



Seminario

**RISCHIO IDROGEOLOGICO: APPROFONDIMENTO SU OPERE DI PROTEZIONE
E SISTEMI PER IL CONSOLIDAMENTO DI VERSANTI INSTABILI**

3S TUTOR[®] PLUS

Sistema per il consolidamento superficiale di versanti in roccia o terra

Ing. Domenico Paldino
Referente tecnico – Incofil Tech Srl

**È un sistema flessibile
per la stabilizzazione e il consolidamento
dello strato superficiale dei versanti in terra e roccia.**

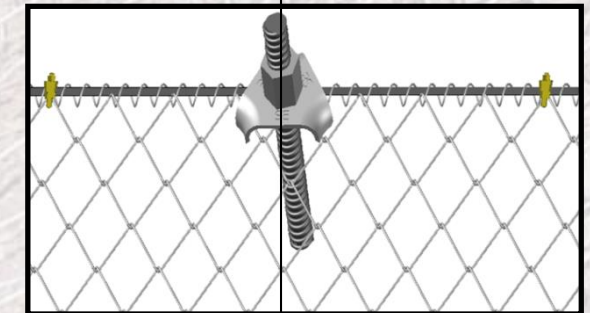
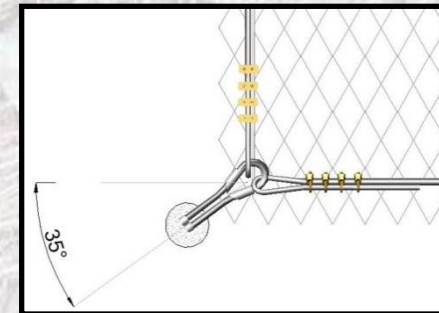
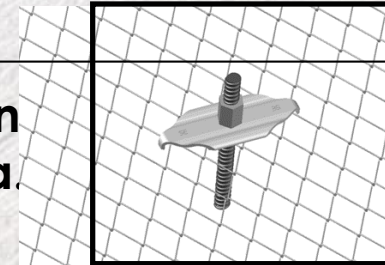
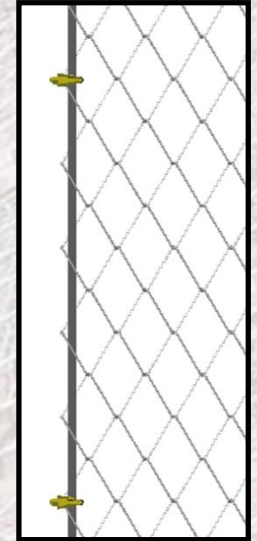
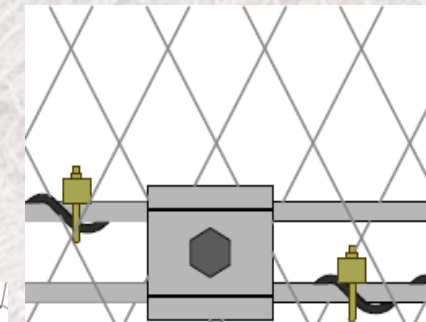
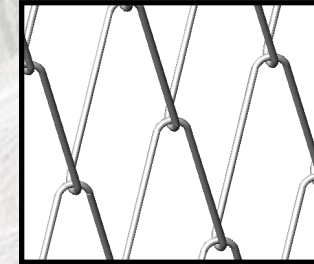
È stato ideato e testato in collaborazione con l'Università di Cantabria (Spagna).

**È un sistema che può essere calcolato in tutte le sue componenti
in funzione della geometria del versante e delle caratteristiche geologico - geotecniche.**

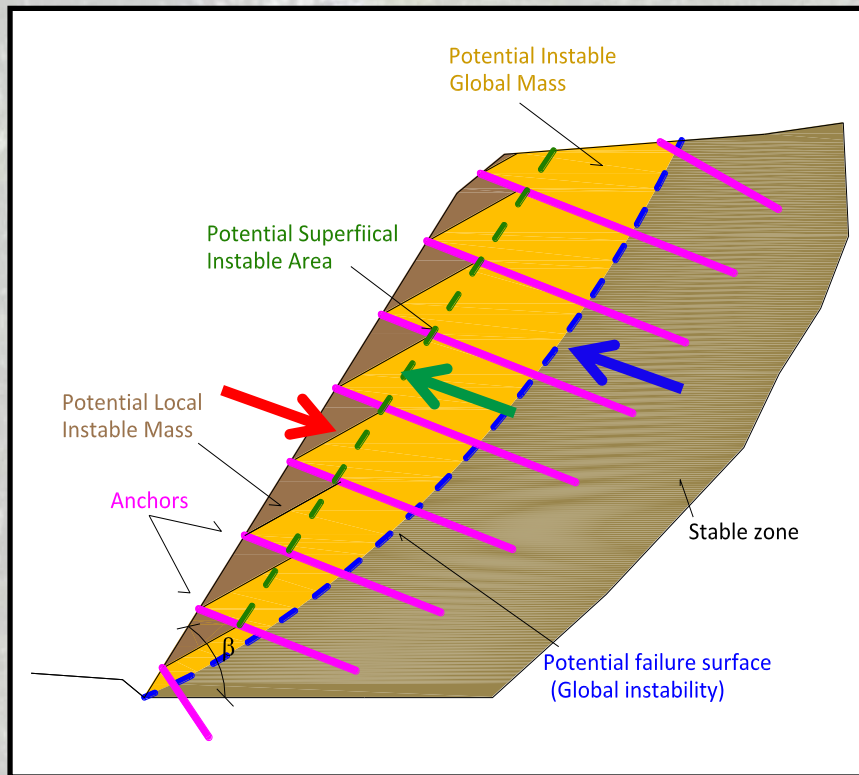


Gli elementi che compongono il sistema sono i seguenti:

- **Rete a semplice torsione** in acciaio a medio-alta resistenza dotata di una bassa deformazione strutturale.
- Un **sistema di ancoraggio/chiodatura** all'interno dell'area da consolidare e nel perimetro della stessa.
- **Funi di supporto strutturale orizzontali**, ove necessario dopo verifica tecnica.
- **Funi perimetrali**
- **Piastre di ancoraggio** centrali e perimetrali specifiche per la tecnica di utilizzo prescelta.
- **Particolari costruttivi**: ancoraggi agli angoli del sistema o ai bordi delle funi orizzontali di rinforzo, funi di legatura e/o spirali di collegamento.



Il sistema flessibile 3STutor® Plus viene utilizzato ove è necessario stabilizzare il volume di terreno che si trova tra gli ancoraggi negli interventi di consolidamento delle scarpate in roccia/terra.



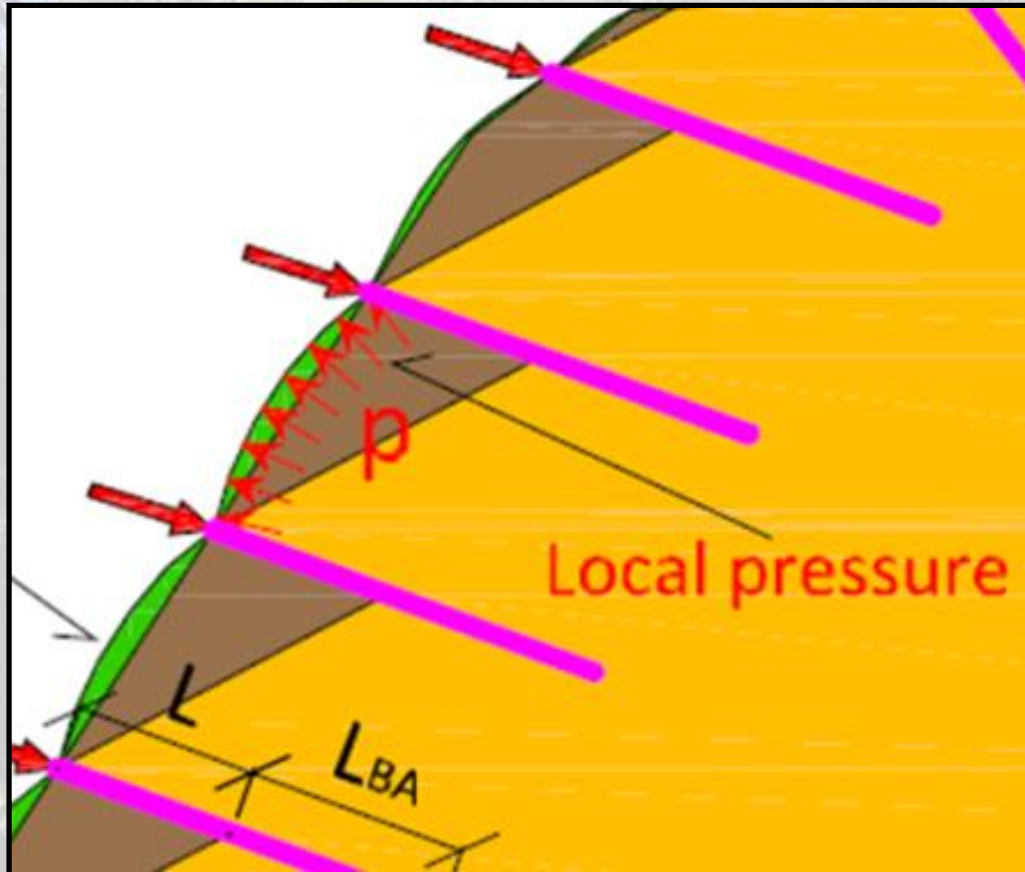
Quando si progetta la stabilizzazione di una scarpata è necessario eseguire diverse verifiche e in particolare:

- Verifica di stabilità globale (superfici profonde – **freccia azzurra**)
- Verifica di stabilità superficiale (superfici che corrono attraverso tutti o parte degli ancoraggi – **freccia verde**)
- Verifiche di stabilità locali (instabilità che si verificano tra i vari ancoraggi in prossimità della superficie – **freccia rossa**)

