

GLI SPECIALI DI

UP!

MAGAZINE

PROGETTI | ARCHITETTURA | EDILIZIA



SPECIALE DISSESTO IDROGEOLOGICO

Dicembre 2018

BigMat
HOME OF BUILDERS

Seguici anche sui social



www.bigmat.it



SPECIALE DISSESTO IDROGEOLOGICO

Approfondimento tecnico sulle soluzioni per rispondere alle problematiche di dissesto idrogeologico che minacciano il territorio italiano. Un focus sui materiali e i prodotti da utilizzare in fase di progettazione e manutenzione.

a cura della **Redazione**

Oltre 7 milioni di persone in Italia vivono in zone a rischio idrogeologico, il 16,6% del territorio è mappato nelle classi ad alta vulnerabilità e il 91% dei Comuni è interessato da pericolosità da frana e/o idraulica. Questa la fotografia scattata nel 2018 dal *Rapporto sul dissesto idrogeologico in Italia* di ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). L'Italia è innegabilmente un territorio fragile ma ce ne ricordiamo solo al verificarsi delle ondate di maltempo, come quella che si è abbattuta dal Nord al Sud della Penisola nel mese di novembre 2018. In un contesto in cui sono sempre più lampanti gli ef-

fetti dei fenomeni meteorologici estremi, è evidente la necessità di continui interventi di manutenzione e prevenzione. In questo nuovo Speciale tecnico a cura del gruppo editoriale Wolters Kluwer in collaborazione con l'Ufficio Tecnico BigMat, si analizzano le tipologie di intervento, in linea con le Norme Tecniche delle Costruzioni 2018, per garantire la sicurezza degli edifici anche in condizioni idrogeologiche estreme. Perché se ogni anno si spendono circa 3,5 miliardi di euro in risarcimenti e riparazioni, ancora troppo poco si investe nella messa in sicurezza di quel 13% di edifici in Italia che è a elevato rischio di frane o alluvioni.

PREVENIRE E MITIGARE IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

Approfondimento tecnico per capire come interpretare il rischio idrogeologico e intervenire, sia in modo preventivo sia in emergenza, con soluzioni di ingegneria naturalistica idonee e in linea con le NTC 2018.

a cura di **Sara Frumento***, **Wolters Kluwer**, Gruppo editoriale nel mercato dell'informazione, del software e della formazione professionale, in collaborazione con l'**Ufficio Tecnico BigMat**

A cinquantacinque anni del disastro del Vajont – che nell'autunno del 1963 provocò numerose vittime e ingenti danni materiali, compresa la distruzione dei Comuni di Erto e Casso (PN) e di Longarone (BL) – l'Italia è stata per l'ennesima volta duramente colpita dal maltempo con alluvioni, frane e smottamenti che hanno interessato tutta la penisola. Incuria, cattiva gestione del territorio o eventi eccezionali?

I cambiamenti climatici sono ormai ricorrenti e caratterizzati da eventi meteorici intensi e concentrati in intervalli temporali sempre più ristretti. Il territorio e il suolo come possono sopportare adeguatamente tali sollecitazioni meteoriche? Sicuramente **occorre una ridefinizione delle opere di drenaggio e della corretta captazione delle acque** affinché i danni e i disservizi causati da fenomeni improvvisi e intensi possano essere controllati e gestiti al meglio, investendo anche risorse in una campagna di corretta educazione e sensibilizzazione della popolazione che oggi, come non mai, deve essere preparata ad affrontare questa tipologia di eventi meteorologici.

DIFESA DAL RISCHIO, PREVENZIONE E MANUTENZIONE

Gli aspetti che concorrono a **definire il rischio idrogeologico** sono:

- ▶ il numero di vittime e di beni materiali che definiscono il grado di **esposizione al rischio**;
- ▶ i relativi danni la cui entità è correlata alla capacità di un bene di

sopportare l'**intensità** di un evento, in questo caso una frana, che si manifesta attraverso una determinata **pericolosità**.

Il rischio idrogeologico rappresenta, insieme a quello sismico, una delle principali minacce che occorre mitigare. La perturbazione dell'equilibrio di un contesto territoriale, naturale o antropico, può portare al cosiddetto **fenomeno di dissesto** di cui il principale attore o elemento catalizzatore è l'acqua che, abbinata a un terreno incapace di accoglierla, provoca fenomeni quali, ad esempio, **alluvioni** e **frane**. Sia le aree urbane sia quelle rurali patiscono talvolta una **gestione non controllata del suolo e del sottosuolo**, abbinata a una manutenzione ordinaria non sempre esaustiva. Nella cronaca legata agli eventi meteorologici ricorre spesso il termine eccezionale, tale aggettivo non sarebbe così largamente impiegato se l'acqua meteorica si riversasse su un suolo ben difeso da boschi o da opere idrauliche efficaci, oppure se negli alvei fluviali non si fosse concessa l'autorizzazione a costruire. Gli eventi naturali che si trasformano in tragedie umane a causa dell'errato, inopportuno o addirittura mancato intervento preventivo da parte dell'uomo, possono essere definiti come "*calamità naturali indotte*" dall'uomo stesso, che quindi spesso ne è artefice o concausa (G. Gisotti).

La difesa dai rischi idrogeologici si impone allora in termini di:

- ▶ **prevenzione**: volta a predisporre idonee misure preventive, legislative e tecniche, allo scopo di contenere il rischio a livelli accettabili;
- ▶ **previsione**: necessaria per individuare e censire le aree potenzialmente soggette al rischio, per coprire il territorio con una rete di stazioni di rilevamento dei parametri fisici che influiscono sui dissesti;
- ▶ **mitigazione**: serve per applicare la protezione idrogeologica al territorio a rischio.

Dissesto e rischio idrogeologico sono due termini che indicano fenomeni e danni, reali o potenziali, che possono essere **causati dall'acqua superficiale e/o sotterranea** e dall'interazione di questa con il terreno e con la vegetazione, senza dimenticare la morfologia del territorio.

Il dissesto idrogeologico si può manifestare attraverso diverse tipologie di evento:

* Sara Frumento è ingegnere civile strutturista e dottore di Ricerca in Ingegneria Strutturale e Geotecnica presso l'Università degli Studi di Genova. Dopo il dottorato ha collaborato con la Fondazione Eucentre di Pavia nell'area di ricerca "Muratura e Monumenti". È stata coautrice dei volumi *Analisi sismica delle strutture murarie e Interpretation of experimental shear test of clay brick masonry walls and evaluation of q-factor for seismic design*. Oggi esercita la libera professione e dal 2016 è tecnico rilevatore per l'agibilità post sismica degli edifici ordinari e consigliere del direttivo nazionale di SIGEA. Per Wolters Kluwer è autrice del volume *Il rischio idrogeologico in Italia. Guida pratica – Cause del dissesto – Strumenti e tipologie di intervento* e dell'ebook *Terremoti e agibilità delle costruzioni postsisma*. Dal 2014 collabora con le riviste web ingegneri.info, architetto.info e geometra.info.

