



BORGHI AZIO S.p.A.

GABBIONI • RETI • DRENAGGI PER DIFESA IDROGEOLOGICHE
Via Papa Giovanni XXIII, 15 - 42020 S. Polo d'Enza (RE) – ITALY
Tel. 0522.873.193 / 874.398 - Fax 0522.873.267
Internet: www.borghiazio.com – E-mail: info@borghiazio.com

**RIVESTIMENTI E RAFFORZAMENTI
CORTICALI CON RETE
A DOPPIA TORSIONE**

**PROBLEMATICHE E METODOLOGIE
D'APPROCCIO**

Em. 10/03
Rev. 00/03

Dott. Ing. Massimo Raviglione



CARATTERISTICHE TIPOLOGICO-FUNZIONALI

La tecnica del rivestimento e rafforzamento corticale è un intervento di tipo attivo, atto a consolidare superficialmente pendii in terra o roccia mediante rivestimento del pendio o fasciatura delle porzioni instabili, al fine di impedire o limitare spostamenti e deformazioni.

A seconda della tipologia geo-morfologica del pendio, le finalità del consolidamento possono essere così schematizzate:

- per pendii in terreno ⇒ impedisce il verificarsi di scorrimenti superficiali di terreno o trattiene piccoli smottamenti superficiali;
- per pendii in roccia ⇒ evita il crollo di porzioni rocciose instabili o accompagna al piede della parete piccoli volumi rocciosi.

ELEMENTI COMPONENTI

Gli elementi fondamentali che compongono un rivestimento corticale sono principalmente: il *rivestimento*, le *chiodature*, le *funi d'orditura*, e il *reticolo d'armatura*. La specifica tipologica di ogni componente è definita in funzione delle caratteristiche tipologiche dell'intervento in progetto.

Rivestimento

Strato superficiale di tipo flessibile in teli di rete (semplice, doppia torsione o a alta resistenza) e pannelli in fune (maglia quadrata o romboidale con nodi borchiate a normale o alta resistenza), o di tipo rigido in calcestruzzo spruzzato tipo "spritz beton" semplice o rinforzato con fibre o armature.

Chiodature

Elementi puntuali di tipo attivo o passivo, realizzati in barre d'acciaio piene (nervate tipo Fe B 44k, o a filetto continuo in acciaio tipo BST 500 o 835/1050), cave (tipo autoperforante) o in fune d'acciaio, messe in opera mediante battitura o perforazione e successiva iniezione di boiacche di cemento.

Funi d'orditura

Realizzano il collegamento fra le chiodature di ancoraggio, il rivestimento e il pendio. Generalmente sono poste in sommità e al piede del pendio (superiori e inferiori), orizzontali lungo il pendio (intermedie) e di contenimento laterale (verticali in posizione dx e sn a chiusura laterale del rivestimento)

Reticolo d'armatura

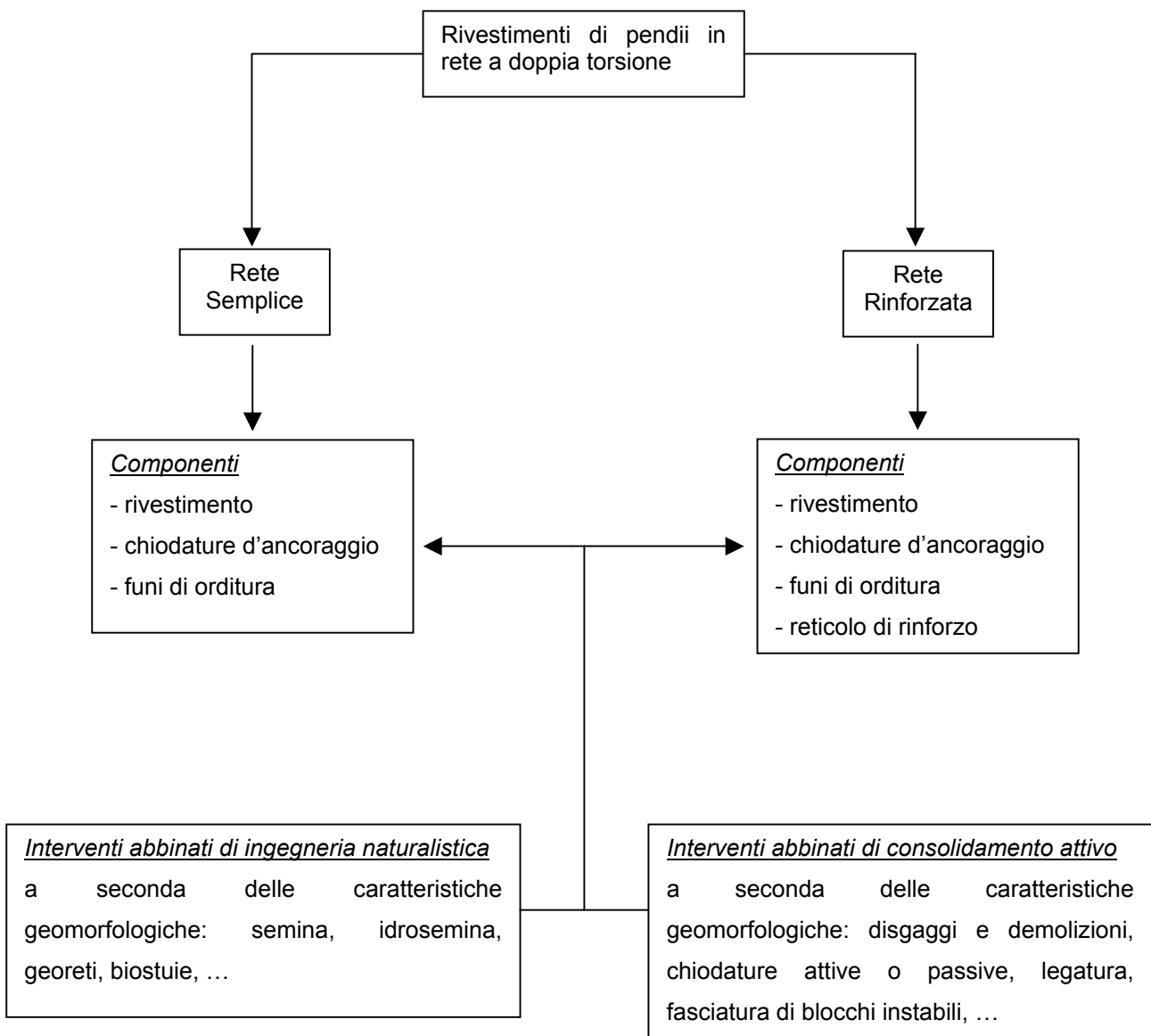
Ha lo scopo di rinforzare il rivestimento diminuendo le superfici fra le singole chiodature al fine di limitare ulteriormente le deformazioni del pendio.



RIVESTIMENTI CORTICALI CON TELI DI RETI IN FILO

Generalmente, in funzione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche o geomeccaniche del pendio, il progettista si trova a dover affrontare la scelta della tipologia di rivestimento fra le alternative *semplice e rinforzato o rafforzamento*.

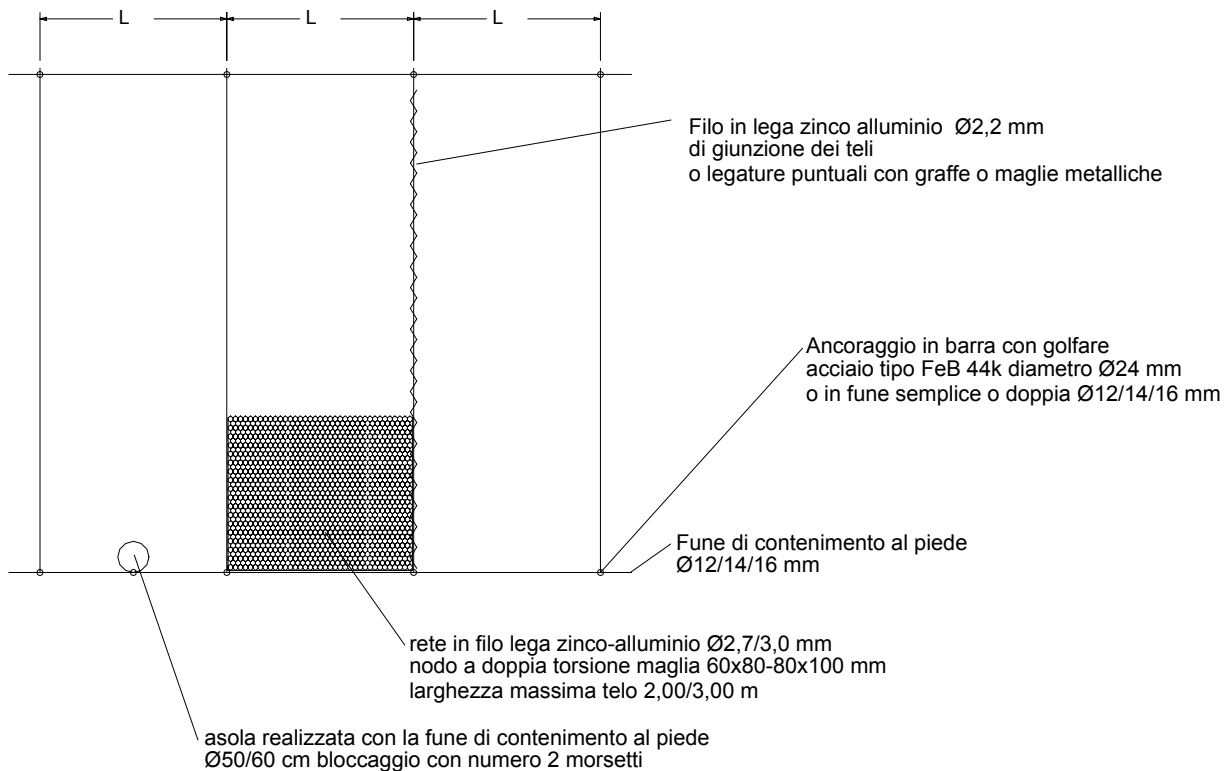
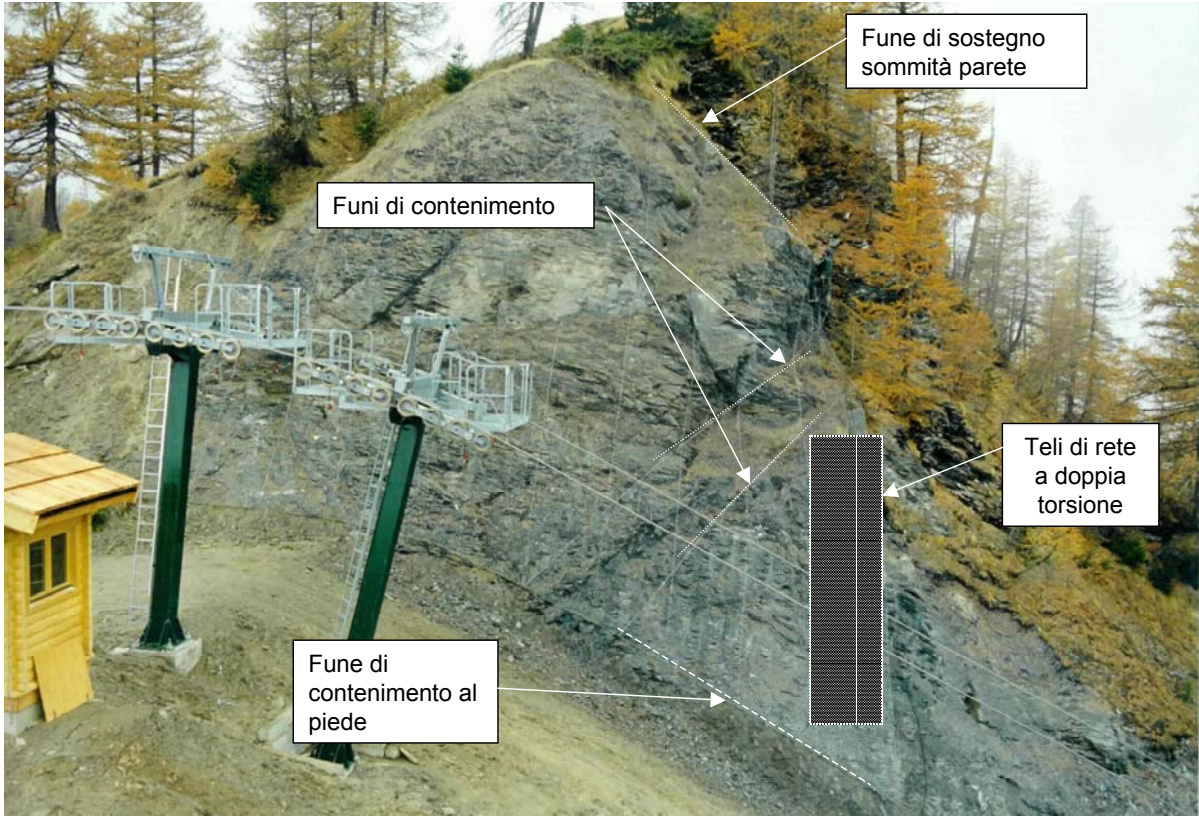
Tecnicamente le due soluzioni appaiono simili per la tipologia dei materiali e il loro impiego, ma in realtà si differenziano notevolmente per la loro funzione, infatti, mentre il rivestimento semplice ha la sola funzione di accompagnare al piede del pendio il materiale in caduta, il rivestimento rinforzato, consolida superficialmente il pendio impedendo il movimento di elementi lapidei o piccole porzioni di terreno. Entrambe come detto in precedenza rientrano nella categoria degli interventi attivi, ma in realtà il rivestimento semplice potrebbe essere catalogato anche come intervento passivo.