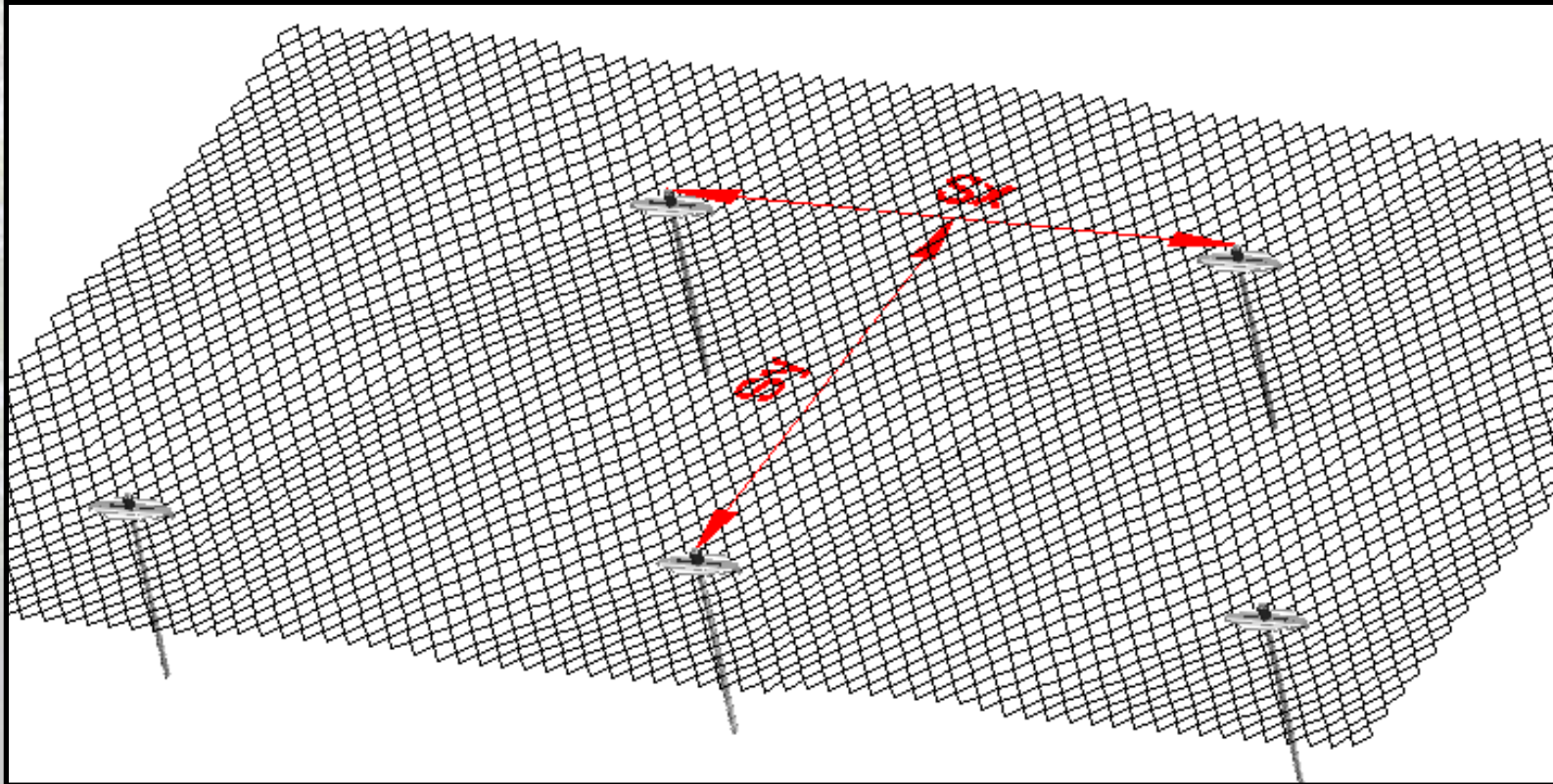


Il sistema 3S Tutor® Plus interviene in queste ultime verifiche

In particolare



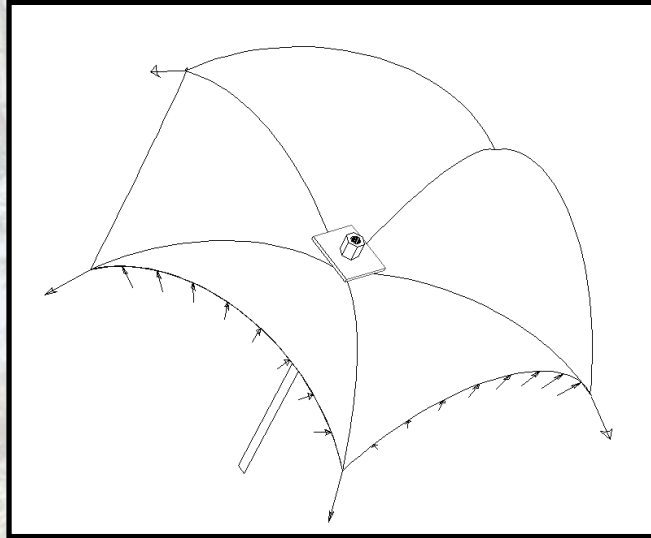
**Il sistema flessibile 3Stutor® Plus
trattiene il volume di terreno instabile
tra gli ancoraggi/chiodature.**



Gli ancoraggi saranno distanziati verticalmente di una larghezza **Sy** e orizzontalmente di una larghezza **Sx**.

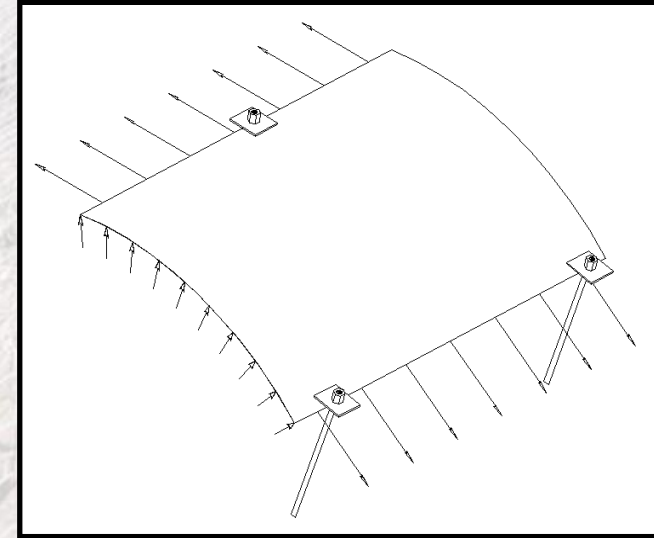
Sy → Distanza tra le varie linee di ancoraggi disposti a quinconce.

Il sistema può funzionare secondo due modelli fisico-teorici che utilizzano il concetto di membrana flessibile.



Collegamento puntuale.

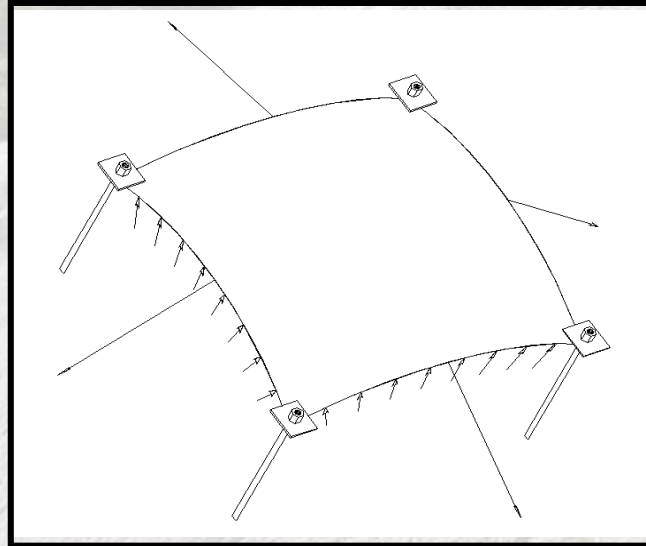
In questo caso il sistema funziona sfruttando la resistenza a punzonamento della rete a singola torsione 3STutor® Plus.



Collegamento continuo modello unidirezionale.

In questo modello di funzionamento ciò che importa è la resistenza a trazione della rete e la sua rigidezza.

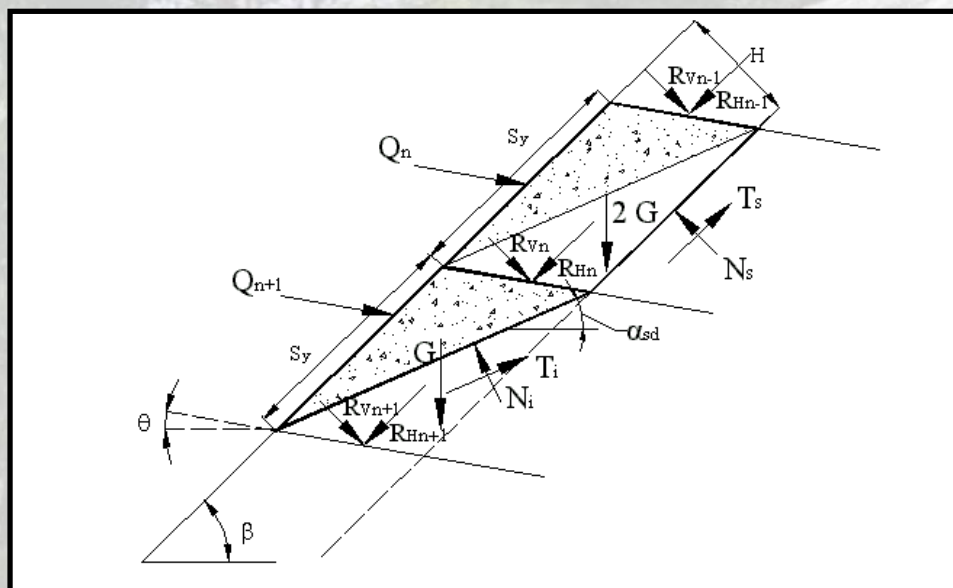
Il sistema può funzionare secondo due modelli fisico-teorici che utilizzano il concetto di membrana flessibile.



