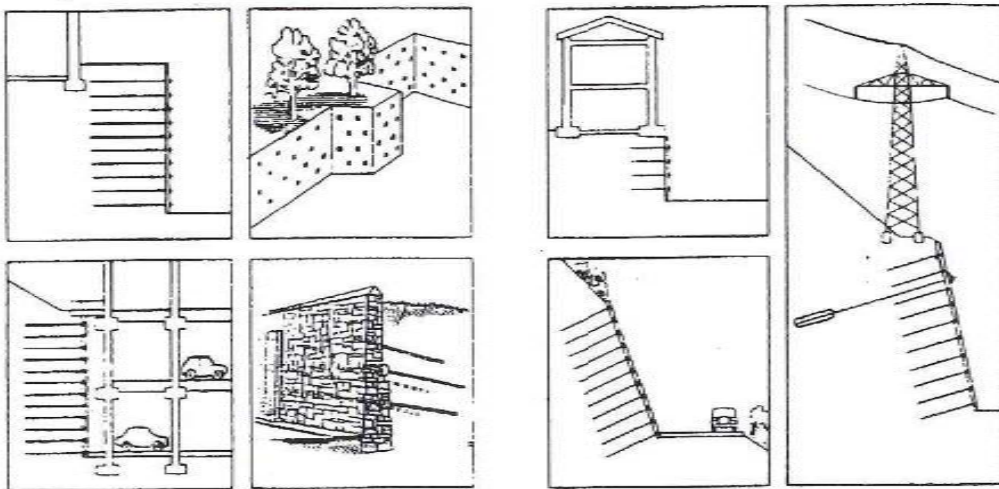


PARETE CHIODATA

Tra le tecniche di rinforzo dei terreni la chiodatura (nailing) è utilizzata prevalentemente per il sostegno di fronti di scavo e di scarpate naturali. Con questa tecnica si realizzano strutture composite che sfruttano l'interazione tra il terreno e le inclusioni collaboranti.



Questi sforzi possono essere legati a uno o più dei seguenti fattori:

- per le caratteristiche geotecniche e meccaniche (sforzi di trazione);
- per il superamento dei valori ultimi delle caratteristiche geotecniche e meccaniche (sforzi di taglio) dovuto agli interventi antropici successivi alla fase di rinforzo (generalmente scavi).

Il soil nailing viene generalmente applicato per la realizzazione di fronti di scavo subverticali, di altezza anche superiore ai 10 m aventi carattere provvisorio o definitivo, ovvero per il sostegno di scarpate e pendii di limitate dimensioni.

Le origini della tecnica del nailing sono riferibili ad un'estensione del Nuovo Metodo Austriaco per lo scavo delle gallerie; anche se la chiodatura del terreno ha scopi e modalità esecutive notevolmente differenti da quelli del NATM, le due tecniche generano, all'interno dell'ammasso trattato (sia roccia o terreno), un sistema composito e misto, stabile e caratterizzato da livelli deformativi accettabili.

Abbiamo riscontrato nell'esecuzione delle Pareti Chiodate che il vantaggio fondamentale di questa tecnologia sta nella "FLESSIBILITA'" e adattabilità a nuove esigenze che possono sorgere in fase di esecuzione da parte del progettista dell'opera.

Confronto con altre tecniche di rinforzo:

E' possibile identificare almeno due principali categorie di tecniche di rinforzo, alternative alla chiodatura, per la stabilizzazione dei fronti di scavo, scarpate e/o opere di sostegno.

Tali tecniche sono:

- a) le terre armate o rinforzate
- b) i reticoli di micropali.

Per quanto riguarda il confronto tra le terre armate e rinforzate e la chiodatura del terreno sono valide le seguenti osservazioni:

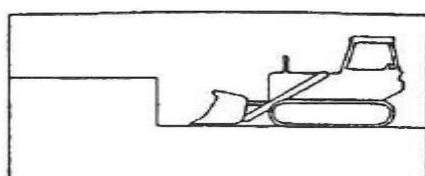
- il sistema di rinforzo è di tipo passivo, infatti, il terreno adiacente al rinforzo, al momento della posa in opera dello stesso, praticamente non è sollecitato;
- l'incremento della resistenza del sistema è dovuto essenzialmente all'attrito che si manifesta tra terreno ed armatura;
- il rivestimento esterno dell'opera finita non esplica un ruolo fondamentale nella stabilità globale dell'insieme.