Rivestimento semplice

Ha la funzione di guidare al piede del pedio piccoli elementi lapidei accompagnandoli lungo il moto di caduta dissipando l'energia con l'azione del rivestimento. Ha impatto ambientale ridotto e può essere abbinato o integrato con tecniche di ingegneria naturalistica (rivestimenti con georeti, biostuie, inerbimenti, ecc ...).

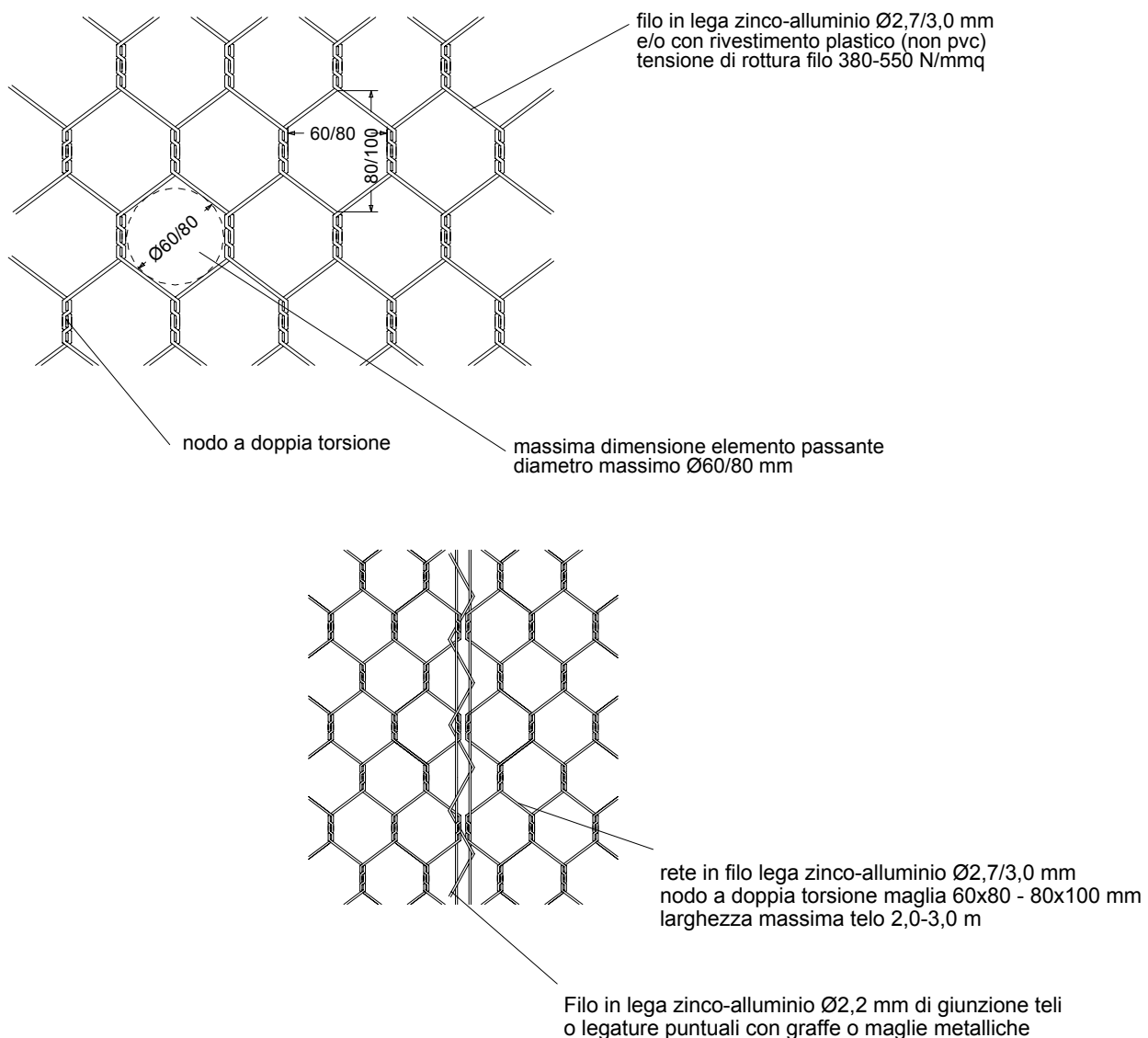




Rivestimento: di tipo flessibile in teli di rete in filo con nodi a doppia torsione con resistenza nominale a trazione longitudinale pari a 50 kN/m ricavata con modalità di prova conformi alla normativa ASTM A-975-97, di larghezza pari a $L = 2,0-3,0$ m, maglia del reticolo generalmente di forma esagonale di dimensione 60x80 o 80x100 mm con filo di diametro pari a 2,7 o 3,0 mm con carico di rottura minimo compreso fra 350 e 550 N/mm² e allungamento minimo pari al 12%.

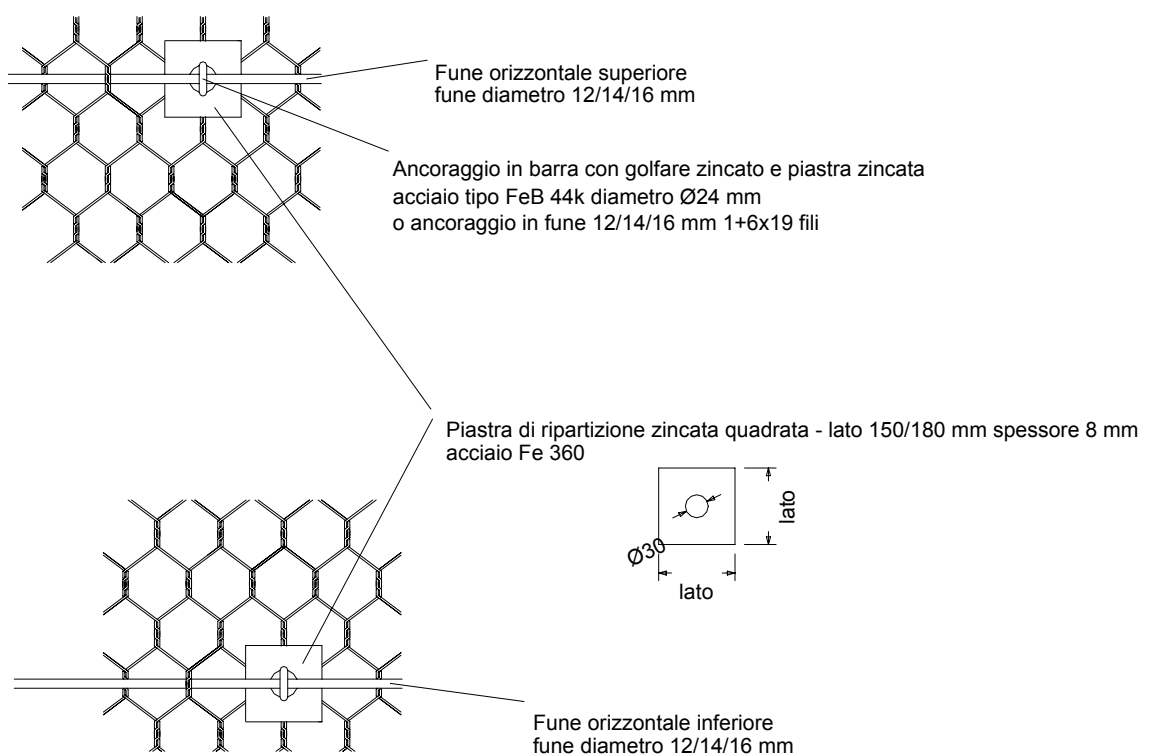
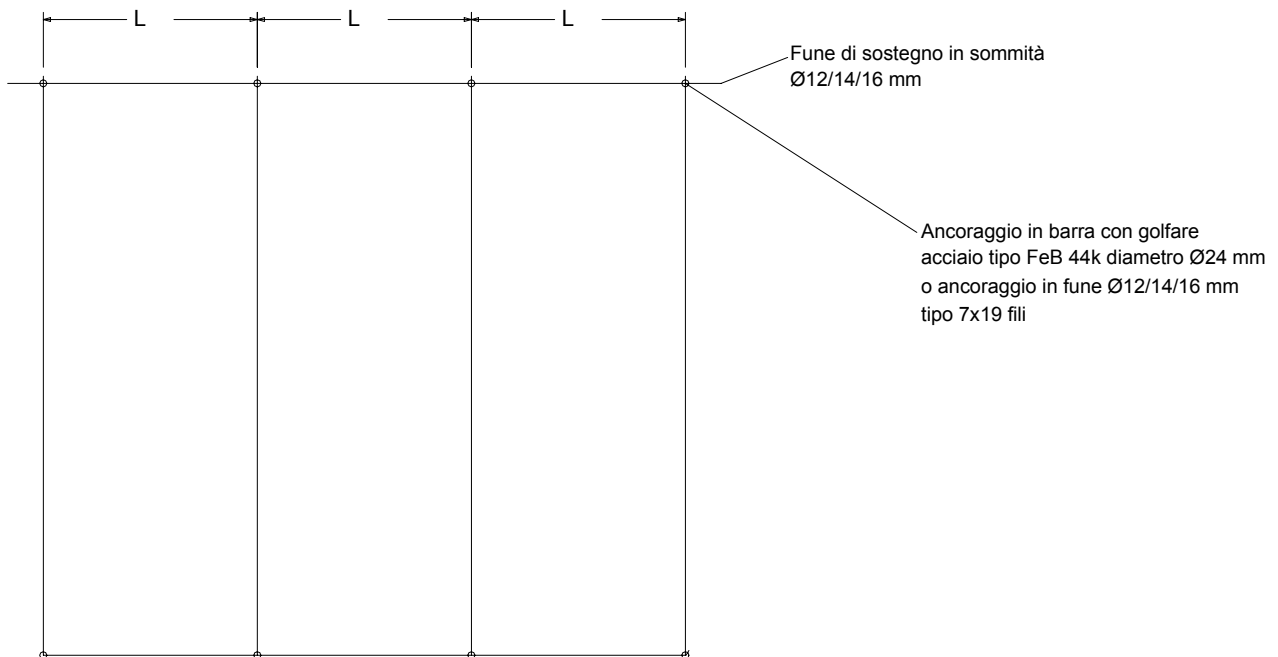
I singoli teli sono uniti in senso longitudinale uno all'altro, mediante cucitura continua in filo d'acciaio delle stesse caratteristiche di quello costituente la rete, di diametro pari a 2,2 mm o con legature puntuali eseguite manualmente, con cucitrice automatica o con false maglie in acciaio, di passo minimo non inferiore a 50 cm. I teli dovranno essere prodotti secondo le norme UNI-EN 10223-3, conformemente alle UNI-EN 10223-3 per le caratteristiche meccaniche e alle UNI-EN 10218 per le tolleranze sui diametri.

I teli sono protetti dalla corrosione mediante trattamento di galvanizzazione realizzato sul filo, con lega eutettica di Zinco-Alluminio (5%)-Cerio-Lantanio conforme alla EN 10244 – Classe A e ASTM 856-98 con un quantitativo non inferiore a 245 g/mq. Per ambienti particolarmente aggressivi, si rafforza il trattamento di galvanizzazione con un rivestimento in materiale plastico non PVC, con spessore non inferiore a 0,5 mm.