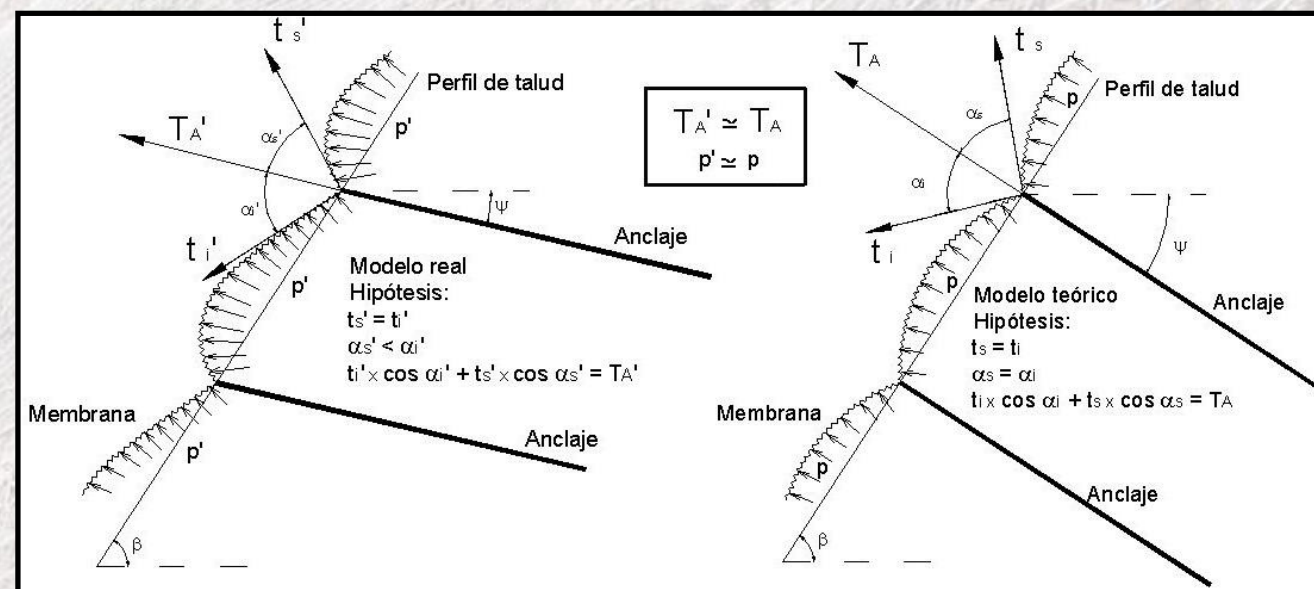
Collegamento bidirezionale.

In questo caso il sistema funziona sfruttando la resistenza a trazione delle reti in ambedue le direzioni. Le funi vengono poste in opera sia orizzontalmente che verticalmente.

La società produttrice 3S Geotech basandosi su studi teorici ed esperienze pratiche e di laboratorio realizzate ormai da più di 20 anni sui sistemi di consolidamento mediante elementi flessibili (pannelli in fune e reti di vario genere), ha ideato questa nuova rete a singola torsione completata da una serie di accessori opportunamente dedicati come le piastre e le spirali di collegamento. Il tutto per realizzare un sistema completo. ***Il Sistema Tutor è dimensionabile mediante un algoritmo di calcolo realizzato in collaborazione con l'Università di Cantabria.***

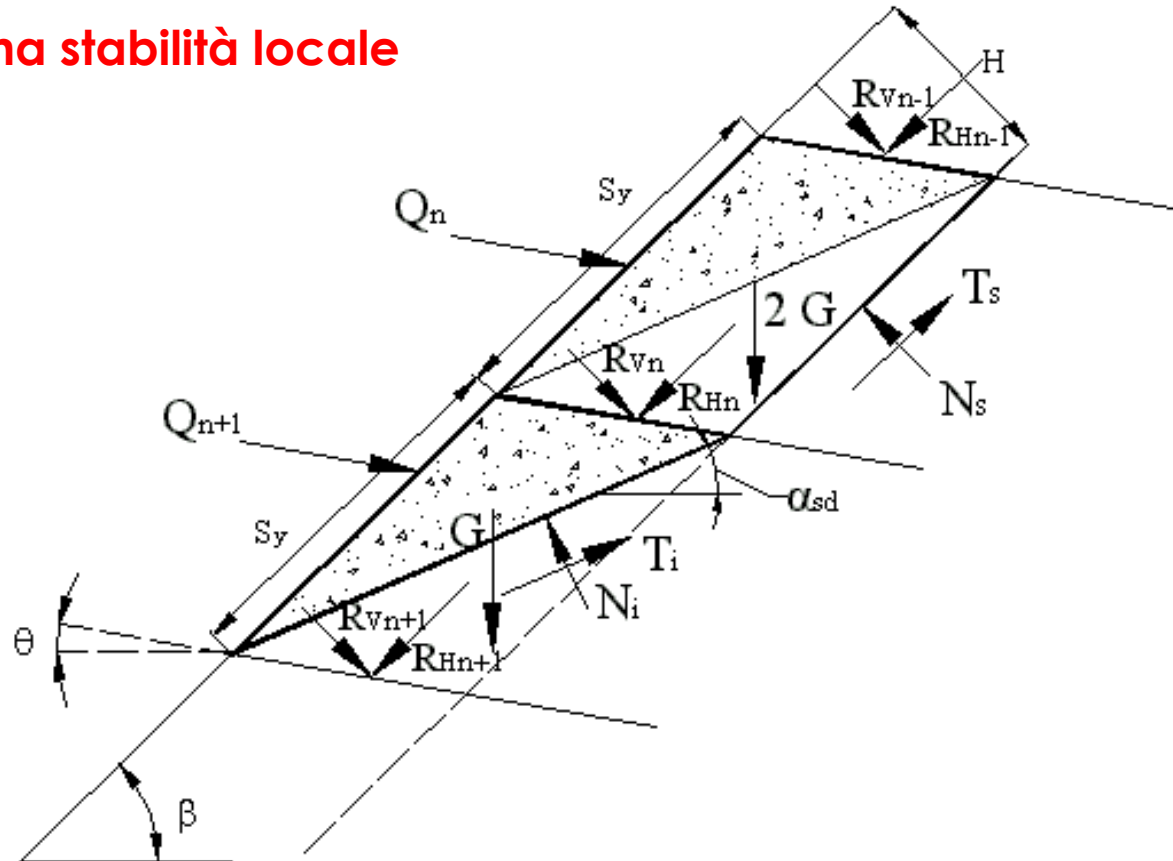


Modello di calcolo per determinare la spinta del terreno.



Modello teorico e reale di calcolo per la determinazione dell'interazione terreno-rete nel modello unidirezionale.

Schema stabilità locale



- Parametri geotecnici di progetto
- Pendenza del versante
- Maglia ancoraggi



SPINTA TOTALE DEL TERRENO
[Q]

IPOTESI PIU' GENERALE:

$$Q = \frac{Sx \cdot G \cdot \left\{ (FS \cdot \sin \alpha_{sd} - \tan \varphi \cos \alpha_{sd}) + \right. \\ \left. + 2 \cdot FS \cdot (\sin \beta - \cos \beta \cdot \tan \varphi) \cdot [\cos(\beta - \alpha_{sd}) - \tan \varphi \cdot \sin(\beta - \alpha_{sd})] \right\} + \\ - c \cdot Sy \cdot Sx \cdot \left\{ \frac{1}{\cos(\beta - \alpha_{sd})} + FS \cdot [\cos(\beta - \alpha_{sd}) - \sin(\beta - \alpha_{sd}) \cdot \tan \varphi] \right\}}{\tan \varphi \cdot \sin(\theta + \alpha_{sd}) + \cos(\theta + \alpha_{sd}) + \\ + FS \cdot [\cos(\beta + \theta) + \sin(\beta + \theta) \cdot \tan \varphi] \cdot [\cos(\beta - \alpha_{sd}) - \sin(\beta - \alpha_{sd}) \cdot \tan \varphi]}$$

Sx, Sy = interasse ancoraggi/linea di ancoraggi

G = Peso del singolo concio

α_{sd} = angolo di inclinazione della superficie di scivolamento rispetto all'orizzontale

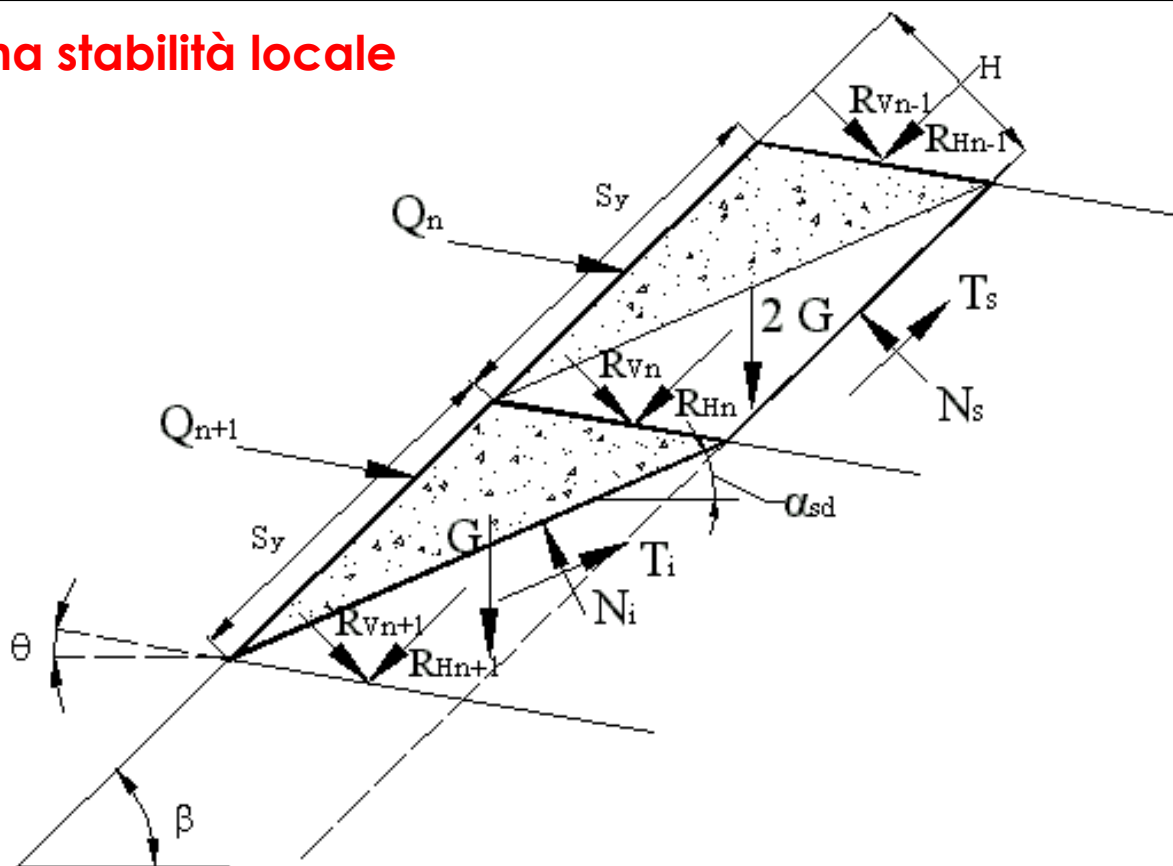
φ = angolo di attrito interno del materiale instabile

