

GLI ANCORAGGI PASSIVI PER LA STABILIZZAZIONE DI FRANE E VERSANTI

Tecnologia e progettazione, aspetti normativi, campi di applicazione, ricerca e sviluppo

ING. ALBERTO BISSON, PH.D. Sirive Srl

con la collaborazione di Lorenzo Brezzi e Simonetta Cola (DICEA Unipd)

INTRODUZIONE

CV RELATORE

1987	Anno di nascita
2011	Laurea magistrale in Ingegneria Civile, Padova
2013	LARAM International School
2015	Dottorato di ricerca in ingegneria geotecnica, Università di Padova
2015-17	Ricercatore post dottorato, Università di Padova
2017	POR Regione Veneto



□ Dal 2018 Responsabile progetti ricerca e sviluppo, Sirive Srl

trasferimento ricercatori in azienda

- Premio AGI per la migliore memoria tecnico-scientifica CNG 2014
- Premio FOIV 2017 'Prevenzione e recupero ambientale' per tesi di dottorato

IL GRUPPO SIRIVE-DALLA GASSA

DIVISIONI E STRUTTURA





ANCORAGGI PASSIVI

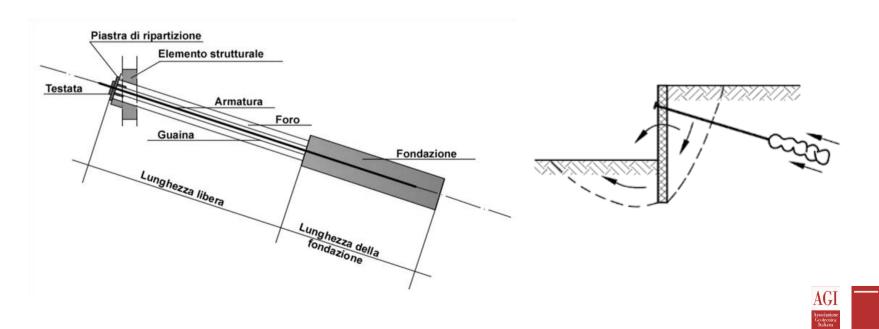
Dall'ancoraggio geotecnico tradizionale alle barre cave autoperforanti:

- Tecnologia
- Aspetti normativi
- Focus su tecnica autoperforante



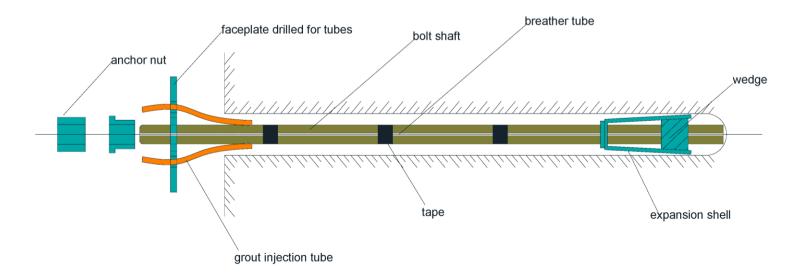
DEFINIZIONI

- ☐ Gli ancoraggi geotecnici si suddividono in tre categorie (Raccomandazioni AGI-AICAP, 2012):
 - ANCORAGGI o TIRANTI: elementi strutturali operanti a trazione, costituiti da elementi precaricati di lunghezza anche considerevole, che opportunamente collegati al terreno (tratto libero e fondazione) sono in grado di trasmettere forze di coazione ai terreni ed alle rocce.



DEFINIZIONI

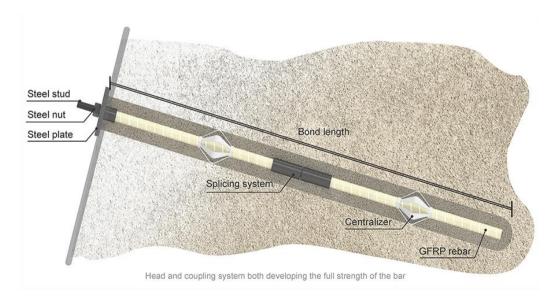
- ☐ Gli ancoraggi geotecnici si suddividono in tre categorie (Raccomandazioni AGI-AICAP, 2012):
 - BULLONI DI ANCORAGGIO: elementi strutturali caratterizzati da un elemento resistente a trazione costituito da barre di acciaio di lunghezza limitata e impiegati prevalentemente in roccia con testa di espansione e serraggio esterno.

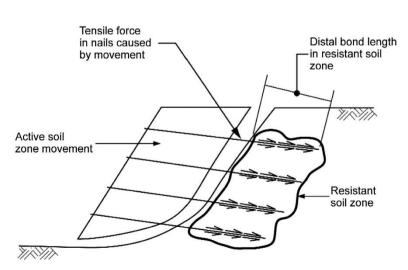




DEFINIZIONI

- □ Gli ancoraggi geotecnici si suddividono in tre categorie (Raccomandazioni AGI-AICAP, 2012):
 - CHIODI DI ANCORAGGIO o ANCORAGGI PASSIVI: elementi strutturali costituiti da barre di acciaio integralmente connesse al terreno ed operanti in un dominio di trazione e taglio; possono essere privi di dispositivi di bloccaggio esterni al foro.

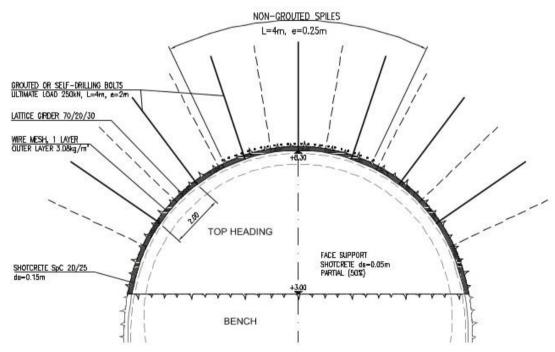






CENNI STORICI

- Lo sviluppo di sistemi di chiodatura passiva del terreno risale al 1960 con il "New Austrian Tunnelling Method", nel quale barre in acciaio venivano completamente cementate in roccia per il sostegno delle calotte di gallerie.
- Tra le varie tecnologie di esecuzione degli ancoraggi passivi, si distinguono le due principali tipologie:
 - Barra a sezione piena installata con preforo;
 - Barra cava autoperforante.





- □ II DM 17/01/2018 prescrive che tutti i materiali e prodotti impiegati a fini strutturali debbano essere provvisti di specifica attestazione che ne comprovi l'idoneità all'impiego.
- □ Si possono distinguere i seguenti tipi di prodotti (cfr. NTC 2018 par. 11.1):
- A. Materiali e prodotti ad uso strutturale per i quali sia disponibile una norma armonizzata (EN) con «Dichiarazione di prestazione» e Marcatura CE.
- Materiali e prodotti ad uso strutturale per i quali **non** sia disponibile una norma armonizzata, ma per i quali è prevista la **qualificazione nelle NTC** (es. calcestruzzo, acciaio B450C).
- C. Materiali e prodotti ad uso strutturale non ricadenti in A o B (es. materiali innovativi) che non sono citati nelle NTC. In questo caso il produttore dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base di «Valutazione Tecnica Europea» (ETA) o, in alternativa, dovrà ottenere un «Certificato di Valutazione Tecnica» rilasciato dal Presidente del C.S.LL.PP., previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal C.S.LL.PP., ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".



- □ NTC 2008, §11.5.2 Tiranti di ancoraggio
- Per quanto riguarda i tiranti permanenti e provvisori di ancoraggio per uso geotecnico, tutti i materiali e componenti utilizzati devono essere conformi alle prescrizioni contenute nelle presenti norme, per quanto applicabili.
- □ NTC 2018, §11.5.2 Tiranti di ancoraggio per uso geotecnico
- □ Ai tiranti di ancoraggio per uso geotecnico di tipo attivo e passivo si applica quanto specificato al punto C) del §11.1.[...]
- (NTC 2018, §11.1) I fabbricanti possono usare come Certificati di Valutazione Tecnica i Certificati di Idoneità tecnica all'impiego, già rilasciati dal Servizio Tecnico Centrale prima dell'entrata in vigore delle presenti norme tecniche, fino al termine della loro validità.
- Linea guida ancoraggi passivi
 Decreto del Presidente del Consiglio Superiore LL.PP. n. 411 del 27/11/2020.

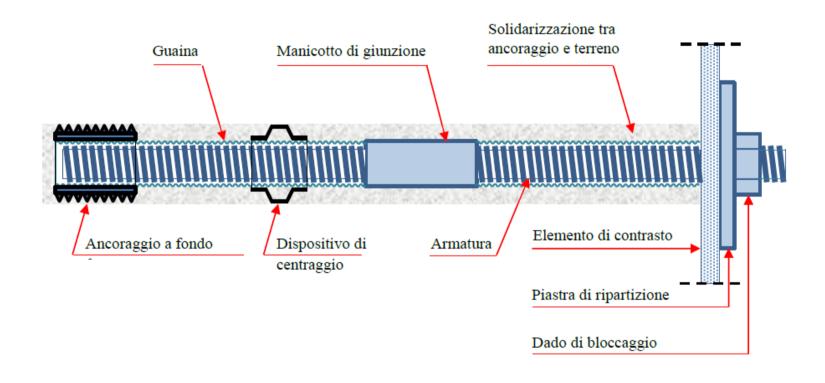


- □ Linea guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione di sistemi di ancoraggio di tipo passivo per uso geotecnico realizzati con barre piene e barre cave auto-perforanti d'acciaio (D.P.C.S.LL.PP. n. 411 del 27/11/2020)
- La presente Linea guida si riferisce [...] agli ancoraggi passivi composti da una testata di ancoraggio, dall'armatura costituita da barre piene di acciaio o da barre cave autoperforanti di acciaio e dai dispositivi di giunzione, nei quali al termine della posa in opera non è indotta una significativa forza di tesatura delle predette armature.
- §2 Per ancoraggio di tipo passivo [...] si intende un dispositivo strutturale capace di trasmettere sforzi di trazione a volumi stabili di terreno o di roccia, nel seguito entrambi indicati con "terreno". A differenza dell'ancoraggio pre-teso (tirante), l'ancoraggio passivo viene posto in opera senza o con modeste pre-sollecitazioni; le forze agenti sul dispositivo vengono quindi attivate unicamente se, e quando, si sviluppano deformazioni del terreno sostenuto dall'ancoraggio stesso. La funzione stabilizzante e, talvolta, di incremento della resistenza del terreno, si manifesta attraverso:
 - □ Forze di attrito che si sviluppano tra la superficie dell'ancoraggio e il terreno;
 - □ Forze trasmesse dalla piastra di ripartizione.



- □ §2 In relazione al tempo in cui è esercitata la funzione di ancoraggio, gli ancoraggi si distinguono in:
 - **Provvisori**: ancoraggi destinati a garantire le prestazioni di progetto in una fase costruttiva e comunque aventi vita nominale di progetto inferiore a due anni;
 - Permanenti: ancoraggi destinati a garantire le prestazioni richieste nel corso della vita nominale di progetto, quando questa è uguale o superiore a due anni.
- Gli ancoraggi devono essere costituiti da materiali idonei al mantenimento della loro funzionalità per tutta la vita nominale di progetto prevista.
- □ §3 Ai fini del rilascio del CVT di cui alle NTC 2018, i componenti e i materiali che costituiscono gli ancoraggi, indipendentemente dal tempo in cui è esercitata la funzione di ancoraggio (vita nominale di progetto), devono essere qualificati secondo la presente Linea guida e soddisfare i requisiti in essa contenuti.

