

**UNITÀ FORMATIVA 3****Tipologia di opere e tecniche di ingegneria naturalistica**

La presente unità formativa riporta alcune indicazioni sulle più comuni tipologie di opere e tecniche di ingegneria naturalistica utilizzate sul territorio nazionale, secondo le modalità di realizzazione e costruzione: le gabbionate in pietrame, i gabbioni a scatola, i terramesh verde rinforzato, le sistemazioni idrauliche di sponde fluviali (gabbionate spondali) e le sistemazioni di versante (viminata, gradinata e cordonata viva, grata viva, palizzata semplice, graticciata, palificata a doppia parete, terre armate e/o rinforzate).

Di tali tecniche vengono riportate le caratteristiche principali ed alcuni schemi realizzativi che ne illustrano i principali aspetti costruttivi.

**1. GABBIONATE DI PIETRAMME****1. RETE METALLICA DI CONTENIMENTO**

I prodotti, opportunamente piegati, vengono spediti in pacconi di 600 - 800 kg (vedi fig. 1).

I pacconi (dimensioni medie 2.10x(1.10-1.60)x0.48 m) opportunamente pressati in stabilimento vengono legati con 3 fili metallici: sono inoltre previsti 2 fili supplementari (di diametro maggiore) per facilitarne la movimentazione.

**2. MATERIALE DI RIEMPIMENTO**

Per il riempimento delle strutture viene adoperato materiale compatto, intatto, non friabile, resistente all'acqua, non gelivo. Il materiale di riempimento dovrà avere forma omogenea di opportuna pezzatura. La scelta della granulometria dovrà essere fatta in funzione del tipo di struttura e del tipo di maglia.

Nel caso in cui non si possano ottenere le granulometrie riportate in tabella, è possibile riempire gabbioni e paramento esterno del Terramesh System con materiale di pezzatura più piccola avendo cura di sistemare uno spessore esterno di materiale avente diametro superiore alle dimensioni della maglia (vedi fig. 2) Per il riempimento è inoltre possibile utilizzare materiali riciclati rispondenti alle misure e criteri succitati (pietrisco, ecc.).

**3. LEGATURA**

Per le operazioni di legatura degli elementi, è possibile procedere secondo due sistemi differenti:

- la legatura manuale a filo continuo che viene effettuata facendo passare il filo attraverso tutte le maglie effettuando un doppio giro ogni due maglie (fig. 3a). Test comparativi dimostrano che nessun altro tipo di legatura manuale permette di ottenere

una resistenza meccanica equivalente.

- la legatura meccanizzata viene effettuata con l'uso di una graffatrice pneumatica o manuale. Questo attrezzo permette di ottenere un tipo di legatura puntuale a mezzo di punti o graffe in acciaio ad alta resistenza (fig. 3b)

#### **4. MATERIALE ED ATTREZZI DI LEGATURA**

Per l'assemblaggio e la legatura degli elementi, è necessario essere provvisti di pinze e tenaglie ed eventualmente di piccole travi in legno per le operazioni di piegatura degli elementi (fig. 4a). Per i gabbioni e gli elementi Terramesh System, al fine di facilitarne il riempimento, si può predisporre una cassaforma esterna (telaio guida) per il paramento (fig. 4b). Per il riempimento, consigliamo l'uso di una pala meccanica gommata o altro dispositivo simile già presente. In ogni caso la benna della pala non deve essere più larga del gabbione.

##### *Graffatrice pneumatica e manuale*

Per facilitare ed ottimizzare la posa in opera delle strutture si raccomanda di effettuare le operazioni di cucitura utilizzando una idonea graffatrice. Questo attrezzo permette di economizzare sul tempo di posa in opera, di aumentare il rendimento facilitando la posa in opera incrementandone allo stesso tempo la qualità (resistenza, estetica e durabilità).

Si propone di norma l'uso di due attrezzi:

##### Graffatrice pneumatica

Alimentazione: aria compressa (6-3 bar)

Potenza: 100 l/mm

Tubo idraulico:  $\varnothing$  max 10 mm, lunghezza max 30 m, Peso 6,3 kg

Capacità del caricatore: 30 punti

##### Graffatrice manuale

Peso 4,1 kg, Lunghezza 70 cm

Angolo di apertura: 80°

Capacità del caricatore: 40 punti

#### **5. PREPARAZIONE DELLA FONDAZIONE**

Per la posa in opera delle strutture non è necessario seguire disposizioni particolari per quanto riguarda il piano di fondazione. In effetti è sufficiente posare direttamente gli elementi al suolo o sopra un geotessile qualora fosse richiesto da esigenze particolari. Per assicurare la stabilità delle strutture, si può prevedere uno strato di pietrame o di materiale selezionato di riporto da disporre sotto le strutture. Tale strato viene steso in contropendenza in modo da facilitare lo scolo dell'acqua verso un dreno.

#### **6. POSA IN OPERA**

La posa in opera dei prodotti delle ditte specializzate può essere eseguita facilmente e rapidamente da personale non qualificato opportunamente istruito. Le operazioni di posa in opera illustrate nel seguito saranno fondamentali per l'ottenimento di una struttura solida, duratura ed economica.

## **7. FORME PARTICOLARI**

Le strutture utilizzate sono sufficientemente flessibili tanto da permettere, senza danni, la realizzazione di opere aventi un raggio di curvatura dai 20 ai 25 m. Per raggi più piccoli o altre forme più complesse, le strutture possono essere facilmente piegate e modellate (figg. 5 -6).

## **8. MATERASSI**

Possono essere piegati e tagliati per ottenere le strutture illustrate nella figura 7.

## **9. PUNTI METALLICI**

Per una migliore continuità strutturale, si consiglia un intervallo tra i punti metallici (vedi fig.8) massimo di 20 cm, a seconda del tipo di operazione di legatura che si deve eseguire, delle dimensioni della maglia e del materiale di riempimento utilizzato, nonché del tipo di opera da realizzare (vedi fig. 9).

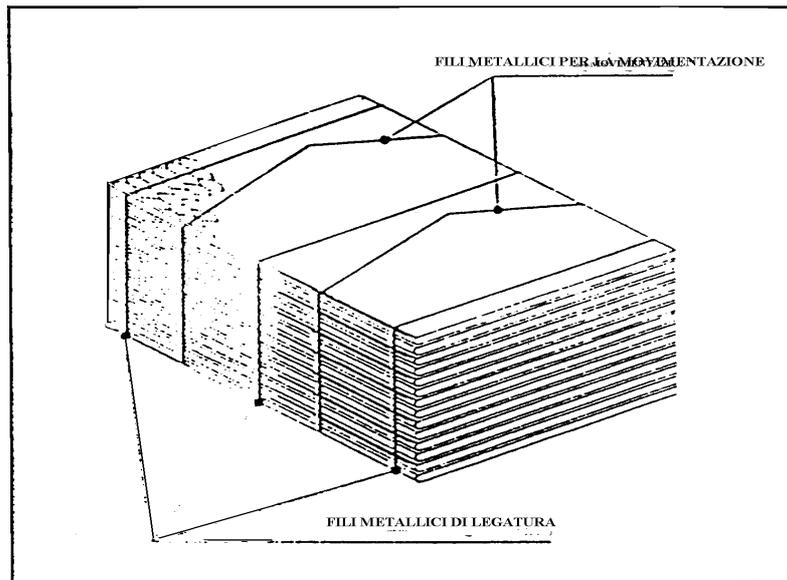


FIG. 1

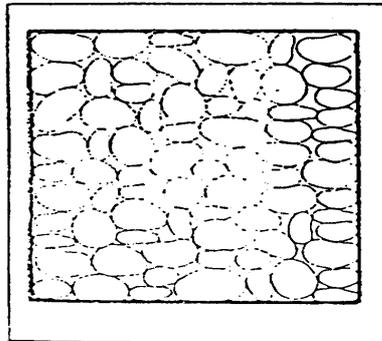


FIG. 2a

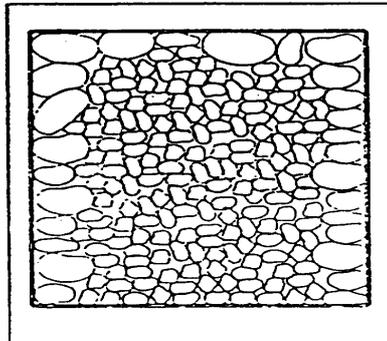


FIG. 2b

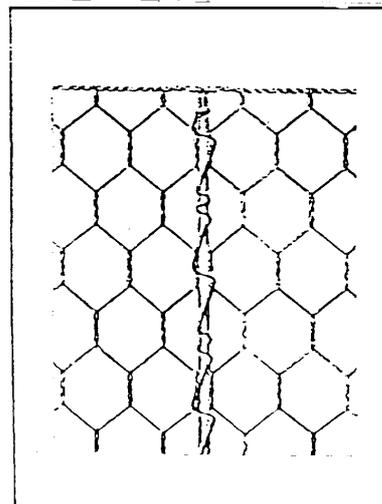


FIG. 3a

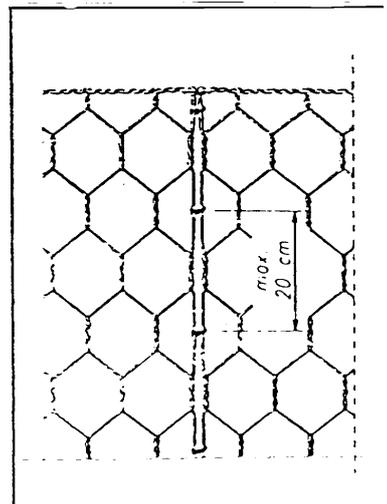


FIG. 3b

FIG. 4a

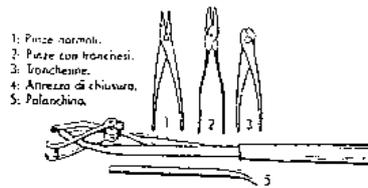


FIG. 4b

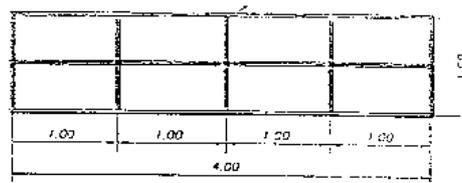


FIG. 5

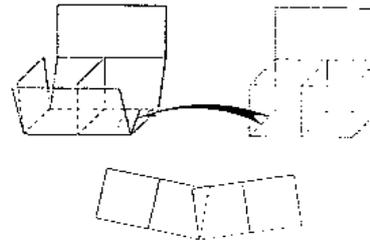


FIG. 6

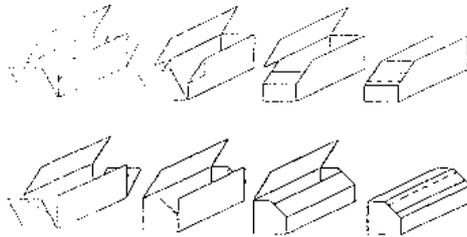
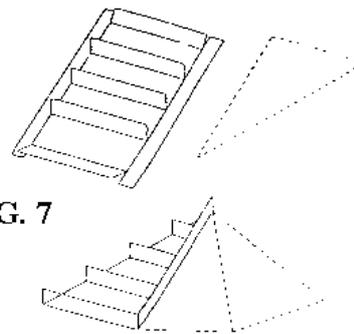


FIG. 7



## Resistenza

Per garantire al massimo la resistenza strutturale, i punti metallici hanno un carico di rottura di circa  $170 \text{ kg/mm}^2$ . La forza necessaria per aprire un punto è di circa 300 kg.

## Durabilità

Sono disponibili due tipi di punti metallici:

- punti metallici a forte zincatura (circa  $275 \text{ gr/m}^2$ ) da utilizzare con le strutture zincate;
- punti in acciaio inossidabile (inox) per le strutture in filo zincato e plasticato.

I punti metallici sono confezionati di solito in cartucce di 40 punti ognuna ed imballati in scatole di 1600 unità .

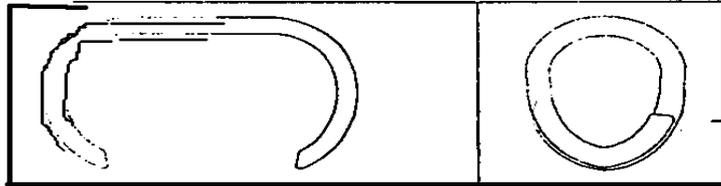
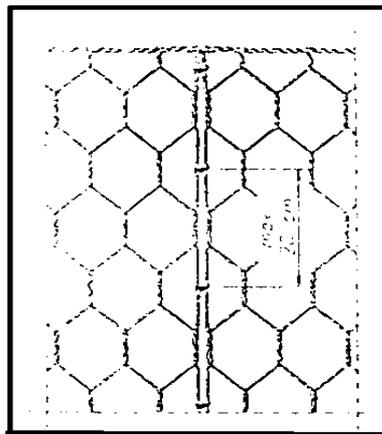


FIG. 8

FIG. 9



## 2. GABBIONI A SCATOLA

### 1. ASSEMBLAGGIO

- Aprire i gabbioni ad uno ad uno su una superficie piana.
- Aiutarsi con una trave per piegare uniformemente il telo lungo le linee di piegatura (vedi fig. 10). Sollevare quindi i pannelli laterali e gli eventuali diaframmi in modo da formare una scatola aperta. Assicurarsi che i pannelli ed i diaframmi siano stati

piegati uniformemente.