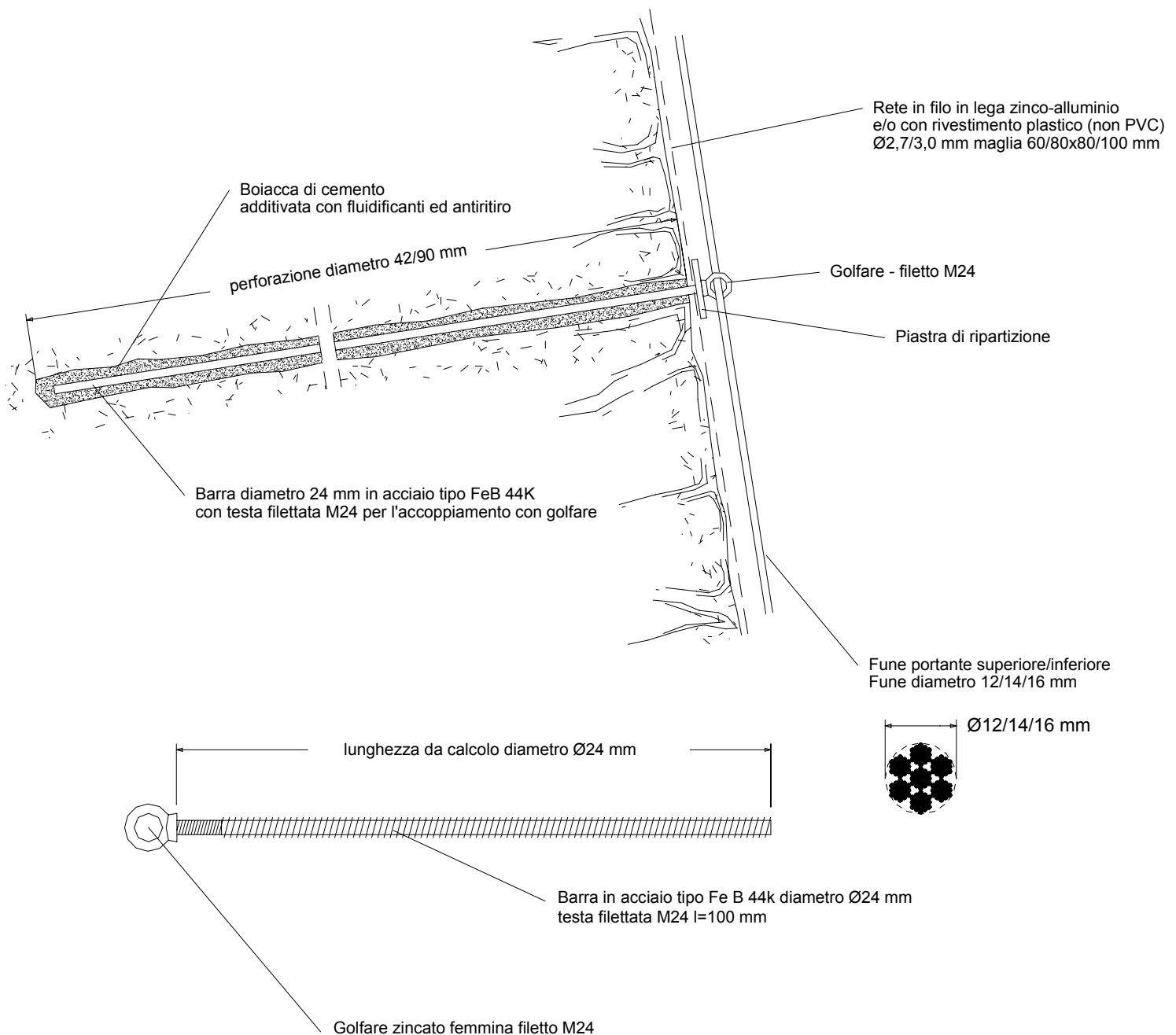


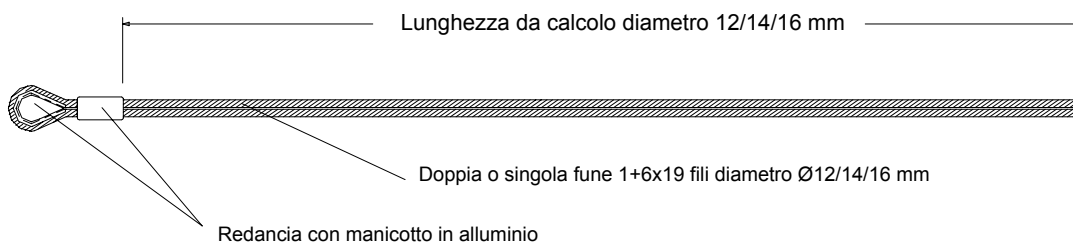
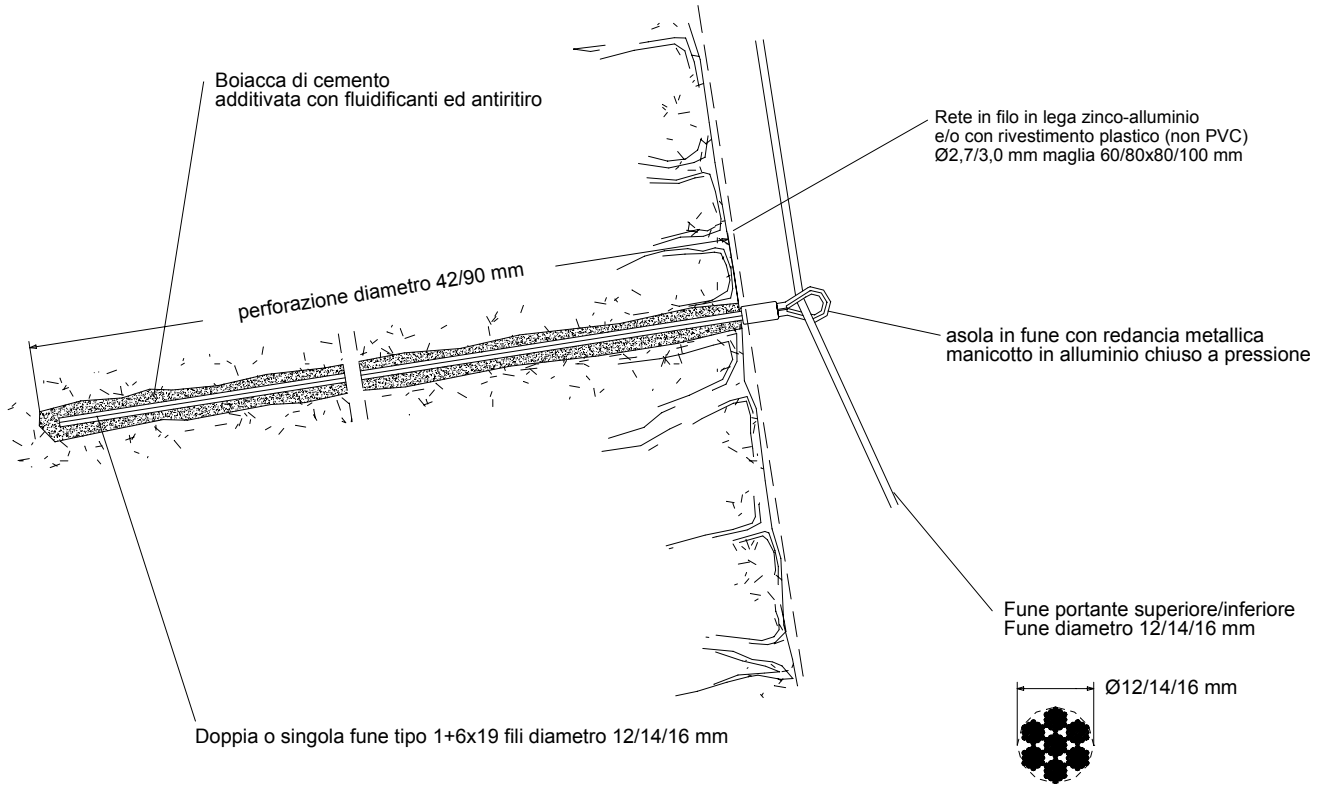
Funi di orditura: trefoli in fili di acciaio del tipo 7x19 o 6x19 di diametro $\varnothing 12/14/16$ mm classe di resistenza del filo pari a 1770 N/mm^2 , prodotte conformemente alle norme DIN 3060. Le funi d'orditura portante sono poste in corrispondenza del bordo superiore del pendio (di sommità) e al piede (inferiore). In rivestimento è ripiegato sulle funi portanti superiori e inferiori per una lunghezza minima di 40 cm, ed è esse legate con cucitura continua in filo d'acciaio delle stesse caratteristiche di quello costituente la rete, di diametro pari a 2,2 mm o con legature puntuali eseguite manualmente, con cucitrice automatica o con false maglie in acciaio, di passo minimo non inferiore a 50 cm.





Chiodature d'ancoraggio: poste in sommità e al piede del pendio, ad interasse orizzontale massimo di $L=2,00/3,00$ m in funzione della larghezza del telo di rete, sono realizzate in barra d'acciaio tipo Fe B 44k di diametro $\varnothing 24$ mm o in fune con un doppio o singolo cavo d'acciaio tipo 7x19 di diametro $\varnothing 12/14/16$ mm, realizzato con fili di classe di resistenza pari a 1770 N/mm^2 , prodotte conformemente alle norme DIN 3060, dotato di redancia metallica e manicotto in alluminio chiuso a pressione. L'ancoraggio rigido o flessibile è generalmente cementato per iniezione a pressione ($p_{\min} = 4,0$ bar) con boiaccia di cemento tipo R32,5 o superiore additivato con fluidificanti e antiritiro, in foro di diametro eseguito per rotopercussione di diametro pari a $42/90$ mm, di lunghezza opportuna (non inferiore a $1,00-1,50$ m) in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno o della roccia.