ASPETTI NORMATIVI



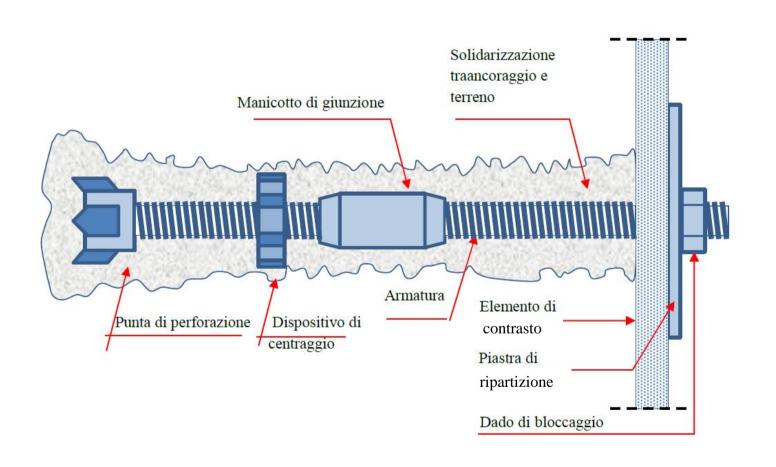
LINEA GUIDA SISTEMI DI ANCORAGGIO PASSIVO

(D.P.C.S.LL.PP. n. 411 del 27/11/2020)

Ancoraggi passivi in **barra piena e preforo**



ASPETTI NORMATIVI



LINEA GUIDA SISTEMI DI ANCORAGGIO PASSIVO

(D.P.C.S.LL.PP. n. 411 del 27/11/2020)

Ancoraggi passivi in barra cava autoperforante

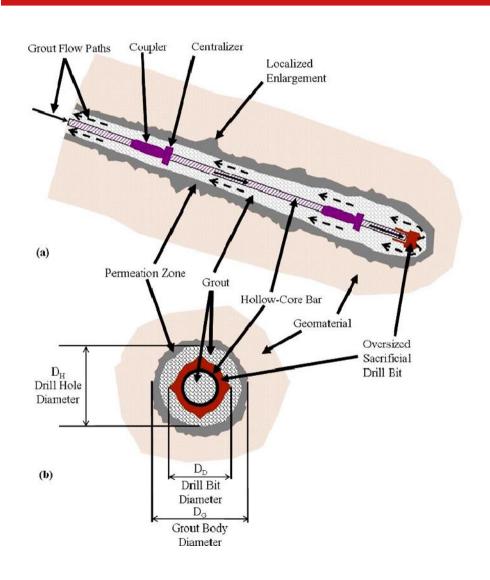


FOCUS SU TECNOLOGIA AUTOPERFORANTE

- Unità di perforazione a rotopercussione esterna con idonea testa di adduzione.
- Alla barra viene montata la punta a perdere più idonea al terreno da perforare e all'ancoraggio da ottenere.
- □ Fasi esecutive:
 - Perforazione: rotopercussione con contemporanea iniezione di boiacca utilizzata in fase di avanzamento come fluido di spurgo (rapporto a/c = 1 in fase di perforazione);
 - 2. Cementazione: raggiunta la profondità di progetto, la boiacca viene addensata con rapporto a/c=0,4 per eseguire la cementazione dell'ancoraggio.
- «La classe di resistenza della boiacca cementizia deve essere non inferiore a C20/25» (L.G. §3).



FOCUS SU TECNOLOGIA AUTOPERFORANTE



- Prerogative della tecnica autoperforante:
 - Una sola fase al posto di 3
 (esecuzione foro, inserimento barra, cementazione)
 - □ La barra autoperforante in acciaio
 è sia armatura sia elemento
 perforante
 - La barra autoperforante sostituisce i tubi di rivestimento provvisori e le aste di perforazione comunemente impiegate nelle tradizionali tecniche di installazione degli ancoraggi geotecnici



ASPETTI NORMATIVI

Barre piene di acciaio

Tabella I

Caratteristica	Classe di resistenza		
	450	670	
Tensione di snervamento $f_{y,nom}(*)$	450 N/mm ²	670 N/mm ²	
Tensione al carico massimo $f_{t,nom}$	540 N/mm ²	800 N/mm ²	
(*) In ogni caso, qualora lo snervamento non sia chiaramente individuabile, si sostituisce $f_y \operatorname{con} f_{(0,2)}$			

Barre cave auto-perforanti di acciaio

Tabella II

Caratteristica	Classe di resistenza	
	460	560
Tensione di scostamento dalla proporzionalità allo $0,2\% f_{(0,2),nom}$	460 N/mm ²	560 N/mm ²
Tensione al carico massimo $f_{t,nom}$	560 N/mm ²	670 N/mm ²

§3 – Non sono consentiti trattamenti termici dopo la lavorazione di <u>rullatura</u>, al fine di incrementare le caratteristiche meccaniche.

LINEA GUIDA SISTEMI DI **ANCORAGGIO PASSIVO** (D.P.C.S.LL.PP. n. 411 del 27/11/2020)

Ancoraggi passivi in barra piena e preforo e barra cava autoperforante



ASPETTI NORMATIVI

- Accigio dolce
- Grande allungamento a rottura $(A_{gt}=25-30\%)$ • $f_t/f_y=1,4-1,6$

Barra liscia

Filettatura

• Rullatura a freddo

- Incremento resistenza a rottura
- Incremento tensione di snervamento
- Incremento rigidezza

Incrudimento

Diminuzione duttilità

- Riduzione riserva di resistenza plastica $(f_t/f_y=1,2)$
- Riduzione A_{at} (5-8%)

- Durante la produzione l'acciaio d'origine viene modificato.
- I produttori di barre autoperforanti sono quindi «Produttori di acciaio» e non semplici ((Centri di trasformazione)).



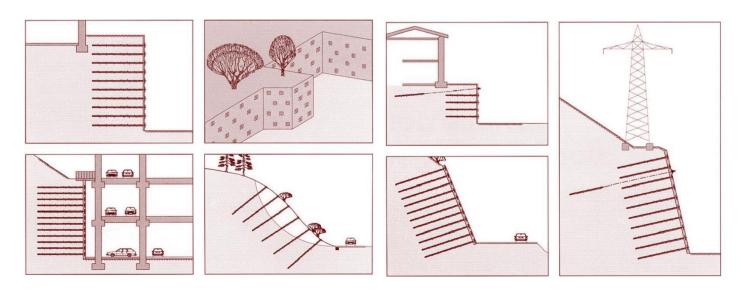
LE PARETI CHIODATE

- Realizzazione e funzionamento
- Cenni sul dimensionamento

CHIODATURE PASSIVE

IL SOIL NAILING

- Il principale impiego degli ancoraggi passivi risulta nel sostegno di scavi in terreni sciolti mediante tecnica del "Soil Nailing"
- La tecnica di rinforzo del terreno a mezzo di chiodi ("nails") denominata "Soil Nailing" consiste nell'introdurre rinforzi all'interno dell'ammasso del terreno con la funzione primaria di assorbire sforzi che il terreno non armato non sarebbe in grado di sopportare (trazione e taglio)





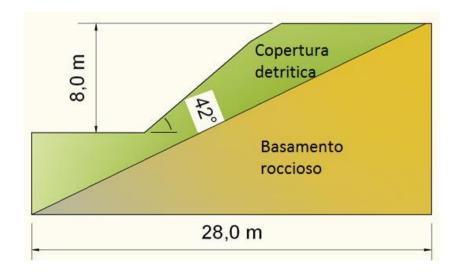
VANTAGGI DEL METODO

- Ancoraggi cementati lungo l'intero profilo (chiodature)
- Rinforzi ravvicinati e non precaricati
- □ Il rivestimento fornisce continuità
- Vantaggi della tecnologia autoperforante:
 - Esecuzione semplice e veloce
 - Incremento del diametro reso
 - Riduzione del costo
 - Adattabilità a molti tipi di terreno o roccia
 - Buona protezione alla corrosione



CONFRONTO TRA TECNICHE DI RINFORZO

- □ Stabilizzazione di un generico pendio di altezza limitata
- □ Dimensionamento dell'intervento in accordo con metodo agli stati limite (cfr. NTC 2018, ex NTC 2008)
- □ Analisi all'equilibrio limite (EL)
- Valutazione del fattore di sicurezza globale per meccanismo di instabilità globale di tipo rotazionale
- Costo al metro lineare, al netto delle spese di cantierizzazione



Formazione	Tipo di terreno	γ [kN/m³]	c' [kPa]	ф [°]
Coltre detritica	Sabbia limo-argillosa	18	5	28
Formazione di base	Ghiaia	19	0	38



CONFRONTO TRA TECNICHE DI RINFORZO

INTERVENTO	CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO	FS	Prezzo (Euro/m)	Prezzo/ΔFS (Euro)
Muro a mensola	H=5,0 m; L=3,5 m; Profondità dente=0,7 m	1,29	1694	5841
Muro in gabbioni	H=5,0 m; L=4,0 m; Pendenza base=6°	1,30	2614	8713
Muro in terra rinforzata	H=5,0 m; L=3,5 m	1,39	1360	3487
Pali singoli trivellati	H=2,0 m; Profondità=7,0 m; interasse 1,5 m; D=60 cm; armature 16Ø26	1,58	1781	3071
Muro fondato su micropali	H=2,8 m; Profondità=4,0 m; 2 linee di micropali con interasse i=0,8 m; interasse longitudinale 1,5 m; D_{ex} =114,3 mm; s=6,3 mm; ancoraggio con barra R38 ad interasse 1,5 m; L=10 m; α =25°	1,60	1420	2367
Berlinese ancorata	H=2,5 m; Profondità=4,2 m; 2 linee di micropali con interasse i=0,5 m; interasse longitudinale 0,5 m; D_{ex} =127 mm; s=8 mm; ancoraggio con barra R38 ad interasse 2,5 m; L=12 m; α = 30°	1,46	1584	3443
Soil Nailing con autoperforanti	Lunghezze delle barre = 6, 6, 6, 9 m; i_x = i_z =1,6 m; α =15°; rivestimento in rete elettrosaldata	1,39	883	2264

(Cola et al., 2012)



CONFRONTO TRA TECNICHE DI RINFORZO

- Idea di fondo: cercare un'alternativa alle tecniche «rigide» normalmente utilizzate, che presentano alcuni svantaggi:
 - Elevata rigidezza
 - Scarsa adattabilità ad eventuali spostamenti del versante
 - Elevate sollecitazioni interne
 - □ Costi elevati
 - Scarsa modularità
 - Se la forza sollecitante supera il valore di progetto si possono danneggiare, a volte irreversibilmente, perdendo il loro effetto stabilizzante
 - Necessità di una valutazione precisa delle forze agenti, ma spesso le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno non sono facilmente identificabili e controllabili

CONFRONTO TRA TECNICHE DI RINFORZO

Progettare opere rigide non risulta sempre conveniente e comporta la realizzazione di opere ad elevata resistenza i cui maggiori costi non sempre sono comparabili con i benefici prestazionali

... SE SONO ACCETTATI DEI (PUR PICCOLI) SPOSTAMENTI SULL'INTERVENTO ...