- ▶ **alluvione:** trasporto di materiale solido mediante il fiume o il corso d'acqua, da non confondere con il termine esondazione che invece corrisponde alla fuoriuscita delle acque di fiumi, torrenti e bacini dai propri argini, inondando le aree limitrofe poste a quote inferiori;
- ▶ **frana:** evento caratterizzato da movimenti di diversa natura di terreno e/o parti rocciose, la maggior parte dei problemi idrogeologici si ha a seguito dell'instabilità delle coltri superficiali poggiate su strati stabili di roccia;
- ▶ **erosione costiera:** diminuzione dell'apporto di trasporto solido alle spiagge a causa di incontrollati prelievi di ghiaia e di sabbia lungo l'alveo del fiume, un fenomeno largamente diffuso che produce l'arretramento di numerosi alvei costieri, l'emungimento delle falde e la realizzazione di opere interraste che alterano significativamente le falde;
- ▶ **subsidenza e sprofondamenti:** è il processo di lento abbassamento del terreno (dell'ordine di mm/anno fino a cm/anno) che, se recente, si misura confrontando le quote altimetriche del terreno rilevate in momenti diversi, attraverso livellazioni, GPS e, a partire dagli anni 2000, con le tecniche di interferometria satellitare;
- ▶ **valanghe e slavine:** la valanga è una massa di neve che si mette in moto, in modo istantaneo – a seguito della rottura, per cause naturali o accidentali, delle condizioni di equilibrio del manto nevoso presente su un pendio sufficientemente inclinato – e che precipita verso valle per effetto della forza di gravità e in condizioni di scarso attrito (G. Galatà, 2017).

LA DEFINIZIONE DEL RISCHIO COME STRATEGIA DI INTERVENTO

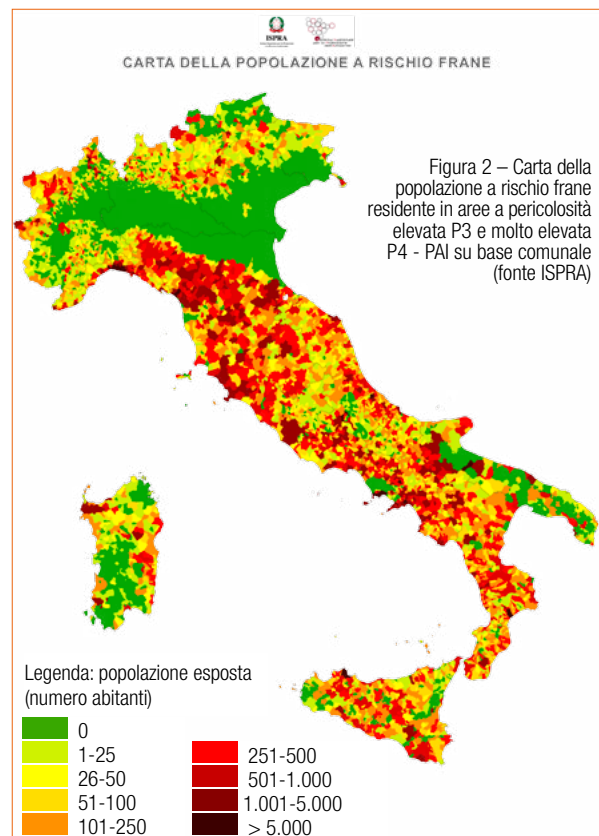
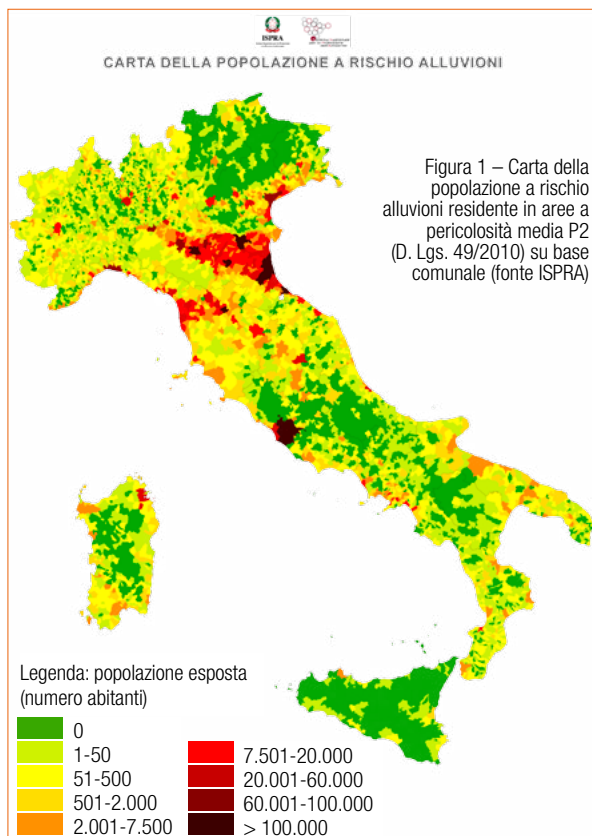
La scelta di adottare determinate soluzioni d'intervento, piuttosto che altre, deriva dalla **stima del grado di rischio** (R, combinazione di probabilità e gravità di possibili danni e perdite di vite in occasione di un evento pericoloso), che comporta a sua volta la valutazione di possibili scenari evolutivi del territorio. Il valore di R è definito attraverso il seguente prodotto:

$$R = P \times (E \times V) = P \times D$$

dove:

- ▶ **P, pericolosità dell'evento:** corrisponde alla probabilità che un fenomeno accada in una determinata area con certo tempo di ritorno e con una determinata magnitudo;
- ▶ **E, esposizione:** è la quantificazione del valore dell'elemento esposto espresso in termini monetari, del numero di persone esposte al pericolo o dei beni localizzati su una determinata area;
- ▶ **V, vulnerabilità:** è l'attitudine di un determinato elemento a sopportare gli effetti legati all'evento;
- ▶ **D, danno:** ottenuto dalla combinazione dell'esposizione (E) e della vulnerabilità (V).

Nelle Figure 1 e 2 è riportata la popolazione potenzialmente esposta a eventi alluvionali e/o franosi: in altri termini la rappresentazione a scala nazionale eseguita e riportata nel *Rapporto sul dissesto idroge-*



ologo in Italia di ISPRA (2018) corrisponde alle vite umane esposte al potenziale pericolo ma fornisce anche un'indicazione circa la priorità di intervento volta a **mitigare il rischio**. È bene, infatti, sottolineare che qualsiasi intervento operato sul territorio non potrà mai garantire l'annullamento del rischio, bensì una sua diminuzione e da qui il concetto di mitigazione.