- Puntare i pannelli con la parte eccedente del filo di rinforzo del telo di base (vedi fig. 11). Nel caso in cui il diaframma non sia collegato al telo di base del gabbione, disporlo verticalmente con il filo di rinforzo verso l'alto.
- Sia nel caso in cui si desideri effettuare le operazioni di legatura con un attrezzo automatico, sia nel caso in cui si proceda con la legatura manuale, si consiglia di legare gli spigoli della struttura (un punto a metà spigolo nel caso di elementi alti 1 metro) – vedi fig. 12.

## 2. POSA IN OPERA

Poiché le opere in gabbioni consistono di più elementi, per assemblare correttamente l'opera, i gabbioni vanno dislocati uno a fianco dell'altro, sovrapposti in modo tale che gli spigoli combacino perfettamente e legati tra loro prima di procedere al riempimento degli stessi, secondo le seguenti fasi e modalità indicate in fig. 14.

- I moduli devono essere posizionati a due a due in modo da poter legare i coperchi due a due e facilitare il riempimento dei gabbioni con il mezzo meccanico;
- Modulo dopo il riempimento;
- Legatura dei moduli;
- Legatura dei coperchi ai diaframmi;
- Legatura del gabbione superiore a quello inferiore;
- Legatura dei diaframmi.

## 3. RIEMPIMENTO

I gabbioni di altezza pari ad 1 metro vengono riempiti normalmente con tre strati (di 0,3 m circa) mentre i gabbioni di altezza pari a 0,50 m con due strati come illustrato nelle fasi della fig. 15. Si consiglia di lasciare l'ultimo gabbione vuoto in modo tale da facilitare le operazioni di legatura nel modulo successivo. I tiranti orizzontali in filo di ferro (fornito insieme ai gabbioni) devono essere utilizzati in modo da legare il paramento a vista del gabbione con il paramento interno.

I tiranti trasversali o inclinati a 45° devono essere posizionati mediamente ad 1/3 e 2/3 dell'altezza nel caso dei gabbioni di 0,50 m (vedi fig. 16).

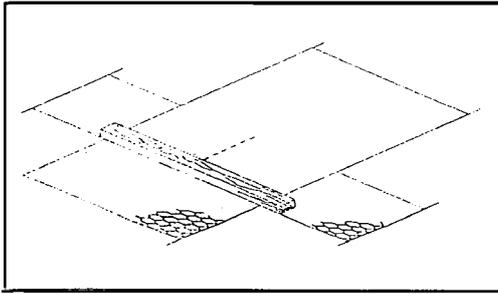


FIG. 10

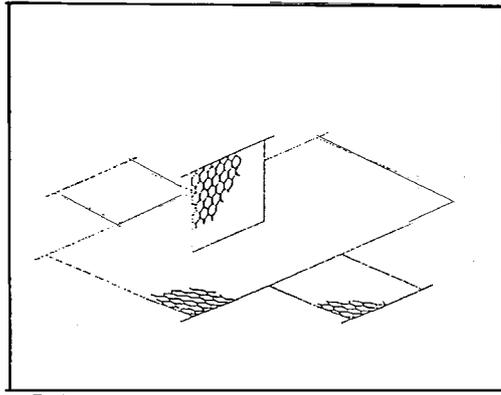


FIG. 11

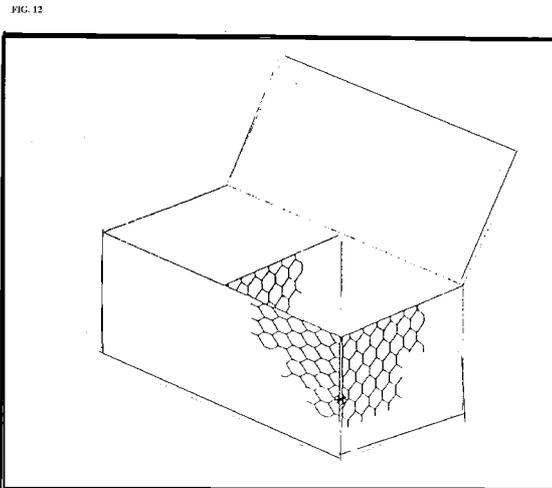


FIG. 12

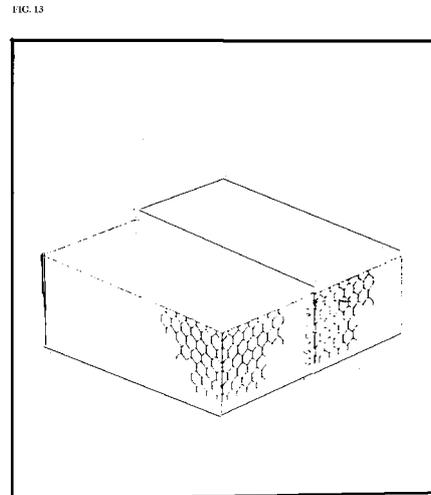


FIG. 13

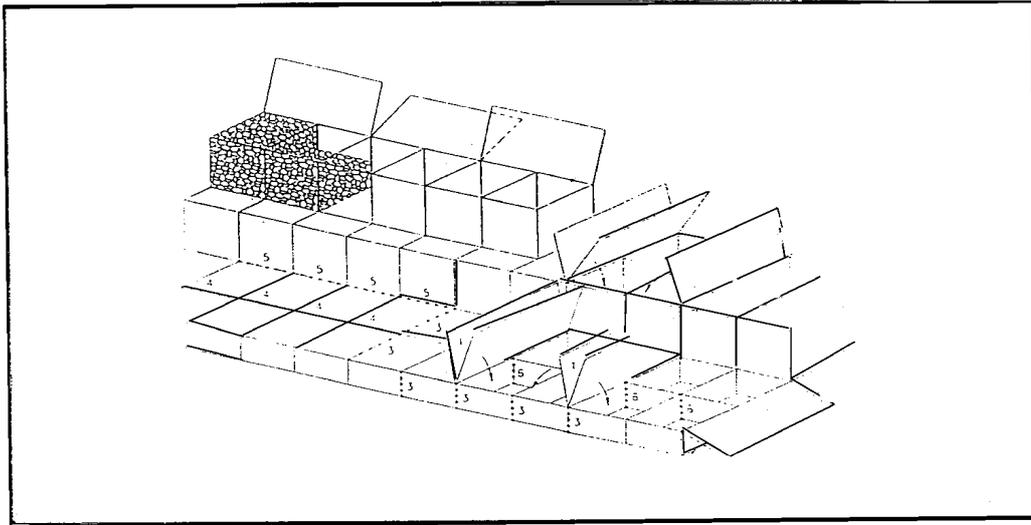


FIG. 16

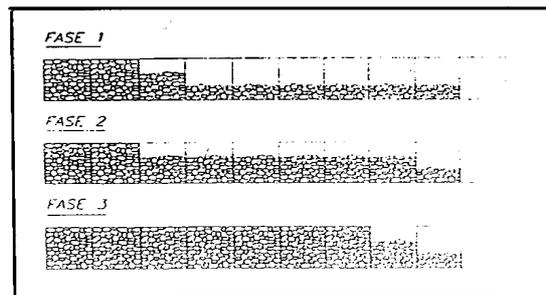


FIG. 17

Nota: all'estremità dell'opera si dovranno prevedere dei tiranti supplementari in modo da legare a 45° i paramenti adiacenti (vedi fig. 17).

Affinchè il riempimento risulti più omogeneo, si dovrà impiegare una granulometria uniforme in modo da limitare i vuoti e da ottenere dei moduli compatti, una volta riempiti ed opportunamente livellato il riempimento in modo da non lasciare spazi vuoti tra il coperchio e lo stesso riempimento si può procedere alla chiusura e legatura del coperchio.

Conformemente a quanto illustrato in precedenza i coperchi vanno legati a due a due inglobando nella legatura le barrette di rinforzo.

Per facilitare questa operazione si è studiata una pinza che permette di unire lo spigolo del paramento agli spigoli laterali del coperchio.

Al posto di questo attrezzo si può anche usare una comune barra di ferro facendo attenzione a non danneggiare la rete.

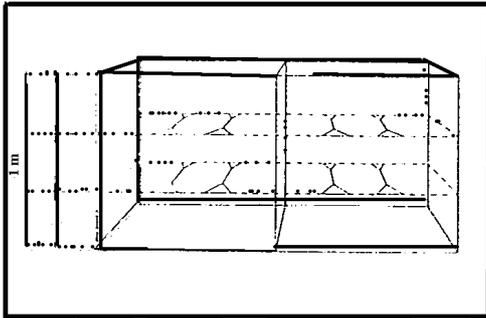


Fig. 16

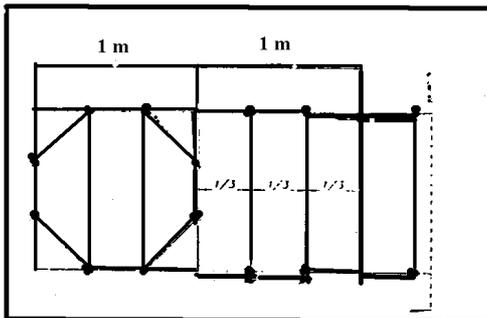


Fig. 17

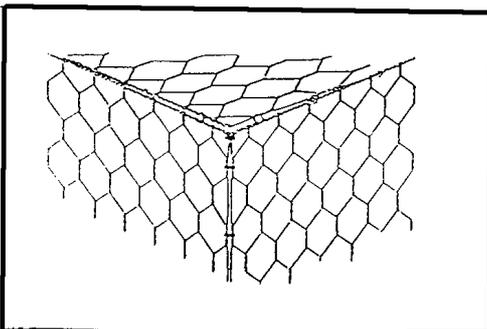
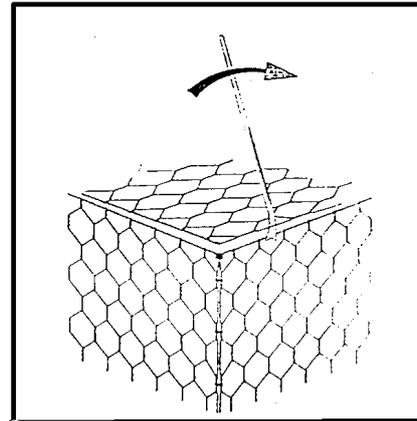


Fig. 18

Fig. 19



### 3. TERRAMESH VERDE RINFORZATO

#### 4. OPERAZIONE D'INSTALLAZIONE

- Spiegare gli elementi ad uno ad uno su una superficie piana e rigida.
- Sollevare la porzione "a" del pannello di base (costituito dal telo di base, pannello di irrigidimento e le staffe in acciaio pre-assemblate durante la fase di produzione).
- Far ruotare le due staffe perpendicolarmente al paramento legandole al telo di base dell'elemento.
- Per la posa in opera del Terramesh Verde Rinforzato non è necessaria alcuna cassaforma.

**5.****6. LEGATURA DEGLI ELEMENTI**

Legare la base dell'elemento sull'elemento precedente conformemente a quanto illustrato in precedenza.

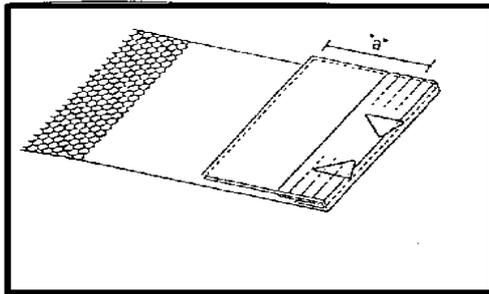
Gli elementi adiacenti in senso orizzontale dovranno opportunamente essere legati tra loro in modo da ottenere una struttura monolitica.

**7. MATERIALE DI RIPORTO**

Il rilevato strutturale dovrà essere costituito da terreno di buona qualità (granulare e ben selezionato), di elevato potere drenante ed alto angolo di attrito interno, e soprattutto mantenere inalterate le sue caratteristiche nel tempo. La predisposizione e la compattazione del rilevato viene effettuata impiegando le attrezzature, il personale e le macchine tradizionali in accordo a quanto previsto dalle specifiche locali sulle costruzioni stradali.

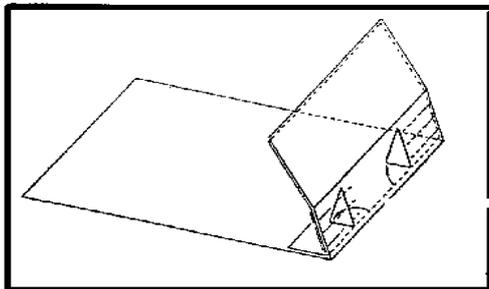
I valori di granulometria vanno dai materiali più fini con granulometria minore o uguale a 0,02 mm (con percentuale non superiore al 10%), ai ciottoli di maggiori dimensioni (fino a 200 mm). L'impiego di materiale avente elevate percentuali di ciottolame, superiore ai 100 mm (10%-15% al massimo), è comunque in generale sconsigliato anche perchè rischierebbe di rendere più laboriose le operazioni di compattazione.

L'impiego di materiale granulare selezionato delle caratteristiche sopracitate garantisce la costanza delle proprietà di ancoraggio delle reti anche nel caso di variazioni del contenuto di umidità del terreno. In queste ipotesi è possibile mediamente ottenere, dopo compattazione, valori di angolo di attrito del rilevato strutturale di almeno 36°.