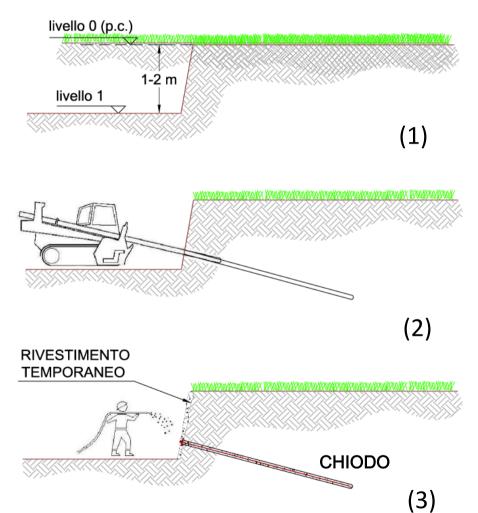
... conviene tecnicamente realizzare opere di sostegno che ammettano delle minime rotazioni e/o scorrimenti ovvero opere di tipo flessibile ...

SEQUENZA COSTRUTTIVA TOP-DOWN

1) Scavo non sostenuto di 1-2 m

2) Installazione dei **chiodi** con tecnica autoperforante

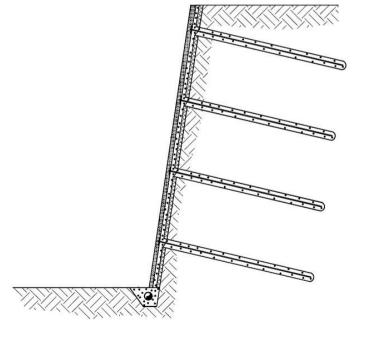
- 3) Applicazione del **rivestimento temporaneo** in **spritz-beton** e rete elettrosaldata
- 4) Scavo degli *n* livelli successivi con ripetizione delle operazioni 1, 2 e 3 e **rivestimento definitivo**





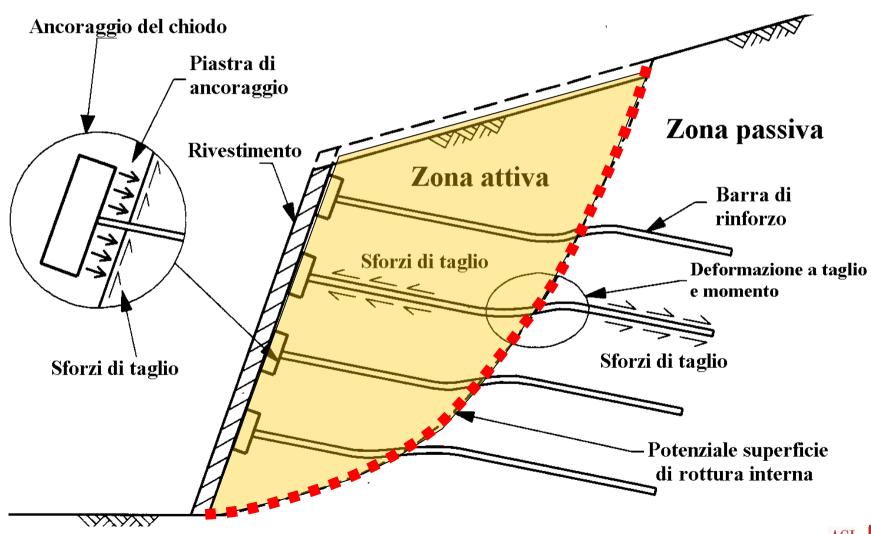
FUNZIONAMENTO DI UNA PARETE CHIODATA

- Il 'soil nailing' o 'chiodatura' è una tecnica di rinforzo dei terreni per la realizzazione di pareti di scavo sub-verticali, alternativa alle usuali tecniche di sostegno (muri, berlinesi e terre rinforzate)
- Obiettivo: sopperire alla carenza di resistenza a trazione e taglio dei terreni sciolti leggermente cementati mediante l'inserimento di elementi esterni che assorbono tale sollecitazione.
- □ Chiodi = «Nails» = Cucitura



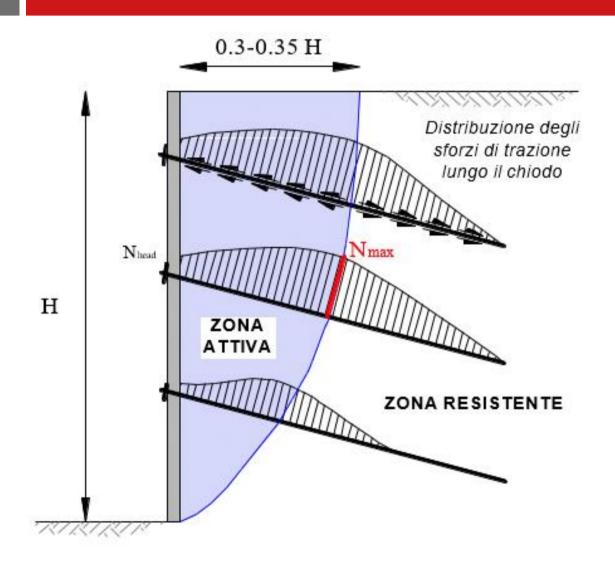


FUNZIONAMENTO DI UNA PARETE CHIODATA





MOBILITAZIONE DELLA TRAZIONE NEI CHIODI



Zona attiva: porzione in movimento verso lo scavo dove il terreno tende a sfilare la barra

Zona passiva o resistente:
porzione lontana e stabile
dove il terreno trattiene la
barra

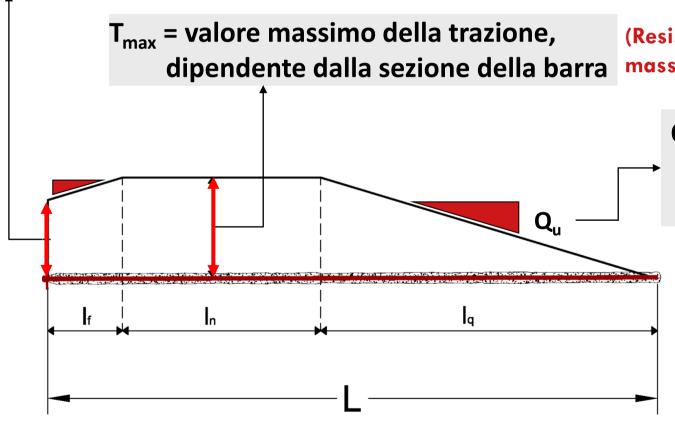
Superficie di scivolamento: quasi coincide con la linea degli N_{max}



MOBILITAZIONE DELLA TRAZIONE NEI CHIODI

T_{head} = trazione al rivestimento dipendente dalla rigidezza del rivestimento

(Resistenza a flessione/punzonamento del rivestimento)



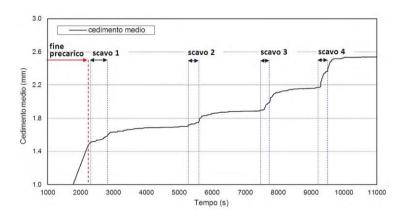
(Resistenza a trazione barra o massimo valore di attrito)

Q_u = Resistenza allo sfilamento per unità di lunghezza

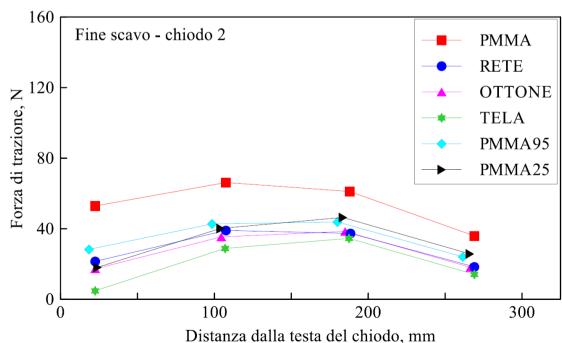
> $(Q_u = \pi D \cdot \tau_u \text{ con}$ $\tau_u = \text{Resistenza a taglio}$ chiodo-terreno)



MOBILITAZIONE DELLA TRAZIONE NEI CHIODI



Rivestimento*	EA/m (kN/m)	EJ/m (kNm²/m)
Lastra in PMMA	12800	1.71*10-2
RETE saldata in acciaio	27654	1.72*10 ⁻³
Lastra di OTTONE	31500	2.36*10 ⁻⁴
TELA in fili di acciaio	3105	1.12*10 ⁻⁵



Analisi sperimentale dell'effetto della rigidezza del paramento (Cola et al., 2013)



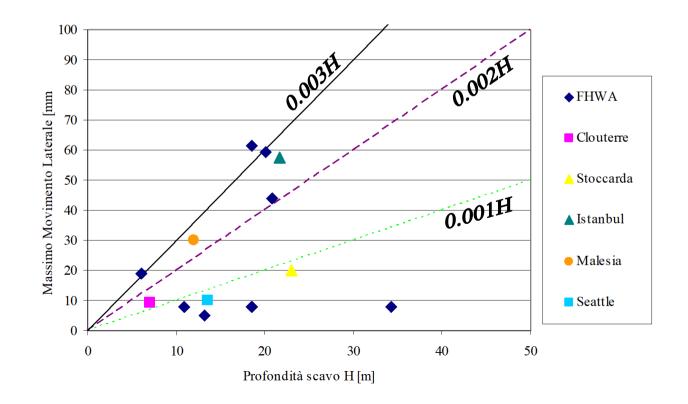
STATI LIMITE DI ESERCIZIO





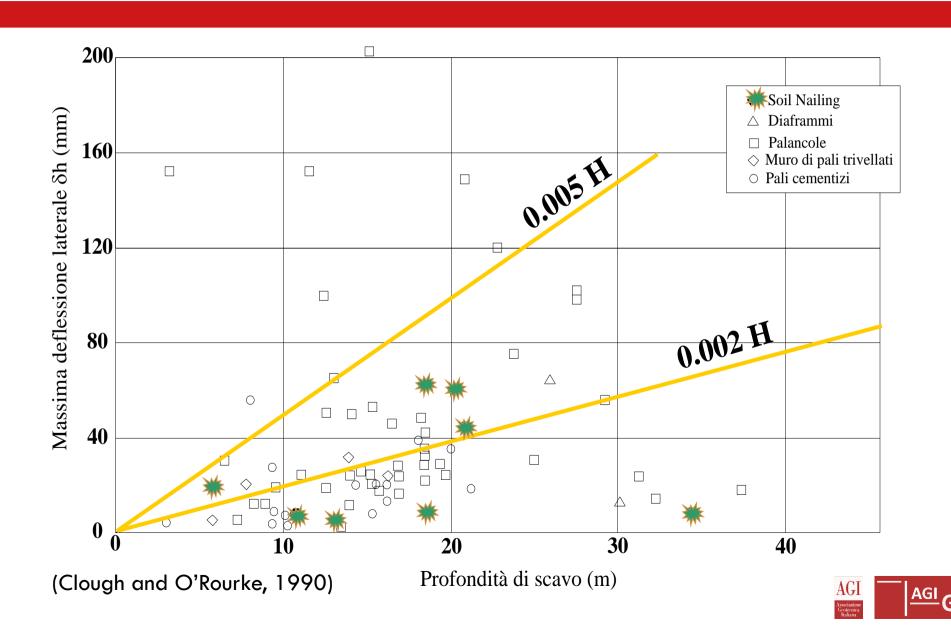
STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Rocce fratturate e			Terreni a grana	
	terreni rigidi	Sabbie	fine	
d _H e d _V	H/1000	2H/1000	3H/1000	
k	0,8	1,25	1,5	