Il Rapporto aggiorna il quadro sulla pericolosità per frane e alluvioni del territorio nazionale, presentando le nuove mosaichette realizzate da ISPRA sulla base dei dati forniti dalle Autorità di Bacino Distrettuali e, oltre all'aggiornamento dei dati su popolazione, imprese e beni culturali a rischio, contiene due nuovi indicatori relativi a famiglie e edifici. La metodologia adottata per la produzione degli indicatori risponde a criteri di trasparenza e replicabilità e restituisce i dati su base nazionale, regionale, provinciale, comunale e aggregati per macro-aree geografiche e per ripartizione dei fondi strutturali.

Secondo i principali **dati del 2018** sono **7.275 i Comuni a rischio per frane e/o alluvioni (91% del totale)**; il 16,6% del territorio nazionale è classificato a maggiore pericolosità e **1,28 milioni di abitanti sono a rischio frane mentre oltre 6 milioni sono a rischio alluvioni**.

CAUSA E MOTIVI DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO

I fenomeni più ricorrenti legati al dissesto idrogeologico corrispondono a frane e alluvioni. In alcune Regioni, ad esempio la Liguria, sono eventi che possono essere strettamente correlati e avvenire in istanti temporali consecutivi.

In entrambi questi fenomeni l'acqua svolge un ruolo fondamentale: per la **frana**, in caso di precipitazioni intense, si ha una **variazione della configurazione di equilibrio del terreno fino al collasso** ossia quando le resistenze (funzione soprattutto dell'angolo di attrito interno e della coesione) sono superate dalle azioni applicate.

A questo si aggiungono inoltre i cicli di gelo-disgelo a cui può essere sottoposto il terreno e che possono comportare la frantumazione dell'ammasso. Fattori quali il vento, l'acqua e il ghiaccio interagiscono con la coltre di terreno, parzialmente o totalmente non interessata dalla copertura vegetale, causandone la parziale o totale asportazione.

Al fine di prevenire questo fenomeno, l'azienda **TeMa** (vedi Figura 3) offre valide soluzioni mediante l'impiego di particolari **compositi tridimensionali sintetici a elevato indice di vuoti**, che consentono di proteggere il terreno prima che avvenga la crescita della vegetazione, attenuando l'evoluzione del fenomeno erosivo.

Presso i siti produttivi italiani ed esteri, TeMa produce la linea di prodotti **KMAT** per il controllo dell'erosione, ottenuta estrudendo monofilamenti di PP (polipropilene) a elevato indice di vuoti e la linea **KMat RF Metal** che abbina a una rete a doppia torsione in lega eutettica ZnAL una geostuoia sintetica in monofilamenti di PP.

Le **geostuoie** vengono installate lungo i pendii inclinati o le sponde dei corsi d'acqua, ancorandole preventivamente all'interno di una trincea di fissaggio posta in sommità alla scarpata. Il sottofondo deve essere preventivamente livellato e privo di oggetti che potrebbero danneggiare il prodotto, poi ancorato al terreno da proteggere mediante dei picchetti metallici sagomati a U.

Per le **alluvioni** la causa principale sono le precipitazioni intense: l'errata regimazione delle acque e la scarsa manutenzione del territorio unitamente alla riduzione della permeabilità aumentano la corrivazione e di conseguenza la velocità di arrivo delle particelle d'acqua ai bacini. Alluvioni e frane mettono quindi in evidenza che ci deve essere una corretta regimazione delle acque sia superficiali sia sotterranee, alla quale si aggiunge la valutazione del parametro di permeabilità del terreno, prima e dopo l'intervento di messa in sicurezza.

A questo proposito è utile riprendere la Legge regionale n. 12 del 2005 della Regione Lombardia "*Legge per il governo del territorio*", in particolare l'art. 58 bis in cui sono definite una serie di **grandezze fondamentali che occorre valutare quando si esegue un intervento di mitigazione di rischio idrogeologico**, al fine di evitare un aggravio delle condizioni idrauliche sullo stato di fatto.

In particolare giocano un ruolo fondamentale le seguenti grandezze:

- ▶ **invarianza idraulica**, cioè il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione;
- ▶ **invarianza idrologica**, il principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione;



Figura 3 – In un progetto di stabilizzazione, gli interventi geotecnici adottati, al fine di aumentare il fattore di sicurezza al di sopra dei limiti previsti per legge, sono scelti in funzione delle caratteristiche del modello fisico-evolutivo del dissesto reale o ipotetico e in relazione ai fattori predisponenti il dissesto stesso. In questo caso occorre assicurare una coltre detritica di versante, oggetto di dilavamento in occasione di eventi meteorici importanti (fonte TeMa).

Tabella 1 – Caratteristiche dei tubi corrugati (fonte Italiana Corrugati – FILDren)

Tubazioni corrugate		Vantaggi	Applicazioni
<p>DETTAGLIO dal 063 al 0125</p>  <p>fessurazione di tipo 1</p>	<p>DETTAGLIO dal 160 al 0200</p>  <p>fessurazione di tipo 2</p>	<p>Leggerezza e maneggevolezza</p>	<p>Frane</p>
		<p>Facilità di posa</p>	<p>Drenaggio terreni</p>
		<p>Elevata durabilità, versatilità e sicurezza</p>	<p>Drenaggio fondamenta nelle costruzioni</p>
		<p>Economicità</p>	<p>Captazione fluidi (percolati nelle discariche)</p>
		<p>Ideale per applicazioni in zone a forte dissesto idrogeologico</p>	

► **drenaggio urbano sostenibile**, il sistema di gestione delle acque meteoriche urbane costituito da un insieme di strategie, tecnologie e buone pratiche volte a ridurre i fenomeni di allagamento urbano, a contenere gli apporti di acque meteoriche ai corpi idrici ricettori mediante il controllo alla sorgente delle acque meteoriche e a ridurre il degrado qualitativo delle acque.

Il forte incremento delle aree urbanizzate, verificatosi a partire dal secondo dopoguerra, spesso in assenza di una corretta pianificazione territoriale, ha portato a un considerevole aumento degli elementi esposti a frane e alluvioni e quindi a un conseguente aumento del rischio. Le superfici artificiali sono passate, infatti, dal 2,7% negli anni '50 al 7,65% del 2017. L'abbandono delle aree rurali montane e collinari ha inoltre determinato un mancato presidio e manutenzione del territorio (Rapporto ISPRA, 2018).

In linea generale, si dovrà ritenere permeabile ogni superficie non rivestita con pavimentazioni di alcun genere, mentre per pavimentazioni dal carattere semipermeabile si dovrà valutare caso per caso, in sede di concessione edilizia, anche sulla base delle specifiche tecnologiche dei prodotti impiegati.

Le **opere di drenaggio** consentono la **sistemazione idrologica sotterranea del terreno**, permettendo l'eliminazione dell'eccesso di acqua, realizzando il prosciugamento dei terreni imbriferi e di quelli in cui, a causa della loro composizione e natura impermeabile, l'acqua ristagna.