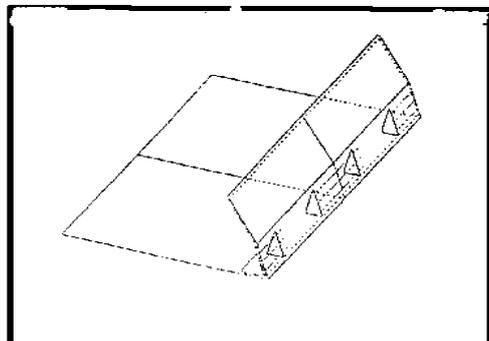


Prelievo del singolo elemento dal paccone

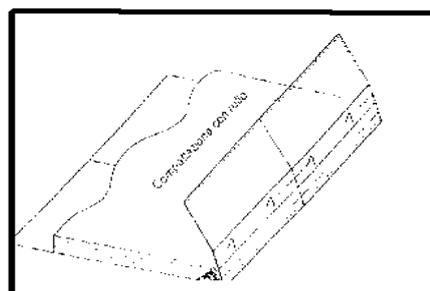
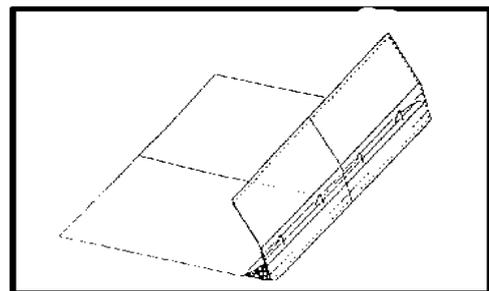
Messa in sagoma dell'elemento secondo l'inclinazione di progetto del paramento



Collegamento con punti metallici meccanizzati tra elementi contigui



Sistemazione della prima porzione di terreno vegetale



Sistemazione della prima porzione di terreno vegetale

Sono comunque ammessi anche materiali non corrispondenti alla classificazione sopra riportata, in grado comunque di garantire sufficienti caratteristiche di resistenza e durabilità degli ancoraggi. E' opportuno inoltre valutare la possibilità di impiegare per il rilevato materiale reperibile in sito, eventualmente miscelandolo con altro di diversa provenienza (sabbie, ghiaie, stabilizzanti chimici, ecc.) qualora quest'ultimo venga ritenuto

solo parzialmente idoneo.

L'elemento determinante per la valutazione della resistenza e del potere di ancoraggio della rete resta comunque sempre l'angolo di attrito interno. per il quale si consiglia di non scendere al di sotto di valori minimi di  $30^\circ$ . Il materiale di riempimento va disposto e compattato per strati successivi non superiori a 0,30 m.

La compattazione del rilevato a ridosso del paramento si dovrà effettuare con l'impiego di piastre vibranti o rulli.

Il grado di compattazione da raggiungere viene di norma indicato nelle specifiche tecniche costruttive di capitolato (>95% della prova Proctor modificata).

Generalmente in fase progettuale si assumono compattazioni tali da determinare una densità minima del rilevato pari a 1800 kg/m<sup>3</sup>.

Una maggiore compattazione è consigliabile quando si prevedono fasi di assestamento prolungate nel tempo che possono ripercuotersi sulle eventuali sovrastrutture.

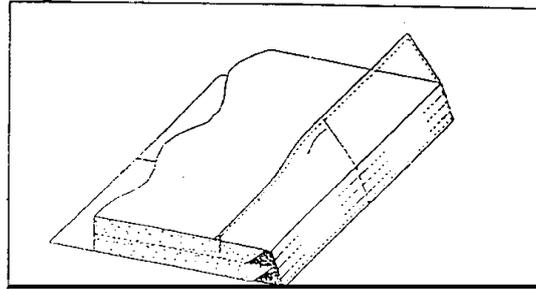
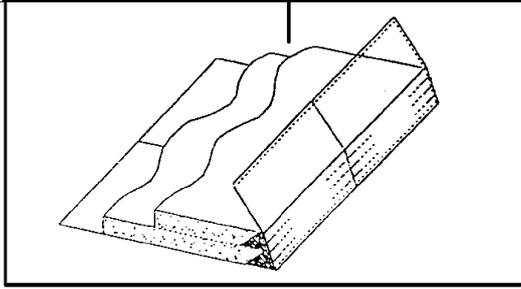
## **8. CARATTERISTICHE DEI TRATTAMENTI D'INERBIMENTO**

Al fine di ottenere la massima efficacia dei trattamenti di inerbimento è necessario predisporre un piccolo strato di terreno vegetale nella zona immediatamente retrostante il paramento esterno. Per opere di altezza rilevante (oltre 7-8 m) tale terreno potrà essere miscelato con argilla espansa, sia per facilitare la ritenzione idrica, sia per consentire il miglior assestamento.

Tale porzione di terreno potrà essere preseminata manualmente in fase di posa dell'opera.

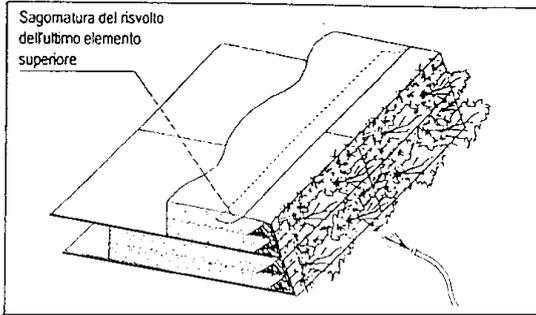
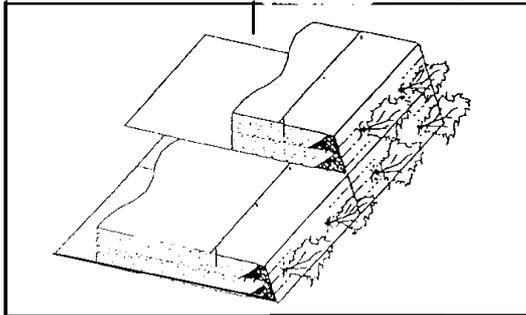
Il trattamento di idrosemina dovrà essere fatto con aspersione tramite idoneo mezzo meccanico, utilizzando una composizione e quantità (sia dei componenti, sia complessiva) variabili. La scelta dovrà essere fatta in funzione della situazione pluvio-climatica locale, della esposizione, della pendenza del paramento esterno e della caratterizzazione floristico-vegetazionale del luogo. In linea generale, nel caso di un singolo trattamento di idrosemina la composizione di massima, potrà essere la seguente:

POSA IN OPERA E COMPATTAZIONE DELLA 2<sup>a</sup> EV.LE PORZIONE DI TERRENO VEGETALE E STRATO DI RILEVATO STRUTTURALE



PIEGATURA RISVOLTO SUPERIORE E FISSAGGIO CON PICCHETTI DELL'ESTREMITA'

POSA IN OPERA DEGLI ELEMENTI SOVRASTANTI ED EV.LE INSERIMENTO DI TALEE ARBUSTIVE



IDROSEMINA CON COMPOSIZIONE IDONEA ALLA ZONA DI INTERVENTO

- acqua;
- miscela di sementi di specie erbacee (graminacee e leguminose) ed eventualmente arbustive in quantità minime di 50 gr/m<sup>2</sup>;
- fertilizzanti organici e/o chimici in quantità minime di 40-50 gr/m<sup>2</sup>;
- sostanze miglioratrici del terreno in quantità minime di 100 gr/m<sup>2</sup>;
- leganti igroscopici e biodegradabili in quantità minime di 10-20 gr/m<sup>2</sup>.

L'intervento di idrosemina è consigliabile nei periodi stagionali a maggiore piovosità.

In situazioni particolarmente difficili, per esposizione, altezza e pendenza del paramento l'idrosemina dovrà essere realizzata con due distinti interventi la cui singola composizione potrà variare rispetto a quanto sopraddetto.

Si potrà infine prevedere la messa a dimora di essenze arbustive per talee in quantità minima di una pianta ogni 3 m<sup>2</sup> al fine di aumentare il consolidamento del paramento esterno, grazie alla radicazione delle piante, oltre a favorire l'invito delle acque meteoriche e l'ombreggiamento del paramento stesso.

## 4. SISTEMAZIONI IDRAULICHE DI SPONDE FLUVIALI

### 1. GABBIONATE SPONDALI

#### *Descrizione dell'opera*

Realizzazione di opere longitudinali e/o trasversali per la difesa spondale e la regimazione dei corsi d'acqua per mezzo di gabbioni a scatola o a sacco e/o materassi in rete zincata, rinverditi con l'inserimento di talee di specie ad elevata capacità vegetativa.

#### *Campi di applicazione*

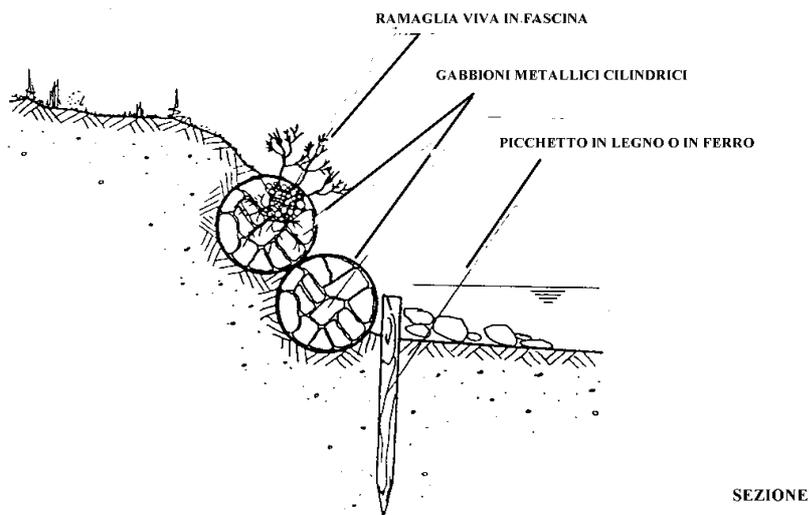
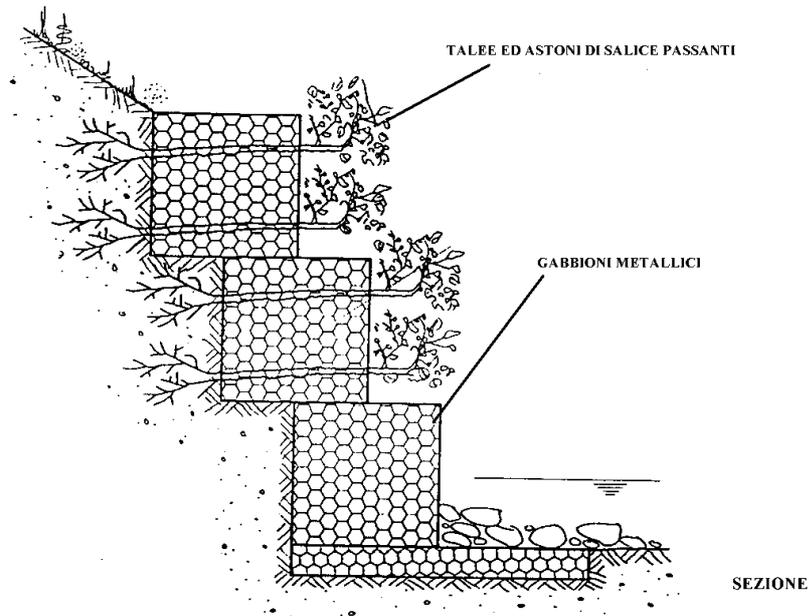
Opere di sostegno al piede di scarpate instabili umide; opere idrauliche longitudinali per la difesa spondale, anche in condizioni di corrente veloce ( $> 6$  m/s); ricostruzione di muri di sostegno in presenza di terreno smosso; opere trasversali in corsi d'acqua con trasporto solido limitato (briglie, pennelli e repellenti).

#### *Limiti di fattibilità*

L'impiego è limitato alle zone con sufficiente disponibilità di materiale lapideo per il riempimento dei gabbioni.

#### *Materiali impiegati*

- gabbioni a scatola o a sacco in rete metallica zincata; materassi in rete zincata
- filo di ferro  $\varnothing$  2-3 mm
- georete tridimensionale in polipropilene per la costruzione delle tasche
- tessuto non tessuto per la costruzione delle tasche
- pietrame di cava o ciottoli di fiume per il riempimento
- inerte terroso locale e terreno vegetale
- talee di varie dimensioni appartenenti a specie ad elevata capacità vegetativa
- piantine radicate di specie arbustive autoctone.



### *Grado di reperibilita'*

Buono per tutti i materiali, se vengono soddisfatte le condizioni indicate nei limiti di fattibilità.

### *Parametri e metodi di calcolo*

I gabbioni vengono considerati opere strutturali e necessitano dei calcoli statici per i muri a gravita; per i calcoli di verifica vengono prese in considerazione la sicurezza allo scorrimento; la sicurezza al ribaltamento; la sicurezza alla stabilità d'insieme; le tensioni del muro e le tensioni sul terreno.

*Periodo di intervento*

Per gli interventi in alveo il periodo di intervento è vincolato al regime idrologico del corso d'acqua, in particolare ai periodi in cui si riscontrano le minime portate. Per favorire l'attecchimento, con l'inserimento di materiali vivi, il periodo di intervento corrisponde al riposo vegetativo. L'ambiente fluviale, generalmente più fresco e in condizioni di umidità più elevata, consente tuttavia di operare anche durante il periodo estivo, purché le talee e/o le piantine vengano poste a dimora immediatamente dopo il loro prelevamento.

*Modalità di esecuzione del rinverdimento*

come per molte altre opere di ingegneria naturalistica, anche l'utilizzo delle reti zincate per la costruzione di gabbioni o materassi è elastico e adattabile a differenti condizioni operative. Poiché le metodologie costruttive delle gabbionate sono generalmente note ed ampiamente trattate nella letteratura specializzata, in questa scheda verranno affrontati solamente i sistemi per il rinverdimento e la ricostituzione della vegetazione ripariale.

