



## TECHNICAL COMMITTEES DI ICOLD IL CONTRIBUTO ITALIANO



# CEMENTED MATERIALS DAMS – DESIGN AND PRACTISE CEMENTED SOIL DAMS



Costruzione di un'avandiga per la protezione dei lavori di riabilitazione della diga di Pannecière (Francia 2011 - 2013)

# CEMENTED MATERIAL DAMS

Un nuovo bollettino e relativo comitato tecnico dal titolo Cemented Materials Dams (CMD), è stato proposto dal prof. J. S. Jia nel 2009 e formalmente approvato dall'assemblea ICOLD nello stesso anno.

Il primo incontro del comitato tecnico ha avuto luogo nel 2013 a Seattle (Stati Uniti). Il bollettino CMD si compone di una trilogia di sotto-bollettini riferiti ciascuno a un tipo di dighe attinenti l'utilizzo di suoli e materiali naturali additivati con cemento:

- **Bulletin RFC - Rock-Filled Concrete dams**
- **Bulletin CS - Cemented Soil dams**
- **Bulletin HD - Hardfill dams**

Il bollettino CS dovrebbe essere approvato nella sua versione definitiva durante il prossimo 27esimo ICOLD World Congress (2021) in Marsiglia.

# CEMENTED SOIL DAMS

L'uso di suoli additivati con calce e/o cemento è una tecnica proficua largamente e con successo utilizzata nelle infrastrutture, prevalentemente stradali. La sua applicazione trova riscontro anche nelle opere idrauliche negli Stati Uniti, Australia, Sud Africa e nazioni europee.

L'idea del bollettino Cemented Soil Dams (CSD) è stata proposta per la prima volta dal comitato francese CFBR durante l'82esimo Annual Meeting di ICOLD nel 2014.

Il bollettino CSD si pone l'obiettivo di guidare nell'uso dei suoli naturali, generalmente suoli limo-argillosi, senza particolari processi di pre-trattamento, a parte la selezione granulometrica e l'aggiunta di un adeguato contenuto di calce e/o cemento (e acqua). Il cemento realizza una coesione, fa da collante nella massa granulare, la calce reagisce chimicamente in presenza di acqua con i materiali argillosi generando un binder che indurisce lentamente.

In sostanza, la calce è prevalentemente usata in presenza di materiali limo-argillosi, mentre il cemento in presenza di materiali sabbiosi.

# IMPERMEABILIZZAZIONE DELLE CEMENTED MATERIALS DAMS CON MANTO IN GEOMEMBRANA



Diga di Filiatrinou (Hardfill dam)  
in Grecia, 2015

# UNA LUNGA STORIA DI APPLICAZIONI

I materiali sintetici (geomembrane) sono sul mercato per usi civili già dagli anni 50. Un manto in geomembrana come barriera impermeabile per una diga è stato usato per la prima volta con successo nel 1959 in Italia, nella diga di Contrada Sabetta, costituita da un rilevato in rockfill di altezza circa 32 m.

Negli anni 80, con l'avvento della tecnica del calcestruzzo compattato (RCC) nella costruzione di dighe, il beneficio apportato dall'impiego di un manto in geomembrana è apparso subito evidente, permettendo di ridurre sia i tempi e i costi di costruzioni, fornendo inoltre una struttura complessivamente più efficiente e predicibile nei comportamenti.

Un manto in geomembrana è una viabile alternativa ai materiali da costruzione tradizionali, come i manti in calcestruzzo o asfalto, ed è tutt'oggi largamente utilizzato in tutte le tipologie di dighe. Il manto in geomembrana offre una barriera flessibile, durevole, di facile e rapida installazione, resistente agli assestamenti e ai terremoti, e un scelta significativamente più ecologica.