STATI LIMITE DI ESERCIZIO



NORMATIVE E LINEE GUIDA INTERNAZIONALI

Paese	Linee Guida	
Europa EN 14490 (2010) — Execution of special geotechnical works — Soil nai		
Italia	Linea guida sistemi di ancoraggio passivo (D.P.C.S.LL.PP. n. 411 del 27/11/2020)	
USA FHWA-SA-96-069R (1996) — Manual for Design and Construction monitoring of nail walls		
USA	FHWA-NHI-14-007 (2015) — Geotechnical Engineering circular No. 7 — Soil Nail Walls — Reference manual	
Regno Unito	CIRIA C637 (2005) – Soil Nailing, best practice guidance	
Regno Unito HA 68/94 – Design Methods for the Reinforcement of Highway Slopes by Rei		
Francia	Clouterre (1991) – Recommendation Clouterre	
Hong Kong	Geoguide 7 (2008) — Guide to Soil Nail Design and Construction, Geotechnical Engineering Office	
Paesi Scandinavi	Nordic guidelines for reinforced soils and fills (2002) AGI AGI G AGI AG	

PROGETTO E VERIFICA

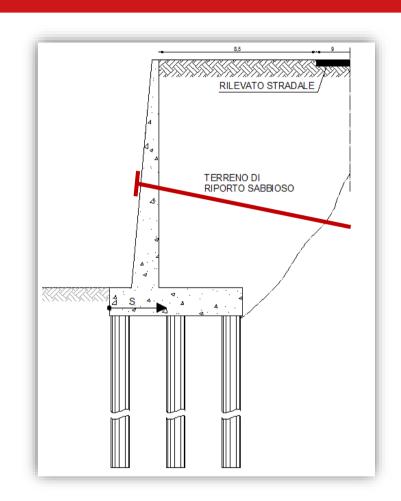
□ VERIFICA STRUTTURALE DELL'ARMATURA D'ANCORAGGIO:

$$E_d \leq R_{yd}$$
 A1 + M1 + R1

La resistenza di progetto dell'armatura di ancoraggio viene calcolata:

$$R_{yd} = R_{yk} / 1,15$$

dove il coefficiente 1,15 è il valore di γ_M che viene applicato agli «acciai da armatura» (es. strutture in calcestruzzo armato).





PROGETTO E VERIFICA

 Nel dimensionamento dei tiranti di ancoraggio è inoltre necessario eseguire la verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio.

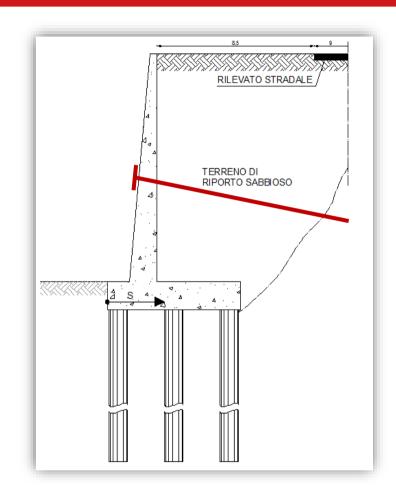
La verifica di tale condizione deve essere condotta secondo la combinazione:

$$A1 + M1 + R3$$

dove R3 risulta pari a:

- □ 1,1 se il tirante è provvisorio
- □ 1,2 se il tirante è permanente
- □ Dalla verifica deve risultare:

$$E_d \leq R_{ad}$$

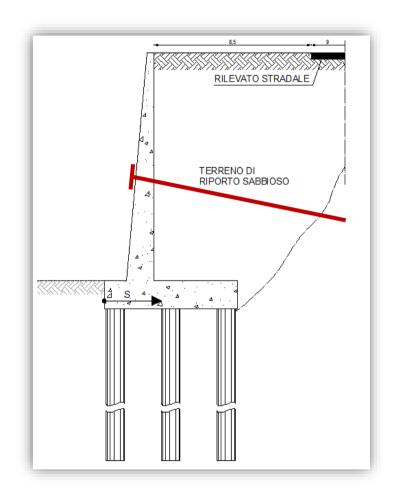




PROGETTO E VERIFICA

- Le verifiche a sfilamento da effettuare sull'ancoraggio sono due:
 - 1. verifica a sfilamento interfaccia armatura-iniezione;
 - 2. verifica a sfilamento interfaccia bulbo di ancoraggio-terreno.

Generalmente risulta dimensionante per l'ancoraggio la secondo verifica, anche se esistono particolari casi (ancoraggi in roccia, barre di ridotte dimensioni rispetto al diametro di perforazione...) in cui risulta più gravosa la prima verifica.





PROGETTO E VERIFICA

METODO 2 - Raccomandazioni AGI-AICAP (2012):

$$R_{a,c} = \pi D_s L_f q_s$$

con:

- \square $R_{a,c}$ = Resistenza limite allo sfilamento
- $\mathbf{D}_{s} = \mathbf{Diametro}$ reso reale, con $\mathbf{D}_{s} = \alpha \mathbf{D}_{d}$
- α = Coefficiente maggiorativo del diametro di perforazione funzione del tipo di terreno, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione (da tabella, considerare IGU per autoperforanti)
- \Box L_f = Lunghezza barra in zona resistente
- q_s = Resistenza limite unitaria (da Bustamante & Doix, 1985)

PROGETTO E VERIFICA

	Valori di α		
Tipo di terreno	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 – 1,4	
Ghiaia sabbiosa	1,6 – 1,8	1,2 – 1,4	
Sabbia ghiaiosa	1,4 – 1,5	1,2 – 1,3	
Sabbia grossa	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2	
Sabbia media	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2	
Sabbia fine	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2	
Sabbia limosa	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2	
Limo	1,4 – 1,6	1,1 – 1,2	
Argilla	1,8 – 2,0	1,2	
Marne	1,8	1,1 – 1,2	
Calcari marnosi	1,8	1,1 – 1,2	
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 – 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,8	1,1	

Con la tecnica di perforazione **autoperforante**, in accordo con Cadden et al. (2010; FHWA, 2015) si possono conservativamente adottare i valori del **coefficiente** maggiorativo α della colonna IRS per i terreni di tipo granulare (sabbie e ghiaie) e i valori della colonna IGU per i terreni fini (limi e argille) e le rocce.



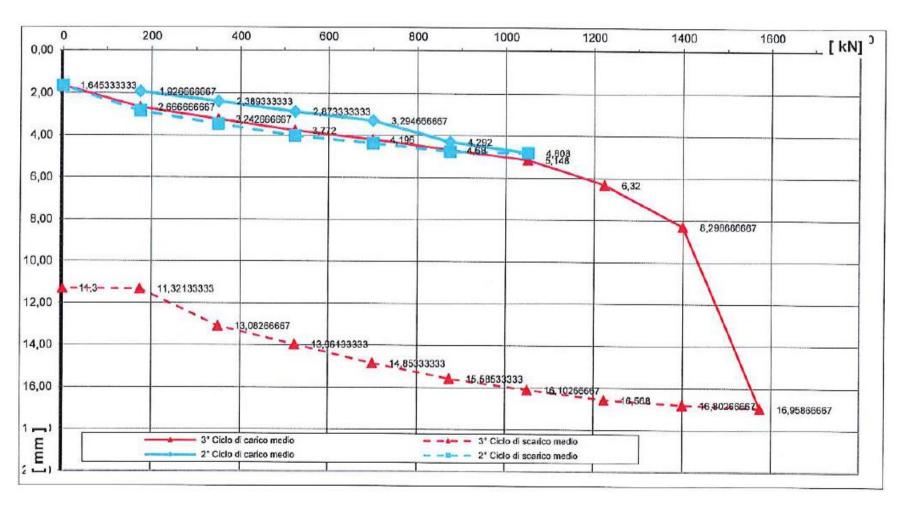
PROGETTO E VERIFICA

Soil Type	Gravity- Grouted Solid Bar Soil Nail (psi)	Hollow Bar Soil Nail (psi)	Pressure-grouted Micropiles (Sabatini et al. 2005) (psi)
Silty Sand (SM)	12.8-17.1	18.7-24.4	Sand (some silt) 10-27.5
Poorly Graded Sand (SP)	13.2	71.2-79.6	Sand (some Gravel) 17.5-52
SP with Gravel	50.5-82.2		Sand (some Gravel) 17.5-52
Poorly Graded Gravel (GP) with Sand	53.2-64.5	62.4-156.3	Gravel (some Sand) 17.5-52

Nominal bond strength of Soil Nails in granular soils (after Cadden et al. 2010) (FHWA, 2015)



PROGETTO E VERIFICA



Prova di carico su micropalo autoperforante Sirive S90 \varnothing_{perf} 150 mm | L12,0 m (Autostrada A4, 2021)



PROGETTO E VERIFICA

ANALISI RISULTATI CAMPO PROVA (Sirive, 2020)

Micropalo autoperforante Sirive S90 realizzato lungo Autostrada A4 Verona Est \varnothing_{perf} 150 mm | L12,0 m Ghiaia sabbiosa | fs = 175 kN/m²

Resistenza ottenuta da calcolo eseguito secondo Bustamante & Doix

 \emptyset_{perf} 150 mm > \emptyset_{reso} = 1,3 x 150 mm = 195 mm Nc,k = 1179 kN

Resistenza ottenuta da prova di carico

Nc,k = 1600 kN

a cui corrisponderebbe $\emptyset_{reso} = 1.8 \times 150 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$ (+38%) a parità di fs

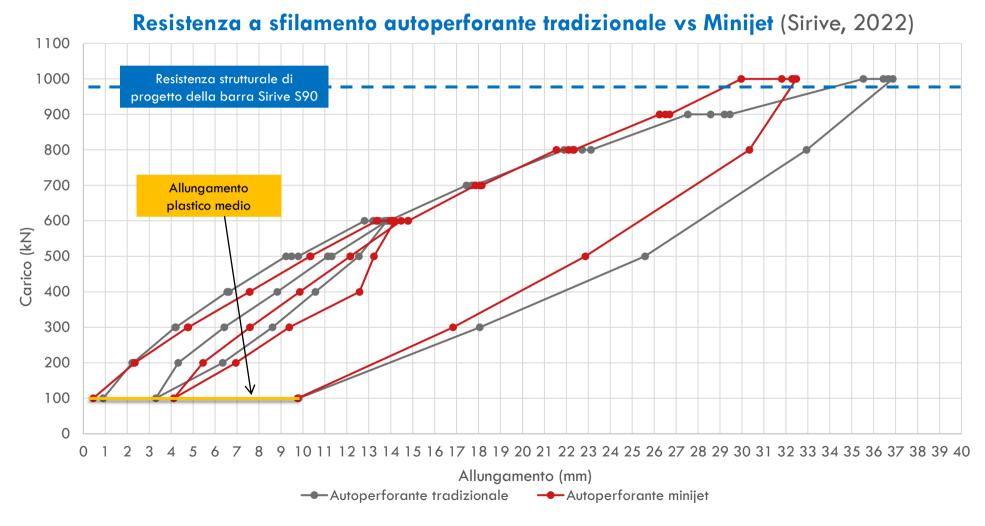
Come un micropalo IRS valvolato!