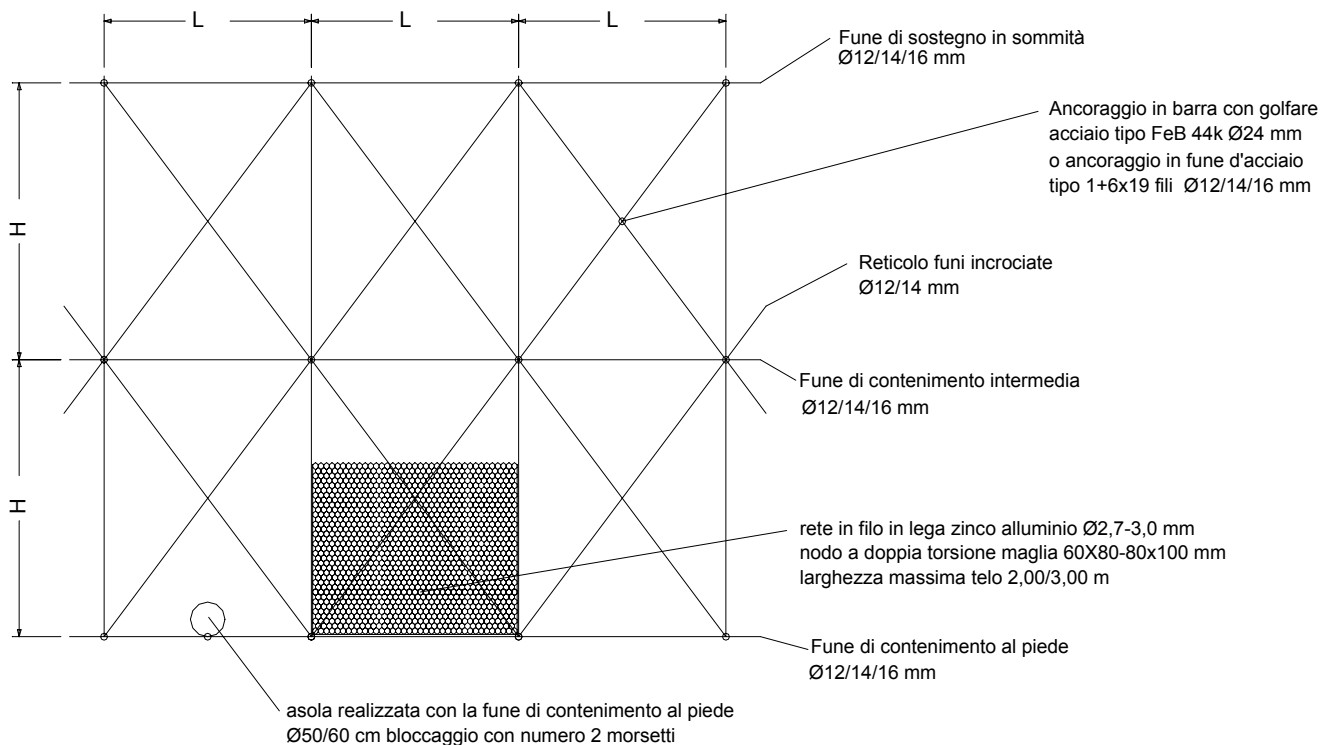
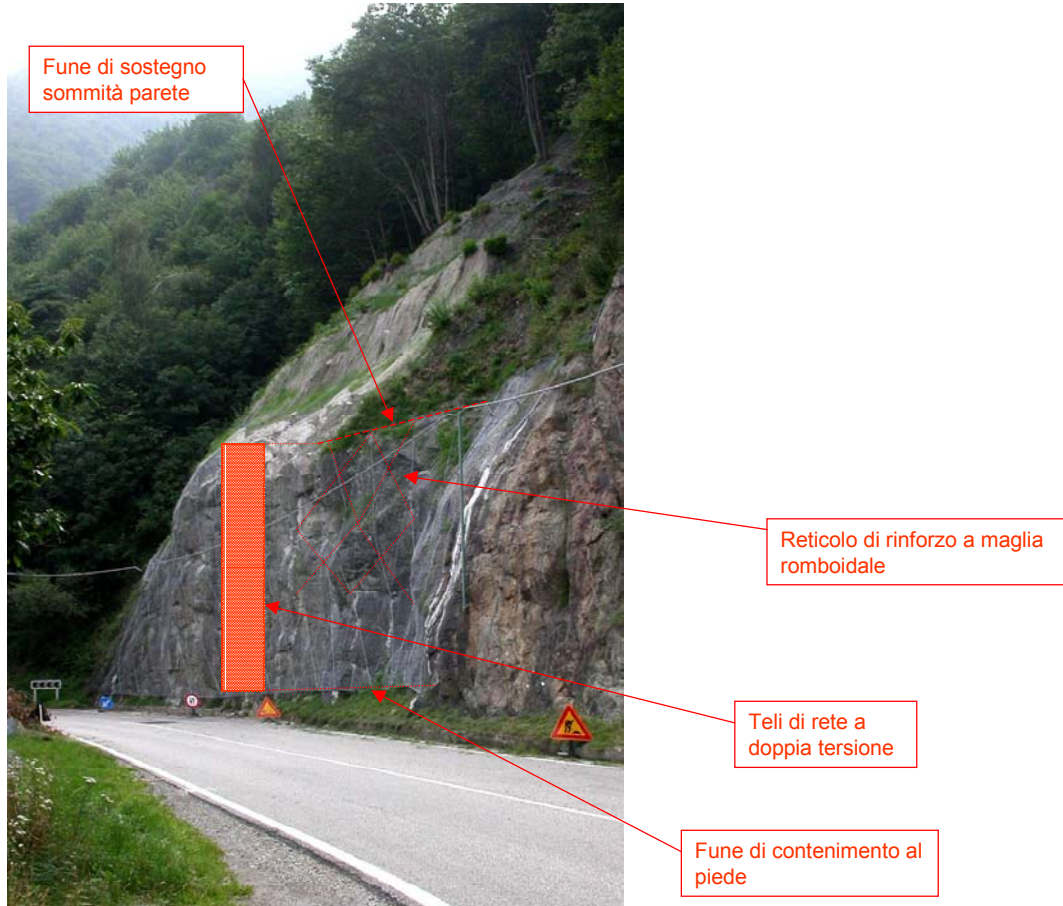






Rivestimento rinforzato

Ha la funzione di consolidare, fasciare la parete o il pendio impedendo deformazioni, piccoli smottamenti e il movimento di elementi lapidei. Ha impatto ambientale ridotto e può essere abbinato o integrato con tecniche di ingegneria naturalistica (rivestimenti con georeti, biostuie, inerbimenti, ecc ...).

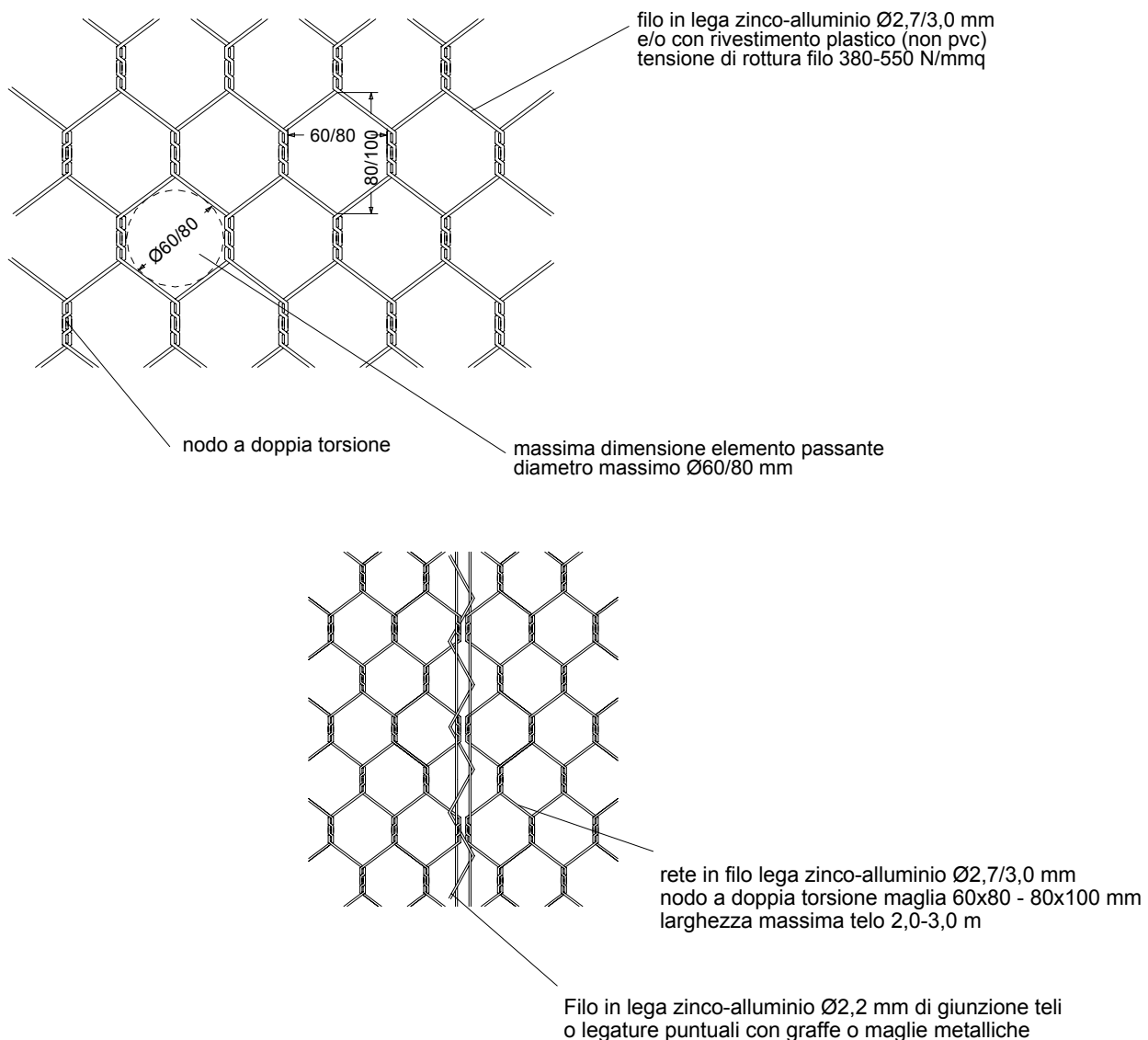




Rivestimento: di tipo flessibile in teli di rete in filo con nodi a doppia torsione con resistenza nominale a trazione longitudinale pari a 50 kN/m ricavata con modalità di prova conformi alla normativa ASTM A-975-97, di larghezza pari a $L = 2,0-3,0$ m, maglia del reticolo generalmente di forma esagonale di dimensione 60x80 o 80x100 mm con filo di diametro pari a 2,7 o 3,0 mm con carico di rottura minimo compreso fra 350 e 550 N/mm² e allungamento minimo pari al 12%.

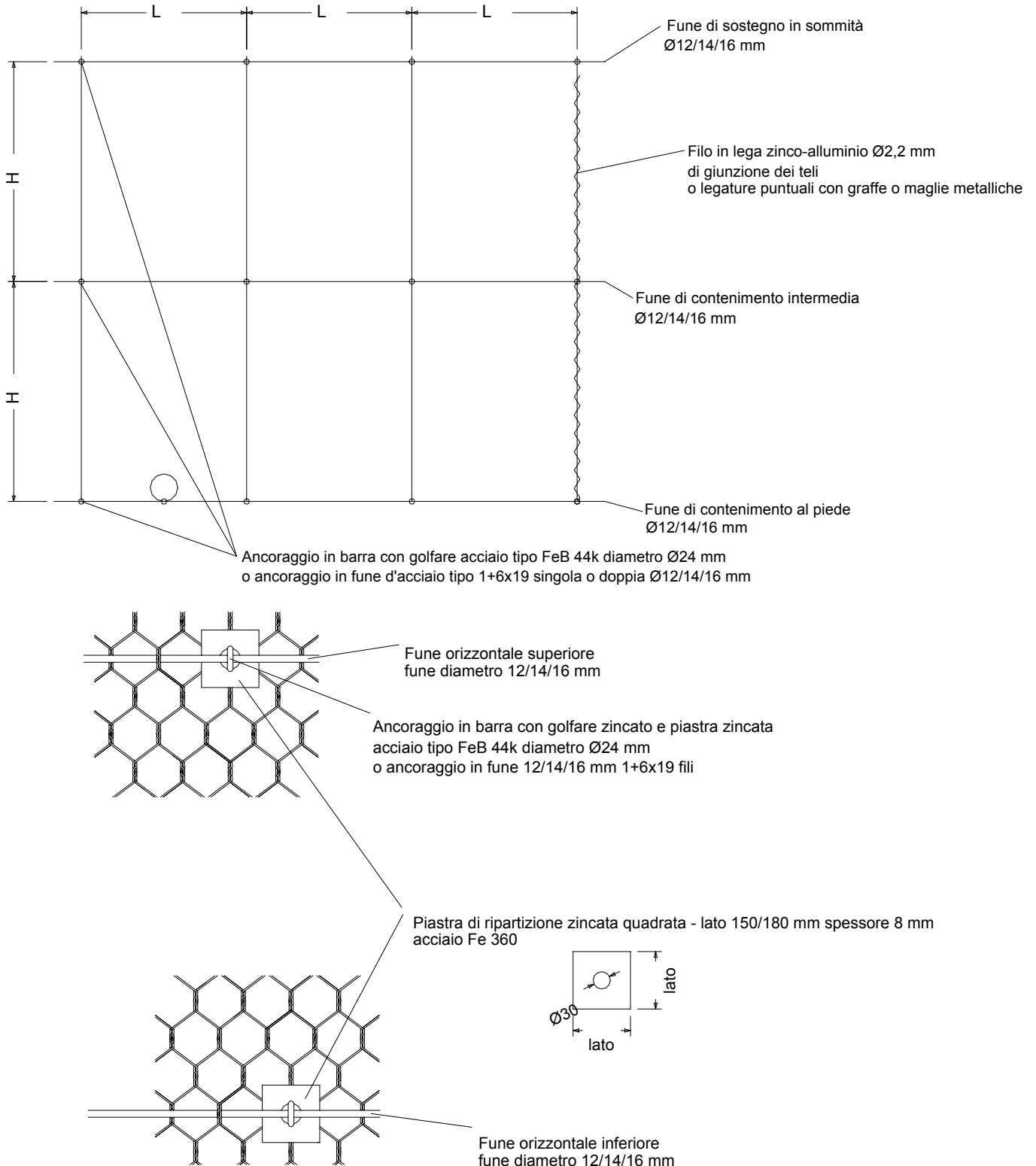
I singoli teli sono uniti in senso longitudinale uno all'altro, mediante cucitura continua in filo d'acciaio delle stesse caratteristiche di quello costituente la rete, di diametro pari a 2,2 mm o con legature puntuali eseguite manualmente, con cucitrice automatica o con false maglie in acciaio, di passo minimo non inferiore a 50 cm. I teli dovranno essere prodotti secondo le norme UNI-EN 10223-3, conformemente alle UNI-EN 10223-3 per le caratteristiche meccaniche e alle UNI-EN 10218 per le tolleranze sui diametri.

