per queste sfidanti applicazioni.

<https://edesign.maccaferri.com/HomeHub>

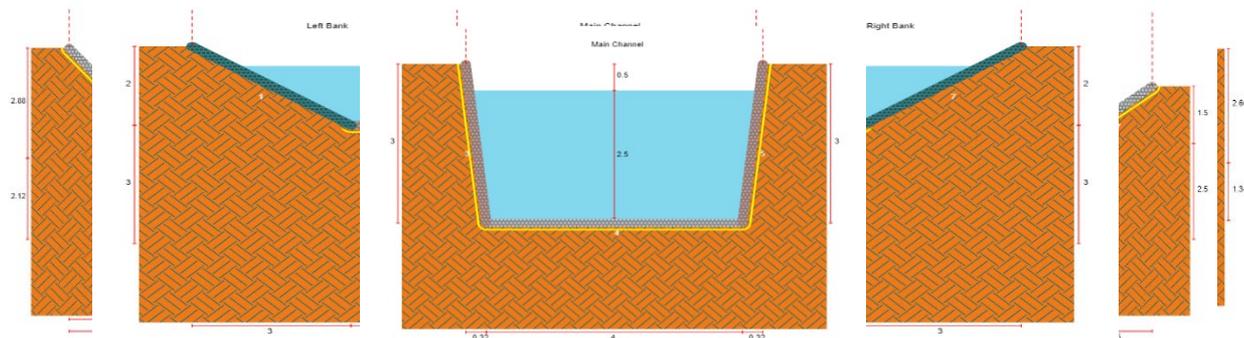


PROTEZIONE DEL
CANALE E DELLE
SPONDE

Nella progettazione di un canale e di una protezione spondale, il software analizza le sezioni riguardanti opere longitudinali, per correnti a pelo libero in moto uniforme.



PROTEZIONE DEL CANALE E DELLE SPONDE



M Sezioni rettangolari

M Sezioni a singolo e doppio trapezio

M Sezioni con sotto settori

M Sezioni con sponde verticali



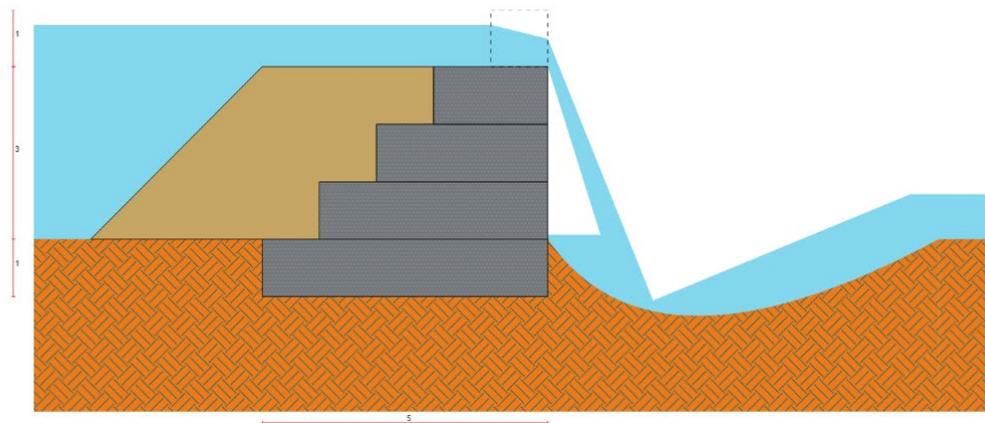
STRUTTURE DI
CONTROLLO DELLA
PENDENZA



Il software consente di verificare numerose condizioni di flusso e di progettare diversi tipi di strutture di controllo dell'erosione e relativi bacini di dissipazione.



STRUTTURE DI CONTROLLO DELLA PENDENZA



M Briglie inclinate

M Briglie a gradoni

M Briglie a salto verticale

Grazie!

Ing Alessandro Cavagni

a.cavagni@maccaferri.com

+39 3371247061