Le principali differenze sono legate ai seguenti aspetti:

- sequenza costruttiva: per il nailing "dall'alto verso il basso", per le terre armate o rinforzate "dal basso verso l'alto". Questa differenza è sostanziale per la distribuzione delle forze mobilitate e degli spostamenti globali dell'opera;
- caratteristiche dei terreni: il nailing tratta terreni naturali; le terre armate o rinforzate utilizzano materiale di riempimento selezionato e le cui caratteristiche sono definite a priori;
- caratteristiche degli elementi di rinforzo e modalità costruttive; inoltre, le terre armate hanno un elevato livello di "standardizzazione" sia esecutivo sia di dimensionamento. Le terre rinforzate con geotessili e geogriglie presentano elementi di rinforzo flessibili e "membranali" e non rigidi e isolati (barre) come nel nailing.

Tecniche e modalità costruttive:

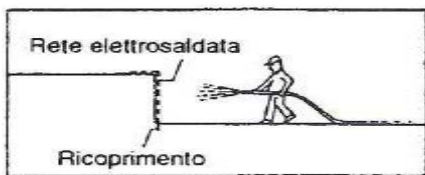
La realizzazione di una parete chiodata avviene secondo le fasi di seguito riportate:



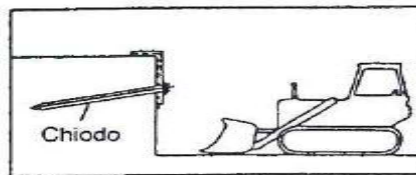
Scavo del primo strato



Installazione dei chiodi



Rinforzo con rete elettrosaldata e cemento proiettato



Scavo del secondo strato

- 1) uno scavo di altezza ed estensione dipendente dal tipo di terreno;
- 2) il ricoprimento del fronte esposto con un sottile strato (2-3 cm.) di spritz beton (fase non sempre necessaria e prevista);
- 3) la posa in opera dei chiodi di rinforzo;
- 4) il ricoprimento finale con spritz beton e rete elettrosaldata (tecnica più comune), o in alternativa con una parete in cls (gettata in opera o prefabbricata) o in pannelli di acciaio (casi meno frequenti, adottati per necessità estetiche e/o per opere definitive);
- 5) lo scavo del concio successivi, ecc.

Per la tipologia dell'opera le fasi esecutive rivestono un'importanza fondamentale per quanto riguarda il comportamento finale dell'opera stessa.

- La ricostruzione stratigrafica del terreno e la caratterizzazione dello stesso dovrebbero essere effettuate mediante indagini dirette spinte fino ad almeno 2 mt. sotto il piano di fondo scavo ed a distanza, posteriormente al fronte dello stesso, variabile tra 1,5 e 3 volte l'altezza di scavo (il valore maggiore si riferisce a scarpate inclinate sull'orizzontale).
- Le caratteristiche identificative e meccaniche dei terreni sono acquisite da indagini geognostiche dirette e mediante prove standard di laboratorio o in sito.
- L'altezza di scavo d'ogni singolo concio varia in generale tra circa 1 e 2 mt.: il limite inferiore è dettato da motivi di economicità, il superiore dalla stabilità dei terreni scavati.
- Una fase completa di lavorazione (scavo, inserimento chiodi, rivestimento) è generalmente eseguita nell'arco di una stessa giornata.

I chiodi sono generalmente barre in acciaio. La chiodatura deve essere sufficientemente densa per realizzare una sorta di ammasso collaborante pseudo-coerente. Nel caso di opere definitive i rinforzi devono prevedere una protezione per la corrosione.

Si utilizzano, in genere, soluzioni analoghe a quelle adottate per gli ancoraggi definitivi (doppia protezione con guaina corrugata in PVC).

Le tecniche di esecuzione e sostegno del foro, nel caso di chiodi iniettati, devono garantire la stabilità ed al tempo stesso la buona aderenza, in esercizio, tra il rinforzo ed il terreno circostante, pertanto non è consigliato l'uso di fanghi bentonitici.

Molto importante è l'allontanamento di eventuali acque percolanti dal fronte di scavo, sia in fase realizzativa sia in fase di esercizio: devono, pertanto, essere previsti e predisposti appositi sistemi di drenaggio.

Nel caso più usuale di rivestimento realizzato con strati di spritz beton si può osservare che:

- lo spessore finale è dell'ordine dei 10-25 cm.
- i diversi strati sono tra loro meccanicamente indipendenti; le massime sollecitazioni flessionali si rilevano in prossimità delle teste dei chiodi.