I teli sono protetti dalla corrosione mediante trattamento di galvanizzazione realizzato sul filo, con lega eutettica di Zinco-Alluminio (5%)-Cerio-Lantanio conforme alla EN 10244 – Classe A e ASTM 856-98 con un quantitativo non inferiore a 245 g/mq. Per ambienti particolarmente aggressivi, si rafforza il trattamento di galvanizzazione con un rivestimento in materiale plastico non PVC, con spessore non inferiore a 0,5 mm.



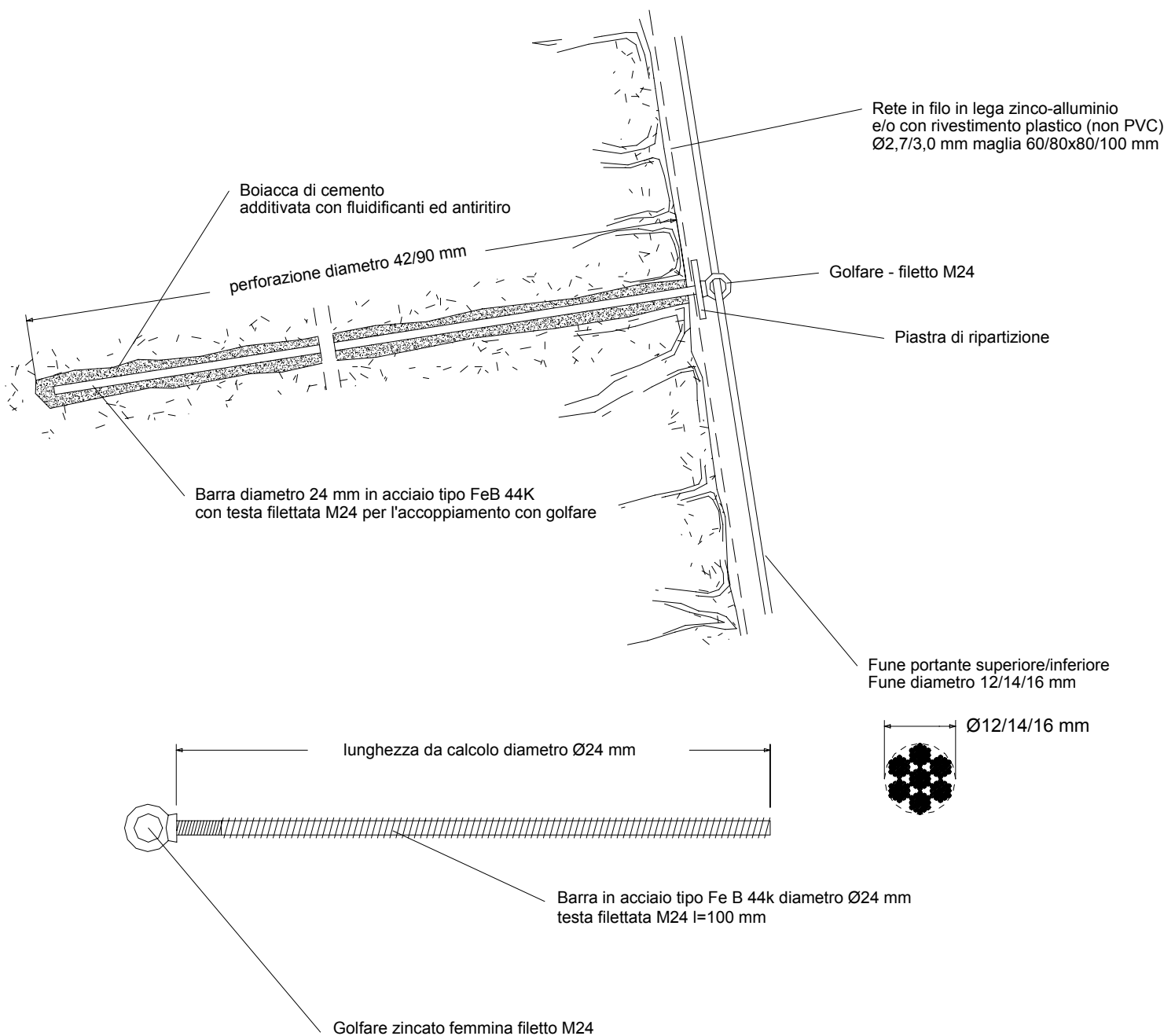


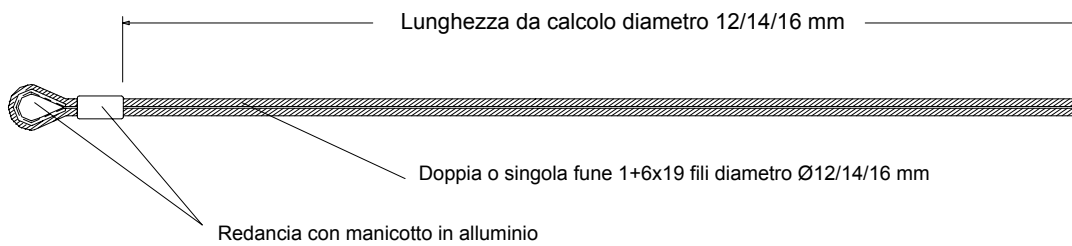
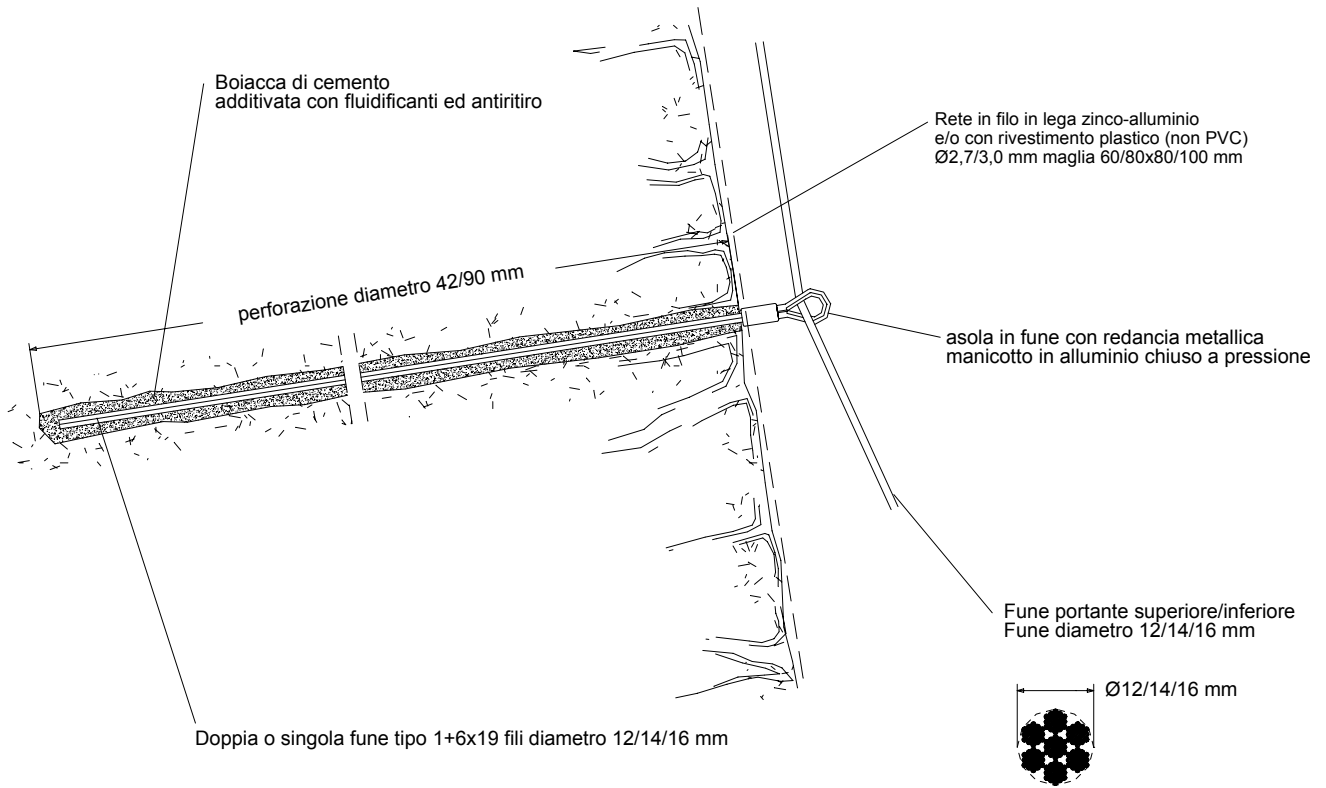
Funi di orditura: trefoli in fili di acciaio del tipo 7x19 o 6x19 di diametro $\varnothing 12/14/16$ mm classe di resistenza del filo pari a 1770 N/mm^2 , prodotte conformemente alle norme DIN 3060. Le funi d'orditura portante sono poste in corrispondenza del bordo superiore del pendio (di sommità) e al piede (inferiore) ed eventualmente in posizione intermedia entro gli ancoraggi del reticolo di contenimento. Il rivestimento è ripiegato sulle funi portanti superiori e inferiori per una lunghezza minima di 40 cm, ed è esse legate con cucitura continua in filo d'acciaio delle stesse caratteristiche di quello costituente la rete, di diametro pari a 2,2 mm o con legature puntuali eseguite manualmente, con cucitrice automatica o con false maglie in acciaio, di passo minimo non inferiore a 50 cm.





Chiodature d'ancoraggio: ad interasse orizzontale $L=2,00/3,00$ m in funzione della larghezza del telo di rete e verticale $H=2,00-3,00-4,00-6,00$ in funzione delle dimensioni del reticolo di contenimento. Sono realizzate in barra d'acciaio tipo Fe B 44k di diametro $\varnothing 24$ mm o in fune con un doppio o singolo cavo d'acciaio tipo 7x19 di diametro $\varnothing 12/14/16$ mm, realizzato con fili di classe di resistenza pari a 1770 N/mm^2 , prodotte conformemente alle norme DIN 3060, dotato di redancia metallica e manicotto in alluminio chiuso a pressione. L'ancoraggio rigido o flessibile è generalmente cementato per iniezione a pressione ($p_{\min} = 4,0$ bar) con boiacca di cemento tipo R32,5 o superiore additivato con fluidificanti e antiritiro, in foro di diametro eseguito per rotoperforazione di diametro pari a $42/90$ mm, di lunghezza opportuna (non inferiore a $1,00-1,50$ m) in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno o della roccia.