Le tecniche di rinverdimento descritte, valgono come criteri generali e sono applicabili sia per gli interventi di sistemazione spondale, sia per le opere di versante. Il rinverdimento dei gabbioni può avvenire in fasi successive e con tecniche diverse, secondo le esigenze di cantiere e le modalità costruttive della gabbionata. La forma stessa del gabbione può variare ed oltre ai tradizionali gabbioni a scatola o ai materassi, di forma parallelepipedica si possono realizzare gabbioni cilindrici, a rullo e/o a sacco.

Questi ultimi vengono costruiti utilizzando semplicemente rete zincata arrotolata intorno al materiale di riempimento e legata con filo di ferro oppure con elementi già predisposti, per una più rapida esecuzione delle operazioni di chiusura e legatura. Per evitare l'erosione del terreno da parte della corrente ed il conseguente scalzamento delle gabbionate spondali può essere utile eseguire un'operazione preliminare consistente nella posa di un letto di ramaglia morta, orientata in senso normale alla corrente, sopra la quale verrà costruita la prima fila di gabbioni.

La realizzazione di fascinate spondali può avvenire con il sistema tradizionale, oppure con impiego di rete zincata, in abbinamento alla georete tridimensionale. La fascina è contenuta in una sorta di gabbione cilindrico insieme al pietrame di riempimento disponendo la ramaglia verso la parte esterna ed il pietrame all'interno.

Sotto il livello di magra si può operare unicamente con ramaglia morta oppure mediante gabbioni con il solo riempimento di pietrame, l'utilizzo di piante vive è limitato pertanto alle realizzazioni al disopra del livello di magra. Il periodo di sommersione sopportato dalle piante è variabile in funzione della specie. Alcuni salici (*Salix cinerea*, *S. pentandra*, *S. alba*), il pioppo bianco (*Populus alba*), l'ontano nero (*Alnus glutinosa*) ed il frassino ossifillo (*Fraxinus angustifolia*) resistono per 1 o 2 settimane senza danni a sommersioni fino a due terzi della loro altezza. I salici ed in minor misura il pioppo bianco vengono impiegati come talea, l'ontano ed il frassino solo come piantina radicata.

La fascina in questo caso è contenuta all'interno del gabbione cilindrico insieme al pietrame, il che consente così di aumentare la resistenza nei confronti dell'azione esercitata dalla corrente. Generalmente il peso proprio della gabbionata è sufficiente a mantenerla in posto, tuttavia un suo ulteriore fissaggio al terreno può avvenire con picchetti di legno ( $\varnothing$  5-10 cm), oppure con tondini di ferro ad aderenza migliorata ( $\varnothing$  12-16 mm) infissi nel terreno per una profondità di circa 1 m. Nei gabbioni tradizionali a scatola il rinverdimento può avvenire sia durante o dopo il riempimento. Nel primo caso le talee, che debbono avere una lunghezza superiore alla profondità del gabbione, per raggiungere lo strato di terreno retrostante, vengono deposte a strati, alternate al pietrame

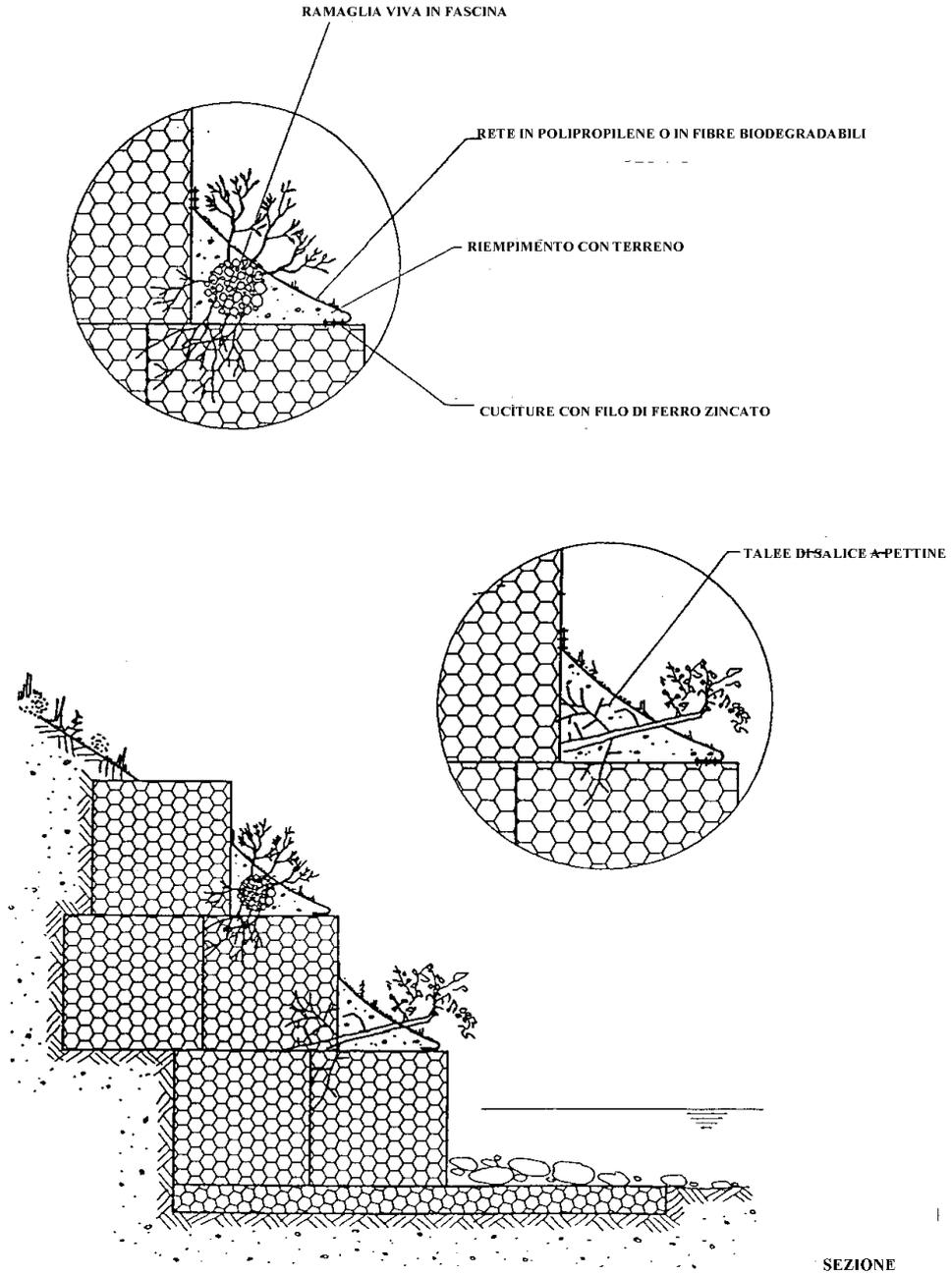
di riempimento. Una volta terminato e chiuso il gabbione è possibile disporre uno strato di talee anche tra questo e quello soprastante.

Per favorire la radicazione lungo tutta la talea, è necessaria la posa di uno strato di georete tridimensionale o di non tessuto sul quale viene sparsa una miscela di inerte terroso e terreno vegetale prima e dopo la deposizione della talea stessa. Lo stesso dovrà avvenire anche tra un gabbione e l'altro. Questo metodo presenta, a fronte di un consolidamento più efficace ad opera dei taleoni passanti, una complessità esecutiva piuttosto elevata. Il rinverdimento in una fase successiva al riempimento dei gabbioni può avvenire mediante la costruzione, con georete tridimensionale, di sacche esterne o tasche interne al gabbione, ad esso legate con filo di ferro.

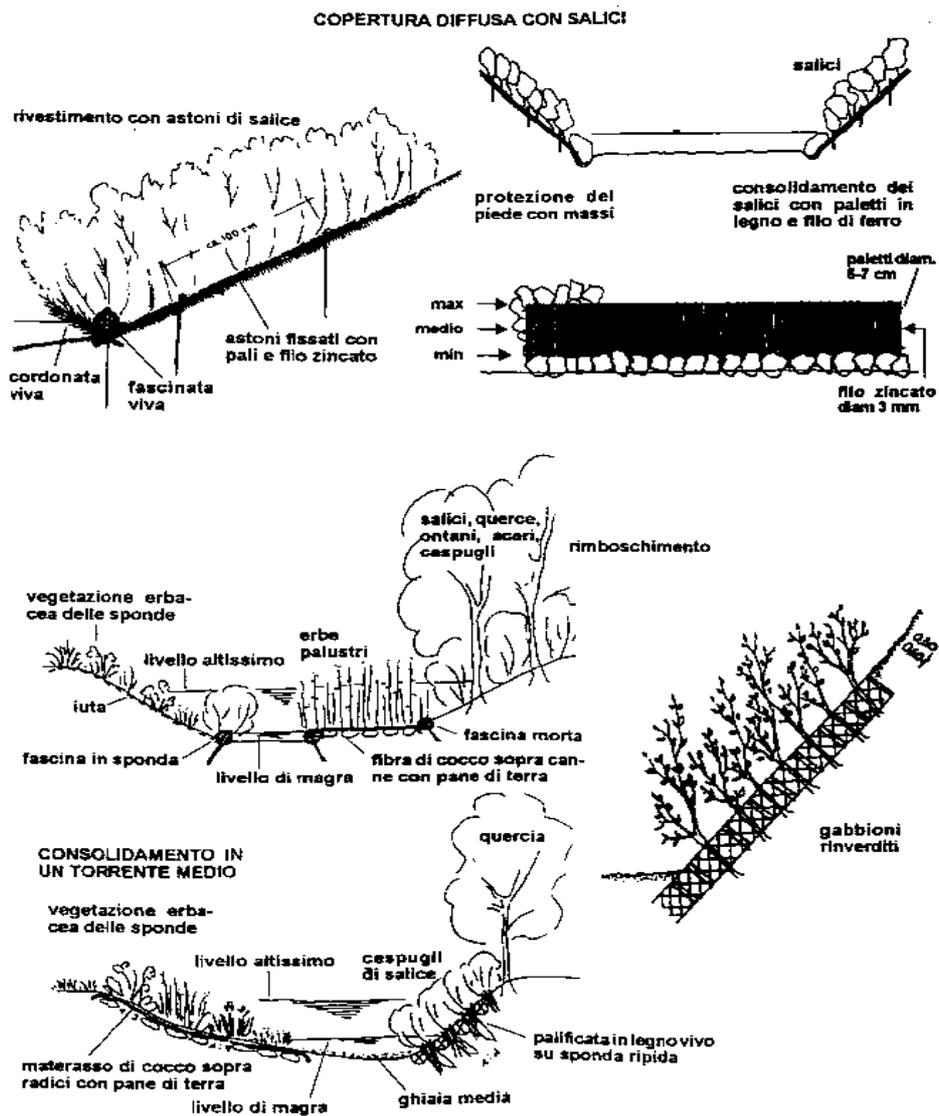
Le sacche esterne possono avere sezione triangolare o circolare e rappresentano una soluzione più idonea rispetto alle tasche interne. Il riempimento di entrambe avviene comunque durante la costruzione. La miscela di inerte terroso locale e terreno vegetale favorisce l'attecchimento e la radicazione delle talee e/o delle piantine messe a dimora al loro interno. A seconda delle necessità si possono inserire talee sullo schema della gradonata viva, a pettine, oppure ramaglia in senso longitudinale formando delle fascine all'interno della sacca. Queste tecniche del rinverdimento successivo, possono rivelarsi vantaggiose nei casi in cui si debba intervenire tempestivamente con la posa delle gabbionate per motivi di sicurezza idraulica, anche in periodi non adatti alla messa a dimora di talee e piantine. In tal modo essa potrà avvenire in un secondo tempo, rispettando così l'epoca migliore per l'attecchimento. Questa eventualità dovrà essere prevista dal progetto e la costruzione dei gabbioni terrà conto delle successive operazioni di rinverdimento (ad es. con un adeguata profondità della pedata per file di gabbioni sovrapposte).

Per il rivestimento di ampie superfici di sponda, ove sia necessario l'impiego di materassi, il rinverdimento potrà avvenire mediante la predisposizione di tasche in georete tridimensionale, foderate con geotessile per il contenimento del terreno. Le tasche verranno poi seminate e piantate con talee di salice o altre specie con buone capacità vegetative. Su sponde lacustri è possibile l'impiego di rizomi di canna o di vere e proprie fascine di canne (*Phragmites* spp.) sia all'interno dei gabbioni cilindrici, sia nelle tasche dei materassi.

I gabbioni cilindrici a sacco, per facilitare le operazioni di legatura, dovranno essere uniti tra loro prima della posa, a gruppi di 4-5, con filo di ferro ( $\varnothing$  3 mm), tenendo vuoto l'ultimo gabbione della fila.



### Alcune tecniche di ingegneria naturalistica per il consolidamento delle sponde



## 5. SISTEMAZIONI DI VERSANTE

### 1. INTERVENTI PREPARATORI E FASI OPERATIVE

#### *Descrizione dell'opera*

Si tratta di interventi preliminari alla realizzazione degli interventi di ingegneria naturalistica, consistenti nella preparazione ed il modellamento delle aree in dissesto finalizzati ad ottenere maggiori garanzie di successo degli interventi, migliori condizioni operative ed un completo inserimento paesaggistico dell'area interessata.

### *Campi di applicazione*

La realizzazione di interventi preparatori riveste assoluta importanza per qualunque intervento di ingegneria naturalistica e quindi i campi di applicazione sono molteplici e diversificati, rientrando comunque nelle aree in dissesto sia di origine naturale che antropica, suscettibili di recupero con interventi di ingegneria naturalistica.