# UNA LUNGA STORIA DI APPLICAZIONI



**Diga di Olivenhain RCC  
California (Stati Uniti), 2013**

**Intervento di miglioramento sismico**



**Diga di Miel I RCC dam, 188 m high  
Colombia, 2002**

**Nuova costruzione  
Riduzione dei costi e tempi di costruzione**

# PRINCIPI DI PROGETTAZIONE

- Creare un barriera impermeabile e durevole applicata direttamente sul paramento di monte della diga e costituita da una geomembrana tipicamente termosaldata ad un geotessuto non-tessuto, ovvero da una geomembrana composita (geocomposito).
- La geomembrana è selezionata in base alle caratteristiche di progetto, ai carichi ambientali, ai fattori di esposizione, agendo prevalentemente sulla scelta della formulazione, spessore, proprietà meccaniche (resistenza a trazione, allungamento, resistenza al punzonamento).
- Tipicamente, la geomembrana è installata in posizione esposta, soluzione che comporta numerosi benefici (accessibilità, riparabilità, migliore risposta tensio-deformativa). Le soluzioni con geomembrana coperta sono dettate da specifiche esigenze (vandalismo, estetica, protezione da impatti).
- La geomembrana è ancorata al paramento di monte per mezzo di specifiche soluzioni tecniche, al fine di resistere ai carichi ambientali (vento, correnti, onde).

# PRINCIPI DI PROGETTAZIONE

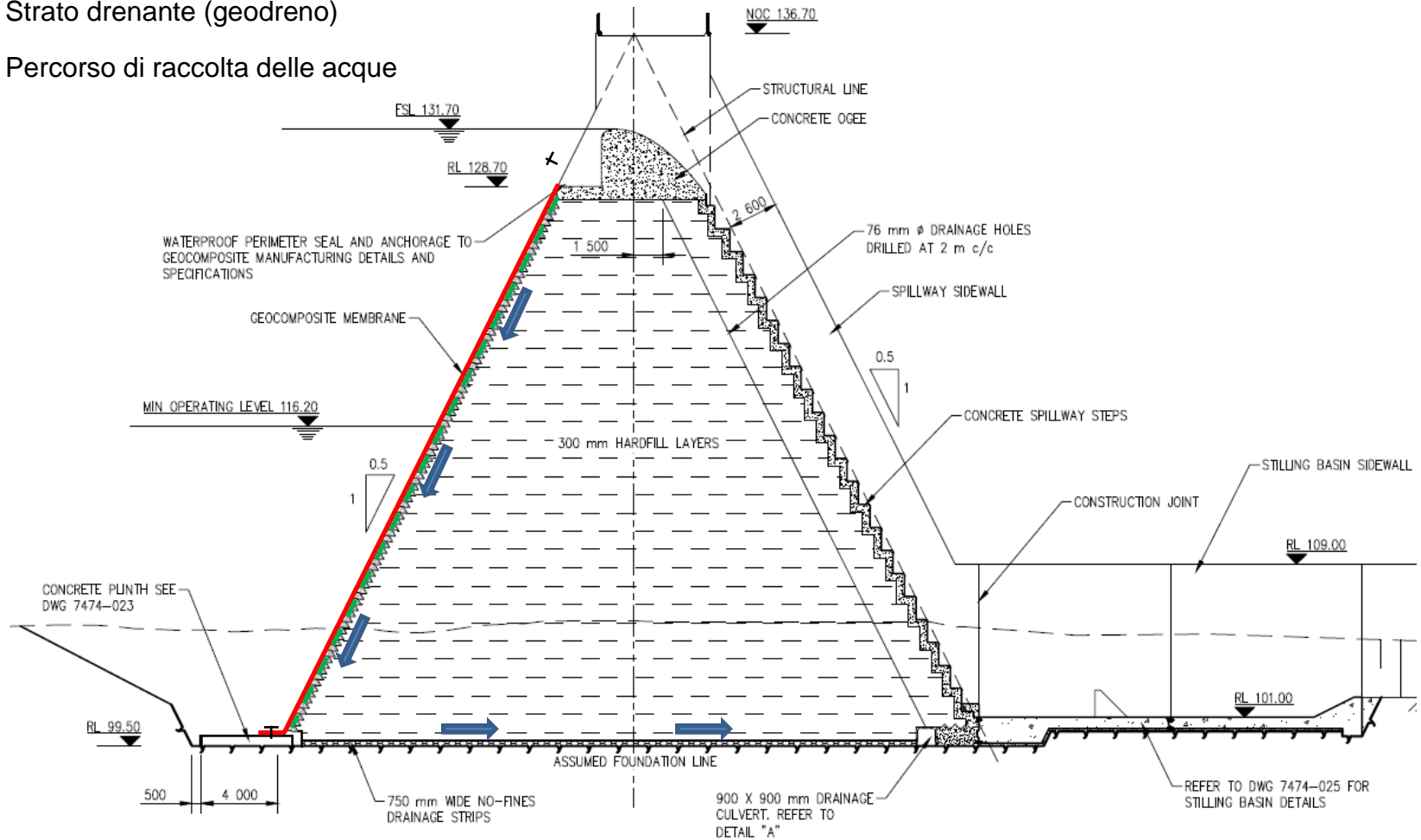
- Il manto in geomembrana include uno specific strato, posto sotto la geomembrana e a contatto con il supporto), con funzione di drenaggio (e parte di filtro) che consente di:
  - Impedire l'insorgenza di sottopressioni.
  - Impedire una filtrazione incontrata nel corpo della diga.
  - Monitorare l'efficienza della barriera
- Il manto in geomembrana è sigillato lungo le periferie per mezzo di una tenuta idraulica per compressione, studiata per impedire filtrazioni di by-pass. La tenuta è installata generalmente lungo il plinto, alla base della soglia di sfioro, attorno alla struttura di presa e derivazione.