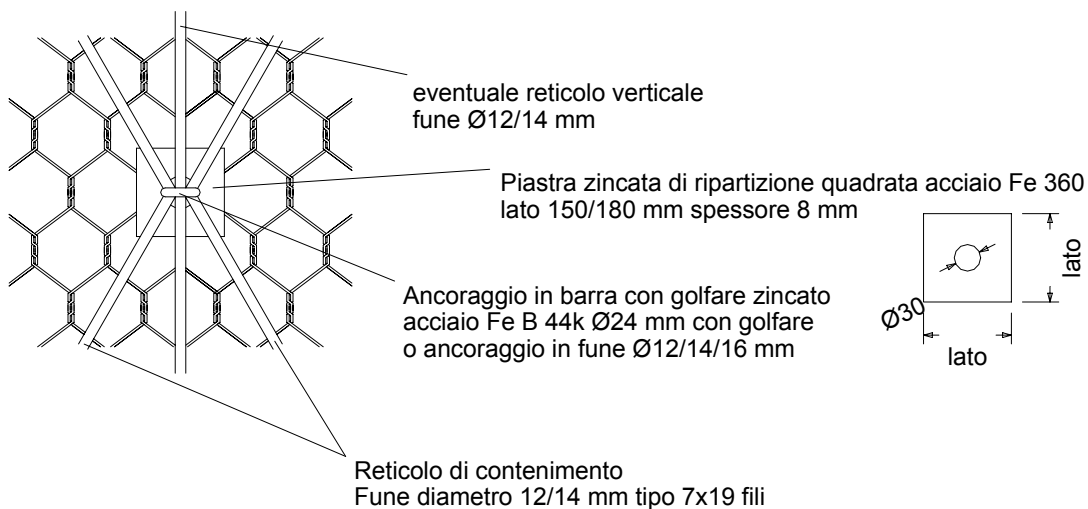
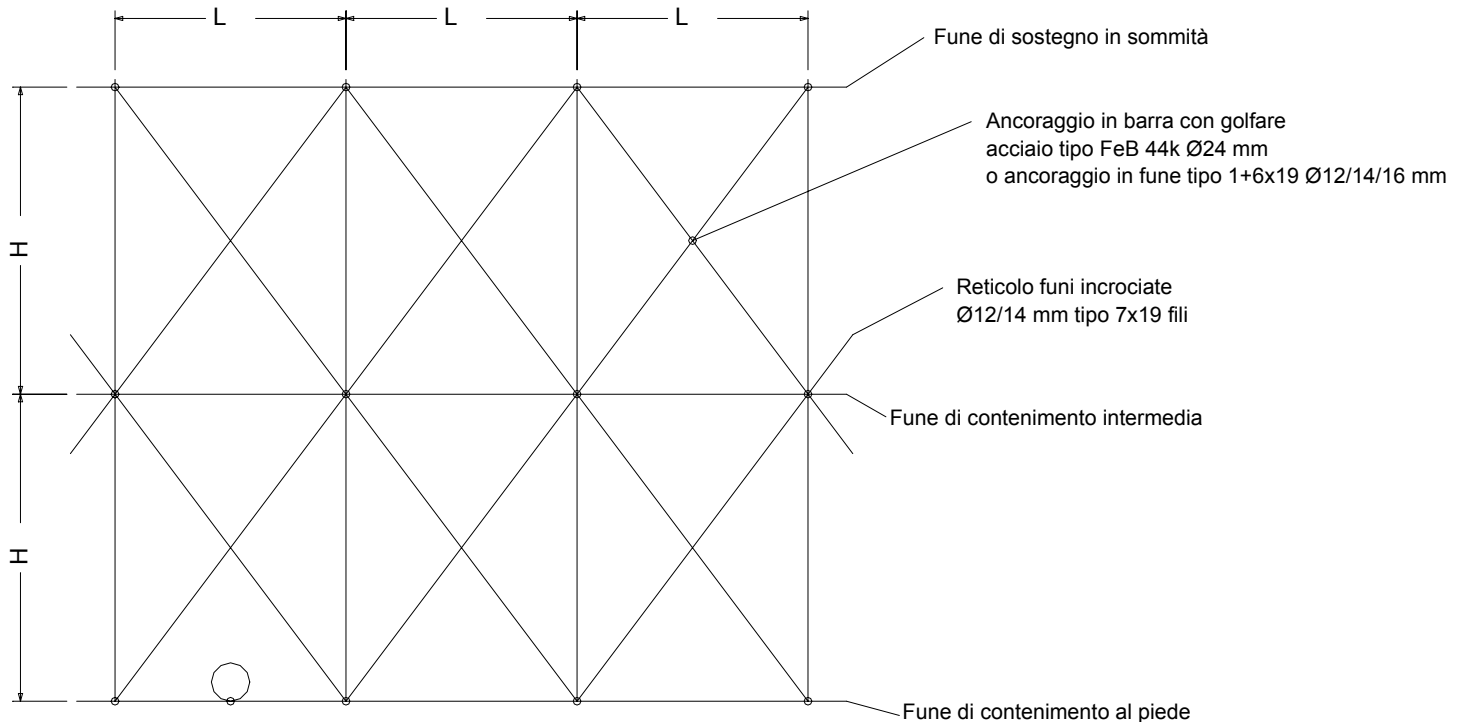


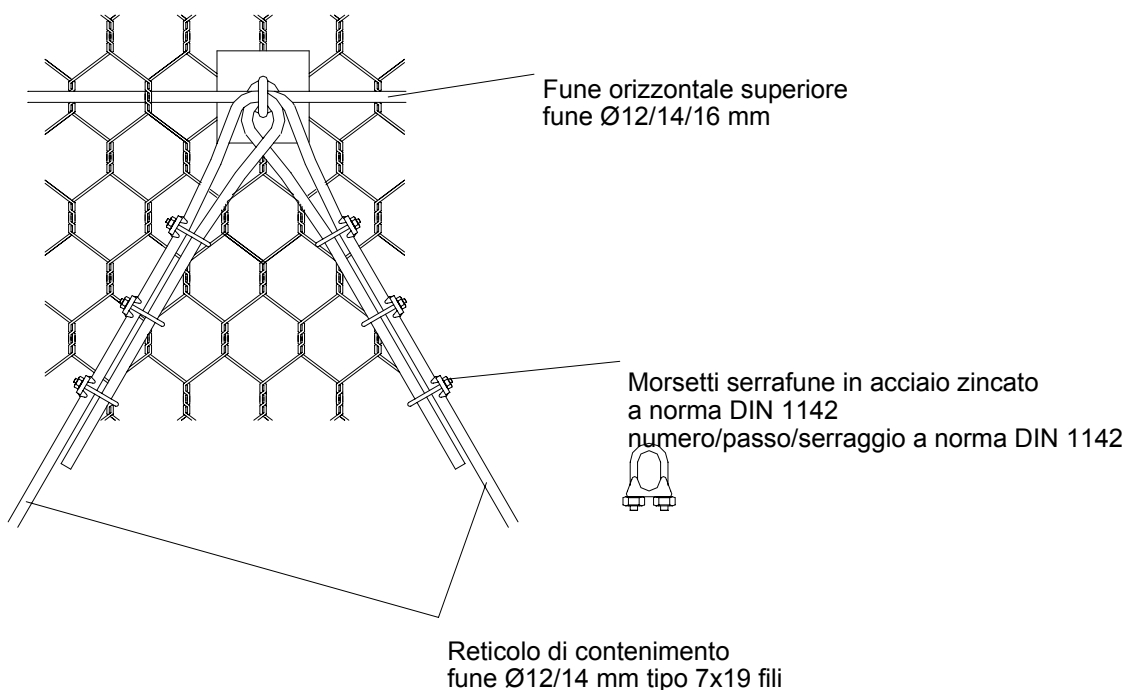
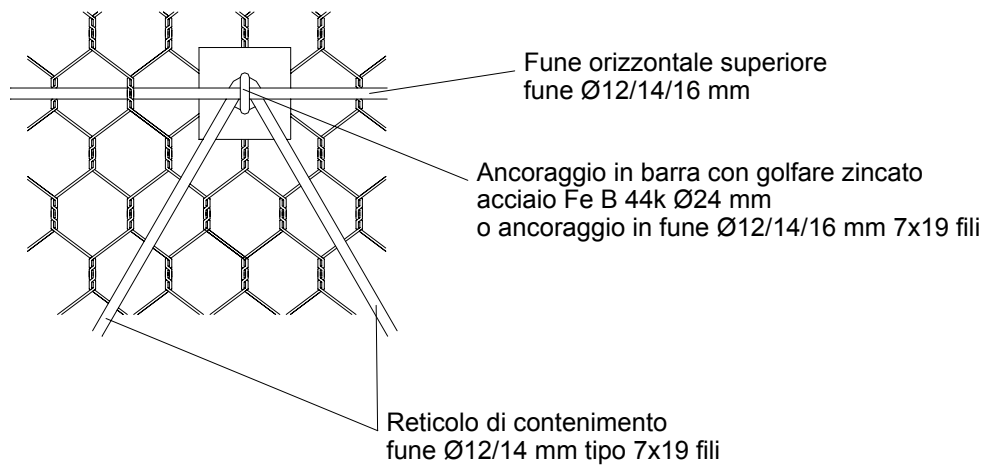
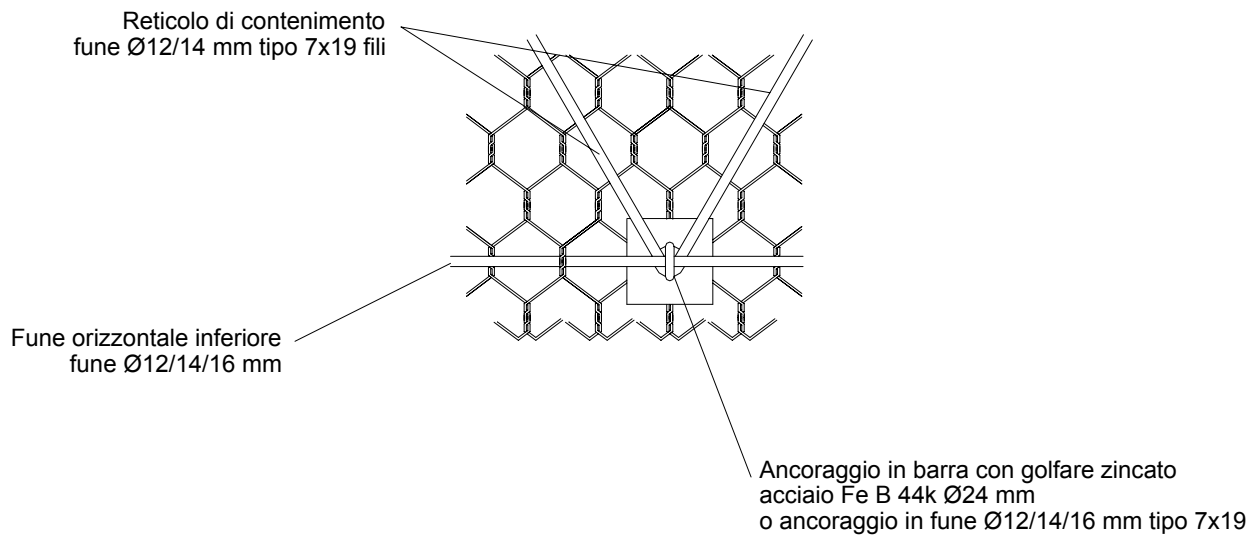




Reticolo di rinforzo: realizzato in trefoli in fili di acciaio del tipo 7x19 di diametro $\varnothing 12/14$ mm classe di resistenza del filo pari a 1770 N/mm^2 , prodotte conformemente alle norme DIN 3060.

Il reticolo forma ha romboidale di dimensione LxH, in cui: L= 2,00-3,00 m è l'interasse orizzontale delle chiodature d'ancoraggio (in funzione della larghezza del telo), mentre H= 2,00-3,00-4,00- 6,00 è l'interasse verticale delle chiodature (in funzione dipende delle caratteristiche geomorfologiche del pendio).