Vantaggi e limiti della tecnica di chiodatura e sua applicabilità:

La tecnica in esame presenta, come ovvio, aspetti positivi e negativi, inerenti o se posti in confronto con tecniche analoghe. Esistono inoltre limitazioni legate alla sua applicabilità. Per quanto riguarda i vantaggi si possono citare:

- ⊕ Economicità: rispetto ad una parete realizzata con micropali e tiranti, è stato quantificato circa nel 30-50 % il risparmio su 15 m di altezza di scavo. Gli elementi costituenti i due diversi sistemi (chiodi/pali + tiranti - spritz/parete in c.a.) sono sensibilmente diversi;
- ⊕ uso di attrezzature piccole, leggere e silenziose (utile in centri urbani);
- ⊕ flessibilità costruttiva: la realizzazione prevede tempi limitati, è adattabile a diverse condizioni stratigrafiche (trovanti, ghiaie fortemente addensate);
- ⊕ comportamento "massivo": a differenza delle pareti tirantate il comportamento non è fortemente influenzato dalla "rottura" isolata di qualche rinforzo;

- ⊕ flessibilità strutturale: per sua propria natura (comportamento "passivo") sono ammissibili spostamenti maggiori rispetto ad altre opere analoghe;
- ⊕ resistenza a carichi sismici: trattandosi di un ammasso a comportamento coerente e deformabile il suo grado di smorzamento strutturale permette applicazioni in zone a rischio sismico.

TIPO DI TERRENO:	non coesivo	coesivo
PROBLEMA:	economicamente non conveniente / difficile realizzazione	resistenza a trazione a lungo termine
INDICAZIONI (evitare):	$N_{SPT} < 10$ $D_R < 30\%$ $C < 2$	$c_u < 50 \text{ kPa}$ $PI > 20$ $LL > 50$ $LI > 0.2 (IC < 0.9)$ terreni organici

I principali limiti del nailing risultano:

- i singoli fronti di scavo (1-2 mt.) devono risultare autostabili per qualche ora a meno di non ricoprire con un sottile strato di spritz il terreno scavato; alternativamente quest'ultimo deve possedere un certo grado di coesione o di cementazione;
- è necessario allontanare dal fronte scavo eventuali acque percolanti, la cui presenza può essere, a volte, di non facile previsione. Inoltre i sistemi di drenaggio da prevedere sono meno facili da realizzare e mantenere;
- problemi possono insorgere in relazione a particolari condizioni stratigrafiche;
- nel caso di opere a carattere permanente, particolari cautele devono essere adottate per il rischio di corrosione nei rinforzi;
- affinché la resistenza dell'insieme venga mobilitata, devono verificarsi spostamenti relativi tra il terreno ed i rinforzi, i quali risultano in spostamenti assoluti dell'opera. L'esperienza ha però dimostrato che questi ultimi presentano valori del tutto ammissibili;
- i metodi di calcolo più comunemente adottati sono, infine, meno consolidati di altri e soggetti ancora a modificazioni legate all'osservazione sperimentale del comportamento di strutture al vero.

Per valutare l'applicabilità della tecnica della chiodatura è necessario considerare le condizioni del terreno sul quale si deve intervenire; inoltre, ulteriori limitazioni possono derivare da particolari vincoli fisici esistenti nelle zone d'intervento. I valori delle caratteristiche meccaniche dei terreni (principalmente resistenza al taglio e comportamento viscoso nel tempo) condizionano i valori delle sollecitazioni mobilitate sui rinforzi e quindi la stabilità dell'opera.

Meccanismi generali di interazione terreno-rinforzo:

Durante le fasi di costruzione, a causa della decompressione laterale del terreno, i rinforzi sono sollecitati essenzialmente per trazione. Il trasferimento delle sollecitazioni tra il terreno ed i chiodi avviene sostanzialmente per attrito.

Gi sforzi di taglio così mobilitati saranno funzione delle caratteristiche del terreno, del tipo d'installazione dei chiodi (infissi o iniettati e dello stato tensionale agente; essi saranno limitati alla resistenza d'interazione dell'insieme terreno – rinforzo.

La distribuzione delle forze di trazione nei chiodi in fase d'esercizio è, in principio, molto simile a quella che si osserva nelle armature delle opere in Terra Armata.

La massima trazione nei chiodi si verifica ad una certa distanza dalla testa del chiodo; il luogo dei punti di massima trazione definisce una superficie, variamente inclinata, che separa due zone ben distinte: la zona "attiva" e quella "passiva".