### *Criteri generali di intervento*

Il recupero di un area di versante degradata deve avvenire nel rispetto dell'esecuzione di tutte le seguenti fasi:

1. consolidamento al piede dell'area in dissesto;
2. scoronamento delle parti instabili e profilatura del terreno;
3. regimazione delle acque;
4. stabilizzazione superficiale e rivestimento vegetativo.

Il progettista è pertanto tenuto a verificare le necessità di intervento legate alle fasi predette, a definire gli interventi atti a soddisfare le necessità individuate e, inoltre, a definire in capitolato la scansione temporale dell'esecuzione degli interventi esecutivi. In linea di massima, salvo casi specifici, la successione dei lavori può corrispondere alle fasi indicate.

### **Criteri delle singole fasi di intervento**

#### Consolidamento al piede

##### a) Campo di applicazione e funzioni

Versanti instabili per erosione al piede, per caratteristiche geomeccaniche dei terreni ed elevate pendenze e/o per presenza di acqua, dove non siano comunque verificate le condizioni di sicurezza indicate dal D.M. 11/3/1988 (da effettuarsi con le consuete verifiche di stabilità). Da un punto di vista funzionale, consente la realizzazione delle successive fasi ed evita il reinnesco di fenomeni di dissesto su tutto il versante interessato.

##### b) Tipologie di intervento

Verificati i limiti generali di fattibilità delle opere di I.N., potranno essere adottate le seguenti tipologie di intervento (successivamente descritte singolarmente in dettaglio):

- palificate vive in legname, a doppia parete o a parete semplice
- terre rinforzate e rinverdite;
- scogliere rinverdite;
- gabbionate rinverdite Per tutte le tipologie è possibile effettuare le verifiche di stabilità (comprese le palificate).

##### c) Modalità di esecuzione

Per la realizzazione delle opere predette occorre aprire opportuni scavi di fondazione, da effettuare preferibilmente con mezzi meccanici che limitino i movimenti di terra all'indispensabile (escavatore, ragno, ecc.) sia per i frequenti problemi operativi dei cantieri di ingegneria naturalistica, sia per evitare ulteriori impatti indotti da mezzi pesanti.

Per la realizzazione degli scavi valgono i consueti criteri operativi (procedere per brevi tratti finiti in caso di limitata coesione dei fronti di scavo, formazione di opere provvisorie di sostegno e drenaggio, ecc.); in alcuni casi (ad es. le palificate) può essere opportuno procedere per tratti finiti in modo da provvedere al riempimento delle parti di struttura ultimate con il materiale terroso derivante da successive sezioni di scavo aperte. Per le modalità esecutive delle singole tipologie si rimanda alle relative schede.

#### d) Note

Qualora non sussistano condizioni di fattibilità per le opere di ingegneria naturalistica, si dovrà procedere con tipologie tradizionali, provvedendo alle fasi successive con tecniche a basso impatto ambientale.

### Scoronamento delle parti instabili e profilatura del terreno

#### a) Campo di applicazione e funzioni

Scarpate ed aree in dissesto che presentino cigli di distacco instabili per pendenze superiori al coefficiente di attrito interno ed al versante sottostante, fenomeni di instabilità del substrato roccioso affiorante, formazione di accumuli di materiali terrosi e detritici di risulta dagli eventi di dissesto, presenza di solchi d'erosione, ecc. Svolge la funzione preparatoria agli interventi di stabilizzazione e rivestimento vegetativo, oltre che ridurre i rischi derivanti da crolli e/o smottamenti, sia in fase di cantiere che per l'assetto definitivo dell'area. La profilatura svolge funzione preparatoria e complementare alla regimazione idraulica.

#### b) Tipologie di intervento

- asportazione detrito grossolano superficiale;
- disgaggio parti rocciose instabili;
- asportazione della corona;
- taglio di eventuali piante esistenti;
- profilatura e livellamento del terreno;

#### c) Modalità esecutive

I lavori possono essere eseguiti sia con mezzo meccanico che manualmente; le condizioni operative del singolo cantiere condizioneranno e determineranno le relative scelte. Tra i mezzi meccanici sono preferibili i ragni, che consentono di operare anche sulla superficie di scarpate ad elevata pendenza, oltre agli escavatori. Spesso, però, le operazioni vanno eseguite o rifinite a mano, anche per oggettive impossibilità di accesso di mezzi meccanici; in questo caso il tecnico deve valutare l'entità del lavoro ed i relativi costi, effettuando interventi più limitati ed indirizzandosi su diverse tipologie costruttive.

Per quanto riguarda il taglio della vegetazione esistente, può essere effettuato sia un taglio selettivo (che rilasci gli esemplari più stabili) o un taglio raso con rilascio delle ceppaie, qualora non intralcino le operazioni di cantiere o non appesantiscano il versante.

#### d) Note

In presenza di superfici interessate da abbondante detrito e roccia instabile affiorante, in matrice terrosa, un lavoro intensivo di asportazione del materiale lapideo e di profilatura

potrebbe non ottenere risultati, scoprendo ulteriore materiale da asportare; in tale caso si può intervenire eliminando il detrito più superficiale e provvedendo, ad esempio, alla posa di reti.

### Regimazione delle acque

#### a. Campo di applicazione e funzioni

Tutti i fenomeni di dissesto determinati in tutto o in parte da disordine idraulico dei versanti interessati, sia per cause naturali che antropiche. Da un punto di vista funzionale, riduce il rischio di rinnesco dei fenomeni erosivi e di franamento, evita l'eventuale scalzamento delle opere realizzate, migliora le condizioni di attecchimento e sviluppo della vegetazione (riducendo il dilavamento ed i ristagni idrici).

#### b) Tipologie di intervento

Sono utilizzabili sia interventi di ingegneria naturalistica che impieghino esclusivamente materiali naturali che interventi combinati anche con materiali sintetici (tubi in plastica, in materiali metallici, ecc.), quali:

- fascinate drenanti;
- canaletto in pietrame;
- canaletto con tubi di drenaggio e ramaglia;
- palizzate in legname abbinata a fascinate, drenaggi;
- brigliette in legname e pietrame.

Anche in questo caso, si potranno adattare le tecniche più diffuse alle singole condizioni stazionali, impiegando tecniche e materiali differenti.

#### c) Modalità di esecuzione

Per le opere di ingegneria naturalistica si fa riferimento alle singole schede; gli interventi che impiegano materiali sintetici dovranno comunque seguire i criteri operativi dei singoli materiali impiegati. Anche in questo caso, si dovrà operare con mezzi meccanici leggeri o manualmente, anche per evitare la formazione di eventuali nuove vie preferenziali per l'acqua.

#### d) Note

Si tratta di interventi molto adatti all'integrazione tra sistemi tradizionali ed opere di ingegneria naturalistica; sembra opportuno evidenziare che anche molte opere di consolidamento e stabilizzazione svolgono azione drenante (è uno degli aspetti che differenzia maggiormente l'ingegneria naturalistica da interventi in grigio), che può essere più o meno evidenziata con diverse scelte tecniche (ad es. con la posa di drenaggi negli scavi delle palificate a doppia parete).

### Stabilizzazione superficiale e rivestimento vegetativo

#### a) Campo di applicazione e funzioni

Tutti i tratti di scarpata e di versante a monte di opere di consolidamento al piede, effettuate in grigio o in verde, le aree in dissesto che abbiano determinato asportazione e degrado della copertura vegetale, le aree in dissesto soggette ad erosione superficiale, sia per cause naturali che antropiche. Da un punto di vista funzionale, provvede alla stabilizzazione superficiale del terreno, riduce il rischio di riinnesco dei fenomeni erosivi sia diffusi che incanalati, favorisce la ricostituzione del suolo e provvede al reinserimento dell'area nel paesaggio circostante.

#### b) Tipologie di intervento

Sono utilizzabili sia interventi specificatamente di ingegneria naturalistica che interventi riconducibili alla selvicoltura, al verde ornamentale, ecc.. Si vedrà nel dettaglio delle schede che sono applicabili sia tipologie di intervento realizzate solo con materiali naturali sia con materiali sintetici. Si potranno utilizzare:

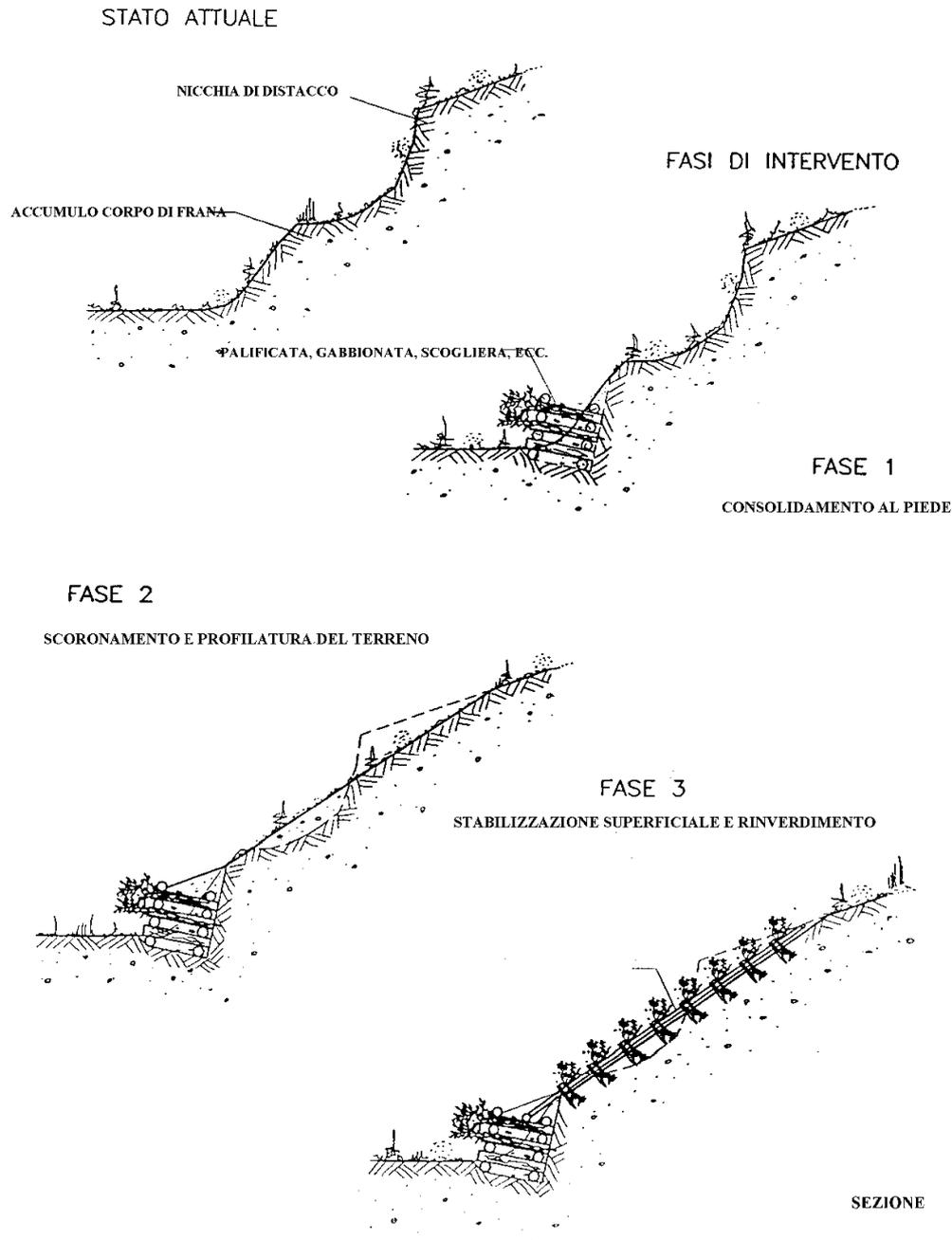
- palizzate semplici, viminate, graticciate;
- palificate in legname a parete semplice e doppia, grate vive;
- gradonate e cordonate;
- messa a dimora di talee, impianto di alberi ed arbusti;
- semine ed idrosemine;
- posa di reti, feltri e stuoie biodegradabili, sintetiche e miste.

#### c) Modalità di esecuzione

Si tratta di opere di ingegneria naturalistica per le quali si farà riferimento alle singole schede. Nella prevalenza dei casi si dovrà operare manualmente, ad esclusione di macchine specializzate (idrosemina) e piccoli mezzi adatti a lavorare sui versanti acclivi (ragni).

#### d) Note

Il completamento del lavoro con interventi stabilizzanti e di rivestimento consente di prevenire eventuali successivi fenomeni di dissesto e consente l'effettivo recupero ambientale dell'area interessata.



## 1. VIMINATA

### *Descrizione dell'opera*

Si tratta di una sistemazione stabilizzante lineare su pendio che può avere disposizione a file orizzontali oppure incrociate; nel secondo caso l'incrocio può avvenire in diagonale, a formare una costruzione di rombi, oppure ad angolo retto, a formare quadrati. Essa è

composta da un intreccio di verghe aventi capacità vegetative, fissato al terreno mediante picchetti di legno o tondini di ferro e successivamente interrato.

#### *Campi di applicazione*

Intervento adatto al rapido consolidamento ed al rivestimento superficiale del terreno superficiale, nel caso di modesti franamenti ed erosioni. Le viminate diagonali o quadrate sono più efficaci al fine della ritenuta di terreno di copertura, in conseguenza della formazione di camere di contenimento. L'intervento è adatto anche per scarpate spondali.

#### *Limiti di fattibilità*

A causa dei costi elevati rispetto ad altri interventi di stabilizzazione, del limitato numero di specie adatte e del rischio di non radicazione qualora le viminate non vengano sufficientemente interrate, questo intervento viene effettuato ormai quasi esclusivamente quando sia necessario ottenere un effetto immediato di trattenuta del terreno.