PROGETTO E VERIFICA

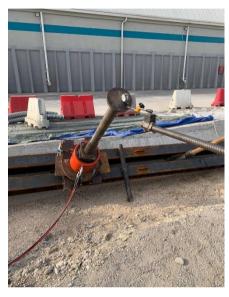






PROGETTO E VERIFICA

N. Prova	Lunghezza ancoraggio (m)	Tipo e diametro barra (mm)	Carico SLE di prova (kN)	Massimo carico di prova (kN)
1	28,0	Mini-jet Sirive \$90 460/560 Ø90x10 mm Ø _{perf} 130 mm Ø _{reso} 400 mm	600	1000
2	28,0	Autoperforante Sirive \$90 460/560 Ø90x10 mm Ø _{perf} 210 mm Ø _{reso} 270 mm	600	1000





- □ Il mini-jet osserva deformazioni medie e allungamenti a carico costante (creep) maggiori rispetto all'autoperforante tradizionale (cfr. differente miscelazione in sito).
- Le due tecniche soddisfano entrambe la **resistenza geotecnica richiesta**, nonostante la netta **differenza nel diametro medio reso** (Ø270 mm autoperforante vs Ø400 mm minijet).
- Con il mini-jet è possibile ottenere un diametro medio reso maggiore (Ø400 mm contro Ø270 mm) con una punta di dimensioni inferiori (Ø130 mm contro Ø210 mm). Ciò è utile nel caso in oggetto, dove erano previste perforazioni all'interno di piastre esistenti già predisposte sulla banchina.

DURABILITA' (EN 14490:2010)

- □ Barre ((certificate)) permanenti?
- □ Ancoraggio = Barra di rinforzo?
- La durabilità si progetta!
- Il controllo della corrosione del rinforzo dipende da:
 - Aggressività del sottosuolo
 - Tecnologia di esecuzione dell'ancoraggio
 - Vita nominale dell'opera
 - Scelta del metodo di protezione
- □ Cfr. EN 14490:2010 (§ B.3.4 (Design durability))



DURABILITA' (EN 14490:2010)

Protezione prevista da UNI EN 14490 (2010)	Protezione prevista dai produttori di barre piene o cave per ancoraggi passivi	
Protezione con spessore sacrificale della barra metallica	Possibilità di impiego di barre di ancoraggio con spessore maggiorato	
Protezione con malta cementizia	Possibilità di incrementare il diametro medio reso del bulbo cementizio tramite l'impiego di punte di perforazione di diametro maggiorato, boiacche di cemento con additivi espansivi e antiritiro, o installando opportuni alesatori	
Galvanizzazione	Zincatura a caldo delle barre di ancoraggio in accordo con lo standard EN ISO 1461 (2009)	
Protezione con resine epossidiche	Verniciatura delle barre di ancoraggio con resine epossidiche, abbinate alla successiva iniezione di boiacca di cemento	
Protezione con guaina	Possibilità di rivestimento delle barre di ancoraggio con guaina corrugata in materiale plastico	
Protezione con acciaio inossidabile	Produzione di barre di ancoraggio in acciaio inox	
Protezione con combinazione dei metodi precedenti	Possibilità di combinare i metodi precedenti	



DURABILITA' (EN 14490:2010)

- Metodo di calcolo dello spessore sacrificale (Knotkova & Kreislova, 2007)
- La velocità di corrosione di calcolo Ka è definite come multiplo della velocità di corrosione al «background pollution level» Kb:

$$Ka = n Kb$$

dove n è variabile tra:

- □ 1,0 (bassa)
- □ 1,5 (media)
- 2,0 (alta)
- 2,5 (molto alta)

in funzione dell'aggressività ambientale.

Table 11: Annual corrosion rates of metals in environments at background pollution levels.

Material	Corrosion lo	oss (K_b)
	${ m g}{ m m}^{-2}{ m yr}^{-1}$	μm yr ⁻¹
Steel	72.0	9.16
Zinc	3.3	0.46
Copper	3.0	0.33
Bronze	2.1	0.23
Aluminum	0.09	0.03



DURABILITA' (EN 14490:2010)

- UNI EN ISO 1461:2009
- Spessore minimo di zincatura (attenzione: zincatura a caldo, non a freddo!)
- (L.G. §4) Per aumentare la resistenza alla corrosione dell'armatura, quest'ultima può essere fornita con rivestimento di zinco ottenuto a caldo in accordo con la norma EN ISO 1461. Negli ancoraggi con vita nominale di progetto inferiore a due anni non sono in genere previsti specifici provvedimenti di protezione contro i fenomeni di corrosione [...].

Minimum coating thickness and mass on samples that are not centrifuged				
Article and his thickness	Local coating thickness (minimum) um	Local coating mass (minimum) g/m2	Mean coating thickness (minimum) um	Mean coating mass (minimum) g/m2
A : Steel > 6 mm	70	505	85	610
B: Steel > 3 mm to <= 6 mm	55	395	70	505
C : Steel >= 1,5 mm to <= 3 mm	45	325	55	395
D: Steel <1,5 mm	35	250	45	325
E: Castings >= 6 mm	70	505	80	575
F : Castings < 6 mm	60	430	70	505

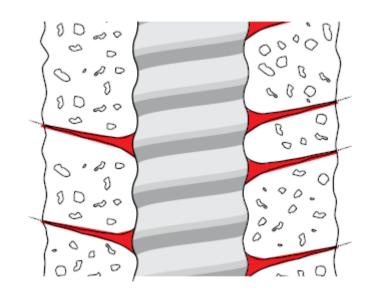
DURABILITA' (EN 14490:2010)

□ Filettatura e fessurazione

- Limitare l'ampiezza delle fessurazioni nel corpo in cemento a valori inferiori a 0,1 mm (EN 14490)
- Rispettare un valore minimo del fattore relativo di nervatura:

$$f_R = a_m/P > 0.056$$
 (DM 17/01/2018 Tab. 11.3.V)

Es. Autoperforanti Sirive con filetto R o S: $f_R > 0,115$ (cfr. test in scala 1:1 con fibra ottica distribuita)





PROVE SU ANCORAGGI PASSIVI

- Norme tecniche non adeguate
- Proposte per un (auspicabile) aggiornamento del DM 17/01/2018



PROVE SU ANCORAGGI PASSIVI

MODALITA' ESECUTIVE

- Prove di carico su tiranti di ancoraggio (NTC 2018 par. 6.6.4): le NTC non fanno differenza tra ancoraggi attivi e passivi, imponendo prove di carico in corso d'opera su <u>tutti (!)</u> gli ancoraggi realizzati.
- PROPOSTA: utilizzare la tabella 2 della UNI EN 14490:2010.

Tabella 2 – Frequenza suggeribile dei test di carico (basata sulla densità dei chiodi e la categoria di struttura geotecnica)

ca	itegoria di struttura geolechica	a)	
Tipo di test	Frequenza suggerita dei test di carico		
•	Test con <mark>chiodo di prova</mark>	Test con chiodo stabile	
Categoria Geotecnica 1: rischio trascurabile a cose o persone	Opzionale	Opzionale	
Categoria Geotecnica 2: mancanza di rischi anomali a cose o persone	Se non ci sono situazioni comparabili: un minimo di 3 chiodi di prova e almeno un chiodo per ogni tipo di suolo	2%, un minimo di 3 test	
	Dove esiste esperienza diretta della situazione, i test diventano opzionali		
Categoria Geotecnica 3: tutte	Un minimo di due chiodi di	Per numero di chiodi: min	
le strutture non appartenenti	prova e almeno due chiodi di	3%, 5 test	
a cat. 1 o 2	prova per tipo di suolo		

Nota 1: Le categorie Geotecniche sono definite nella normativa EN 1997

Nota2: I chiodi di prova devono essere distribuiti in modo uniforme.

Nota 3: La frequenza suggerita è la minima.

Nota 4: Dove si usano chiodi di prova per i test, si può diminuire il nr. di chiodi stabili in modo proporzionale

Nota 5: A livello di spazio, a meno di 0,8 m, si raccomanda l'uso di un gruppo di 4 chiodi.

UNI EN 14490:2010 Chiodature del terreno Soil Nailing

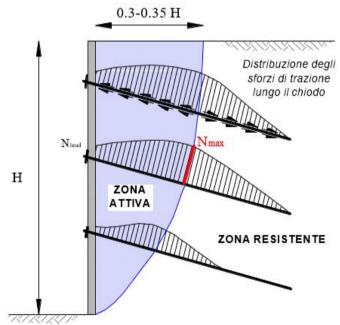
Sono norme UNI, quindi le NTC sono di ordine superiore, ma costituiscono comunque un riferimento.



PROVE SU ANCORAGGI PASSIVI

MODALITA' ESECUTIVE

- □ Le NTC prevedono la stessa procedura esecutiva di quella usata per i tiranti attivi, applicando un carico massimo di collaudo pari a 1,2 volte il carico SLE.
- Gli ancoraggi passivi non hanno parte libera e quindi quando applico la forza esternamente faccio lavorare tutta la lunghezza dell'ancoraggio (e non solo quella che reagisce una volta scavato!).
- PROPOSTA: rimodulare il carico di collaudo sulla base della lunghezza effettivamente agente, oppure eseguire ancoraggi sacrificali inguainando il tratto in zona attiva (da non considerare nelle verifiche a sfilamento!).





CAMPI DI APPLICAZIONE

- □ Tipi di terreno idonei alla tecnica autoperforante vs preforo
- □ Campi di applicazione





TERRENI INDICATI PER AUTOPERFORANTE VS PREFORO

Preforo

Tutti i terreni incoerenti sciolti anche in presenza di falda non in rapido movimento

Tutte le rocce o terreni molto compatti dove il foro si autosostiene ed è più conveniente utilizzare la perforazione fondo foro

Sabbie dense e naturalmente cementate

Rocce altamente fratturate con giunti aperti e vuoti macroscopici (es. cavità carsiche)

Sabbie omogenee medie e fini (con coesione apparente ≥ 5 kPa)

Terreni coesivi compatti (limi e argille)

Depositi alluvionali costituiti da sabbie e ghiaie anche di pezzature elevate

Rocce decomposte e molto fratturate in assenza di vuoti o cavità carsiche

Terreni residuali e rocce alterate

TERRENI INDICATI PER AUTOPERFORANTE VS PREFORO

Dove idonea, la **tecnologia autoperforante** presenta i seguenti **vantaggi tecnici**:

- Semplifica molto le operazioni di cantiere: diventa molto più semplice eseguire le perforazioni per gli operatori e di conseguenza aumenta la qualità finale del lavoro.
- Si stabilizza il foro in fase di avanzamento: in questo modo non si avranno delle sovrapressioni, o detensionamenti causati da altri metodi di perforazione che sono sempre molto rischiosi soprattutto quando si impiega l'aria compressa.
- Perforazione molto veloce: raddoppia la velocità di perforazione rispetto ai metodi tradizionali.
- Si evita l'impiego dei rivestimenti a sostegno del foro e si ottengono dei diametri medi resi di cementazione molto maggiori rispetto alle tecniche tradizionali.
- E' facilmente adattabile alla geologia del sito: in caso di imprevisti geologici, si può decidere di prolungare l'ancoraggio.







CAMPI DI IMPIEGO

- □ Le opere geotecniche dove è previsto l'impiego di chiodi e tiranti di ancoraggio si possono suddividere in tre categorie principali:
 - Interventi su opere esistenti rappresentati da consolidamento e rinforzo strutturale;
 - 2. Nuove opere di sostegno ancorate o stabilizzazione di pendii naturali soggetti ad instabilità o frane;
 - 3. Opere di protezione da caduta massi.