β = angolo di inclinazione del versante rispetto all'orizzontale

c = coesione del terreno

θ = inclinazione di Q rispetto l'orizzontale

Schema stabilità locale



In particolare..

$$G = \frac{1}{2} S_y \gamma_s H$$

$$H = \frac{S_y \tan(\beta - \alpha_{sd})}{1 - \tan(90 - \beta - \theta) \cdot \tan(\beta - \alpha_{sd})}$$

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \alpha_{sd}$$

Sx, Sy = interasse ancoraggi/linea di ancoraggi

φ = angolo di attrito interno del materiale instabile

c = coesione del terreno

α_{sd} = angolo di inclinazione della superficie di scivolamento rispetto all'orizzontale

G = Peso del singolo concio

β = inclinazione del versante rispetto all'orizzontale

θ = inclinazione di Q rispetto l'orizzontale

$$Q = \frac{Sx \cdot G \cdot \left\{ (FS \cdot \sin \alpha_{sd} - \tan \varphi \cos \alpha_{sd}) + \right. \\ \left. + 2 \cdot FS \cdot (\sin \beta - \cos \beta \cdot \tan \varphi) \cdot [\cos(\beta - \alpha_{sd}) - \tan \varphi \cdot \sin(\beta - \alpha_{sd})] \right\} + \\ - c \cdot Sy \cdot Sx \cdot \left\{ \frac{1}{\cos(\beta - \alpha_{sd})} + FS \cdot [\cos(\beta - \alpha_{sd}) - \sin(\beta - \alpha_{sd}) \cdot \tan \varphi] \right\}}{\{ \tan \varphi \cdot \sin(\theta + \alpha_{sd}) + \cos(\theta + \alpha_{sd}) + \\ + FS \cdot [\cos(\beta + \theta) + \sin(\beta + \theta) \cdot \tan \varphi] \cdot [\cos(\beta - \alpha_{sd}) - \sin(\beta - \alpha_{sd}) \cdot \tan \varphi] \}}$$

Q e α_{sd} sono impliciti



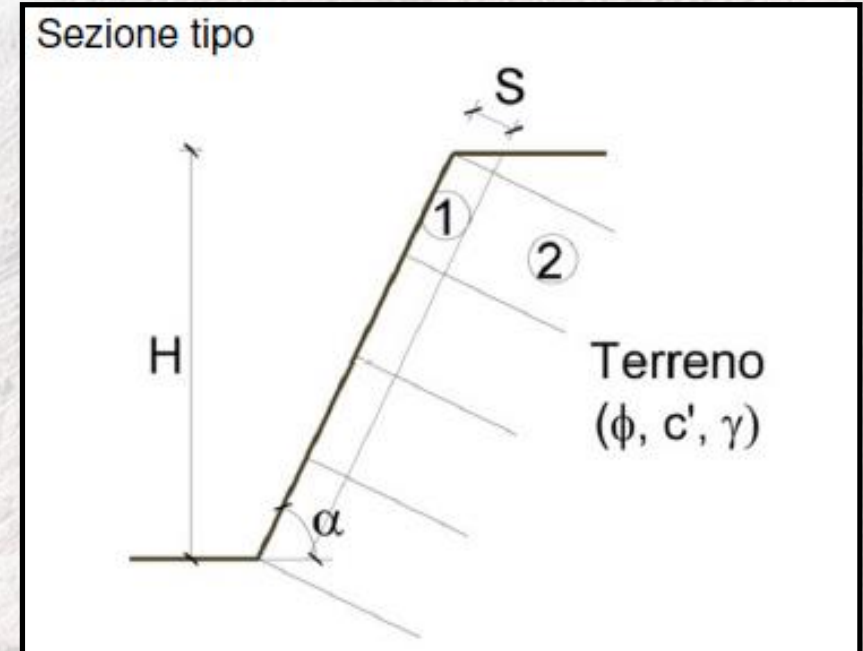
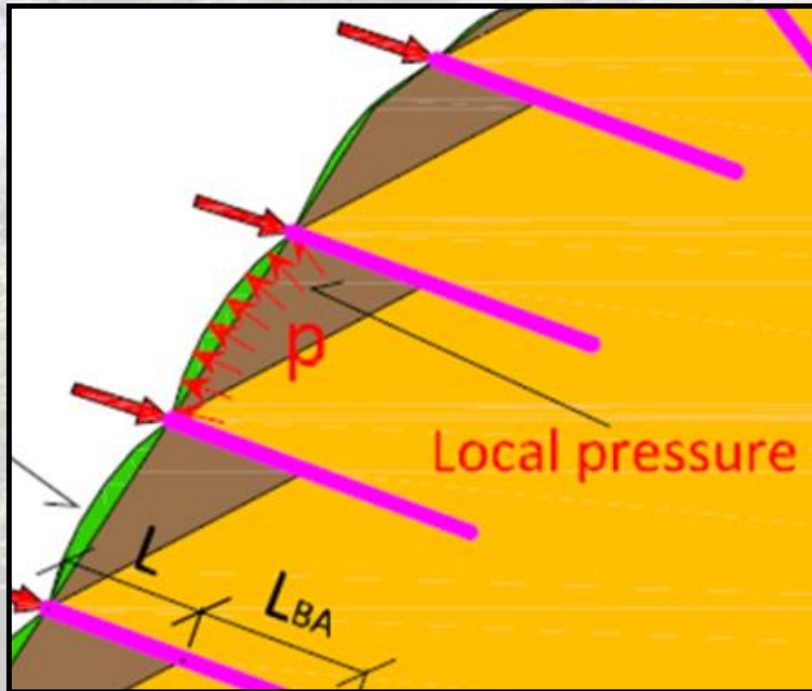
L'algoritmo itera α_{sd} fino ad ottenere Q_{max}



$$p_{design} = \frac{Q_{max}}{S_y \cdot FS}$$

**Pressione unitaria che
il terreno esercita
nell'area compresa
fra 2 linee di
ancoraggi lungo y**

Sulla base dei parametri geotecnici di progetto, pendenza della scarpata e maglia degli ancoraggi (quest'ultimi possono essere dati di input da precedenti verifiche di stabilità globale o da definire per tentativi per ottimizzare la soluzione) è possibile calcolare la spinta (pressione) del terreno sulla rete.

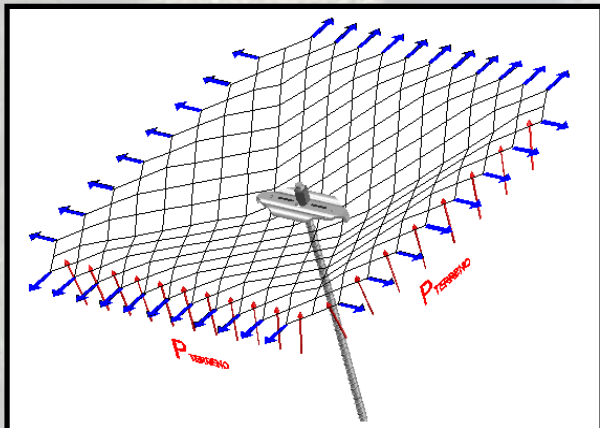
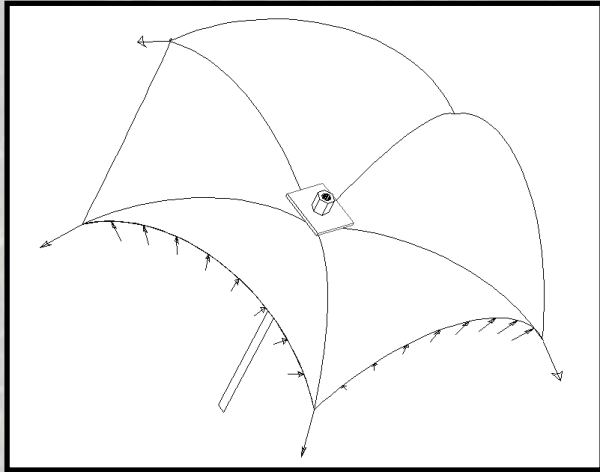


Identificata la spinta, in funzione dell'ordine di grandezza che la stessa assume si decide di approcciare la soluzione con:

- un **sistema puntuale (collegamento puntuale)**
- o
- un **sistema rinforzato (collegamento lineare - modello unidirezionale)**

Sistemi di applicazione - Collegamento puntuale

Calcolo pressione resistente



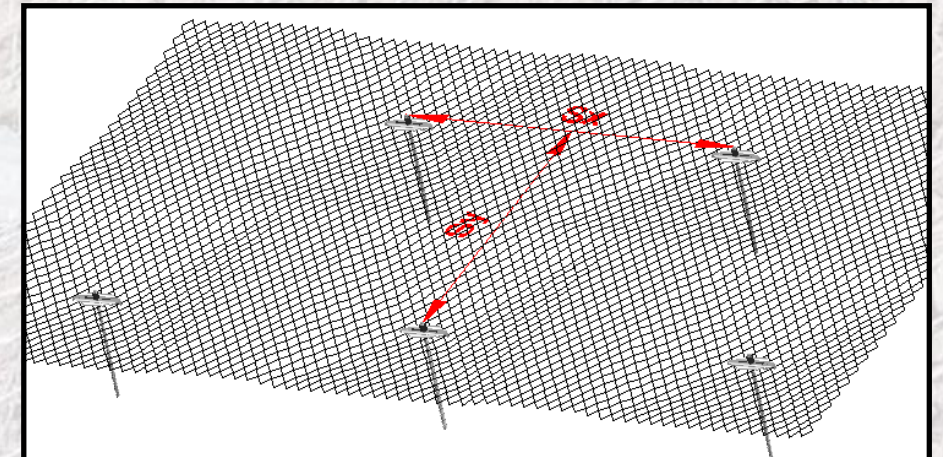
Il Sistema 3STutor® Plus permette di stabilizzare il terreno tra gli ancoraggi in abbinamento a sole connessioni puntuali. Il sistema rete-piastra è sollecitato a punzonamento.