# PRINCIPI DI PROGETTAZIONE

— Manto in geomembrana

- - - Strato drenante (geodreno)

➡ Percorso di raccolta delle acque



# SELEZIONE DELLA GEOMEMBRANA

Nell'attuale mercato dei geosintetici sono presenti differenti prodotti, studiati per rispondere alle più svariate esigenze progettuali. La scelta della corretta geomembrana ha senza dubbio un impatto fondamentale sulla prestazione, durabilità, efficienza, qualità di installazione e manutenzione del manto in geomembrana.

All'interno della vasta gamma di membrane polimeriche, il polivinilcloruro additivato con plastificante (PVC-P) rappresenta la più comune e consigliata scelta nell'impermeabilizzazione delle opere idrauliche, in particolare in relazione alla sua riconosciuta flessibilità, isotropia, basso coefficiente di espansione termica, risposta monotona della curva tensio-deformativa, resistenza al punzonamento, facilità di installazione (affidabilità delle saldature).

# SELEZIONE DELLA GEOMEMBRANA

## ICOLD BULLETIN 135

**Table 1.1 – Total dams with geomembranes (up to 2010)**

Type of dam	Number of dams	% on total
Fill	183	69.1
Concrete	47	17.7
RCC	34	12.8
Unknown	1	0.4
Total	265	100,0



# SELEZIONE DELLA GEOMEMBRANA

**ICOLD Bulletin 135: Table 2.2 - Geomembranes in dams (up to 2010)**

		Exposed	Covered	Unknown	TOTAL	%
Polyvinylchloride	PVC	80	72	4	156	59.32
Polyolefin	LLDPE*	0	29	1	30	11.41
Polyolefin	HDPE	3	12	1	16	6.08
Butyl rubber, polyisobutylene, ethylene-propylene-diene monomer	IIR, PIB, EPDM	5	5	2	12	4.56
Chlorosulfonated polyethylene	CSPE	3	5	1	9	3.42
Geotextiles impregnated with polymers	In situ membrane	2	7	0	9	3.42
Polyolefin	PP	3	3	0	6	2.28
Chlorinated polyethylene	CPE	0	3	0	3	1.14
Oxidised bitumen	Prefabricated GM	7	10	0	17	6.47
Polymeric bitumen	Polymeric bitumen	0	2	0	2	0.76
Oxidised bitumen	In situ membrane	3	0	0	3	1.14
<b>Polymeric membranes</b>					<b>241</b>	<b>91.63</b>
<b>Bituminous membranes</b>					<b>22</b>	<b>8.37</b>

# ANCORAGGIO DELLA GEOMEMBRANA

Un manto in geomembrana installato in posizione esposta e soggetto ai carichi ambientali necessita di un sistema di ancoraggio specifico. Generalmente, il carico ambientale più gravoso è legato alla suzione prodotto dal vento.