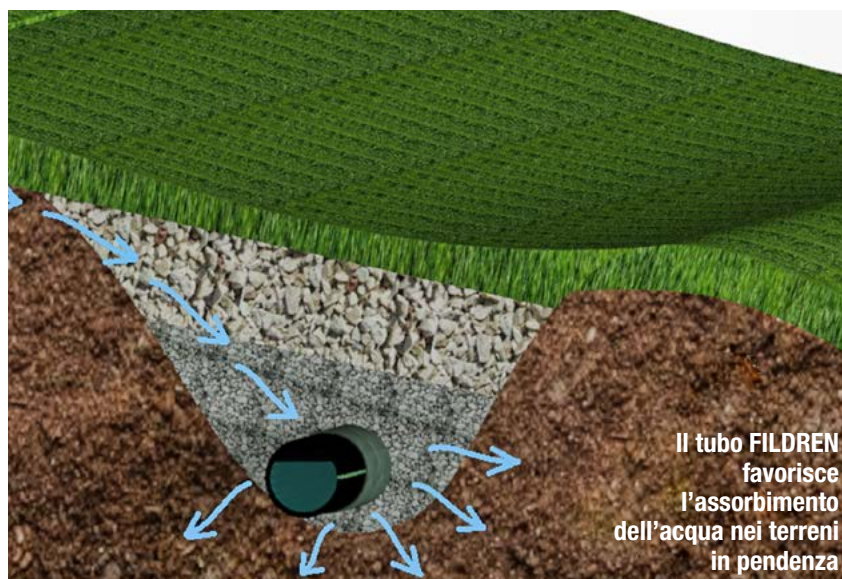
Una possibile soluzione di drenaggio corrisponde ai **tubi corrugati** a doppia parete fessurata rivestiti con fibra geotessile filtrante, in rotoli e barre per drenaggi interrati. La guaina di rivestimento svolge un effi-

cace effetto di filtrazione contro le impurità e il terreno che potrebbero otturare le fessure o penetrare nel tubo insieme ai fluidi drenati. L'azione del rivestimento assicura il mantenimento dell'efficacia drenante del tubo nel tempo. Questa soluzione risponde alle problematiche di dissesto idrogeologico, di asfissia dei terreni agricoli e sportivi, di drenaggio delle fondamenta nelle costruzioni edili, di captazione fluidi (ad esempio le discariche) e di subdispersione delle acque. Leggerezza e versatilità li rendono particolarmente idonei anche per gli interventi urgenti e in sicurezza.

Nella Tabella 1 sono riportate le peculiarità del prodotto **FILDren** di **Italiana Corrugati**, ovvero il dreno elementare che di norma è realizzato scavando dapprima una trincea a cielo aperto di profondità variabile tra 60 e 120 cm, sul fondo della quale vengono posati gli elementi di tubazione, disponendo al di sotto e nell'intorno degli stessi una matrice drenante, ghiaia o pietrisco.

I tubi corrugati in **HDPE FILDren** sono già predisposti di serie di un rivestimento in fibra geotessile filtrante del peso di 150 g/mq, che riduce il trasporto solido e favorisce l'eventuale riutilizzo dell'acqua captata. Maneggevoli e duraturi, i tubi FILDren sono disponibili in rotoli fino a diametro esterno 200 mm e in barre fino a diametro esterno 1.200 mm, un'arma ecosostenibile per la difesa del suolo.

Questo sistema, così realizzato, permette il drenaggio artificiale dei terreni mediante la costruzione di una rete di condotti sotterranei detti dreni, aventi la funzione di raccogliere e regolare il deflusso delle acque meteoriche in eccesso, che non vengono naturalmente drenate e che possono provocare problemi di diversa natura in relazione alla pendenza del terreno.



Il tubo FILDREN favorisce l'assorbimento dell'acqua nei terreni in pendenza



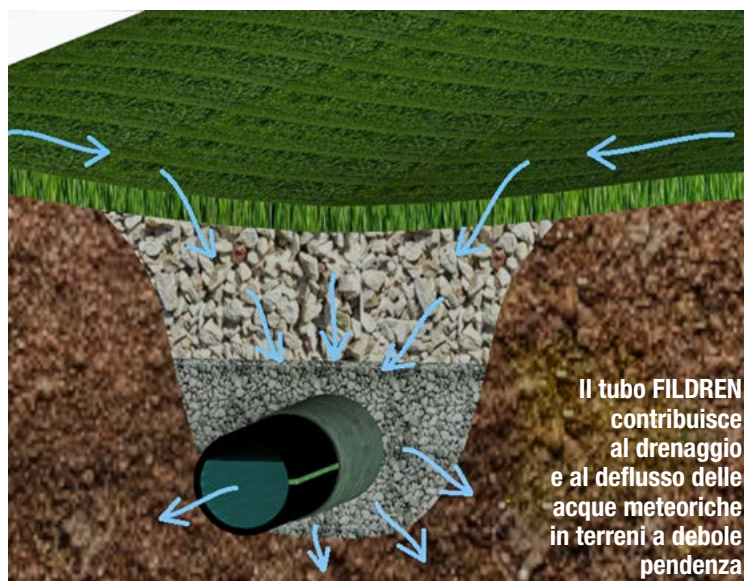
Figura 4 – Soluzione FILdren in caso di pendio

In pianura flussi troppo lenti provocano il ristagno dell'acqua, mentre, in pendio (vedi Figura 4), l'impatto delle gocce di pioggia e il ruscellamento incontrollato provocano l'erosione della componente fertile, la riduzione della riserva idrica e quindi potenziali problematiche di dissesto idrogeologico (frane, intasamento degli alvei e alluvioni).

Nel caso di terreni pianeggianti (vedi Figura 5) il sistema FILdren evita l'impaludamento e migliora lo sviluppo della vegetazione contrastando il ristagno dell'acqua e l'insorgere di condizioni di anossia dannose per le radici delle piante. In terreni a forte pendenza l'opportuna applicazione dei dreni lungo le curve di livello del pendio favorisce l'infiltrazione dell'acqua nel terreno conservandone la struttura e riducendo il trascinamento solido e l'erosione.

TIPOLOGIE DI INTERVENTO IN LINEA CON LE NTC 2018

Molti degli interventi volti a migliorare la tenuta idrogeologica agiscono sulla **stabilizzazione dei terreni e del suolo** ma anche sul **rinverdimento dei versanti** al fine di garantire una corretta regimazione delle acque e una riossigenazione dell'ambito territoriale di intervento. Una soluzione spesso abbinata all'impiego delle terre rinforzate, al fine di non stressare il sistema di drenaggio, è l'allestimento di canali di raccolta della acque piovane che talvolta possono essere convogliate in apposite vasche o piane alluvionali messe in adiacenza al corso d'acqua.