CAMPI DI IMPIEGO

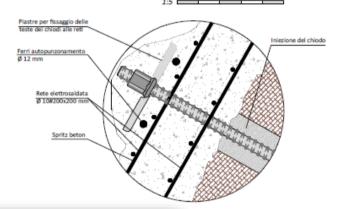
□ Parete chiodata per la stabilizzazione di scarpate in frana con ancoraggi

passivi e spritz beton



Particolare della doppia rete elettrosaldata





PARTICOLARE CHIODO





CAMPI DI IMPIEGO

 Pareti chiodate per la stabilizzazione di scarpate instabili ancoraggi passivi con paramento esterno a verde



CAMPI DI IMPIEGO

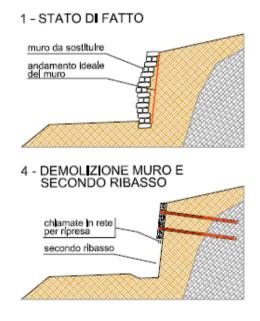
□ Barre autoperforanti per il consolidamento di muri in sasso o in calcestruzzo esistenti

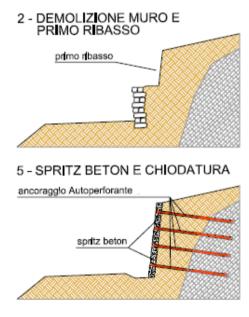


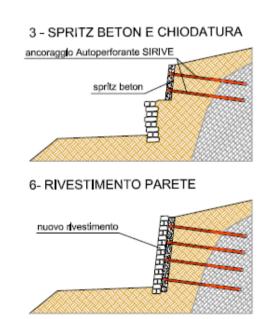


CAMPI DI IMPIEGO

 La tecnica autoperforante permette inoltre di ricostruire muri esistenti in sicurezza limitando i volumi di terreno da scavare





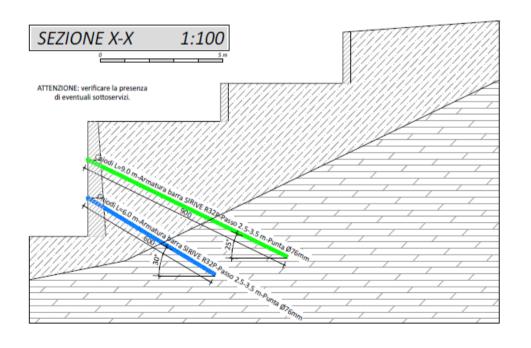


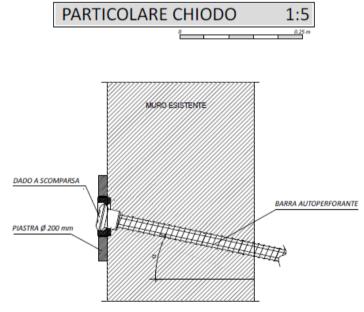




CAMPI DI IMPIEGO

Per muri di altezza contenuta o muri sottoposti a spinte non elevate in cui si ha una condizione prossima all'equilibrio critico, l'intervento più diffuso è il consolidamento mediante chiodi (rapido ed economico).

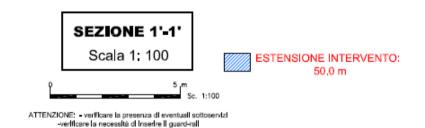


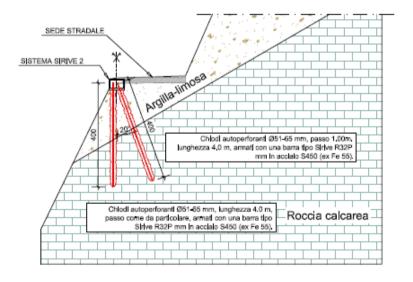




CAMPI DI IMPIEGO

- Micropali verticali e sub-verticali realizzati mediante tecnica autoperforante per il consolidamento di cigli stradali interessati da dissesti o movimenti franosi.
- Hanno la funzione di apportare un contributo resistente a taglio ed evitare cedimenti verticali ed orizzontali del cordolo e della sede stradale.
- Le sollecitazioni assiali sui chiodi sono contenute (ordine 50 kN).





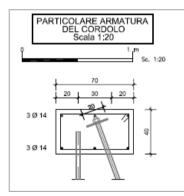


CAMPI DI IMPIEGO

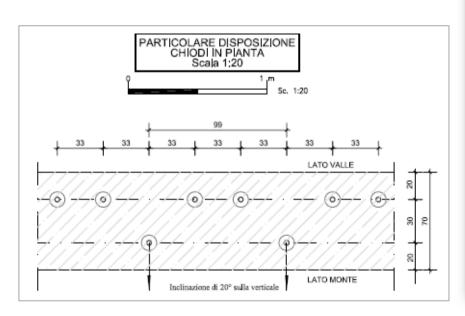
- □ Chiodo verticale = **compressione** assiale
- □ Chiodo inclinato = compressione e trazione



 Indispensabile prevedere piastra di testa per evitare sfilamento della barra (schema dado-piastra-dado)









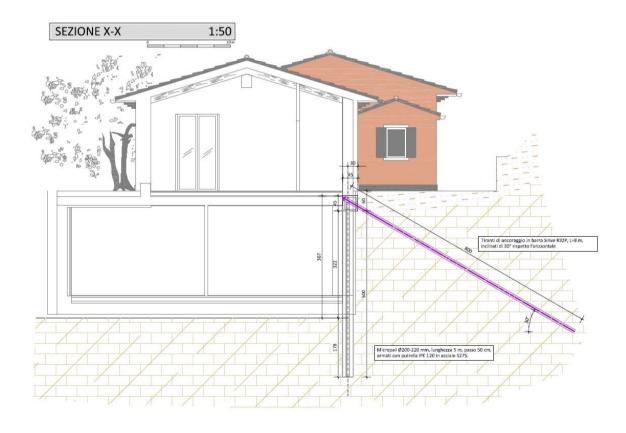


CAMPI DI IMPIEGO

- Ancoraggi per opere di sostegno provvisionali o definitive.
- □ Verificare l'ammissibilità delle deformazioni attese.

□ BERLINESI ANCORATE

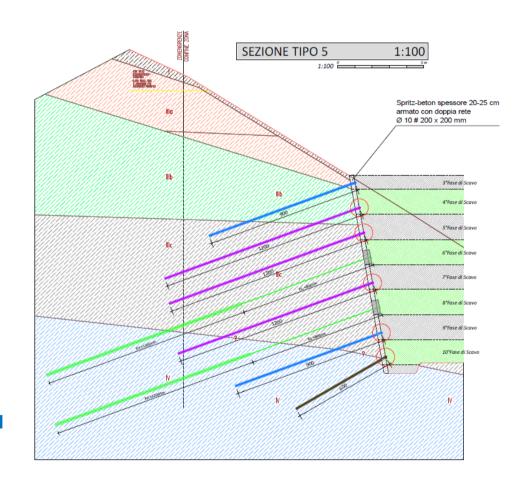
- Sono ideali se ho strutture esistenti a ridosso dello scavo;
- I micropali hanno passo fitto per contenere il terreno creando l'effetto arco tra palo e palo;
- I chiodi sopportano le spinte orizzontali trasmettendole al terreno in profondità;
- La macchina perforatrice per l'esecuzione dei micropali lavora dal piano campagna, quindi sono necessari degli spazi di manovra.





CAMPI DI IMPIEGO

- A differenza del soil-nailing come opera provvisionale, lo spritz-beton per opere permanenti ha spessore maggiore ed è armato con doppia rete elettrosaldata per garantire la durabilità nel tempo;
- I chiodi saranno più lunghi per esigenze di portata e di cunei di spinta;
- Per altezze di scavo a partire dagli 8 m circa si possono inserire file di tiranti attivi (parete chiodata mista) per creare dei punti fermi nei confronti delle deformazioni.





CAMPI DI IMPIEGO

□ Parete chiodata mista: chiodi passivi e tiranti attivi a file alternate



CAMPI DI IMPIEGO









Opere di protezione da caduta massi: impiego chiodi passivi e tiranti attivi a file alternate



CAMPI DI IMPIEGO



RICERCA E SVILUPPO

Alcune idee per lo sviluppo (non solo futuro ma già presente!) degli ancoraggi passivi

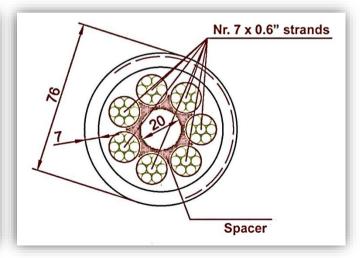


RICERCA E SVILUPPO

- □ Perché non sfruttare la cavità delle barre autoperforanti?
- □ Barra autoperforante + trefoli = Ancoraggio Composito Sirive®
- Obiettivi:
 - □ Aumentare la resistenza strutturale delle barre autoperforanti ottimizzando i costi;
 - Ridurre le deformazioni delle pareti chiodate per realizzare un Soil Nailing ((attivo)).







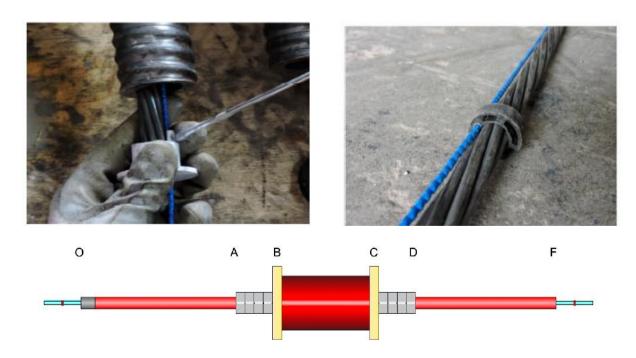


RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Composito

- Test sperimentali in laboratorio (Cola et al., Geosciences, 2019)
 - Calibrazione fibra ottica con estensimetro meccanico
 - Test di trazione su barra cava tradizionale Sirive R51 e composita Sirive R51 con un trefolo 0,6" interno

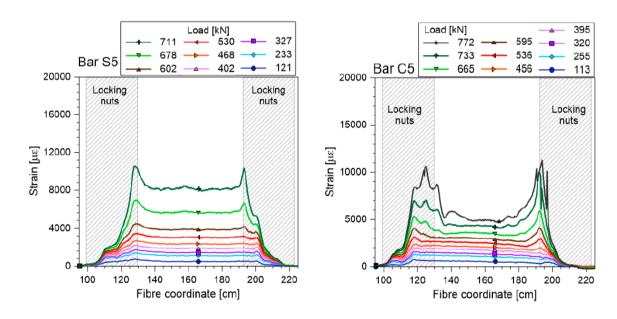


RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Composito

- Test sperimentali in laboratorio (Cola et al., Geosciences, 2019)
 - Calibrazione fibra ottica con estensimetro meccanico
 - Test di trazione su barra cava tradizionale Sirive R51 e composita Sirive R51 con un trefolo 0,6" interno



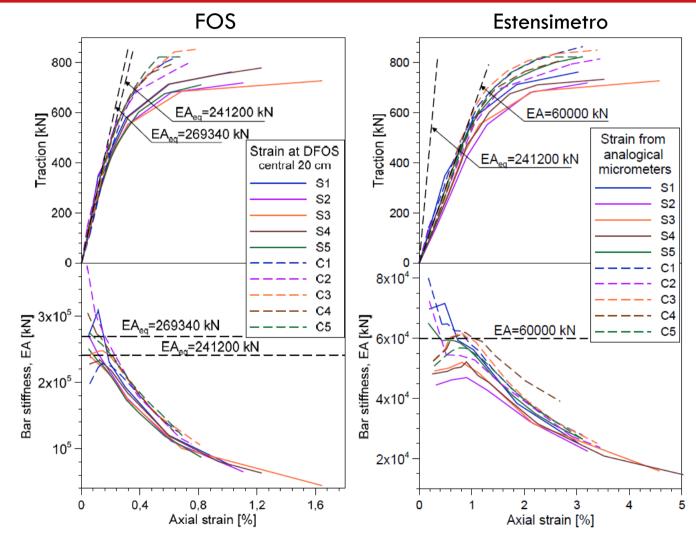
(Cola et al., Geosciences, 2019)



RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Composito



(Cola et al., Geosciences, 2019)



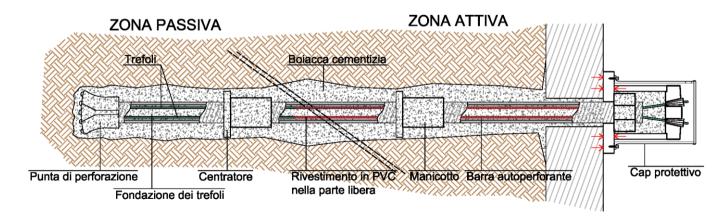
RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Composito

Conclusioni test su ancoraggio composito:

- Aumenta la resistenza meccanica ottimizzando i costi (costo materia prima trefolo < costo tubo autoperforante).
- Aumentano il range a comportamento elastico e la «duttilità».
- Parziale redistribuzione delle sollecitazioni di trazione dalla barra al trefolo: lunghezza di ancoraggio alle due estremità pari a circa 25 cm al carico di snervamento della barra, necessaria per redistribuire le tensioni nel sistema composito e ottenere la congruenza.