Bacino dell'impianto di pompaggio Pico da Urze  
Isola di Madeira (Portogallo), 2019

# RECENTI ESPERIENZE

Differenti sistemi di ancoraggio sono stati progettati ed implementati con successo per l'impermeabilizzazione di dighe e rilevati, inclusi la tipologia di dighe CSD oggetto del bollettino. In base alla nostra esperienza (Carpi Tech) possiamo elencare a titolo di esempio:

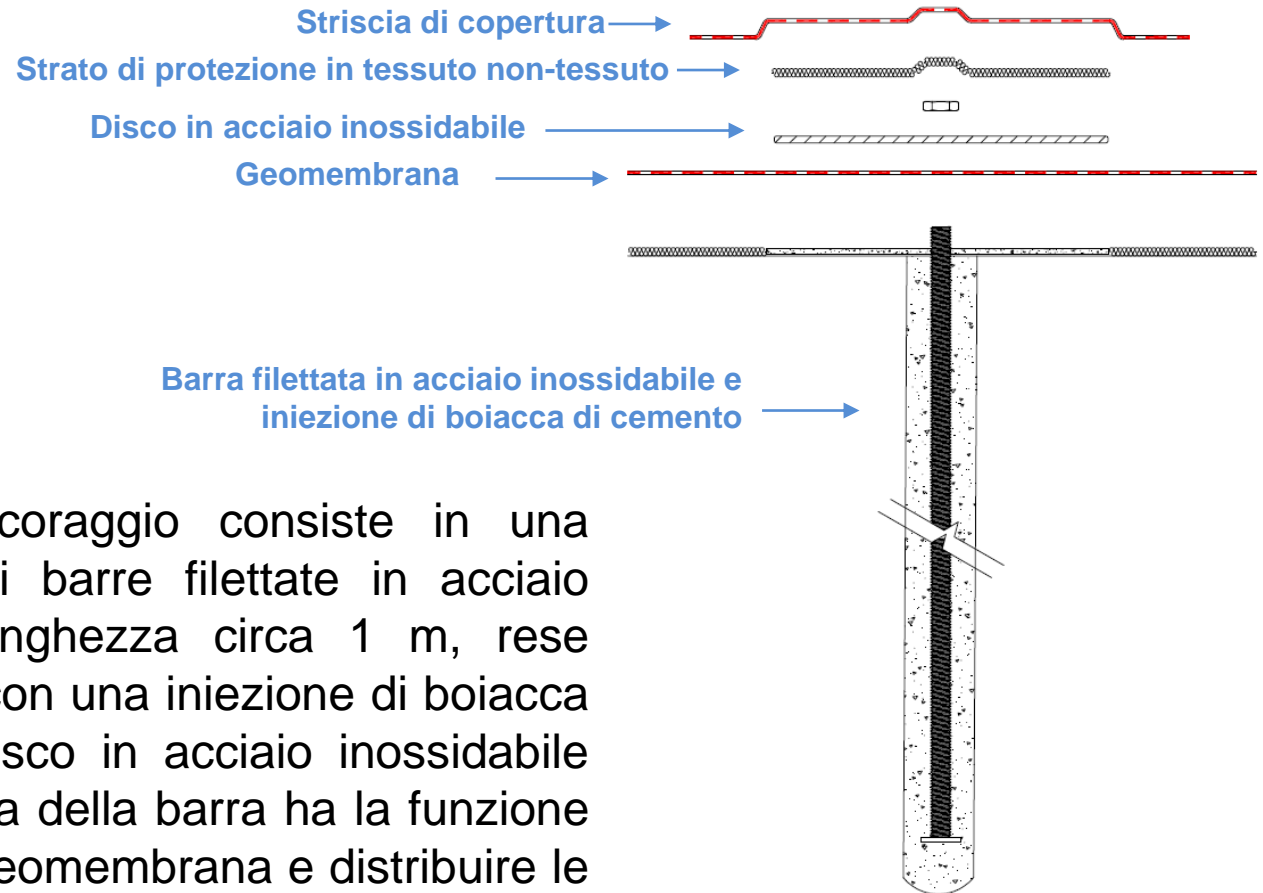
- **Ancoraggi puntuali iniettati** – diga di Filiatrinós (hardfill), h 55 m
- **Strisce inserite nel rilevato** – diga di Ambarau (hardfill), h 21 m
- **Strisce inserite in cordoli estrusi** – attualmente la tecnologia maggiormente utilizzata per le dighe sia in materiali cementati (CMD e CSD) che nelle dighe in terra e rockfill.