La pressione che è in grado di opporre il sistema (kN/m²) è:

$$S = \frac{P_{\text{punzonamento}} * K_{\text{min}}}{S_x * S_y}$$

dove:

- $P_{\text{punzonamento}}$ = resistenza a punzonamento del sistema rete - piastra
- $S_x * S_y$ = griglia di ancoraggio



Sistemi di applicazione - **Collegamento puntuale**



← Piastra mod. 3S Eagle

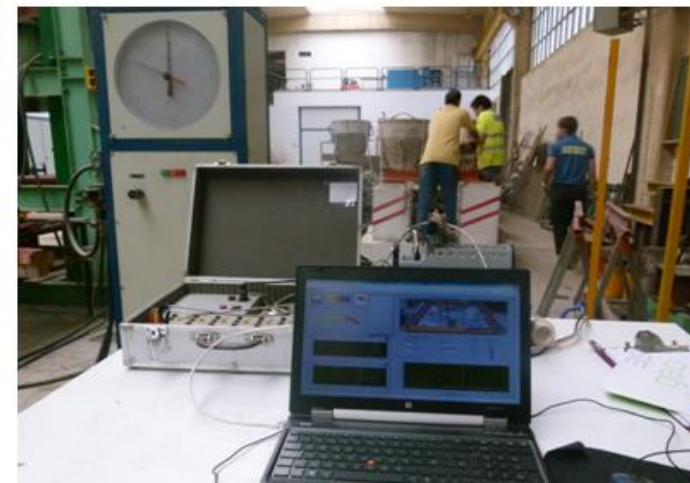


Fune di rinforzo laterale →

Sistemi di applicazione - Collegamento puntuale

Modalità di esecuzione delle prove per la determinazione della **resistenza al punzonamento** del sistema rete/piastra al fine di eseguirne il dimensionamento strutturale.

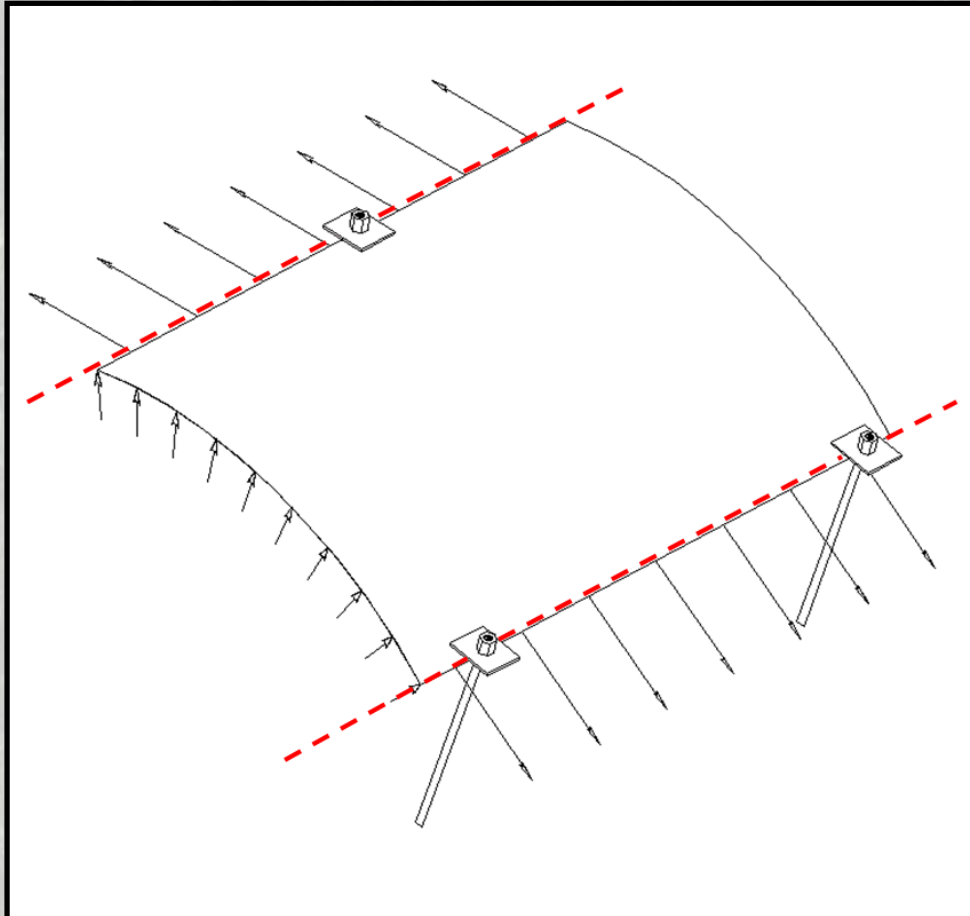
Proprietà meccaniche della maglia		
Tipo di maglie TUTOR® Plus	100/4,0	100/4,5
Punzonatura carico di rottura (kN)	70	100



Sistemi di applicazione -

Collegamento continuo unidirezionale

Collegamento continuo modello unidirezionale



Tale sistema integra lungo una direzione (per questo chiamato unidirezionale) l'effetto di consolidamento della rete e degli ancoraggi mediante l'applicazione di una o due funi in direzione orizzontale rispetto alla direzione di stesa della rete.

Ciò varia completamente il funzionamento strutturale del sistema rispetto a quello puntuale.

Attraverso le linee principali di posizionamento degli ancoraggi (linee tratteggiate rosse in figura a lato) possono essere poste in opera:

- 1 fune di rinforzo orizzontale
(sistema leggermente rinforzato)
- 2 funi di rinforzo orizzontale
(sistema rinforzato)

Sistemi di applicazione -

Collegamento continuo unidirezionale

Calcolo pressione resistente

Sollecitata dalla pressione (p) che il terreno esercita sulla rete (membrana), questa si deformerà con curvatura ($1/R$), dipendente dalle caratteristiche deformative della rete stessa. Si genera una reazione della rete σ_y :

$$\sigma_y = p \cdot R \quad \rightarrow \quad p = \sigma_y / R$$

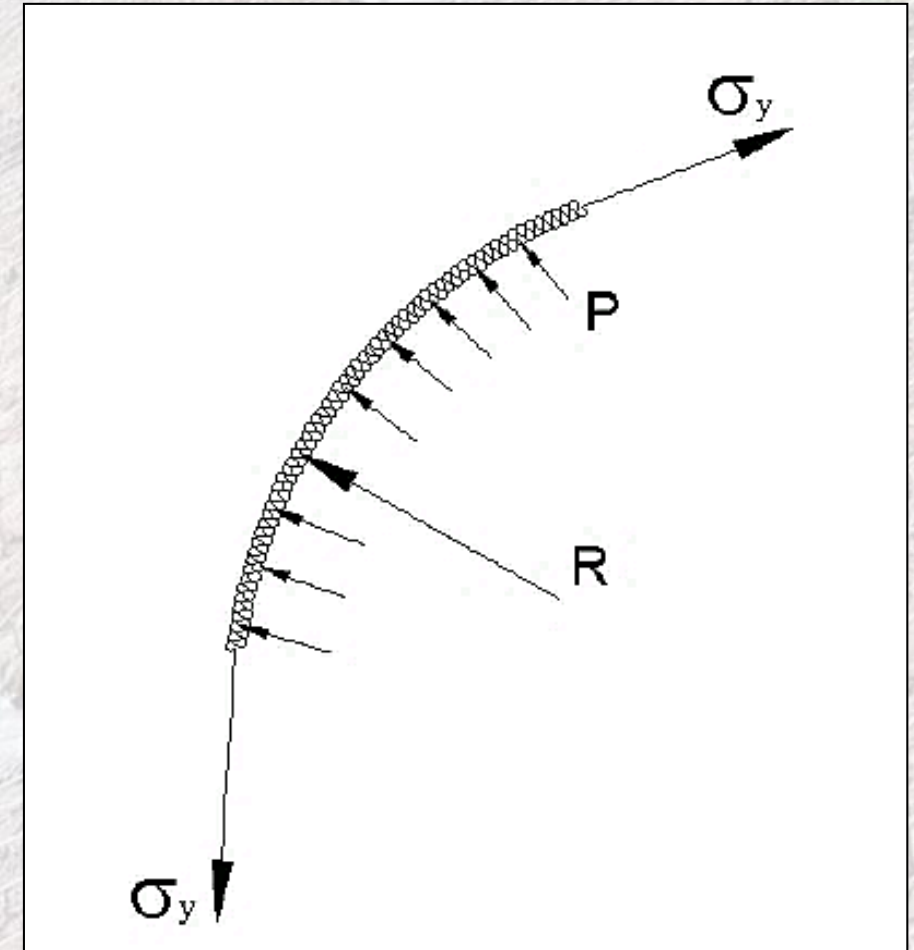
Lo sforzo di trazione sulla rete σ_y è pari a: $\sigma_y = T_y \cdot K_{min}$

Per cui:

$$p = \frac{T_y \cdot K_{min}}{R}$$

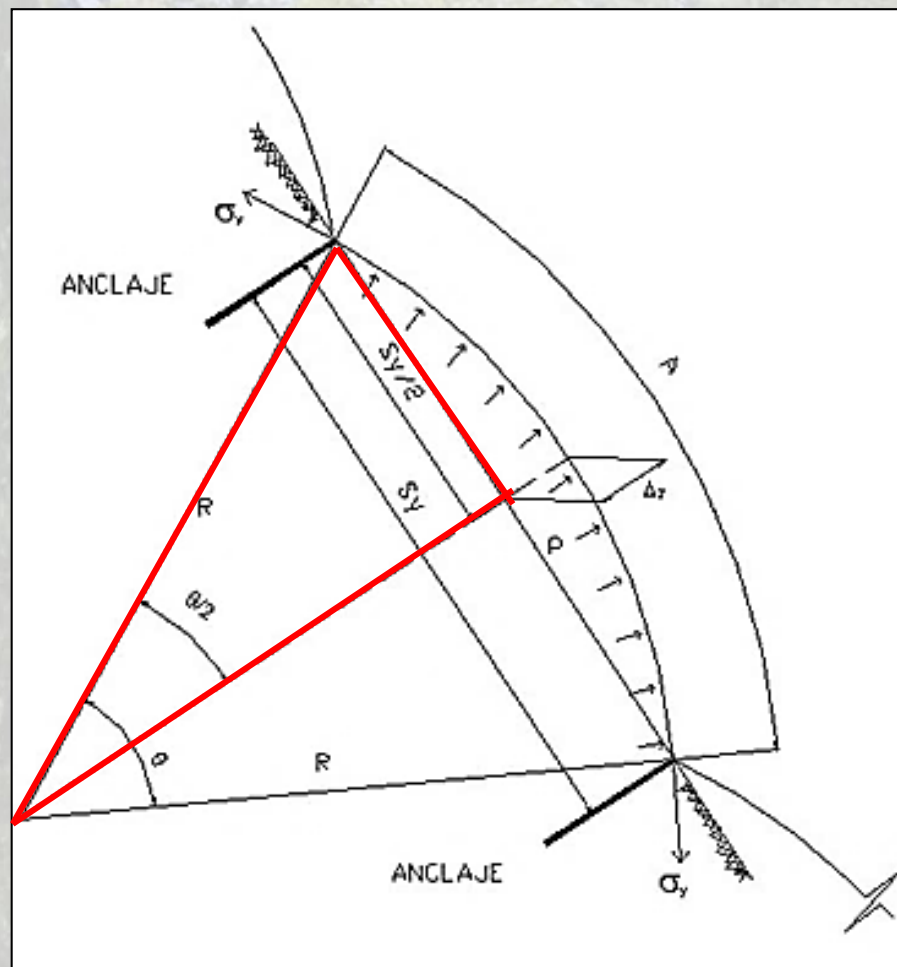
Dove:

- T_y = Resistenza a trazione sulla rete
- K_{min} = Coefficiente di riduzione della resistenza a trazione



Sistemi di applicazione - Collegamento continuo unidirezionale

Calcolo pressione resistente



Secondo le caratteristiche geometriche della deformata:

$$R = \frac{S_y}{2 \cdot \sin \theta/2}$$

- S_y = distanza verticale tra due linee di ancoraggi
- $\theta/2$ = angolo della deformata della rete/membrana sotto carico di lavoro → noto a seguito della conoscenza dello stato tensionale/deformativo e in funzione delle deformazioni in condizioni di lavoro (2,5 %)

Sistemi di applicazione -

Collegamento continuo unidirezionale

Calcolo pressione resistente

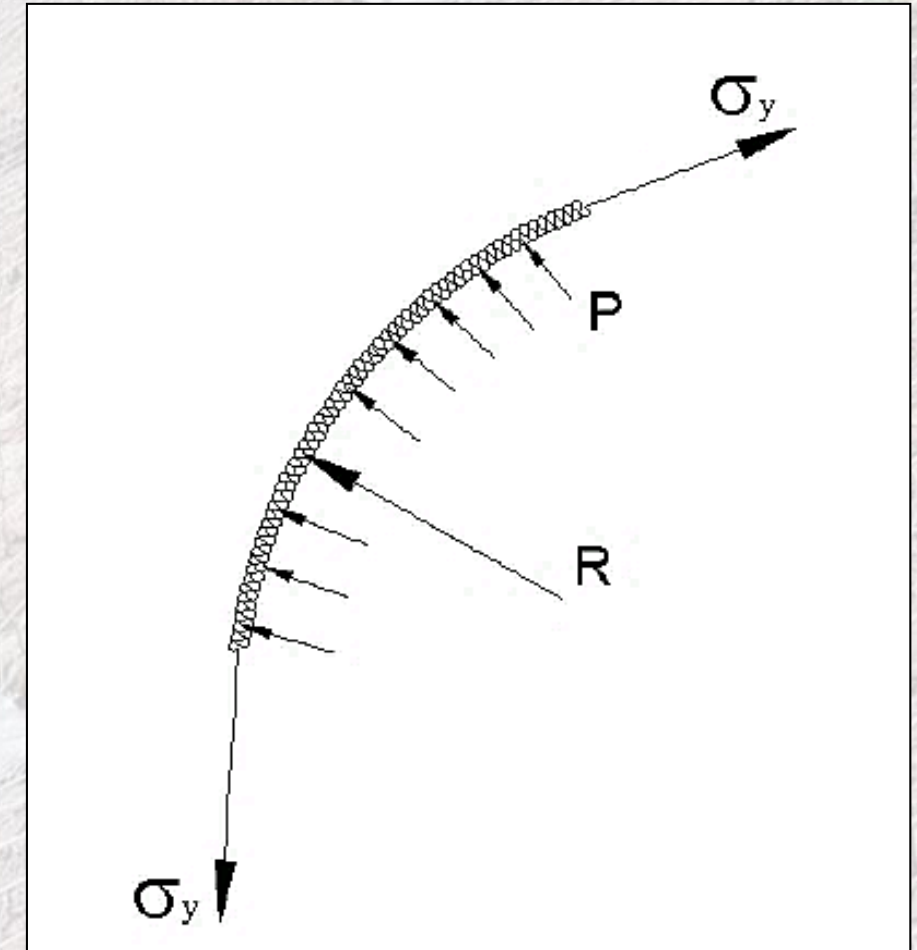
$$p = \frac{T_y \cdot K_{min}}{R} \quad \text{e} \quad R = \frac{S_y}{2 \cdot \sin \theta/2}$$

Si ha:

$$p = \frac{T_y \cdot K_{min} \cdot 2 \cdot \sin \theta/2}{S_y}$$

Dove:

- T_y = Resistenza a trazione sulla rete
- K_{min} = Coefficiente di riduzione della resistenza a trazione
- S_y = Distanza verticale tra due linee di ancoraggi
- $\theta/2$ = angolo della deformata della rete/membrana sotto carico di lavoro



Sistemi di applicazione - Collegamento continuo unidirezionale

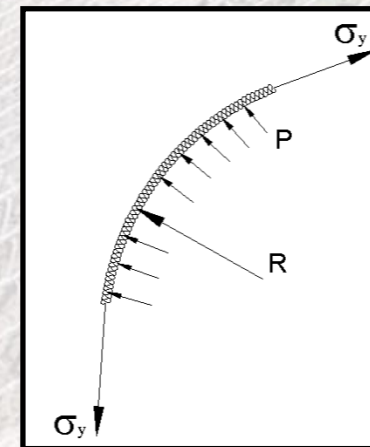
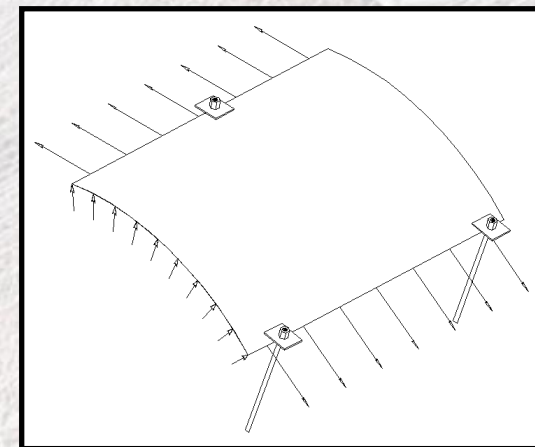
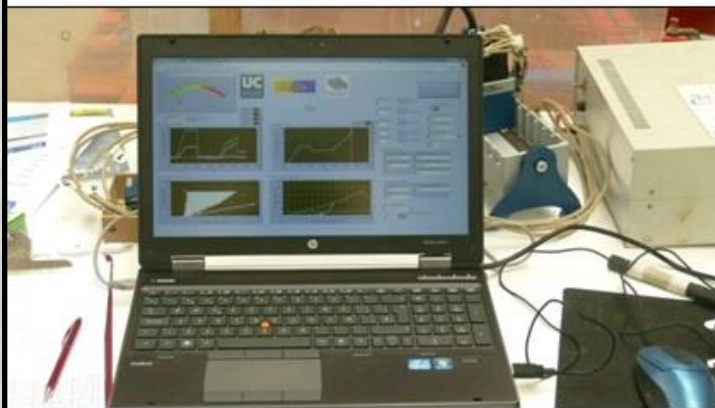


Sistema leggermente rinforzato
(una fune di rinforzo)

Sistema rinforzato
(due funi di rinforzo)



Sistemi di applicazione - Collegamento continuo unidirezionale



Prove di trazione confinate lateralmente per capire come si sviluppa la resistenza della rete in particolare riferimento alla deformazione. I dati che ne risultano vengono inseriti negli algoritmi di dimensionamento del sistema.

$$p > p_{design}$$

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Connessione puntuale | Per spinte del terreno da 6 a 10 kN/m ² |
| 2. Sistema leggermente rinforzato | Per spinte del terreno da 8 a 15 kN/m ² |
| 3. Sistema rinforzato | Per spinte del terreno da 15 a 40 kN/m ² |

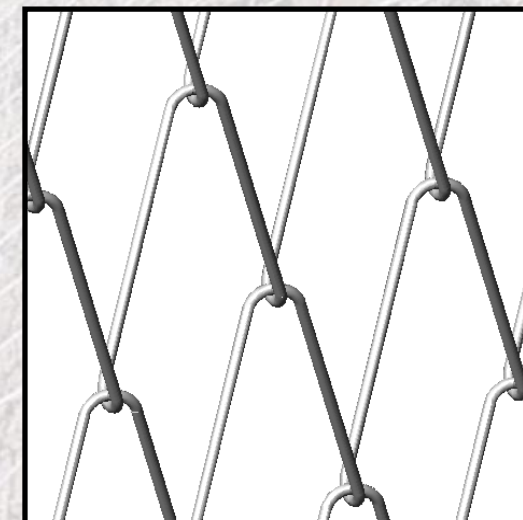
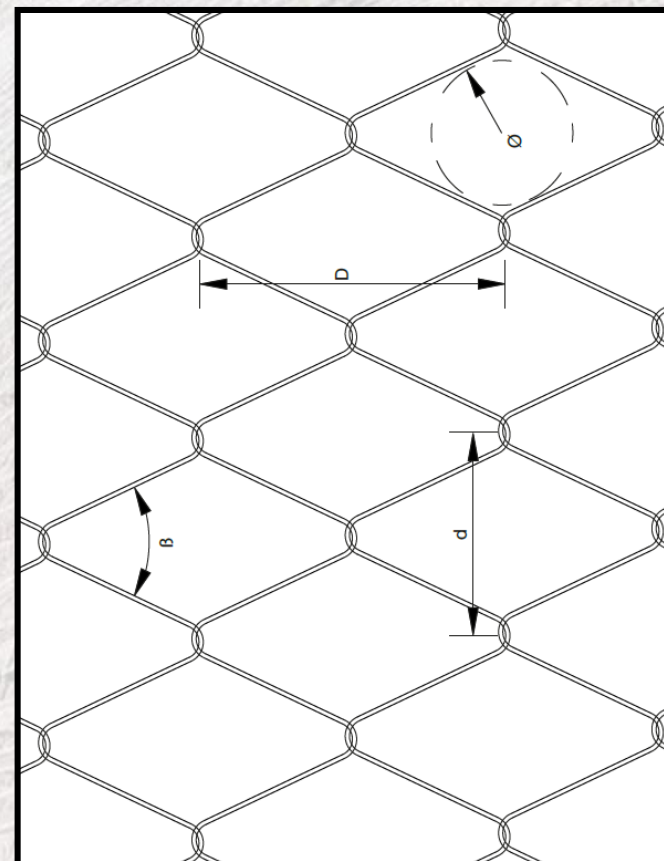
Prescelto il sistema di consolidamento sulla base delle spinte, si definiscono con precisione gli interassi degli ancoraggi e sulla base degli stessi:

- la tipologia di **rete** necessaria al caso in fase di studio,
- la tipologia di **piastre** con relativo spessore,
- il diametro delle **funi di rinforzo orizzontale** (se ci troviamo nel caso 2 o 3),
- il diametro delle **funi perimetrali**,
- **chiodature/ancoraggi** minimi per assicurare la stabilità rispetto ai problemi locali
- **accessori** quali funi di legatura delle reti, ancoraggi flessibili per il fissaggio degli spigoli e delle funi orizzontali agli estremi.

Rete a singola torsione realizzata con acciaio a medio-alta resistenza (900 N/mm²).

Due famiglie di rete: una con maglia 90x135 mm e una con maglia 100x155 mm.

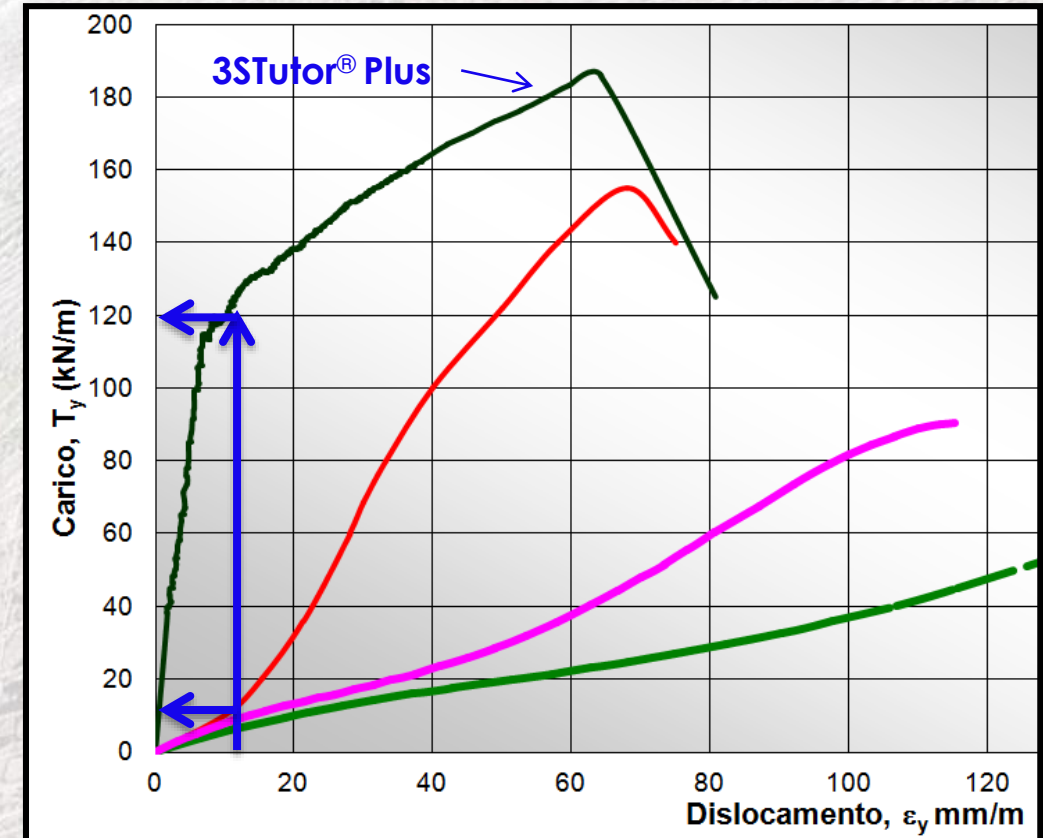
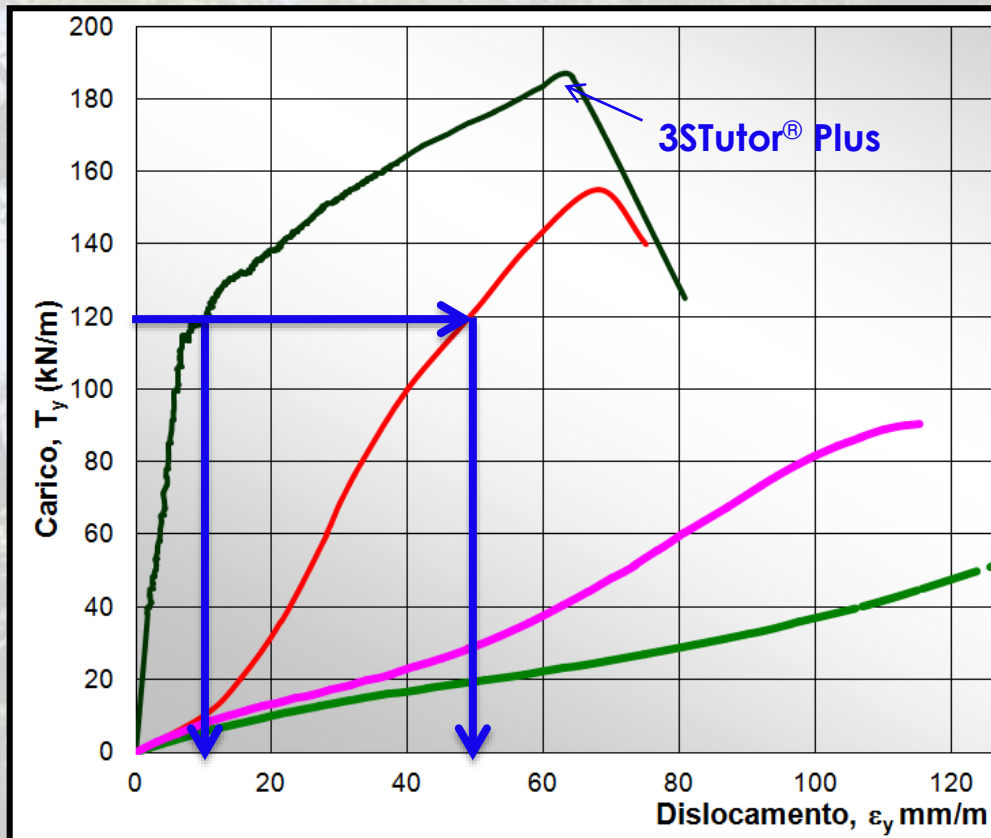
Caratteristiche geometriche della rete <i>Geometric characteristics of the mesh</i>		
Rete 3STUTOR® Plus <i>3STUTOR® Plus Mesh</i>	ST-90	ST-100
Geometria della maglia <i>Geometry of the mesh</i>	Rombooidale <i>Rhomboidal</i>	
Angolo di spira nel vertice, β <i>Angle at the vertex loop, β</i>	58°	
Dimensione di ogni rombo (d x D) (± 3%), (mm) <i>Size of each diamond (d x D) (± 3%), (mm)</i>	90 x 135	100 x 155
Diametro del cerchio inscritto (Ø), (mm) <i>Diameter of the inscribed circle (Ø), (mm)</i>	70	75
N° di spire nella direzione orizzontale (spire / m) <i>N° of turns in the horizontal direction (turns / m)</i>	11	10
N° di spire nella direzione verticale (spire / m) <i>N° of turns in the vertical direction (turns / m)</i>	7,4	6,5



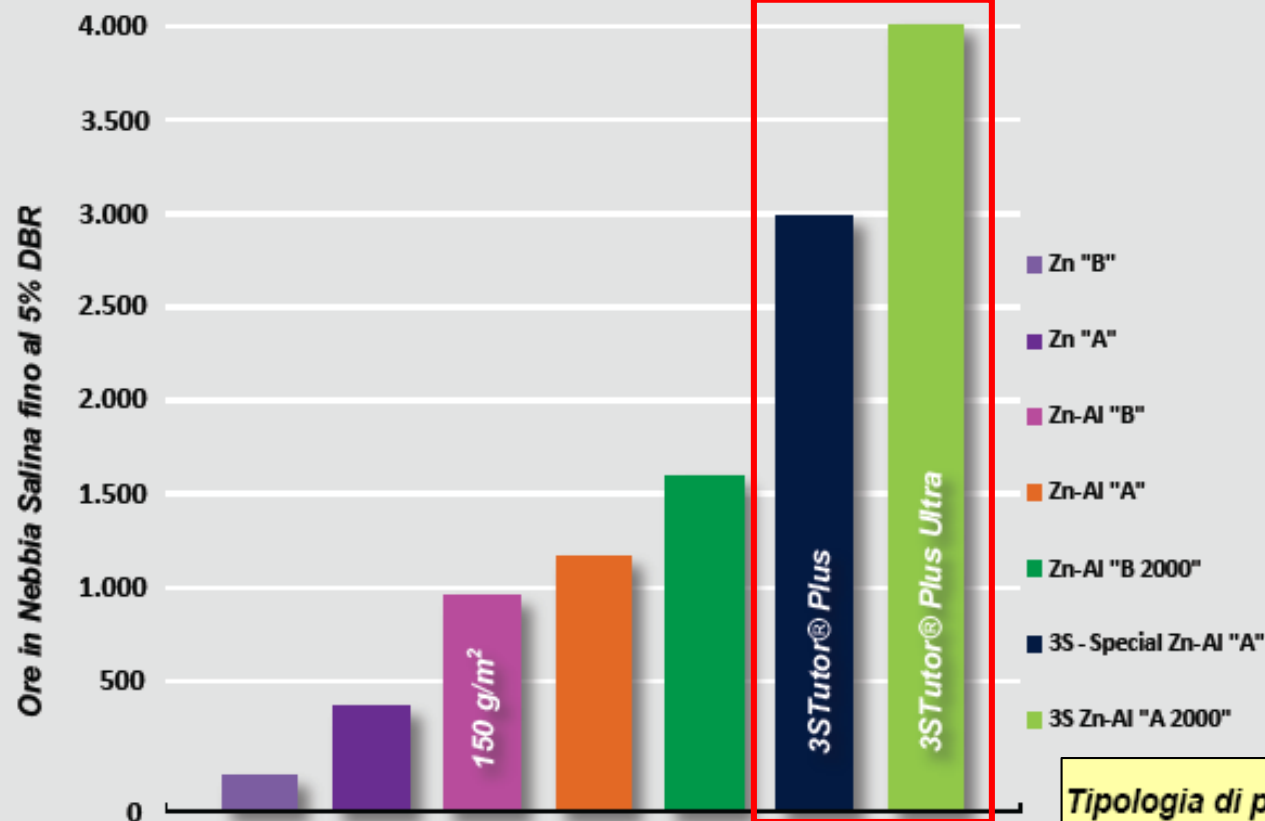
Queste 2 famiglie possono essere realizzate con diversi diametri del filo a partire da 3,4 fino a 4,5 mm.