Il tubo FILDREN contribuisce al drenaggio e al deflusso delle acque meteoriche in terreni a debole pendenza



Figura 5 – Soluzione FILdren nel caso di terreni pianeggianti

Tabella 2 – Opere stabilizzanti (tratto e rielaborato da Schiechtl, Stern, 1992 e Frumento, 2014)

Metodi	Impiego	Vantaggi	Svantaggi
Talee	Consolidamento e stabilizzazione di scarpate in terra e di muri a secco	Esecuzione semplice e rapida	Nessuno
		Possibile in tempi successivi	
Graticciate o viminate	Interventi per consolidare o trattenere il terreno superficiale (piccoli smottamenti)	Effetto immediato	Tecnica dispendiosa
		Sistemazione elastica e molto drenante	Azione di rinforzo inferiore Per la realizzazione sono necessarie verghe lunghe; non tutte le specie ad elevata capacità vegetativa risultano adatte allo scopo
Fascinate vive	Drenaggio e stabilizzazione di versanti umidi e pendii franosi	Effetto di prosciugamento e di ritenuta idrica	Modesto effetto in profondità
		Molto semplice e efficace	Sensibile alla caduta di massi
Impiego di ramaglia con capacità di propagazione vegetativa	Consolidamento e rinsaldamento di argini, rilevati e scarpate in trincea	Semplice esecuzione meccanizzata	Nessuno
		Buon effetto in profondità	
		Impiego di ogni tipo di rami	
Copertura vegetale con ramaglia	Risanamento di burroni torrentizi	Effetto durevole	Esigenza di grande quantità di ramaglia
Palizzate	Risanamento di fossi profondi e stretti	Rapida costruzione	Luci e altezze limitate
		Effetto immediato	Solo per località poco elevate

Esemplificando, gli interventi di ingegneria naturalistica possono essere applicati nelle **opere geotecniche** qui sotto descritte.

► **Rivestimento**, opere geotecniche che coprono e contemporaneamente proteggono il terreno, migliorando il bilanciamento di umidità e di calore favorendo così lo sviluppo della vita vegetale. Una possibile soluzione di copertura è la paglia che offre immediatamente una copertura efficace al terreno, la semina può avvenire in modo manuale o meccanizzato e solitamente questi metodi sono associati all'aggiunta di bioreti, di geocelle, di geostuoie e di georeti.

► **Stabilizzanti**, opere che hanno il fine di consolidare il terreno in profondità nei versanti minacciati da frane con strati di scivolamento prossimi alla scarpata. L'efficacia di questo tipo di intervento è garantita dalle radici delle piante che oltre a insinuarsi nella profondità del terreno, resistono alle sollecitazioni esterne e svolgono un'azione drenante (vedi Tabella 2). Per gli interventi di stabilizzazione dei pendii naturali, citati al § 6.3.5 dell'aggiornamento delle NTC 2018 è previsto quanto segue: "Il progetto degli interventi di stabilizzazione deve comprendere la descrizione completa dell'intervento, l'influenza delle modalità costruttive sulle condizioni di stabilità, il piano di monitoraggio e un significativo piano di gestione e controllo nel tempo della funzio-

nalità e dell'efficacia dei provvedimenti adottati. In ogni caso devono essere definiti l'entità del miglioramento delle condizioni di sicurezza del pendio e i criteri per verificarne il raggiungimento. La scelta delle più idonee tipologie degli interventi di stabilizzazione deve tener conto delle cause promotrici della frana, del meccanismo di collasso ipotizzato o in atto, dei suoi caratteri cinematici e del regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo. Il progetto degli interventi deve essere basato su specifici modelli geotecnic di sottosuolo. L'adeguatezza del margine di sicurezza raggiunto per effetto degli interventi di stabilizzazione deve essere giustificato dal progettista. Oltre alla valutazione dell'incremento di sicurezza indotto dagli interventi di stabilizzazione nei confronti del meccanismo di collasso più critico, è necessario verificare le condizioni di sicurezza connesse con altri, diversi, meccanismi di collasso, compatibili con gli interventi ipotizzati".

► **Combinare**, sono opere ausiliarie alle precedenti e consistono in interventi di difesa dall'erosione, di sostegno dei pendii instabili e di consolidamento di alvei torrentizi e fluviali. Tra questi interventi ci sono, ad esempio, i muri a secco o a scogliera e le gabbionate (vedi Tabella 3 a pag. 44).

Tabella 3 – Opere combinate (tratto e rielaborato da Schiechl, Stern, 1992 e Frumento, 2014)

Metodi	Impiego	Vantaggi	Svantaggi
Muri a secco o scogliera	Consolidamento lineare di scarpata o di frane aventi modesta superficie	Esecuzione semplice	Altezza costruttiva limitata
		Permeabilità idrica	
		Facilità di riparazione	
Cuneo filtrante	Sostegno di scarpate labili	Economico	Difficile rinverdimento successivo
		In armonia con la natura	Servono sassi e pietrisco grossolano
Gabbionate	Consolidamento lineare al piede del pendio di scarpate bagnate o franose	Esecuzione rapida e semplice	Difficile rinverdimento successivo
		Permeabilità idrica	Altezza costruttiva limitata
		Elasticità	
Terrazze rinforzate con geotessili, geogriglie	Sostegno di scarpate labili, ideale per scarpate ripide con limitato spazio a disposizione	Effetto immediato	A volte sensibile ai raggi UV
		Elastico	
		Si adatta bene al terreno	Altezza costruttiva limitata
		Impiego del materiale esistente	
Muri cellulari in legno o in calcestruzzo	Consolidamento lineare al piede del pendio di scarpate bagnate o franose	Rapido consolidamento	Altezza costruttiva limitata se in legno
		Permeabilità idrica	Peso elevato se in calcestruzzo
		Elasticità e lunga durata	Trasporto dei materiali
		Elevata capacità di carico nonché notevoli altezze se in calcestruzzo	Limitato adattamento al terreno se in calcestruzzo
Grata a camera di legname e di talee	Consolidamento di scarpate ripide e alte	Effetto immediato	Nessuno
		Molteplici possibilità di variazione	
Canalette in pietrame e legname	Drenaggio e regolazione delle acque superficiali	-	-
Chiodature nel terreno	Consolidamento di scarpate, di rilevati, di pendii franosi e fronti di scavo in terreni sciolti o rocce alterate	Effetto immediato	Lunga durata costruttiva difficile da garantire
		Nessuna esigenza di pista di servizio	
		Tempi esecutivi ridotti	Attrezzature sofisticate
		Consistente profondità di consolidamento	

► **Drenaggio o prosciugamento biotecnico**, opere per i grandi prosciugamenti e i corsi d'acqua ripidi con portata idrica permanente che richiedono degli interventi costruttivi puramente tecnici quali cunicoli, pozzetti, cunette e drenaggi. Per i corsi d'acqua più modesti, invece, si sfrutta con vantaggio la proprietà della vegetazione, che deve sottrarre al terreno l'elevato consumo idrico per i suoi processi vitali. Tra i metodi ricorrenti dell'ingegneria naturalistica vi sono: i prosciugamenti con specie vegetali "pompanti", i fossi con zolle, il drenaggio con fasciname vivo, il drenaggio con stangame vivo e il muro a secco.