#### *Materiali impiegati*

Materiale vivo: rami lunghi cresciuti dritti, poco ramificati, elastici, di almeno 120 cm di lunghezza (verghe), aventi capacità vegetativa, facilmente intrecciabili;

materiale morto: picchetti in legno o tondini di ferro di lunghezza di cm 100 circa, analogo materiale ma di lunghezza inferiore a cm 100.

#### *Grado di reperibilità*

Sono adatte a questo tipo di intervento solo verghe lunghe, che si possono intrecciare facilmente; non tutte le specie ad alta capacità vegetativa possono offrire talee con queste caratteristiche.

#### *Modalità di esecuzione*

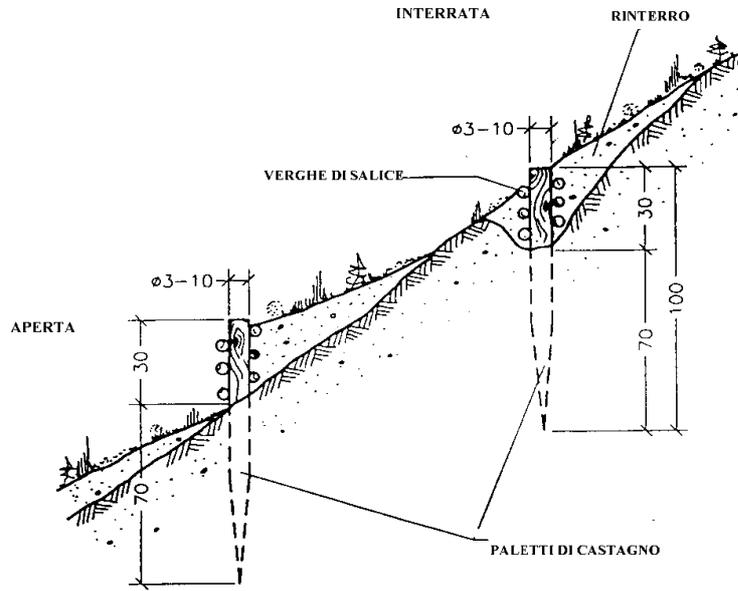
Si infiggono nel terreno paletti di legno appuntiti (picchetti) del diametro compreso tra 3 e 10 cm e lunghi cm 100 circa (oppure tondini di acciaio della medesima lunghezza) a distanza l'uno dall'altro di cm 100 circa; essi devono essere conficcati nel terreno per circa 2/3 della loro lunghezza. Tra di essi si infiggono altri paletti più corti a distanza di cm 30 circa l'uno dall'altro (meglio talee vive). Ai paletti si intrecciano le verghe, l'una sopra l'altra, in numero conveniente (a formare un intreccio di altezza pari a circa cm 30); esse devono essere spinte all'interno del terreno affinché possano radicare.

#### *Periodi di intervento*

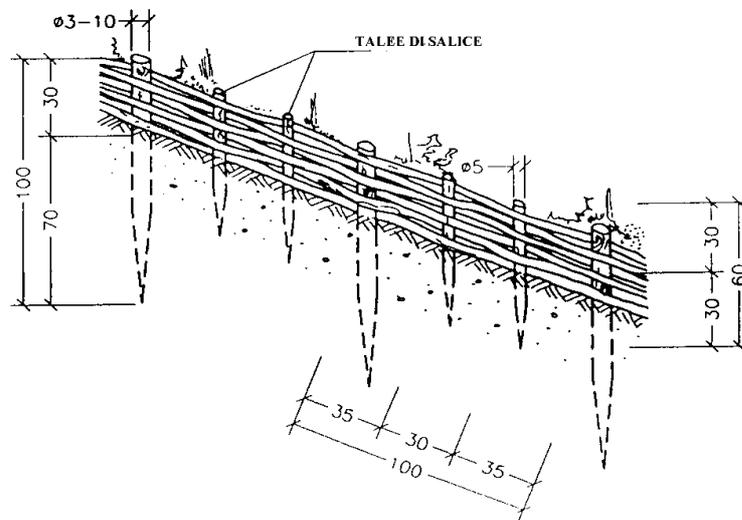
Durante il riposo vegetativo (da tardo autunno a fine inverno).

#### *Note*

attecchiscono bene solo le viminate interrate completamente. Le verghe che giacciono in superficie non radicano o radicano male, ad eccezione di quando sono utilizzate nelle sistemazioni spondali. Inoltre, le verghe disposte in superficie sono soggette a notevoli disseccamenti. Soprattutto nel caso di sistemazioni con viminate a disposizione lineare orizzontale può essere necessario integrare questo intervento con tecniche di copertura superficiale del terreno.



SEZIONE



VISTA

## 2. GRADINATA E CORDONATA VIVA

### *Descrizione dell'opera*

Interventi per la stabilizzazione di scarpate consistenti nella realizzazione di banchine trasversali alla linea di massima pendenza, costituite da uno scavo in contropendenza nel quale viene posto a dimora materiale vivo (talee, piantine), ricoperto con il terreno derivante dallo scavo della banchina posta a monte.

### *Campi dell'applicazione dell'opera*

Scarpate in riporto, stabilizzazione superficiale di rilevati e/o accumuli di materiale sciolto, stabilizzazione di zone in erosione purché sia presente uno strato di terreno sufficiente alla sua realizzazione.

### *Limiti di fattibilità*

Interventi caratterizzati da limitate possibilità esecutive per scarpate con roccia affiorante e/o subaffiorante. In caso di impiego di talee, necessità di grandi quantità di materiale vivo.

### *Materiali impiegati*

- materiale vivo: talee, piantine a radice nuda e/o in fitocella
- materiale morto: legname e picchetti reperiti in loco
- ferramenta: tondini in acciaio, filo di ferro.

### *Grado di reperibilità dei materiali*

Buono, per tutti i materiali impiegati. Da valutare preliminarmente la disponibilità di abbondante materiale per talee.

### *Modalità generali di esecuzione*

Si procede all'apertura di uno scavo continuo disposto lungo le curve di livello della scarpata, realizzando una banchina di profondità 50-100 cm, realizzata con una contropendenza a monte di circa il 10%. Sul piano della banchina viene posto-a dimora il materiale vegetale, ortogonalmente alla linea di massima pendenza, con densità differenziate in rapporto al materiale impiegato ed alla sua disponibilità (ad es. strato continuo di talee, piantine con interasse di 20-30 cm, ecc.) oltre che delle tecniche costruttive adottate.

Il lavoro deve procedere dal piede della scarpata verso l'alto, in modo che il terreno ottenuto dallo scavo della banchina superiore sia utilizzato per il rinterro di quella immediatamente inferiore. La distanza tra due gradoni successivi deve essere compresa tra 1 e 3 m, evitando intervalli minori che favorirebbero fenomeni di instabilità.

L'andamento dei gradoni è generalmente disposto lungo le curve di livello, ma possono essere effettuati gradoni leggermente inclinati per favorire la regimazione idrica.

### *Modalità esecutive specifiche*

Gradonate e cordonate presentano modalità esecutive generali praticamente identiche, caratterizzate da grande semplicità e molta flessibilità nelle scelte esecutive. La scelta del materiale vegetale può essere diversificata sulla base della disponibilità di materiale in loco, delle necessità funzionali, delle condizioni pedoclimatiche e di inserimento

dell'intervento nell' assetto vegetazionale locale. In ogni caso, la scelta del materiale vivo deve essere valutata e progettata congiuntamente ad eventuali modifiche della struttura dell'intervento (scavi, apporto di altri materiali, ecc.).

Pertanto, fermo restando che le singole condizioni stazionali e le necessità funzionali delle opere realizzate dovranno essere interpretate dal progettista che potrà apportare agli schemi qui proposti le varianti che riterrà più opportuno, si richiama la principale soluzione.

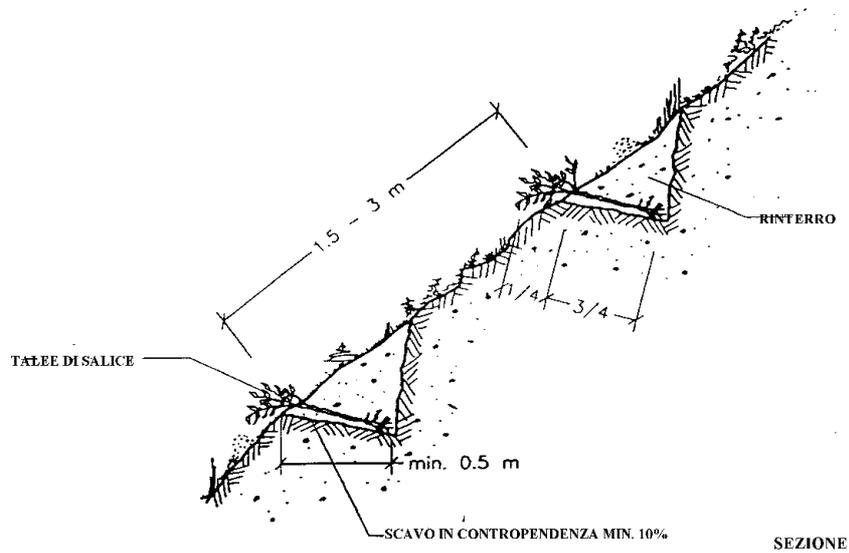
### **Cordonata**

materiale: talee, legname, ramaglia

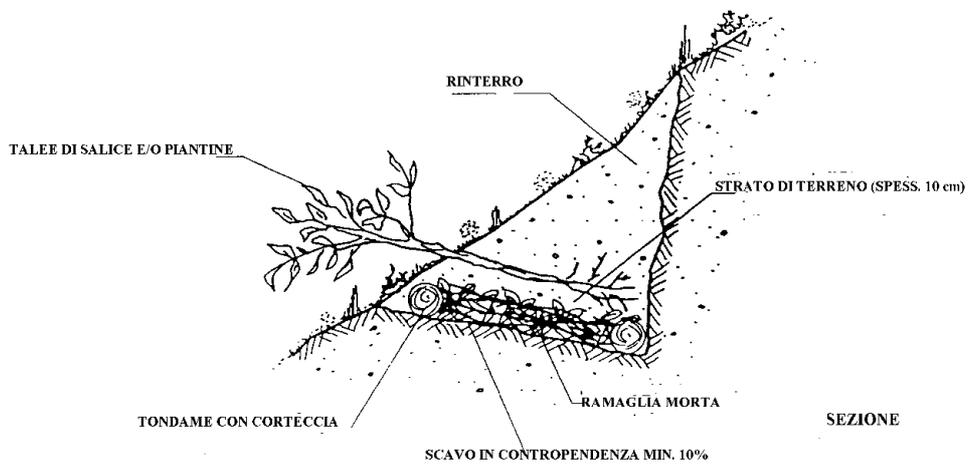
modalità esecutive:

nella banchina ottenuta con lo scavo si dispone longitudinalmente del tendame , anche reperito in loco, generalmente lungo la parte più interna dello scavo ed in prossimità del bordo esterno dello stesso. Sopra al tendame viene formato un letto continuo di ramaglia minuta reperita in loco.

GRADONATA CON TALEE (SISTEMA SIEPE-CESPUGLIO)



CORDONATA SECONDO PRAXL



### 3. GRATA VIVA

#### *Descrizione dell'opera*

Realizzazione di un provvedimento intermedio tra la stabilizzazione di pendii superficiale e quella profonda; su scarpate e versanti in erosione molto ripidi con substrato compatto.

#### *Campi di applicazione*

Pendii e/o sponde con acclività compresa tra 45 e 60°, nicchie di frana con difficoltà o impossibilità di rimodellamento del versante, scarpate di infrastrutture viarie. Adatta a zone in scavo con coltri poco profonde.

#### *Limiti di fattibilità*

I limiti sono rappresentati dalla pendenza del versante associati alla natura del substrato e dalle dimensioni della nicchia, in particolare dall'altezza.

#### *Materiali impiegati*

Picchetti e pali in castagno, robinia o altro legname con buona resistenza e durabilità facilmente reperibile in loco.

Chiodi, tondini in acciaio ad aderenza migliorata, griglia in ferro elettrosaldato a maglia quadra 5x5 cm, talee, piantine radicate di specie arbustive locali.

#### *Grado di reperibilità*

Buono per tutti i materiali

#### *Modalità di esecuzione*

In terreno stabile viene eseguito un solco di fondazione nel quale viene collocato un tronco longitudinale di base. Sul pendio vengono disposti i tronchi verticali sui quali dovranno essere fissati con chiodi, tondini o graffe metalliche i tronchi orizzontali per la costruzione della grata. Le dimensioni dei tronchi sono  $\varnothing$  15-25 cm e lunghezza 2-5 m; i tronchi con  $\varnothing$  maggiori vengono disposti alla base della grata e procedendo verso l'alto si dispongono quelli eventualmente con  $\varnothing$  minori. Gli elementi verticali vengono collocati a distanza di 0,8-1,5 m e quelli orizzontali con interasse pari a 0.8-1.5 m, in funzione dell'inclinazione del pendio. La grata dovrà poi essere fissata al terreno mediante picchetti di legno di  $\varnothing$  8-10 cm e lunghezza 1 m o di ferro di dimensioni idonee per sostenere la struttura. La grata verrà poi riempita con inerte terroso locale e lungo i tronchi orizzontali verranno disposte talee e ramaglia a pettine, con eventuale supporto di una griglia metallica per un migliore trattenimento del terreno. L'intera superficie potrà essere seminata.

#### *Limiti stagionali di impiego delle specie vegetali*

Limiti altitudinali, di terreno e di luce. Le specie verranno scelte in funzione delle caratteristiche biotecniche e della loro disponibilità in loco.