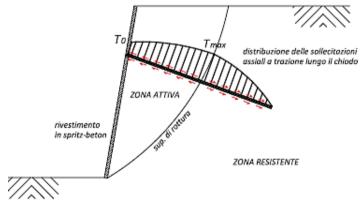
RICERCA E SVILUPPO

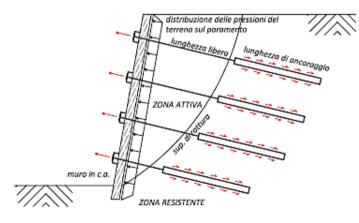
Scheda di approfondimento

Ancoraggio Composito

Applicazione: Soil Nailing «attivo»

- La forza di pretesatura del trefolo è applicata al rivestimento esterno e le deformazioni laterali della parete sono ridotte o azzerate.
- □ Il rivestimento deve essere **rigido** per limitare le deformazioni ma anche offrire un idoneo **effetto piastra di contrasto** sul terreno retrostante.



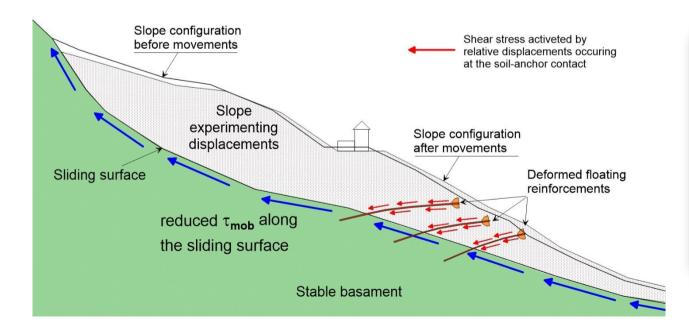








- Perché non estendere il concetto di ancoraggio passivo all'interno di un corpo frana in lento movimento?
- Innovazione nell'approccio alla soluzione di problemi su frane/colate
 lente o molto lente: tecniche rigide tradizionali vs tecniche flessibili
 - = Ancoraggio Flottante Sirive® = Un «freno per attrito»







RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

- Installazione di singole barre di ancoraggio in acciaio secondo una geometria discontinua che si adatta alla morfologia del pendio
- Rinforzi passivi (non pretensionati), che riducono per attrito le tensioni tangenziali mobilitate dal movimento del versante
- Barre autoperforanti: semplicità e velocità di esecuzione,
 incremento del diametro reso del bulbo cementato, basso costo







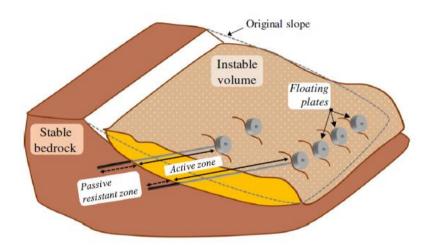


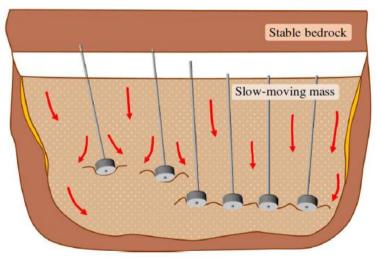
RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

- Geometria discontinua che si adatta alla morfologia del pendio
- Piastra esterna (elemento flottante) + ancoraggio passivo cementato lungo tutto il profilo
- L'insieme è un dissipatore di energia per attrito che si attiva all'interno del terreno (mezzo viscoso) in movimento
- Se il pendio si deforma e il terreno si sposta, la piastra può essere inglobata nel terreno







RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

- Attivazione del sistema con spostamenti relativi all'interfaccia terreno-superficie esterna dell'ancoraggio:
 - Stabilizzazione completa del versante: la tensione nei rinforzi resta inferiore alla massima disponibile.
 - **□** Rallentamento:

completa attivazione della massima resistenza disponibile, senza rottura strutturale, continuando ad esplicare l'azione stabilizzante.



RICFRCA F SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio **Flottante**

- Elementi di rinforzo puntuali, progettati e posti in opera per assorbire ciascuno una data quantità di tensioni tangenziali.
- Forza totale esplicabile limitata superiormente:

$$Q_a = Q_p + \int_L \pi D \tau_u dx$$
Forza di testa Attrito laterale

(piastra)

(barra passiva)

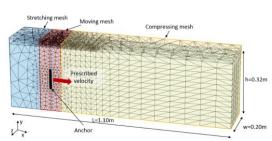
- Tecnica flessibile e modulare con possibilità di integrazione dell'intervento in corso d'opera (cfr. metodo osservazionale)
- Facilità e rapidità di trasporto e installazione
- Basso impatto ambientale (rapporto di ricoprimento di facciata pari a circa 5-6%)
- Basso costo

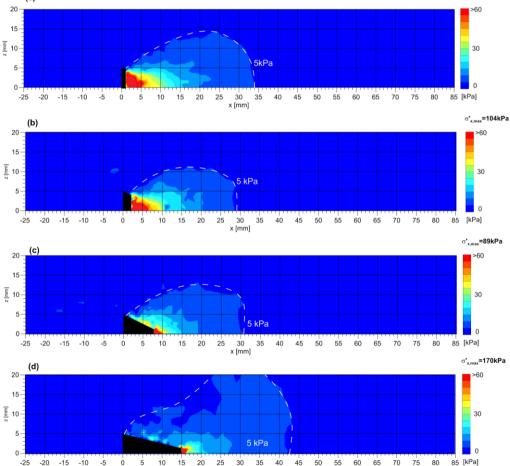
RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

- Modellazione
 numerica MPM
 dell'effetto della forma
 della piastra flottante
- □ Obiettivi:
 - Riprodurre i test di laboratorio (modello fisico)
 - Valutare i campi di spostamento e le aree di influenza per ciascun tipo di piastra





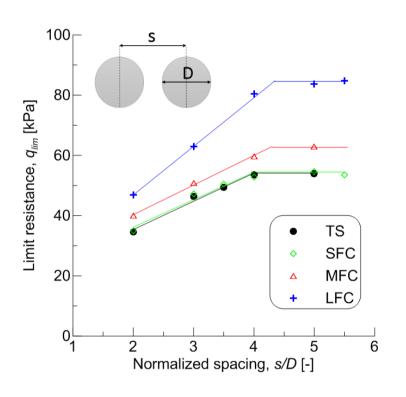


σ'_{x-max}=86kPa

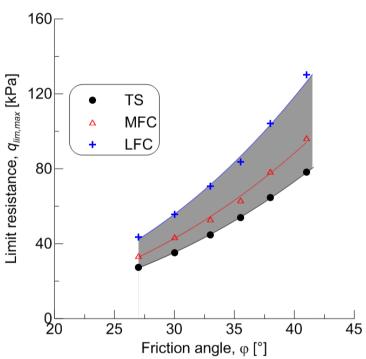
RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

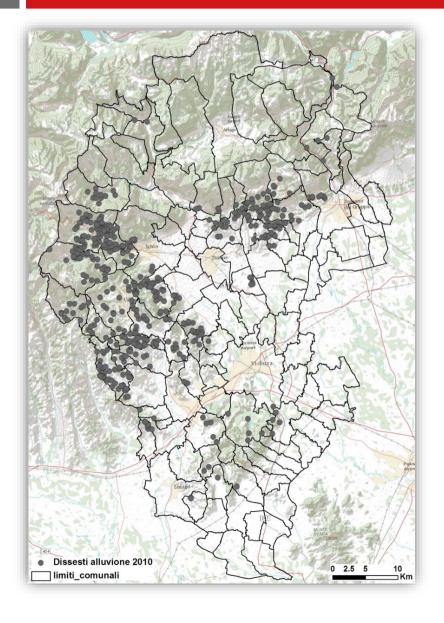


Resistenza limite in funzione dell'interasse normalizzato

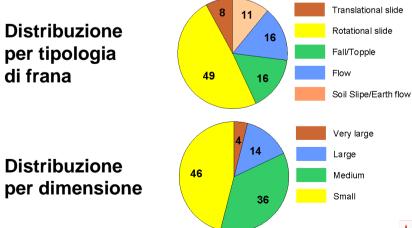


Resistenza limite in funzione dell'angolo di attrito





- Qualche dato sull'alluvione in Veneto ottobre-novembre 2010
- Dal 31/10 al 2/11 precipitazioni cumulate media e massima in 48 ore pari a 340 e 500 mm in Provincia di Vicenza.
- □ [Emilia Romagna: 1-17 maggio 2023 pioggia cumulata 300-400 mm con picchi fino a 500 mm]
- Oltre 500 chiamate di intervento per frane (Ufficio Difesa del Suolo della Provincia di Vicenza).