Le NTC 2018, come le precedenti NTC 2008, **distinguono le opere geotecniche in diverse categorie** in funzione dell'impiego e inquadrano le opere di sostegno (§ 6.5) come quelle strutture rientranti nella seguente distinzione:

- **muri**, per i quali la funzione di sostegno è affidata al peso proprio del muro e a quello del terreno direttamente agente su di esso, ad esempio muri a gravità, muri a mensola, muri a contrafforti (Verifiche in condizioni non sismiche: § 6.5.3.1.1);
- **paratie**, per le quali la funzione di sostegno è assicurata principalmente dalla resistenza del volume di terreno posto innanzi l'opera e



da eventuali ancoraggi e puntoni (Verifiche in condizioni non sismiche: § 6.5.3.1.2);

- **strutture miste**, che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento.

Nella Figura 6 è illustrato il muro di sostegno in terra rinforzata realizzato a Magisano (CZ) a servizio della nuova stazione elettrica GRTN. Il muro è stato realizzato con il **sistema TENAX RIVEL**: l'altezza totale dell'opera è di 18 m e presenta 3 balze per un più naturale inserimento nel paesaggio. Al di sopra delle terre rinforzate è stato realizzato un piazzale di circa 5.000 mq per la costruzione delle strutture operative della stazione di trasformazione.



Figura 6 – Realizzazione di terre rinforzate (fonte TENAX)

Per mitigare l'impatto sull'ambiente circostante, le opere sono state completate con interventi di rinverdimento e di regimazione delle acque superficiali; la facciata inclinata a 65 gradi rispetto all'orizzontale consente di ottenere un ampliamento dell'area in sommità rispetto a un pendio con inclinazione naturale.

La posa del sistema TENAX RIVEL non richiede manodopera specializzata o mezzi speciali, anche un'impresa che si avvicina per la prima volta a questo tipo di soluzione è in grado di realizzare una terra rinforzata senza difficoltà. I componenti che vengono forniti – le geogriglie di rinforzo estruse in HDPE, i biofeltri per il rinverdimento e i casseri di guida e supporto – sono facilmente movimentabili a mano o con i mezzi d'opera ordinari presenti in cantiere. A differenza dei classici muri in c.a. una volta completata l'opera non è necessario aspettare i tempi di maturazione del calcestruzzo.

Infine per quanto concerne i manufatti realizzati in materiali sciolti – quali i rilevati paramassi, gli argini di difesa per fiumi, canali e litorali, i rinfianchi, i rinterrati, i terrapieni, le colmate e gli scavi per la formazione di piazzali e/o trincee – va segnalato che, come indicato nelle NTC 2018: *“Le norme si applicano alle opere e alle parti di opere di materiali sciolti con specifiche funzioni di drenaggio, filtro, transizione, fondazione, tenuta, protezione ed altre. Gli sbarramenti di ritenuta idraulica di materiali sciolti sono oggetto di normativa specifica”*.

Viene poi aggiunto che *“La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive, al termine della costruzione e in esercizio.*

Le verifiche locali devono essere estese agli elementi artificiali di rinforzo eventualmente presenti all'interno ed alla base del manufatto, con riferimento anche ai problemi di durabilità. Nel caso di manufatti su pendii si deve esaminare l'influenza dell'opera in terra sulle condizioni generali di sicurezza del pendio, anche in relazione alle variazioni indotte nel regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo.

Se l'opera ha funzioni di ritenuta idraulica, lo stato limite ultimo è da verificarsi con riferimento alla stabilità dei paramenti, in tutte le possibili condizioni di esercizio. Si deve porre particolare attenzione alle problematiche relative al sifonamento ed all'erosione, in relazione alle caratteristiche dei terreni di fondazione dei materiali con i quali è realizzata l'opera”.

Nella Tabella 3 sono riportate le tipologie di intervento che prevedono l'abbinamento della vegetazione alla struttura portante con diverse soluzioni previste che approfondiamo qui di seguito indicando le peculiarità dei metodi previsti.

LE PROTEZIONI DALLA CADUTA DEI MASSI

Il **distacco e la caduta di masse rocciose da pareti e versanti** costituiscono un elevato rischio geologico sia per le persone sia per le infrastrutture di vario tipo presenti sul territorio interessato dal fenomeno. In particolare, per questa tipologia di intervento è importante

svolgere una **campagna preliminare di indagini conoscitive** al fine di valutare gli aspetti di natura geologica, geomorfologia e idrogeologica caratteristici del sito in questione e per contrastare efficacemente il fenomeno di caduta. L'opera di difesa può distinguersi tra attiva, che impedisce il rotolamento, e passiva.

Se l'**opera di intervento è attiva** significa che:

- **migliora la resistenza meccanica** attraverso l'applicazione di elementi capaci di resistere a trazione quali, ad esempio, chiodi, tiranti e rivestimenti operati mediante l'abbinamento della rete metallica con il calcestruzzo proiettato;
- **riduce i fenomeni di degradazione fisica** che favoriscono il distacco di porzioni più o meno estese di roccia. Le soluzioni possono, ad esempio, corrispondere all'inserimento di reti metalliche e di un reticolo costituito da funi metalliche;
- **modifica la circolazione idrica sotterranea e superficiale** come la regimazione e l'intercettazione delle acque meteoriche oppure l'allestimento di gallerie drenanti.

Rientra invece nella **tipologia passiva** la **barriera paramassi** che può essere di due tipi:

- **rigida**, barriera poco deformabile, pesante e di notevoli dimensioni che è capace di contrastare elevate intensità di impatto, è realizzata in calcestruzzo armato con o senza contrafforti opportunamente ancorati al terreno nel suo strato rigido;
- **elastica**, barriera deformabile e spesso abbinata ad altri sistemi di difesa passiva quali le valli e i rilevati paramassi, è leggera e si installa rapidamente anche in zone impervie o di difficile accesso.

In Figura 7 è proposta la soluzione utilizzata per proteggere l'area camping di Antey (AO), realizzata con il sistema **TENAX RIVEL**: una barriera paramassi in terra rinforzata con facciata rinverdita che, a differenza delle classiche barriere metalliche consente un inserimento nel paesaggio senza interromperne la continuità naturale. Certificato per energie d'impatto fino a 7.000 kJ, il sistema TENAX RIVEL è stato



Figura 7 – Barriera paramassi (fonte TENAX)



sottoposto a una serie di test in scala reale con masse d'impatto fino a 13,5 tonnellate e una velocità d'impatto di 120 km/h. I test hanno dimostrato che le barriere paramassi realizzate con il sistema TENAX RIVEL sono in grado di assorbire energie d'impatto molto elevate senza crollare, garantendo quindi sicurezza e protezione alle opere a valle. La barriera di Antey è alta 7,20 m e ha una facciata di 3.800 mq completamente rinverdita su entrambi i lati con una finitura a prato; su uno dei due lati in testa è stata realizzata una rampa di accesso alla sommità in modo da consentire la manutenzione del verde.