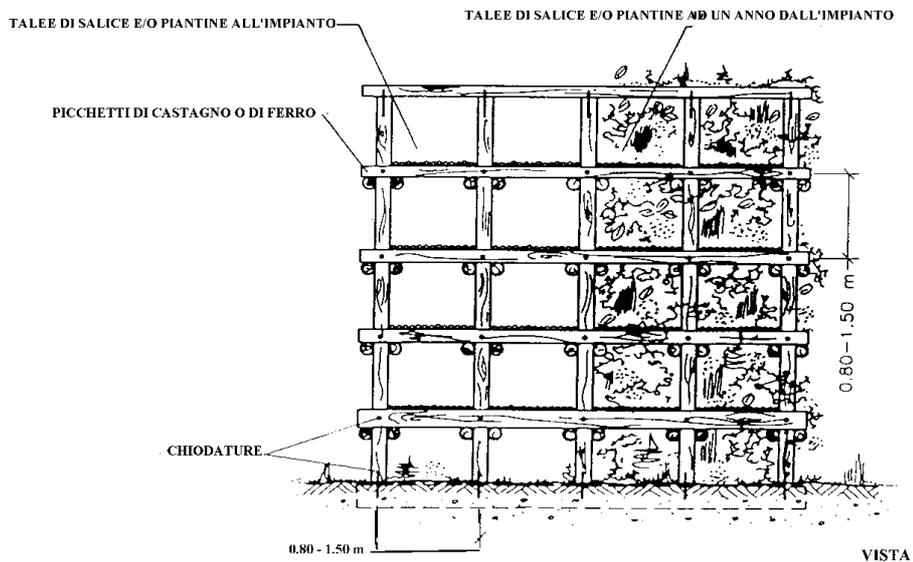
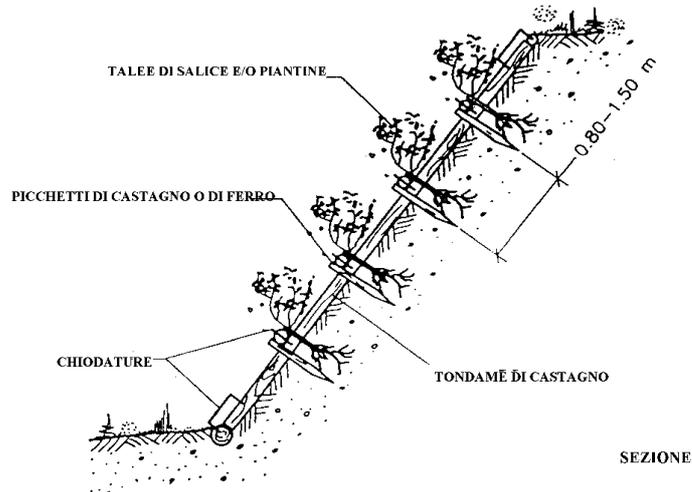
#### *Periodo di intervento*

Riposo vegetativo

#### *Note*

Per grate di piccole dimensioni può essere impiegato legname di specie a riproduzione

vegetativa per dar luogo a strutture viventi. Si tende comunque a sfruttare il materiale facilmente reperibile in loco. Un ulteriore elemento da considerare per la grata, come per tutte le opere che utilizzano materiali vivi, è l'esigenza di interventi manutentori con funzione tecnica ed ecologica, che dovranno essere previsti fin dai primi anni dall'ultimazione dell'opera. L'altezza massima possibile per le grate vive è  $\leq 15$  m.



#### 4. PALIZZATA SEMPLICE

##### *Descrizione dell'opera*

Intervento per la stabilizzazione di scarpate consistente nella realizzazione di strutture in legname trasversali alla linea di massima pendenza, composte da picchetti infissi nel terreno, posa in opera di pali a monte dei picchetti e posa a dimora di materiale vegetale vivo nel gradone ottenuto.

##### *Campi di applicazione dell'opera*

Scarpate in scavo, consolidamento di solchi di erosione, stabilizzazione superficiale di rilevati e/o accumuli di materiale sciolto.

##### *Limiti di fattibilità*

Intervento caratterizzato da ampia valenza applicativa, limitatamente alla stabilizzazione superficiale dei versanti, sia in scavo che in rilevato. La funzionalità dell'opera è strettamente connessa alla sua corretta esecuzione.

##### *Materiali impiegati*

Picchetti: in legname di castagno o di resinose impregnato a pressione,  $d=12-15$  cm,  $l=80-120$  cm. Su substrati in roccia affiorante utilizzare piloti in tondino d'acciaio ad aderenza migliorata,  $d = 14-16$  mm,  $l = 80-120$  cm.

Pali trasversali: tondame e/o mezzi tronchi di castagno o resinose impregnate a pressione, preferibilmente scortecciato,  $d = 10-20$  cm,  $l = 200-300$  cm.

Materiale vivo: talee, piantine a radice nuda e/o in fitocella .

Ferramenta: filo di ferro zincato, chiodi.

##### *Grado di reperibilità dei materiali*

Buono, per tutti i materiali impiegati.

##### *Modalità di esecuzione*

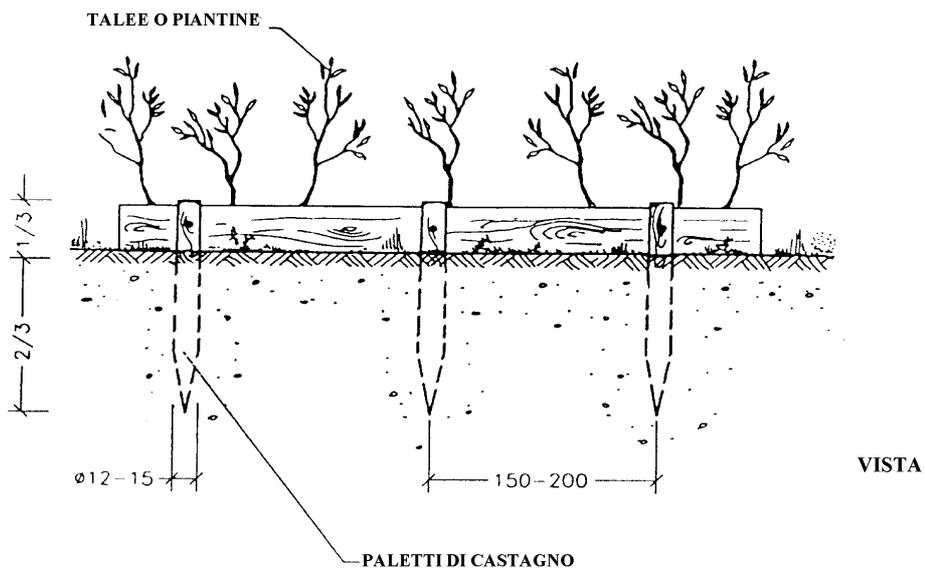
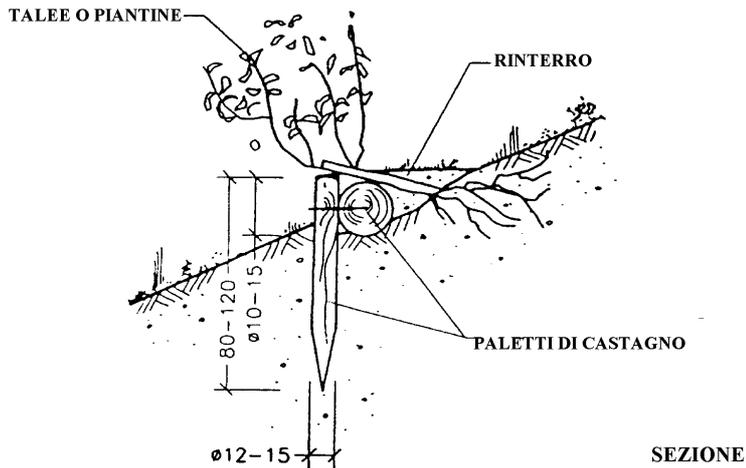
Si procede all'infissione dei picchetti nel terreno, posti a distanza reciproca di 150-200 cm, curando che siano infissi nel terreno per almeno 2/3 della lunghezza, con asse verticale o leggermente in contropendenza a monte. Si crea la sede per il tondame trasversale che, in funzione delle dimensioni e dell'altezza fuori terra, sarà in unico ordine o in più ordini sovrapposti; il tondame sarà collegato ai picchetti con filo di ferro e/o infissione di chiodi. A monte della struttura si ricaverà un piccolo gradone (50-60 cm di profondità, per tutta la lunghezza della struttura), dove verranno poste a dimora le talee e/o le piantine, provvedendo al successivo ed accurato rinterro.

##### *Periodo di intervento*

Novembre-marzo per interventi sulla fascia litoranea e nell'immediato entroterra, estensione in aprile per interventi nell'entroterra ed alle quote maggiori. L'impiego di fitocelle consente, in relazione all'andamento stagionale, l'estensione del lavoro a maggio. In alternativa, si può realizzare la struttura in altri periodi dell'anno, provvedendo alla posa a dimora del materiale vivo nei periodi indicati.

##### *Note*

Le palizzate vanno realizzate in strutture di 3-4 m di lunghezza, disposte su file alterne e/o irregolari sul versante. Deve essere rispettato assolutamente il rapporto 2/3-1/3 tra parte infissa ed aerea della struttura, al fine di evitarne l'eventuale ribaltamento. Il tonname trasversale deve essere fondato nel terreno, ad evitare lo scalzamento per ruscellamento.



## 5. GRATICCIATA

### *Descrizione dell'opera*

Intervento per la stabilizzazione di scarpate consistente nella realizzazione di strutture in legname trasversali alla linea di massima pendenza, composte da picchetti infissi nel terreno, realizzazione di intreccio di rami e pertiche legnose di specie prive di capacità vegetativa tra i picchetti e posa a dimora di materiale vegetale vivo nel gradone ottenuto.

### *Campi di applicazione dell'opera*

Scarpate in scavo, consolidamento di solchi di erosione, stabilizzazione superficiale di rilevati e/o accumuli di materiale sciolto.

### *Limiti di fattibilità*

Intervento tradizionale, ampiamente utilizzato, limitatamente alla stabilizzazione superficiale dei versanti, sia in scavo che in rilevato. La funzionalità dell'opera è assolutamente connessa alla sua corretta esecuzione.

### *Materiali impiegati*

Picchetti: in legname di castagno, o comunque di legname reperito in loco, meglio se caratterizzato da buona durabilità (ad es. maggiociondolo), o di resinose impregnato a pressione, d = 12-15 cm, l = 80-120 cm.

Pertiche in legname: ramaglia e/o legname reperito in loco, caratterizzato da buona flessibilità, d = 3-8 cm, l = 200-300 cm. In alternativa all'intreccio con pertiche in legname, viene utilizzata una banda continua in fibra di cocco, in trama ed ordito molto fitto

Materiale vivo: talee, piantine a radice nuda e/o in fitocella

Ferramenta: chiodi e/o cambrette (solo per l'impiego di bande in fibre biodegradabili).

### *Grado di reperibilità*

Buono, per tutti i materiali impiegati, spesso recuperabili in loco, nelle immediate vicinanze del cantiere. Le bande in fibre biodegradabili devono essere acquistate presso distributori autorizzati.

### *Modalità di esecuzione*

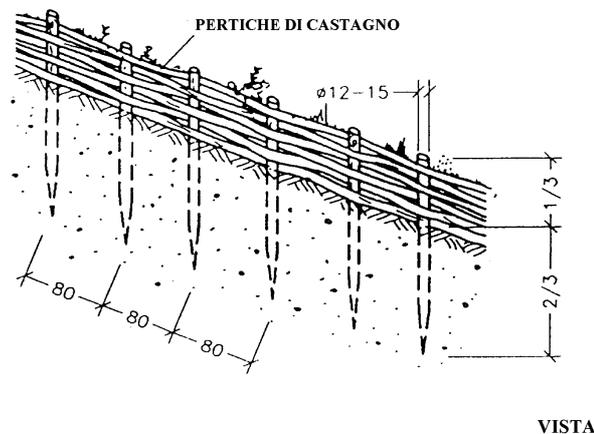
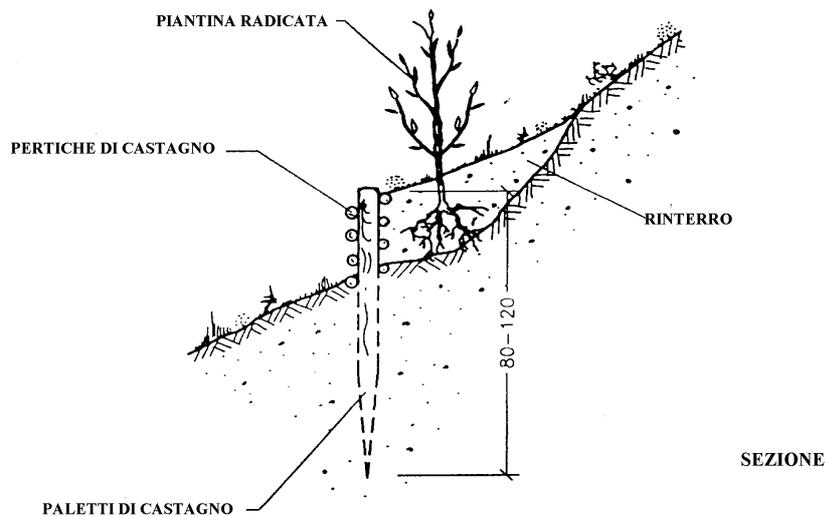
Si procede all'infissione dei picchetti nel terreno, posti a distanza reciproca di 80-120 cm, curando che siano infissi nel terreno per almeno 2/3 della lunghezza, con asse verticale o leggermente in contropendenza a monte. Si deve creare la sede per almeno 1-2 ordini di pertiche trasversali che, in più ordini sovrapposti, in funzione delle dimensioni e dell'altezza fuori terra, costituirà l'intreccio in legname. A monte della struttura si ricaverà un piccolo gradone (50-60 cm di profondità, per tutta la lunghezza della struttura), dove verranno poste a dimora le talee e/o le piantine, provvedendo al successivo ed accurato rinterro. In caso di impiego di bande in cocco, queste dovranno essere stese a monte dei picchetti ed accuratamente tese prima di fissarle con chiodi ribattuti o cambrette ai singoli picchetti.