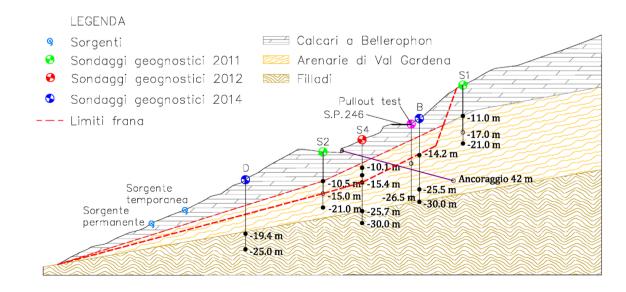
RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

Caso studio: frana Cischele a Recoaro Terme (VI)

- Innesco nel novembre 2010, coinvolte 5 abitazioni fessurate
- Geometria: 120x180 m, spessore corpo frana 20-25 m, pendenza 23-25°
- Frana lenta traslazionale con spostamenti fortemente correlati con la variazione delle pressioni interstiziali
- Velocità di avanzamento pre-intervento: 25-45 mm/anno





RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

Caso studio: frana Cischele a Recoaro Terme (VI)

- □ Prima ipotesi: pozzo drenante di grande diametro = troppo costoso
- Progetto definitivo-esecutivo con metodo osservazionale (Provincia di Vicenza con supporto dell'Università di Padova) per fasi
- Approccio progettuale in 4 fasi successive:
 - 1. Intervento 1° stralcio (2015): 33 Ancoraggi Flottanti Sirive® passivi da 40-50m, con barre composite Sirive® Special S76 da 3000 kN cad, i.e. barra autoperforante Ø76mm+7 trefoli 0,6" cementati all'interno
 - 2. Monitoraggio (2015-16): velocità ridotta di 6-10 volte
 - Calibrazione modello FEM 3D sulla base dei dati osservati
 - 4. Intervento 2° stralcio (2017 prev., 2021 eff.): integrazione modulare del sistema di rinforzo nelle aree a maggior rischio



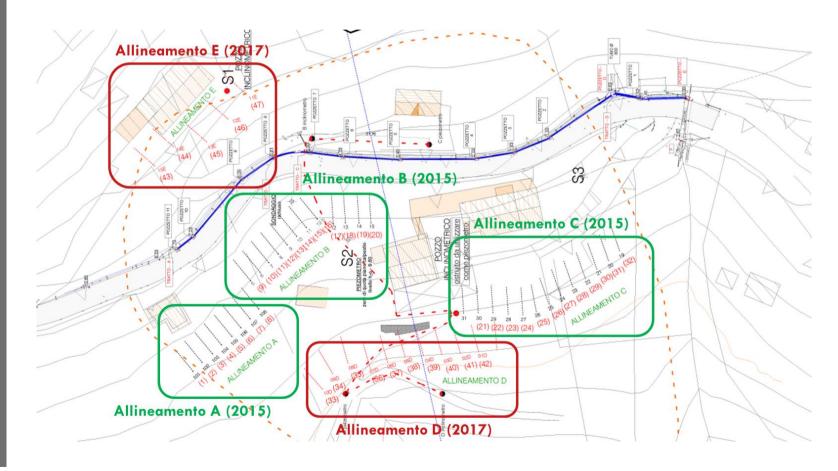


RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

Caso studio: frana Cischele a Recoaro Terme (VI)





RICERCA E SVILUPPO

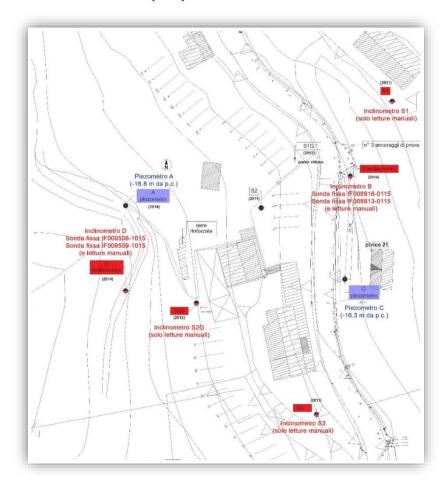
Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante

Caso studio: frana Cischele a Recoaro Terme (VI)

Sistema di monitoraggio installato:

- □ Celle di carico su 2 rinforzi;
- Misurazioni in continuo su 4 sonde inclinometriche e 2 piezometri;
- □ Letture manuali su 5 inclinometri in corpo frana;
- Monitoraggio topografico degli spostamenti.
- Risultati: a dicembre 2016, dopo
 18 mesi di monitoraggio, la
 velocità di avanzamento della
 frana si è ridotta in modo
 uniforme di 6-10 volte, da 25-45
 mm/anno a 3,5-4 mm/anno

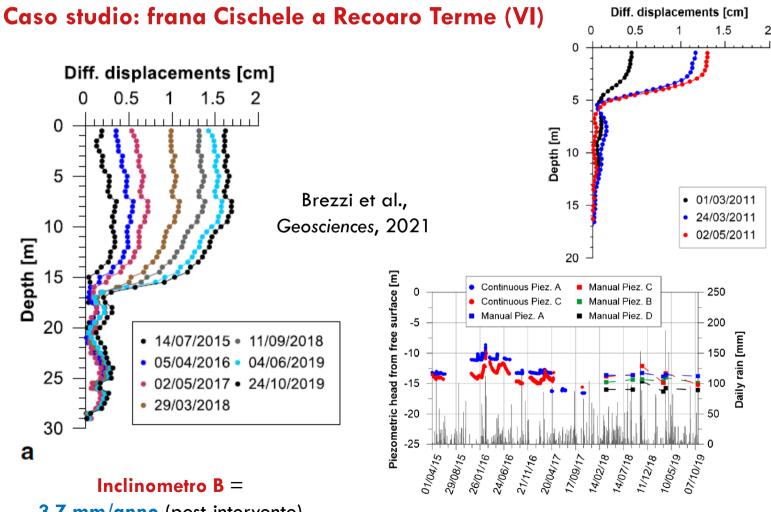




RICERCA E SVILUPPO

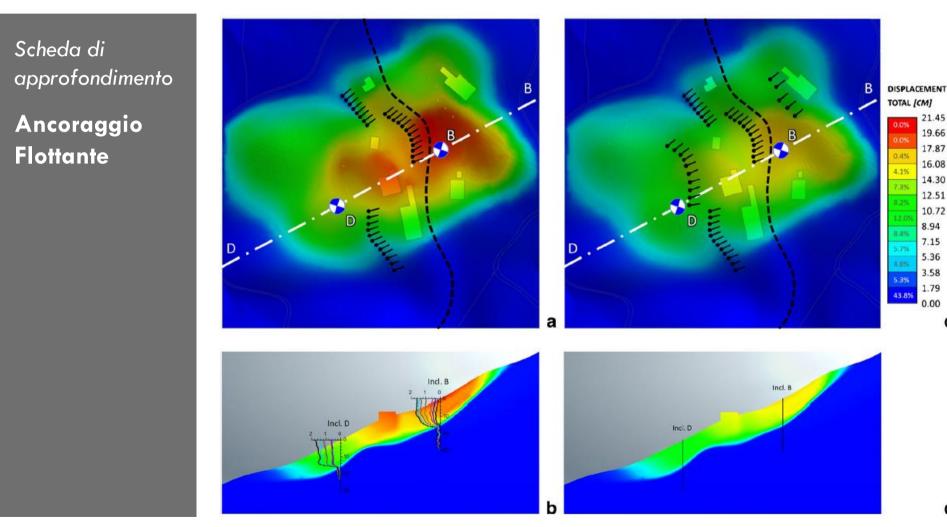
Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante



3,7 mm/anno (post-intervento)
vs 25 mm/anno (pre)

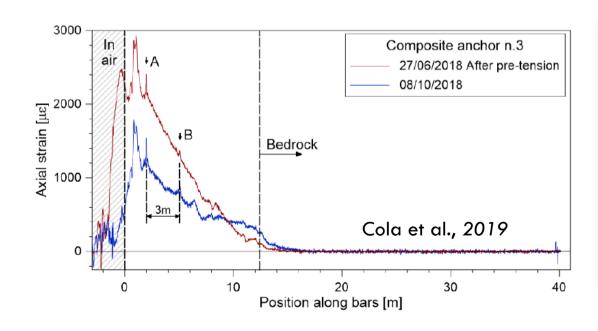








- Perché non sfruttare la cavità delle barre cave per monitorare deformazioni e tensioni con fibre ottiche a misura distribuita?
- Consentono misura di tensioni e deformazioni sull'intera lunghezza.
- Su ancoraggi passivi in frana diventano indicatori della superficie di scivolamento.







RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio Flottante Composito monitorato con fibre ottiche

Caso studio: frana Fantoni a Recoaro Terme (VI)

- \Box Estensione = 57.000 m²
- Colluvio grossolano misto (corpo di frana) sopra roccia calcarea
- Frana composta: movimento roto-traslazionale in alto, frana lenta soggetta a creep in basso





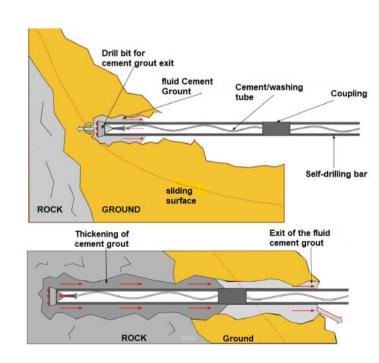
RICERCA E SVILUPPO

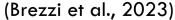
Scheda di approfondimento

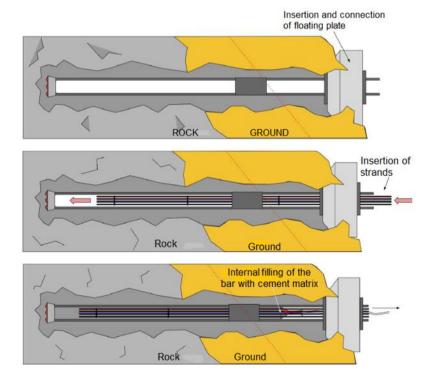
Ancoraggio
Flottante
Composito
monitorato
con fibre
ottiche

Caso studio: frana Fantoni a Recoaro Terme (VI)

- Ancoraggi Flottanti Sirive S76 compositi con 4 trefoli 0,6" passivi
- Ancoraggi in bedrock per 5-6 m







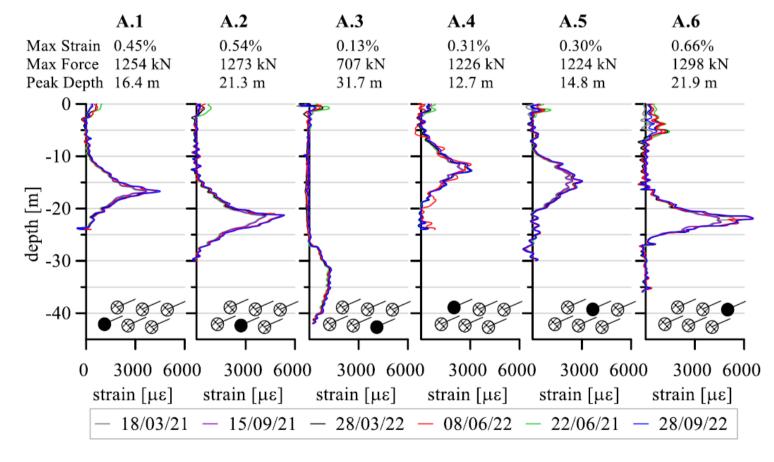


RICERCA E SVILUPPO

Scheda di approfondimento

Ancoraggio
Flottante
Composito
monitorato
con fibre
ottiche

Caso studio: frana Fantoni a Recoaro Terme (VI)



(Brezzi et al., 2023)



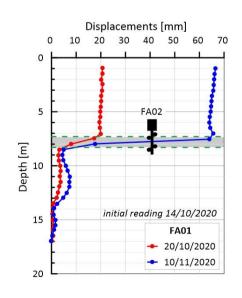
RICERCA E SVILUPPO

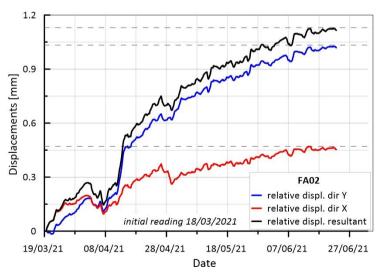
Scheda di approfondimento

Ancoraggio
Flottante
Composito
monitorato
con fibre
ottiche

Caso studio: frana Fantoni a Recoaro Terme (VI)

- Inclinometro manuale FA01 installato prima degli ancoraggi:
 - = 6,7 cm in 27 gg (v=2,5 mm/gg) [14/10/2020 10/11/2020]
 - > Interrotto
- Inclinometro fisso FA02 installato dopo gli ancoraggi:
 - = 1,1 mm in 3 mesi (v=0,012mm/gg) [mar-giu 2021]]
 - = 3.8 mm in 6 months (v=0.021 mm/gg) [ott 2021-mar 2022]





(Brezzi et al., 2023)



GRAZIE in particolare ai contributi di
Lorenzo Brezzi e Simonetta Cola (DICEA Unipd)