# ANCORAGGI PUNTUALI INIETTATI

La diga di Filiatrinos (hardfill) in Grecia presenta un corpo costituito da sabbia e ghiaia legati con un contenuto di cemento variabile tra  $58 \text{ kg/m}^3$  (nella porzione di  $1/3$  inferiore) e  $75 \text{ kg/m}^3$  (nella porzione di  $2/3$  superiore).



# ANCORAGGI PUNTUALI INIETTATI



Il Sistema di ancoraggio consiste in una maglia regolare di barre filettate in acciaio inossidabile, di lunghezza circa 1 m, rese solidali al rilevato con una iniezione di boiaccia di cemento. Un disco in acciaio inossidabile applicato sulla testa della barra ha la funzione di comprimere la geomembrana e distribuire le forze di trazione.

# DIGA DI FILIATRINOS



# DIGA DI FILIATRINOS



# DIGA DI FILIATRINOS

Circa 10,000 m<sup>2</sup> di paramento sono stati impermeabilizzati con un manto in geomembrana in circa 50 giorni di lavoro.



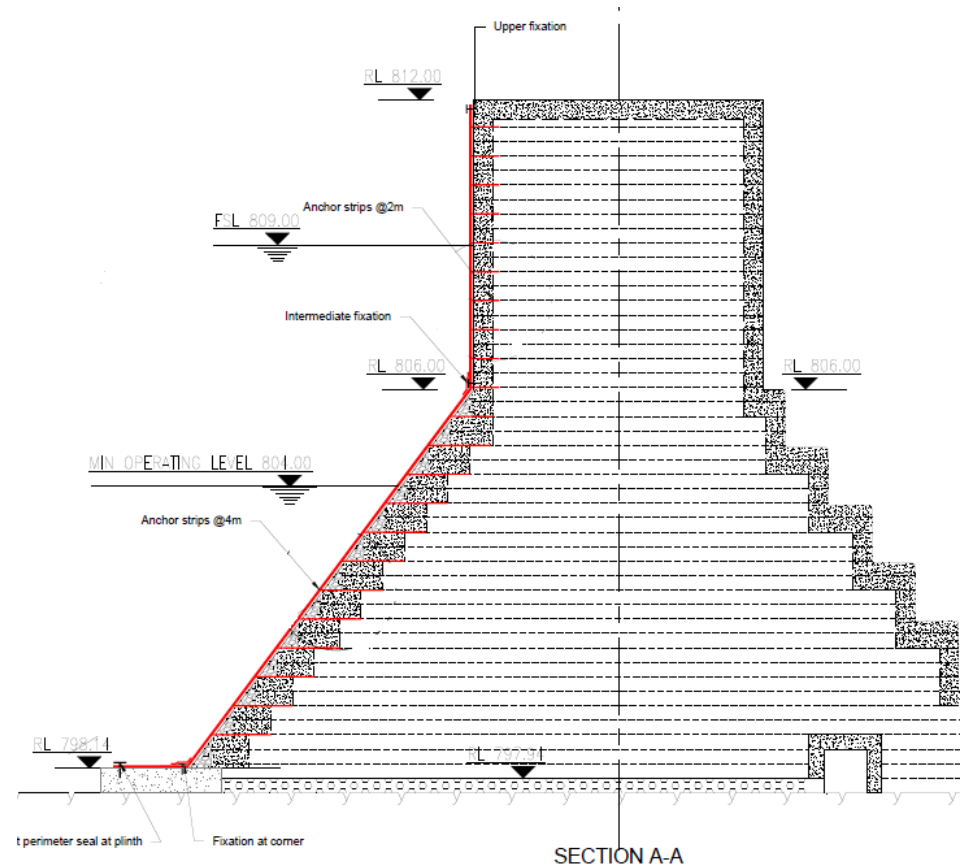
# STRISCE INSERITE NEL RILEVATO

La diga di Ambarau (hardfill) in Congo (RDC) presenta un paramento di monte formato da gradini di altezza circa 0.6 m risultato dell'impiego di casseforme appoggiate su ciascuna alzata. Al fine di permettere l'istallazione di un manto in geomembrana su di una superficie regolare, i gradini sono stati riempiti con calcestruzzo poroso.