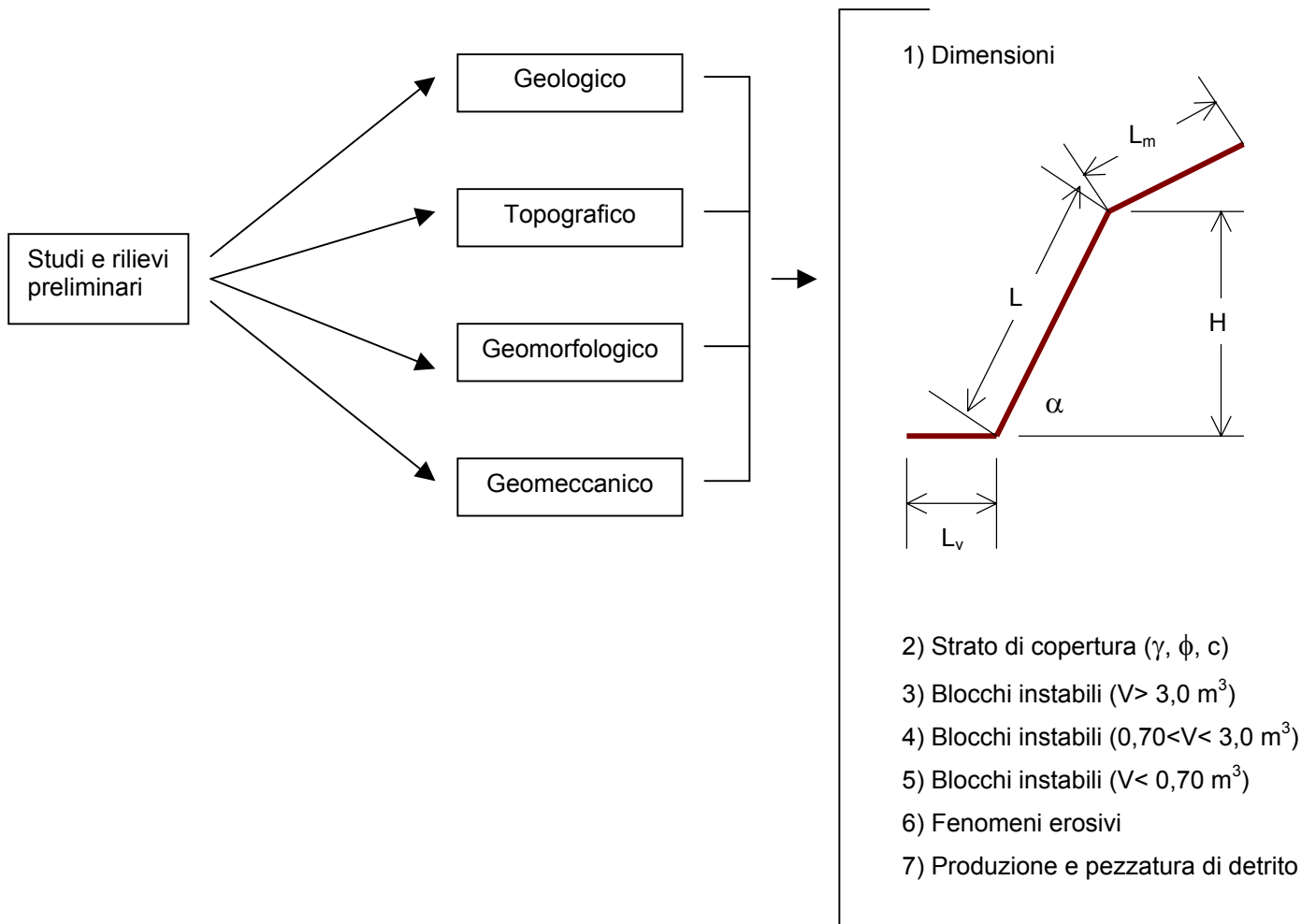
APPROCCIO AL DIMENSIONAMENTO

Ad oggi, non esistono metodi codificati o criteri di calcolo rigoroso per il dimensionamento dei rivestimenti semplici o rinforzati con reti. Non esistendo modelli fisico-matematici di supporto, gli interventi sono dimensionati utilizzando “regole di buona tecnica” basate principalmente sull'esperienza e sull'analisi in sito del comportamento in opera di interventi già eseguiti.

I metodi di dimensionamento proposti, considerano principalmente due categorie di pendio, quelli in terreno e quelli in roccia, a seconda delle caratteristiche geologiche si opererà quindi con gli approcci differenziati.

Pendii in Roccia

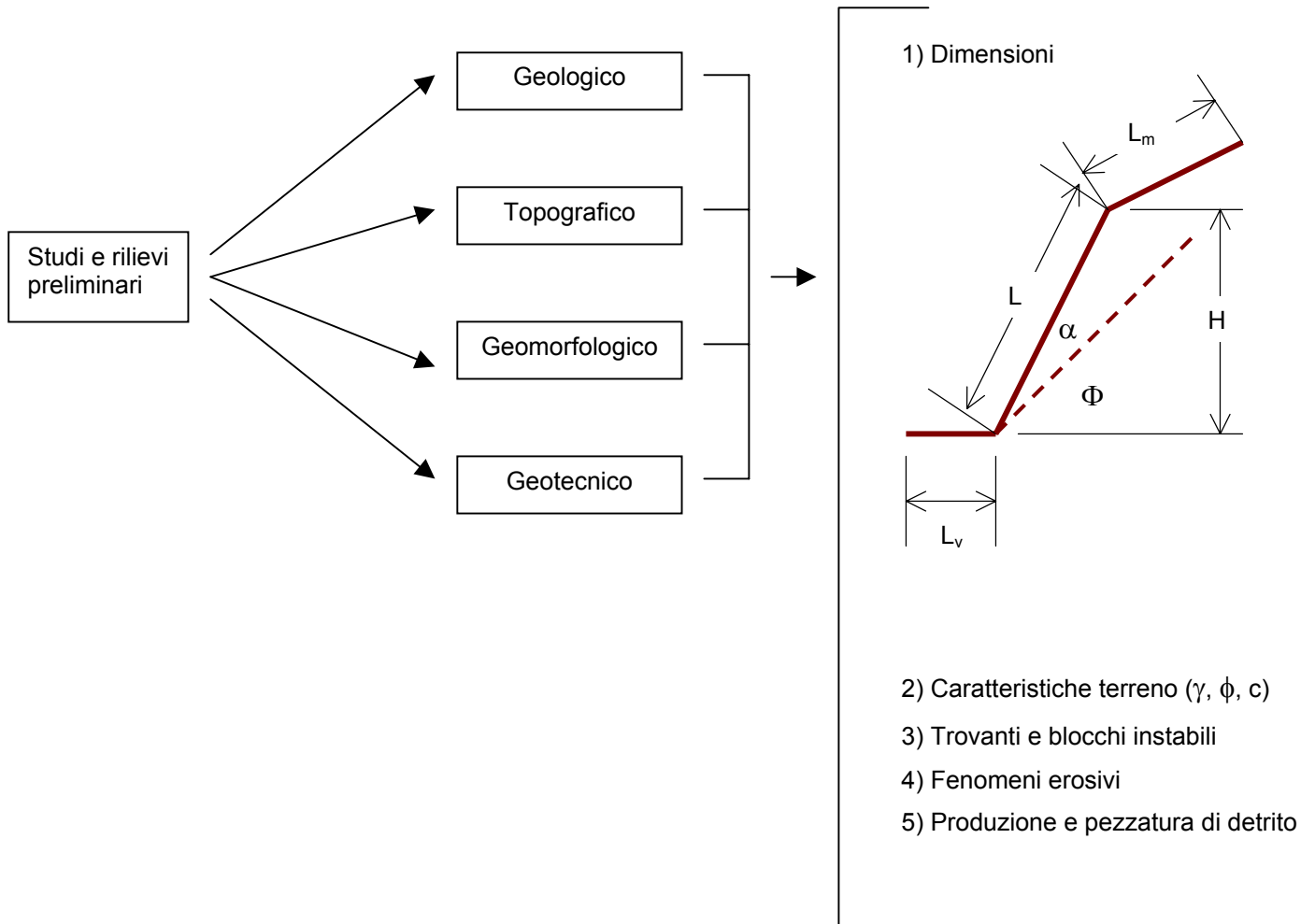
Gli studi preliminari antecedenti all'analisi della tipologia d'intervento possono essere raggruppati nel seguente schema:





Pendii in Terreno

Gli studi preliminari antecedenti all'analisi della tipologia d'intervento possono essere raggruppati nel seguente schema:





Tipologia d'intervento

Gli studi e le indagini preliminari, portano all'acquisizione di un insieme di parametri che caratterizzano la problematica in esame, definendo i più opportuni *interventi di consolidamento preliminare* e la tipologia di *rivestimento* più opportuna.

Interventi di consolidamento preliminare e rivestimenti su pendii in roccia

- interventi di disgaggio con leve, martinetti, cementi espansivi o esplosivo per elementi rocciosi o trovanti di volume $V > 3,0 \text{ m}^3$;
- chiodature attive, passive, rivestimento con pannelli in fune, per elementi rocciosi o porzioni di parete di volume $0,70 < V < 3,0 \text{ m}^3$;
- rivestimento del pendio roccioso, con reti in filo in lega zinco-alluminio e/o rivestimento plastico (non pvc) con nodi a doppia torsione, rinforzato con reticolo di fune, verifica a trazione e a punzonamento del rivestimento in funzione del masso di progetto di volume $V < 0,70 \text{ m}^3$ e del massimo volume accumulabile di detrito, verifica del reticolo di rinforzo in funzione dell'azione sull'ancoraggio, progetto e verifica delle chiodature d'ancoraggio;
- rivestimento tipo semplice del pendio roccioso, con reti in filo in lega zinco-alluminio e/o rivestimento plastico (non pvc) con nodi a doppia torsione, verifica a trazione e a punzonamento del rivestimento in funzione del masso di progetto in caduta di volume V e del massimo volume accumulabile di detrito, progetto e verifica delle chiodature d'ancoraggio.

Interventi di consolidamento preliminare e rivestimenti su pendii in terreno

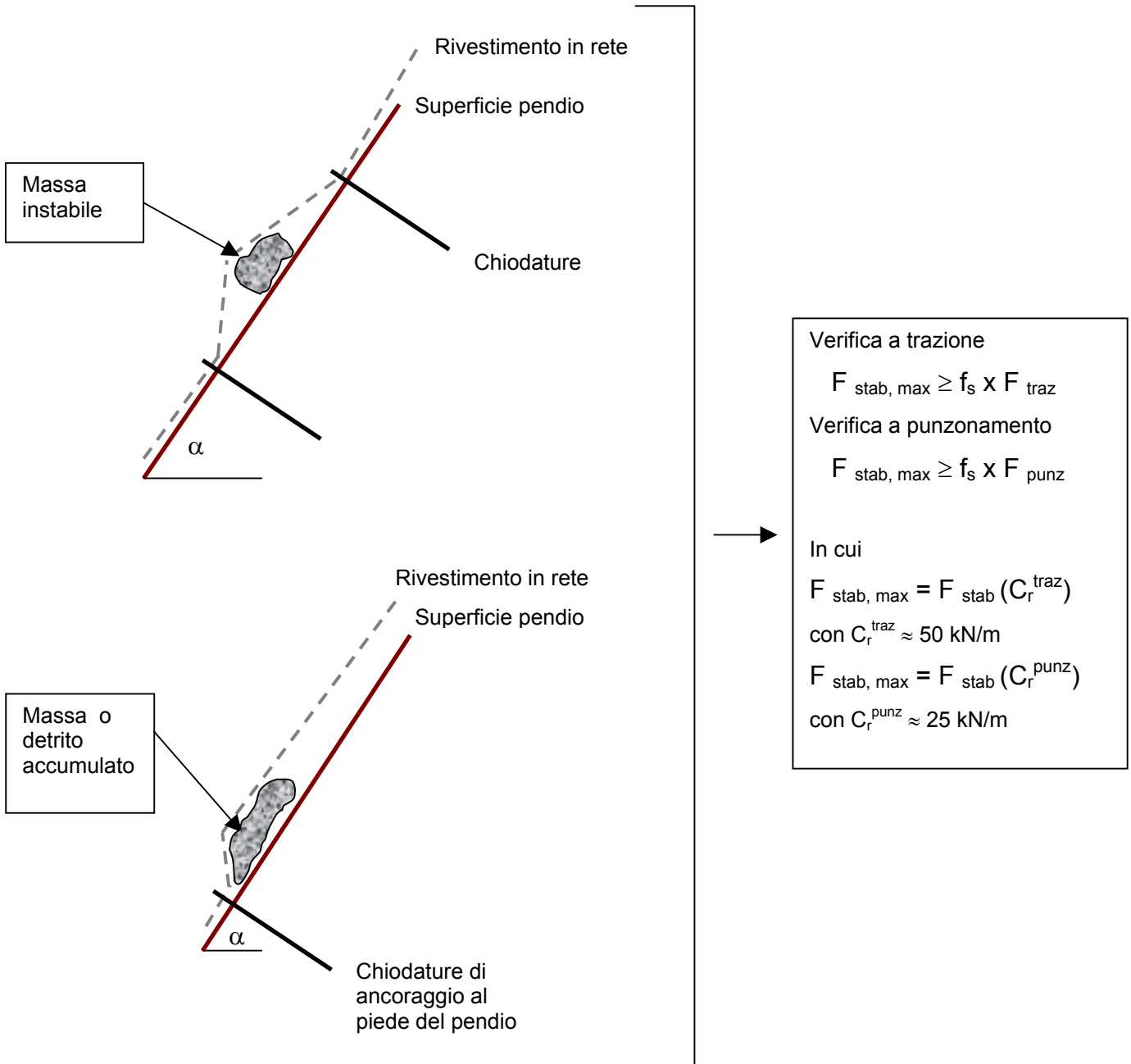
In generale si utilizzeranno i seguenti interventi:

- interventi di ingegneria naturalistica per diminuire o eliminare la produzione di detrito e erosione superficiale (georeti, biostuie, semine, idrosemine, ecc. ...);
- interventi di disgaggio con leve, martinetti, cementi espansivi per elementi rocciosi o trovanti di volume $V > 3,0 \text{ m}^3$;
- chiodature attive, passive, trovanti di volume $0,70 < V < 3,0 \text{ m}^3$;
- rivestimento della scarpata in terreno, con reti in filo in lega zinco-alluminio e/o rivestimento plastico (non pvc) con nodi a doppia torsione, rinforzato con reticolo di fune, verifica a trazione e a punzonamento del rivestimento in funzione del volume massimo del cuneo di distacco principale e secondario e del massimo volume accumulabile di detrito, verifica del reticolo di rinforzo in funzione dell'azione sull'ancoraggio, progetto e verifica delle chiodature d'ancoraggio.