Le gabbionate

Le gabbionate sono **opere di sostegno modulari** costituite da elementi a forma di parallelepipedo in rete a doppia torsione, tessuta con trafilato di acciaio o filo zincato elettrosaldato e riempite con pietrame. La struttura modulare è realizzata con tecniche costruttive semplici e rapide e la rete metallica è costituita da filo di acciaio protetto con zincatura forte o con lega di zinco-alluminio (Galfan) ricoperto da una guaina in PVC, atto ad aumentare la resistenza alla corrosione.

Per il riempimento dei gabbioni possono essere utilizzati i materiali lapidei disponibili in loco o nelle vicinanze, con conseguente risparmio di tempo e costi, purché abbiano caratteristiche granulometriche e peso specifico tali da soddisfare le esigenze progettuali e garantire l'efficienza dell'opera. Più comunemente sono usati materiali detritici di grossa pezzatura, alluvionale o di cava (ciottoli e pietrame).

Il pietrame deve essere non gelivo, non friabile e di buona durezza. Le gabbionate devono essere riempite con cura utilizzando pezzature di pietrame diversificate in modo da minimizzare la presenza di vuoti. Nel caso dei **gabbioni di contenimento** si tratta di blocchi modulari di pannelli in rete elettrosaldato che possono essere riempiti con rocce, sassi o cemento sbriciolato. I gabbioni, normalmente riempiti una volta installati, possono essere posizionati a materasso come rinforzo di argini e pareti oppure impilati verticalmente a creare muri di protezione.

La loro caratteristica rigidità li rende idonei a formare strutture di elevata altezza e autoportanti. Grazie alle maglie aperte e alla loro estrema **flessibilità** i gabbioni possono essere utilizzati per la **realizzazione di opere spondali**, di **consolidamento** dei corsi d'acqua e dei bacini idrici, in opere di miglioramento paesaggistico e come muri di sostegno.

Le terre rinforzate

Un'altra soluzione sono le terre armate o rinforzate, un **sistema di miglioramento delle caratteristiche del terreno** che ha origini antichissime e che è stato ripreso e perfezionato, in chiave moderna. L'applicazione è estremamente variegata e i principali impieghi sono:

- ▶ rilevati stradali e ferroviari;
- ▶ ripristino e consolidamento di un terreno franato in ambito stradale;
- ▶ realizzazione di rampe di ascesa e discesa dai cavalcavia;
- ▶ rialzi arginali di canali o fiumi;
- ▶ barriere paramassi;
- ▶ allargamento di parcheggi sopraelevati;
- ▶ realizzazione terrazzamenti in terreni coltivati a vigneti;
- ▶ consolidamento del terreno all'imboccatura dei tunnel.

I materiali, oggi in commercio, sono numerosi e con caratteristiche meccaniche e di durabilità che possono essere molto diverse, anche in funzione dell'impiego. **La progettazione corretta delle terre armate** non può prescindere dalle considerazioni illustrate qui a seguire (*Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, edizione 2002).

- ▶ **Definizione della resistenza del rinforzo** considerando gli effetti del danneggiamento, aggressione fisico-chimica-biologica, effetti degli allungamenti dovuti a deformazioni viscosi (*creep*). La resistenza andrà scelta in relazione alla vita di progetto dell'opera.
- ▶ **Definizione delle caratteristiche di interazione del geosintetico** sia in relazione all'estrazione dal terreno sia allo scorrimento di questo sul rinforzo (per geogriglie e geotessuti).
- ▶ **Definizione delle caratteristiche di resistenza al taglio e di compressibilità** del terreno che si dovrà usare per la costruzione dell'opera. Questo normalmente comporta l'individuazione della granulometria e delle modalità di addensamento del terreno (umidità ed energia di compattazione).
- ▶ **Definizione del tipo di paramento** e nel caso di terre rinforzate rinverdibili prevedendo sempre un inerbimento adeguato e quando possibile (se non vi sono interferenze con altre strutture) e imponendo l'inserimento di piante arbustive nella struttura.
- ▶ **Conduzione di verifiche di stabilità interna e d'insieme struttura-terreno adiacente.**

L'effetto che si genera all'interno della struttura composita (terreno-rinforzo), dipende prevalentemente dalla rigidità flessionale del rinforzo impiegato. L'inclusione di elementi flessibili, quali le geogriglie, determina l'insorgere di tensioni di natura tangenziale, per effetto

dell'attrito che si genera all'interfaccia tra i due materiali (terreno-geosintetico).

Un esempio applicativo è fornito dal sistema **TENAX RIVEL**: alle ore 7.18 del 28 luglio 1987 una frana di 40 milioni di mc di materiale si staccò dal monte Zandila in Valtellina precipitando a valle a una velocità di 400 km/h, travolgendo e distruggendo completamente gli abitati di Sant'Antonio Morignone e Aquilone (frazioni di Valdisotto, SO). La frana risalì sul versante opposto, instabilizzando la parete e tagliando in due la parte alta della Valtellina.

La sistemazione della frana ha previsto opere di notevoli dimensioni tra cui una **terra rinforzata con il sistema TENAX RIVEL, che ancora oggi è la più alta in Europa** (vedi Figura 8).

Sono state realizzate 6 balze da 10 m per un'altezza totale di 60 m e una facciata di quasi 25.000 mq; per la costruzione è stato impiegato il materiale proveniente dalla frana e tutta l'opera è stata progettata internamente dalla Divisione Geosintetici di TENAX.

La sistemazione della parete instabile con il sistema TENAX RIVEL ha consentito di garantire la sicurezza del versante e ricostruire il tratto della strada SS 38 che era stato sepolto al di sotto della frana.

A distanza di anni dalla realizzazione i sopralluoghi e i test sui materiali hanno confermato la stabilità dell'opera e del versante a monte.

Nel caso di inclusioni rigide, come ad esempio barre e profilati metallici, l'interazione tra i due materiali determina l'insorgere non solo di sollecitazioni di tipo tangenziale, ma anche stati tensionali di tipo flessionale e di taglio.

Per quanto attiene ai soli **rinforzi di tipo "flessibile"**, affinché ci sia effettiva sinergia tra i due materiali e possa quindi registrarsi il trasferimento di carico dal terreno al rinforzo, è necessario che il rinforzo disponga di **alcune caratteristiche**, quali ad esempio:

- ▶ **idonee caratteristiche di resistenza a trazione e rigidità;**
- ▶ **impiego di materie prime (polimeri)** in grado di poter resistere



Figura 8 – Realizzazione di rilevati in terra rinforzata (fonte TENAX)

anche in condizioni chimico fisiche aggressive, quali agenti chimici e il pH del terreno;

- ▶ disporre di una **struttura geometrica adeguata** per poter sviluppare al meglio l'effetto stabilizzante.