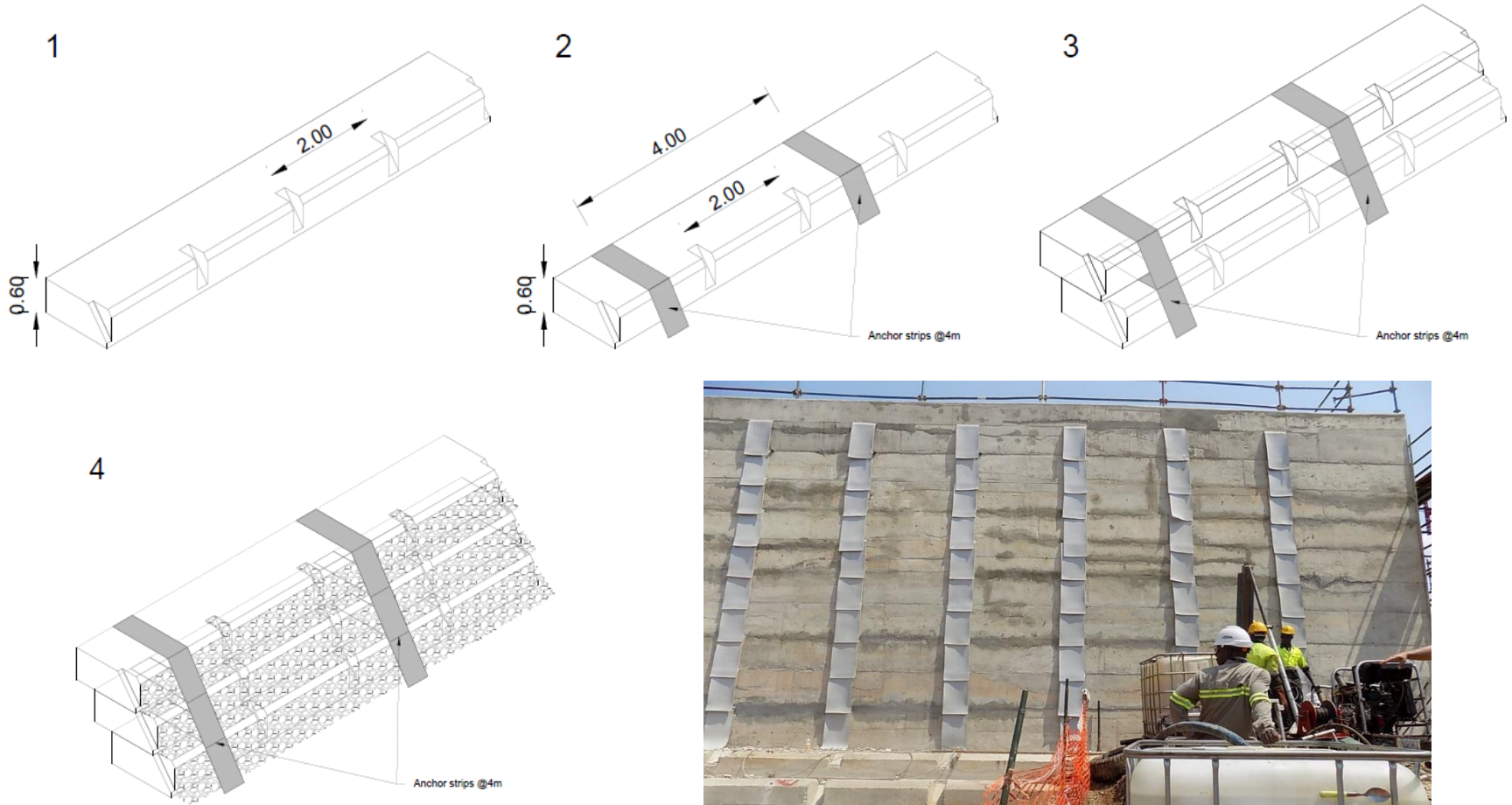


# STRISCE INSERITE NEL RILEVATO

Il sistema di ancoraggio del manto in geomembrana consiste in strisce di geomembrana, di larghezza circa 40 cm, inserite orizzontalmente in ciascun gradino (ovvero alzata) per circa 1.2 m. Le strisce emergono dal paramento di monte e sono saldate tra loro a formare linee verticali, con spaziatura 4 m nella porzione inferiore inclinata, e 2 m nella porzione superiore verticale. Il manto in geomembrana è saldato sopra le strisce.



# STRISCE INSERITE NEL RILEVATO



# DIGA DI AMBARAU



# DIGA DI AMBARAU



# STRISCE INSERITE IN CORDOLI ESTRUSI

A partire dagli anni 2000, trova un riscontro sempre più positivo tra i progettisti e costruttori, la tecnologia dei cordoli estrusi in calcestruzzo, utilizzata per la formazione del paramento di monte delle dighe CMD e le dighe in rockfill (note anche come Geomembrane Face Rockfill Dam, GFRD, bollettino ICOLD 135). Questa tecnologia è ideale per l'installazione di un manto in geomembrana in quanto fornisce una superficie liscia e stabile.



# STRISCE INSERITE IN CORDOLI ESTRUSI

La tecnologia dei cordoli estrusi è inoltre ideale per l'ancoraggio del manto in geomembrana. L'ancoraggio è realizzato posizionando su ciascuna fila di cordoli, una striscia di geomembrana, di larghezza circa 40 cm. I cordoli estrusi hanno una altezza tipicamente di 0.4-0.5 m, ovvero proporzionale alle alzate del rilevato.



# STRISCE INSERITE IN CORDOLI ESTRUSI

Le strisce emergono dal paramento di monte e sono saldate tra loro a formare linee di verticali, con spaziatura tipicamente 6-8 m.



# STRISCE INSERITE IN CORDOLI ESTRUSI

L'ancoraggio è realizzato saldando il manto in geomembrana sopra le strisce.



# DIGA DI NAM OU 6

Per dighe di notevole altezza, l'installazione del manto in geomembrana può procedere in fasi successive, impermeabilizzando prima la porzione inferiore e seguendo poi con le altre fasi in accordo con la costruzione del rilevato. Il manto installato nella porzione inferiore fornisce una immediata protezione contro le piene, riducendo dunque i requisiti idraulici del sistema di deviazione del fiume (avandiga e tunnel).



# DIGA DI NAM OU 6

Circa 35,000 m<sup>2</sup> di paramento sono stati impermeabilizzati con un manto in geomembrana in circa 60 giorni di lavoro.



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

**Marco Scarella  
Technical Manager  
CARPI TECH**

**Tel: +41 79 272 78 60  
[marco.scarella@carpitech.com](mailto:marco.scarella@carpitech.com)**