Caratteristiche prestazionali della rete 3STUTOR® Plus				
Tipo di rete 3STUTOR® Plus	100/3,4	100/4,0	100/4,5	90/4,5
Diametro del filo, (mm)	3,4	4,0	4,5	4,5
Resistenza del filo, (N/mm ²)	900			
Resistenza a trazione della rete ($T_{y\text{ Breaking}}$), (kN/m)	100	135	170	205
Deformazione unitaria in condizione di lavoro (%)	2,5	2,7	2,8	4
Resistenza al punzonamento (T_p), (kN)	55	70	100	*
Tipologia di protezione dalla corrosione	Plus (95% Zn + 5% Al) / Plus Ultra (90% Zn + 10% Al)			
Tipo di rivestimento protettivo secondo EN-10244-2	Classe A (>300 g/m ²)			
Vita di servizio **	150	175	175	175
* non richiesto dalla tipologia di applicazione specifica				
** (categoria climatica C2 – zone temperate e aree rurali con inquinamento minimo (EN ISO 12944-2 e ISO9223))				

La rete 3STutor® Plus ha dimostrato durante le prove di trazione di avere una deformazione strutturale limitatissima in **condizioni di esercizio**, cioè in quelle che sono le tipiche condizioni di lavoro in scarpata.



Grafici nei quali si può notare la bassa deformabilità a parità di resistenza o la elevata resistenza a parità di deformazione della rete 3STutor® Plus rispetto ad altre reti a singola torsione.

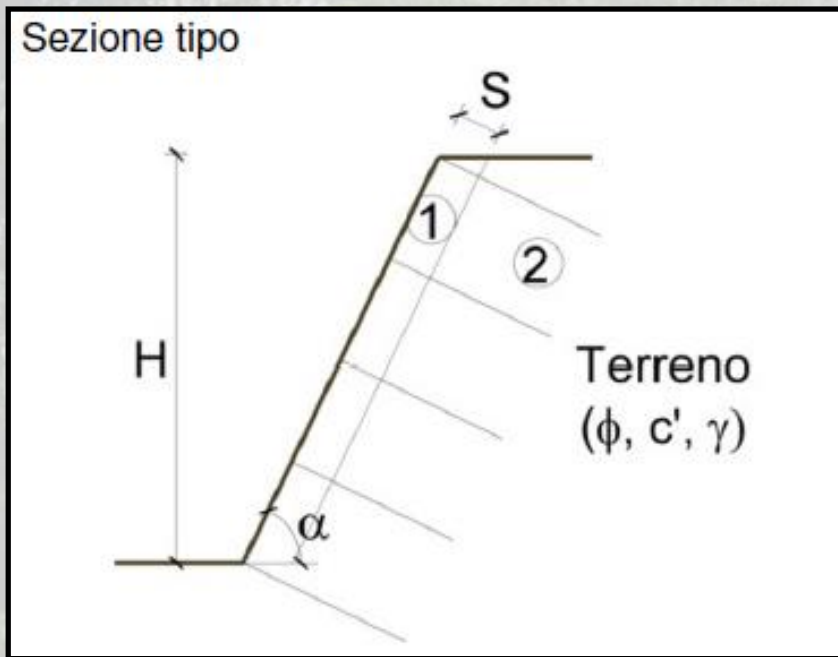


Comparazione dei risultati ottenuti dai Test in Nebbia Salina con campioni protetti in Zn e Zn-Al (classe A e B), secondo EN 10244-2

Tipologia di protezione	TUTOR® Plus	TUTOR® Plus Ultra*
Composizione	95% Zn - 5% Al	90% Zn - 10% Al
Rivestimento, (gr/m ²)	> 300	> 300
Risultati ottenuti da prove in nebbia salina (Tempo di esposizione fino a 5% DBR), (ore)	> 3000	> 4000

Esempio di dimensionamento

Il dimensionamento del sistema di consolidamento corticale necessita in input dei seguenti parametri geotecnici e geometrici:



- Pendenza del versante $\beta [^\circ] = 70^\circ$
- Angolo di attrito del materiale $\phi [^\circ]$
- Coesione del materiale $c' [\text{kN/m}^2]$
- Peso per unità di volume $\gamma [\text{kN/m}^3]$

Da verifiche in sito: $JRC = 6-10$ e $JCS = 80-100 \text{ MPa}$



$$\phi = 45^\circ$$

$$c' = 0 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$$

Tipologia di rete utilizzata	Rete tipo 3STutors 100/4,5 mm
Tipologia di piastre nei bordi dell'area da consolidare	Piastra 3S PI
Tipologia di piastra nell'area centrale della scarpata da rinforzare	Piastra 3SDELTA Tipo 1 ($\varnothing_{\text{foro}}=25\text{mm}$).
Tipologia di ancoraggio prescelto	Barre Gewi ($\varnothing=20\text{mm}$)
Profondità ancoraggio	L = 4000 mm.
Fune di rinforzo orizzontali	Fune 7x19, $\varnothing=16\text{mm}$, R=1770N/mm ² Rivestimento Zn-Al
Funi perimetrali superiore e inferiore	Fune 7x19, $\varnothing=16\text{mm}$, R=1770N/mm ² Rivestimento Zn-Al
Funi perimetrali laterali	Fune 7x19, $\varnothing=14\text{mm}$, R=1770N/mm ² Rivestimento Zn-Al
Funi di collegamento tra perimetrali superiori e inferiori e rete	Fune 7x19, $\varnothing=6\text{mm}$, R=1770N/mm ² Rivestimento Zn-Al
Funi di collegamento tra perimetrali laterali e rete	Fune 7x7, $\varnothing=10\text{mm}$, R=1770N/mm ² Rivestimento Zn-Al
Ancoraggi in doppia fune spiroidale di collegamento funi orizzontali	$\varnothing=14\text{mm}$ (fune a 37 fili R = 1770 N/mm ² con rinforzo circolare di testa L = 4500 mm
Ancoraggi in doppia fune spiroidale ai vertici della zona da consolidare	$\varnothing=14\text{mm}$ (fune a 37 fili R = 1770 N/mm ² con rinforzo circolare di testa L = 4500 mm









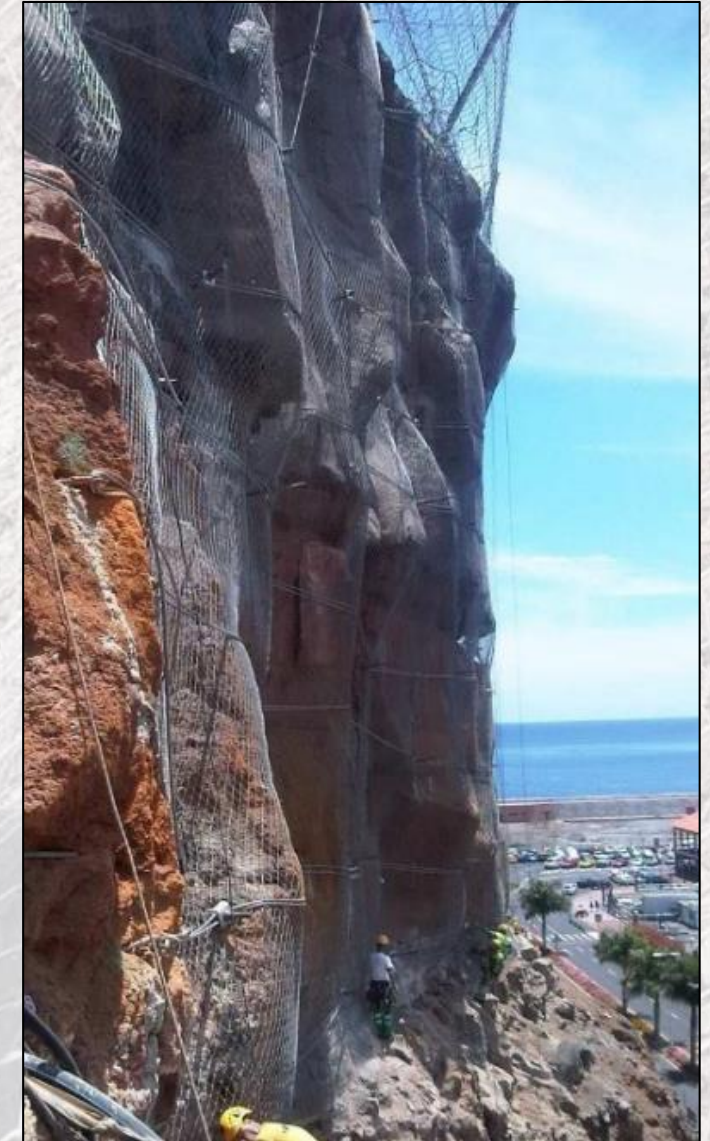


Foto applicazioni (Italia)



Foto applicazioni (Italia)





**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**

Via degli Artigiani, 52 - Z.I. Ciré
38057 - Pergine Valsugana (TN)
ITALY

Tel. +39 0461 534 000
Fax +39 0461 533 888

Web: www.incofil.com
Email: info@incofil.com