Anche il terreno deve disporre di **opportune caratteristiche**, per poter interagire al meglio con l'elemento geosintetico. In particolare, occorrerà porre particolare attenzione alle seguenti grandezze:

- ▶ la **granulometria**;
- ▶ lo **stato di addensamento**;
- ▶ le **resistenze al taglio e il fenomeno della dilatanza**.

Per assolvere alle caratteristiche di progetto e realizzare un'opera consona al contesto territoriale di inserimento occorre, come previsto dalle NTC 2018 provvedere al recupero delle seguenti **informazioni propedeutiche al progetto** (vedi Figura 9):

- ▶ **indagini geognostiche** relative all'area su cui si è ipotizzata la realizzazione della struttura;
- ▶ **rilievi planoaltimetrici**;
- ▶ **sezioni significative** circa lo stato di fatto;
- ▶ **geometria della futura opera** (in termini di inclinazione del fronte, altezza, suddivisione in più balze, pendenza della parte sommitale);
- ▶ **carichi esterni applicati alla struttura** (carichi sommitali nel caso si debba prevedere un parcheggio oppure una strada);
- ▶ **classificazione sismica**;
- ▶ **caratteristiche geotecniche** (angolo di attrito interno, coesione e peso specifico) del terreno a tergo la futura opera, del terreno di fondazione, del terreno di riempimento;
- ▶ **presenza di falde sospese o infiltrazioni** di altra natura.

Bonifica delle discariche

È possibile estendere il **metodo delle terre rinforzate anche alla bonifica delle discariche**. Le NTC 2018, per quanto concerne il progetto di queste aree, prevedono quanto segue: *"Il progetto delle discariche deve essere basato sulla caratterizzazione del sito, con una chiara definizione delle modalità costruttive e di controllo dei diversi dispositivi di barriera, tenendo conto della natura dei rifiuti, della vulnerabilità ambientale del territorio e dei rischi connessi con eventuali malfunzionamenti. La caratterizzazione geologica e geotecnica deve essere finalizzata alla identificazione della natura dei terreni e degli ammassi rocciosi presenti nell'area e dello schema di circolazione idrica del sottosuolo, nonché alla valutazione di tutte le grandezze fisicomeccaniche che contribuiscono alla scelta della localizzazione dell'opera (comprensiva delle aree di deposito, di servizio e di quelle di rispetto), alla sua progettazione e al suo esercizio. È in particolare necessario il preventivo accertamento della presenza di falde acquifere, di zone di protezione naturale, del rischio sismico e di inondazione, del rischio di frane o di valanghe e di fenomeni di subsidenza. Il progetto dovrà definire in dettaglio le modalità costruttive e di controllo delle barriere previste dalla specifica normativa di settore"*.

Nell'ambito della bonifica dei siti contaminati e delle discariche da risanare, **TeMa** (vedi Figura 10) propone sul mercato dei sistemi tridimensionali sintetici in grado di limitare l'impiego di ingenti quantità di materiale inerte che abitualmente si utilizza per la captazione e la gestione delle acque meteoriche di infiltrazione.

I materiali tridimensionali sintetici della linea **QDrain** di TeMa per il drenaggio delle acque sono concepiti secondo la tecnologia di estrusione di monofilamenti di PP e secondo la metodica industriale delle membrane alveolari.



Figura 9 – Nella progettazione della discarica deve essere verificata la compatibilità dei materiali scelti con la normativa di riferimento (TeMa)



Figura 10 – Bonifica con misure di sicurezza, ripristino ambientale e recupero del sito contaminato ex – Biessefin in Friuli Venezia Giulia (fonte TeMa)

Il controllo in stabilimento e la qualità delle materie prime consentono di garantire prestazioni certe e durature nel tempo, consentendo di preservare risorse sia naturali sia finanziarie, abbattendo i tempi di realizzazione dell'intervento.

Sempre le NTC 2018 specificano che: *“In particolare, devono essere definite le prove di qualificazione del materiale impiegato, le modalità costruttive, in termini di spessore degli strati da porre in opera, e i metodi di compattazione. Il progetto deve, inoltre, definire il numero e la frequenza delle prove di controllo da eseguire in sito e in laboratorio durante la costruzione delle barriere. In ogni caso, sulla barriera finita dovranno essere previste specifiche prove di controllo della permeabilità, in numero adeguato da consentire la valutazione del raggiungimento o meno*

dei requisiti richiesti dalla specifica normativa di settore. La stabilità del manufatto e dei terreni di fondazione deve essere valutata mediante specifiche analisi geotecniche, riferite alle diverse fasi della vita dell'opera. In particolare, deve essere verificata la stabilità e la deformabilità del fondo, per garantire nel tempo l'efficacia e la funzionalità del sistema di raccolta del percolato, la stabilità globale e la stabilità delle pareti laterali. In particolare, nel caso di barriere composite, devono essere valutate le condizioni di stabilità lungo superfici di scorrimento che comprendano anche le interfacce tra i diversi materiali utilizzati. Nelle verifiche che interessano il corpo della discarica, si devono attribuire ai materiali di rifiuto parametri che tengano conto della composizione del rifiuto medesimo e dei metodi di pretrattamento e costipamento adottati nonché dei risultati di specifiche prove in sito o di laboratorio”. **!**

RICEVI UP! GRATUITAMENTE

Per ricevere **gratuitamente** UP! Magazine, iscriviti su **www.bigmat.it** oppure restituisci questo coupon a **info@bigmat.it** oppure via fax allo 02 95341232.

Nome.....Cognome.....

Professione.....

Indirizzo a cui ricevere UP! - Via/P.za.....N°.....

C.A.P. CittàProv.

E-mail.....

Informativa privacy: Dichiaro di aver letto l'informativa sul sito www.bigmat.it e sono consapevole che il trattamento dei dati è necessario per ricevere gratuitamente all'indirizzo indicato i prossimi numeri di UP! Magazine. Accetto

Trattamento dati: Autorizzo BigMat Italia al trattamento dei miei dati per usufruire del servizio richiesto. Accetto
 Autorizzo inoltre al trattamento dei dati per ricevere newsletter tecniche e promozionali da BigMat. Accetto

Data Firma



BIG

CLAUDIO

I TUOI PROGETTI SU UP!

Per far conoscere le tue realizzazioni ai lettori di UP!
manda una tavola riassuntiva con una foto e un abstract
di un tuo progetto a press@bigmat.it

Se il tuo progetto verrà selezionato dalla redazione,
riceverai gratuitamente 50 copie di UP! Magazine,
Progetti | Architettura | Edilizia.



22.000 copie distribuite in oltre
190 Punti Vendita in Italia
e scaricabile anche online.

BigMat
HOME OF BUILDERS

Seguici anche sui social



www.bigmat.it