### *Periodo di intervento*

Valgono le considerazioni espresse per la palizzata semplice.

### *Note e problemi*

Le graticciate sono strutture analoghe alle palizzate semplici ed alle viminate, ma caratterizzate da durabilità molto minore, in relazione all'intreccio realizzato con pertiche, necessariamente di piccole dimensioni in funzione della necessaria flessibilità. Molto spesso le graticciate sono realizzate senza rinterro a monte, con altezze fuori terra eccessive, senza curare il rinterro, senza piantagione di materiale vivo a monte, con pertiche di legname poco durevole e con sviluppi lineari continui eccessivi. In mancanza di corrette e complete tecniche esecutive, la graticciata ha una durata di pochissimi anni, inadeguata alla prevalenza di casi di recupero ambientale. Può essere impiegata solo in caso di adatto materiale disponibile in loco ed utilizzando corrette tecniche esecutive.



## 6. PALIFICATA A DOPPIA PARETE

### *Descrizione dell'opera*

Manufatto a gravità formato da una struttura cellulare in pali di legno abbinato alla posa di piante. Il deterioramento (marcescenza) del legname, in alcuni decenni, presuppone che i parametri di stabilità del manufatto vengano riferiti ad un paramento esterno assimilabile ad una pendice ben vegetata e ad un terreno con buone caratteristiche di attrito. In presenza di adeguata manutenzione (taglio periodico delle piante al fine di impedire l'appesantimento delle ceppaie) si possono raggiungere accettabili stabilità per pendenze del paramento esterno dell'ordine di 60°.

### *Consolidamento al piede di frana*

Consolidamento al piede di frana, ricostruzione di pendio e porzione di versante, formazione terrapieni consolidati e vegetati per rilevati stradali ed in corrispondenza di attraversamenti tombali, consolidamento scarpate stradali a valle ed a monte del piano viabile.

### *Limiti di fattibilità*

La formazione di palificate vive, in particolare del tipo a due pareti, presuppone la possibilità di realizzare manufatti di considerevole spessore (almeno 1,5 m). In alcuni casi, in presenza di limiti di spazio, risulta difficoltoso realizzare l'opera senza incidere negativamente sulla parte del pendio già consolidata.

### *Materiali impiegati*

- tondame di specie a legno curabile (robinia, castagno ...) di diametro almeno 20 cm
- pioli, tondini in metallo ad aderenza migliorata  $\varnothing$  10-14 mm
- talee e piantine di latifoglie
- stuoie e georeti in materiale biodegradabile (paglia-legno, juta, fibra di cocco)

### *Grado di reperibilità*

Per tutti i materiali una buona reperibilità.

Per quanto riguarda il legname si puntualizza come in particolari condizioni, ovvero operando all'interno o in prossimità di zone a bosco, possa risultare economico l'utilizzo di legno proveniente da tagli di utilizzazione e miglioramento culturale, potendo utilizzare per la costruzione delle palificate legname dalle caratteristiche tecnologiche (cipollatura, legno di torsione ...) non altrimenti utilizzabile come legname da opera.

Il materiale vegetale da utilizzarsi è facilmente reperibile presso i vivai pubblici e privati; fanno eccezione alcune specie arbustive.

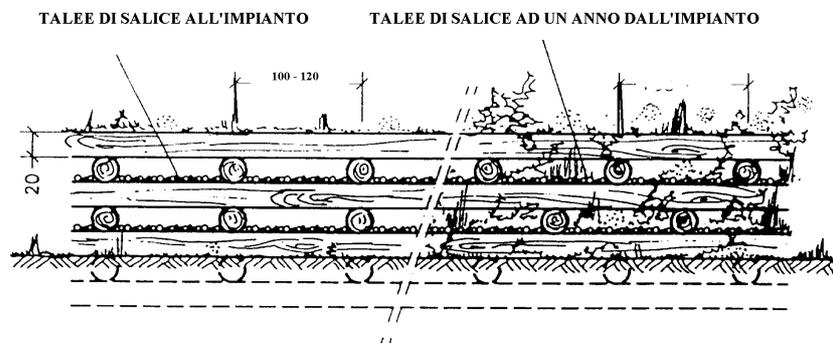
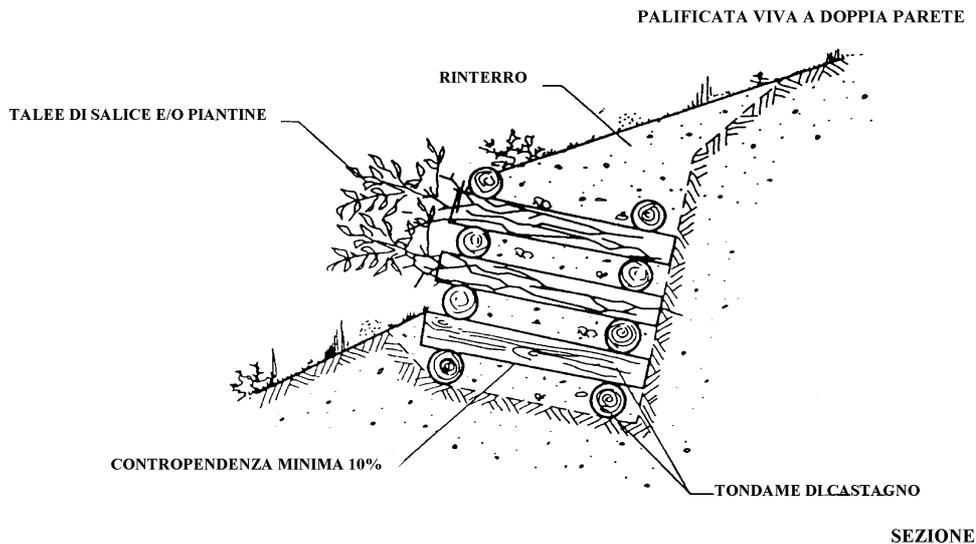
### *Modalità di esecuzione*

Si realizza il piano di posa con "avvertenza di operare a campione nei casi in cui la palificata incida parzialmente su fronti terrosi consolidati.

Il piano va realizzato con una contropendenza verso monte stabilita in sede di calcolo di stabilità (5-15°), il tipo di manufatto si presta alla posa anche su piani non complanari nel senso dello sviluppo in lunghezza.

Si procede alla posa della prima fila di legname in senso parallelo alla pendice (corrente), curando il posizionamento in bolla, durante la posa del tondame si realizzano i collegamenti tra un legno ed il successivo realizzando gli incastri ed i fissaggi con il tondino in ferro. Il montaggio prosegue con la posa del successivo ordine di tondame da posizionarsi in senso ortogonale alla prima fila ed alla pendice (trasverso): questi legni avranno lunghezza variabile desunta dai calcoli progettuali e variabile da 1,5 a 3,00 m. Si procede quindi al fissaggio dei legni con la fila sottostante sempre tramite tondino in ferro.

Per quanto riguarda la realizzazione del fissaggio con il tondino si può rilevare come vada curata la completa perforazione dei due tronchi da fissare e si debba quindi disporre di punte da legno di adeguata lunghezza (doppia del diametro dei tronchi), almeno 40 cm: la foratura parziale può originare fessurazioni e rotture del legno al momento dell'inserimento forzato del tondino con colpi di mazza.



## 7. TERRE ARMATE E/O RINFORZATE

### *Descrizione dell'opera*

Modellamenti e ricostruzioni di sponda e di versante che utilizzano terreno ed inerti con interposti strati di materiali geosintetici (geogriglie, reti, tessuti, ...) in modo da migliorare indirettamente le caratteristiche geotecniche dei terreni medesimi.

I volumi di terreno interessati dalla lavorazione a strati successivi (terreno - rinforzo - terreno) si comportano così come manufatti a gravità con il vantaggio di presentare una buona flessibilità e la possibilità di inserimento di vegetazione sul paramento esterno.

Le terre armate e/o rinforzate devono riconoscersi nella finalità di rispettare parametri costruttivi che consentano lo stabilirsi di una efficiente copertura vegetale (pendenza del paramento, caratteristiche del terreno, materiale di rinforzo impiegato) considerando comunque come la tecnica del rinforzo delle terre consenta la realizzazione di manufatti con scarpate ad inclinazioni maggiori dell'angolo di attrito del terreno che le compone (fino a 60°-70°).

### *Campi di applicazione e limiti*

Consolidamento al piede di frana, ricostruzione di pendio e porzione di versante, formazione terrapieni consolidati e vegetati per rilevati stradali ed in corrispondenza di attraversamenti tombinati.

### *Materiali impiegati*

- geogriglie in materiale plastico
- tessuti ad alta tenacità
- reti metalliche
- talee, piantine a radice nuda

### *Grado di reperibilità*

Buono in rapporto alle quantità da impiegarsi.

### *Modalità di esecuzione*

Per qualunque tipo di manufatto in terra rinforzata la fase di cantiere di maggiore impegno è rappresentata dalla movimentazione del materiale terroso. Le fasi costruttive comprendono la posa del materiale di rinforzo, la formazione del rilevato in terra per spessori variabili da 40 a 100 cm, la sagomatura del fronte terroso con la corretta inclinazione ed il risvolto del foglio di rinforzo, la posa del successivo foglio in materiale di rinforzo. La fase più delicata, che risiede nella realizzazione di un corretto modellamento del fronte a vista, è agevolata nel caso di utilizzo di elementi in rete metallica dalla presenza di elementi di rinforzo nelle posizioni di piegatura e dalla possibilità di inserire dei rinforzi che assegnano la giusta inclinazione al paramento stesso.

La posa del materiale vegetale, talee e piantine, può essere realizzata tra gli strati successivi di lavorazione, in corrispondenza del contatto tra i geotessili, ovvero per le lavorazioni che utilizzano le reti metalliche, può essere realizzata anche con l'inserimento delle talee attraverso le maglie della rete medesima.

Il paramento esterno delle opere realizzate può essere inerbito con miscuglio di sementi erbacee ed arbustive, preferibilmente con le tecniche dell'idrosemina. Per le realizzazioni in elementi di rete metallica si abbina al foglio in rete ed internamente allo stesso un foglio di stuoia, di georete o di geogriglia tridimensionale in polipropilene o poliammide con la funzione di evitare la fuoriuscita del terreno dall'interno della struttura.

#### *Parametri e modalità di calcolo*

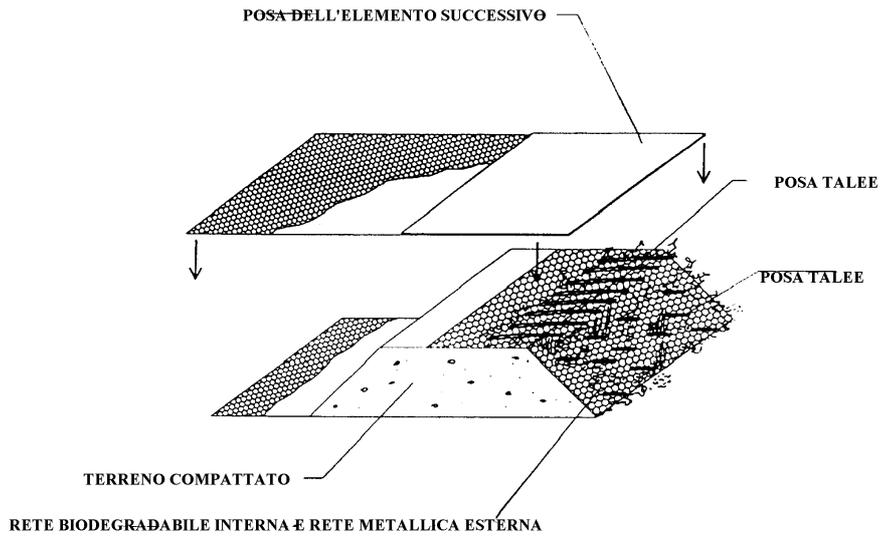
Le resistenze alla trazione dei geosintetici coprono un ampio intervallo da 50 a 1000 kN/m, per l'impiego di reti metalliche si superano valori di trazione di 4000 kN/m. La permeabilità all'acqua (per i tessuti geosintetici) varia in modo inversamente proporzionale alla resistenza per ordini di grandezza da 15 a 1 litro/m<sup>2</sup>/sec.

#### *Periodo di intervento*

Risulta molto importante intervenire nel periodo idoneo alla posa del materiale vegetale (autunno inverno - primavera fino ad aprile) in quanto il tipo di lavorazione rende difficoltoso l'inserimento di piantine e talee nella struttura in un momento successivo al completamento della struttura stessa.

#### *Note*

Il dato relativo alla permeabilità all'acqua indica come l'utilizzo dei geosintetici in presenza di alte necessità di resistenza alla trazione possa inficiare la possibilità di ottenere idonei sviluppi delle specie vegetali poste a dimora. Questa difficoltà, per sforzi alla trazione ancora superiori non si presenta nel caso di utilizzo di reti.



VISTA ASSONOMETRICA