Pendii in Roccia

Verifica all'equilibrio limite del volume roccioso di progetto (rivestimenti rinforzati) o dell'accumulo alla base del pendio (rivestimenti semplici), in relazione alle forze **destabilizzanti** ($G \rightarrow$ peso proprio, $A_{est} \rightarrow$ azioni esterne) che provocano lo scivolamento lungo il piano del pendio e **stabilizzanti** date dalla resistenza a trazione e a punzonamento della rete.





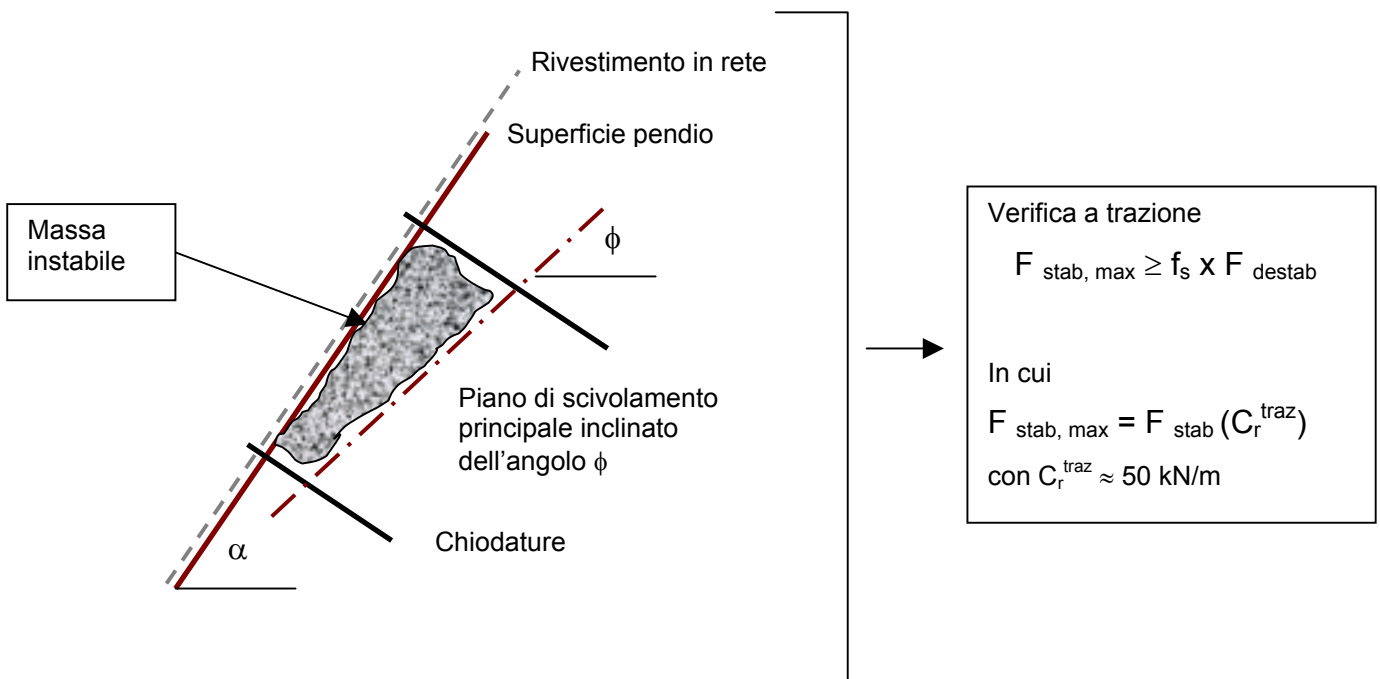
Pendii in Terreno

Si opereranno due tipi di verifica, in riferimento allo scivolamento di un volume lungo una superficie, in particolare:

- *verifica d'instabilità globale*, quando il volume instabile compreso fra due file di chiodi scivola lungo la superficie principale, inclinata dell'angolo ϕ , che intercetta tutte le chiodature d'ancoraggio previste lungo il piano del pendio;
- *verifica d'instabilità locale*, quando il volume instabile compreso fra due file di chiodi scivola lungo la superficie secondaria inclinata dell'angolo β , che intercetta unicamente due file di chiodature d'ancoraggio;

Verifica Globale

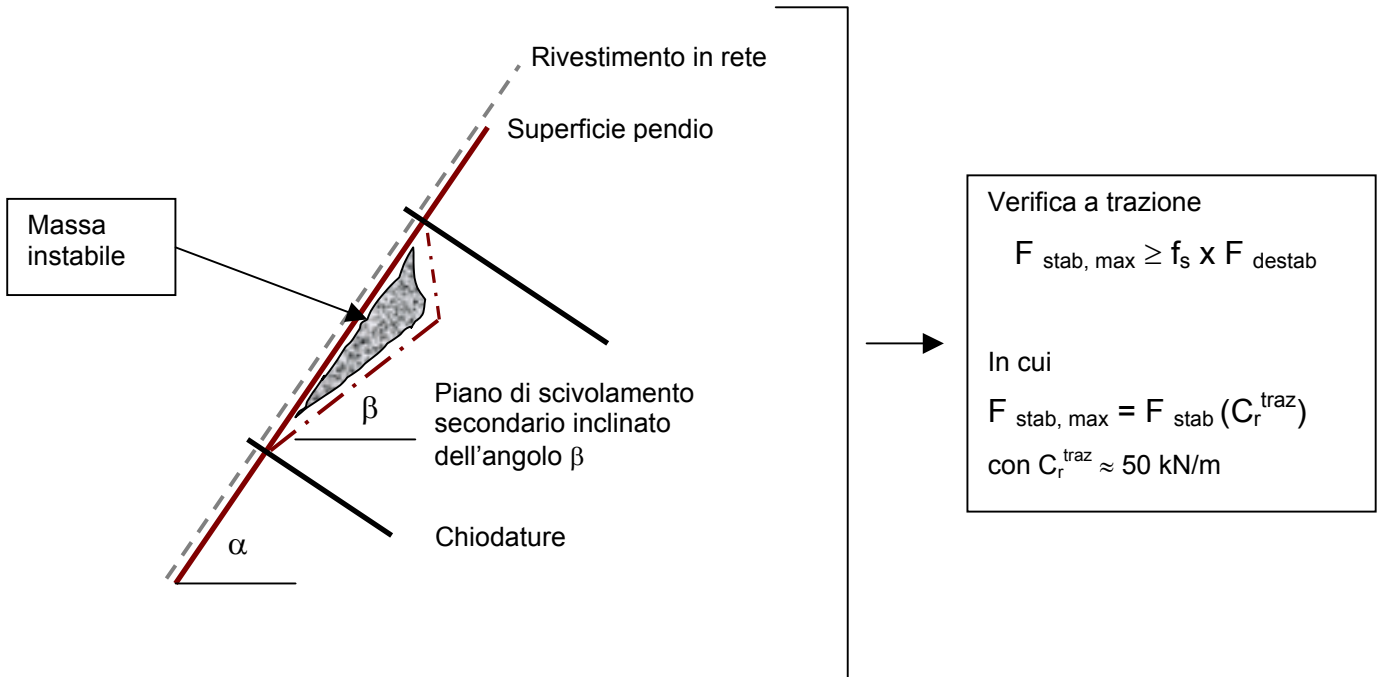
Verifica all'equilibrio limite del volume di materiale instabile compreso fra due file di chiodature, in relazione alle forze **destabilizzanti** ($G \rightarrow$ peso proprio, $A_{est} \rightarrow$ azioni esterne) che provocano lo scivolamento lungo il piano inclinato dell'angolo ϕ e **stabilizzanti** (N e $T \rightarrow$ reazioni normale e tangenziale della superficie di scorrimento, $T_g \rightarrow$ resistenza a taglio degli ancoraggi, $F_{rete} \rightarrow$ forza di aderenza della rete).





Verifica Locale

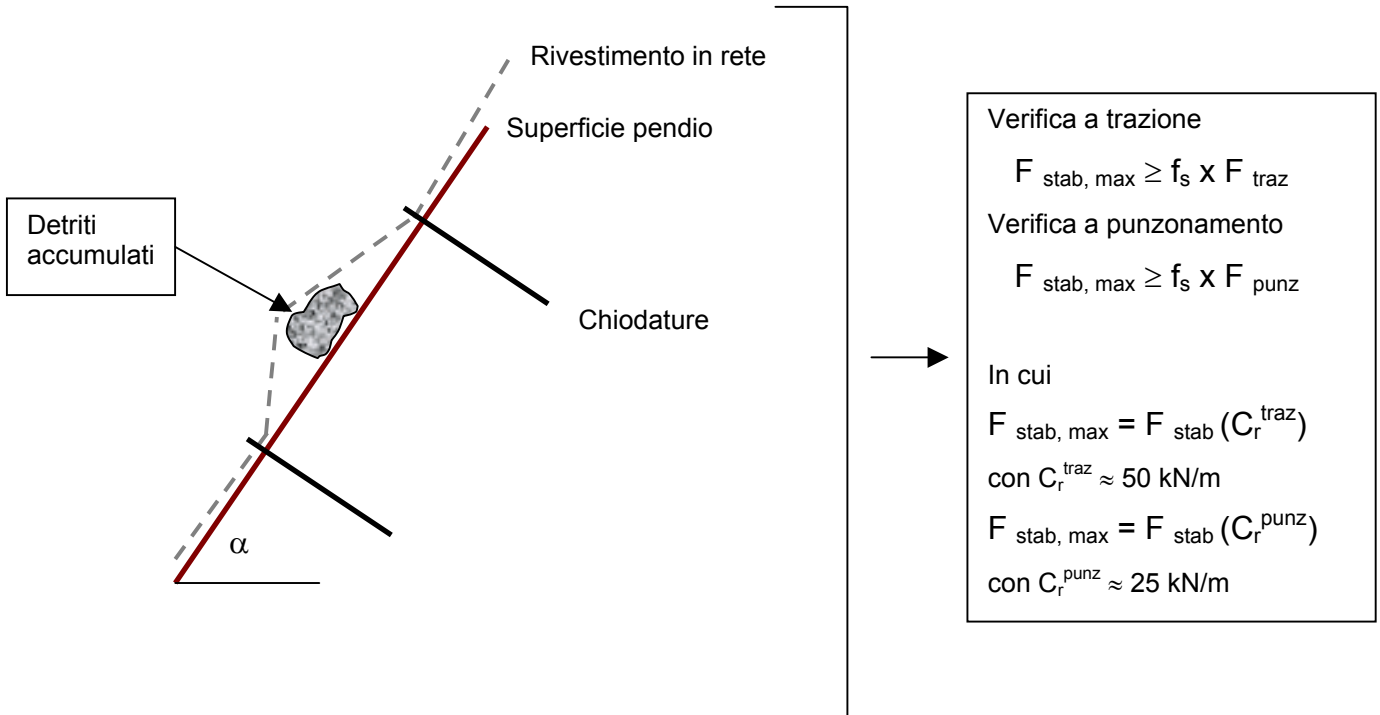
Verifica all'equilibrio limite del volume di materiale instabile compreso fra due file di chiodi, in relazione alle forze **destabilizzanti** ($G \rightarrow$ peso proprio, $A_{est} \rightarrow$ azioni esterne) che provocano lo scivolamento lungo il piano inclinato dell'angolo β e **stabilizzanti** (N e $T \rightarrow$ reazioni normale e tangenziale della superficie di scorrimento, $T_g \rightarrow$ resistenza a taglio degli ancoraggi, $F_{rete} \rightarrow$ forza di aderenza della rete).





Verifica al punzonamento

Verifica all'equilibrio limite del volume di detrito accumulato fra due file di chiodi, in relazione alle forze **destabilizzanti** ($G \rightarrow$ peso proprio, $A_{est} \rightarrow$ azioni esterne) che provocano lo scivolamento lungo il piano del pendio e **stabilizzanti** date dalla resistenza a trazione e a punzonamento della rete.





CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Vista la complessità della problematica trattata ed il livello d'incertezza dei modelli fisico-matematici, legato principalmente alla valutazione dei dati input, il progetto di un rivestimento corticale semplice o rinforzato, dovrà essere valutato caso per caso nella sua particolarità.

Dovranno quindi essere adottati idonei coefficienti di sicurezza legati all'incertezza del modello, alla resistenza dei materiali, alla valutazione delle azioni esterne destabilizzanti, ecc. ..., al fine di garantire idonei livelli prestazionali e adeguati coefficienti di sicurezza globali tali da adeguare il modello alle realtà dell'intervento.