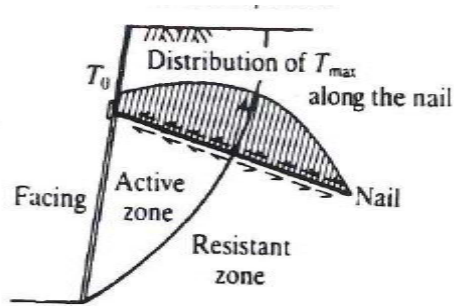
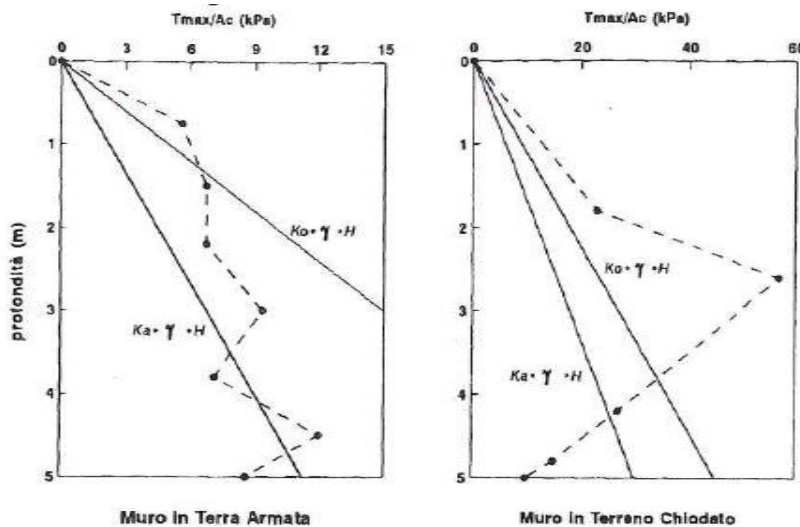


Fig. 5: Distribuzione degli sforzi di interazione lunco un chiodo (da Juran e Elias, 1991)



Nella zona attiva gli sforzi di taglio sono rivolti verso l'esterno, mentre il contrario avviene nella zona cosiddetta passiva. A parte la forma della sopra citata superficie (linearizzata e di immediata determinazione per la Terra Armata; più difficilmente identificabile a priori per i terreni chiodati), una sostanziale differenza sussiste tra i due metodi di rinforzo, relativamente alla messa in trazione delle singole armature.

A parte la forma della sopra citata superficie (linearizzata e di immediata determinazione per la Terra Armata; più difficilmente identificabile a priori per i terreni chiodati), una sostanziale differenza sussiste tra i due metodi di rinforzo, relativamente alla messa in trazione delle singole armature.

Criteri generali di progetto:

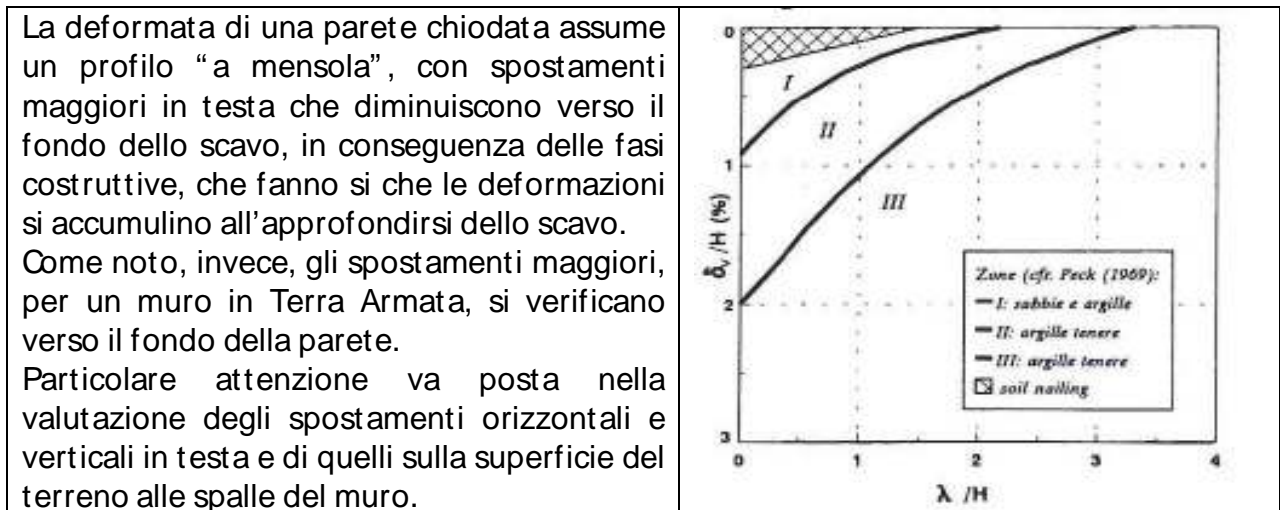
La fase di progettazione di un'opera in terreno rinforzato con chiodi dovrebbe seguire la procedura sotto indicata:

- note la geometria, le caratteristiche dei terreni, i carichi esterni, ecc., valutazione delle forze agenti sui rinforzi e della posizione della superficie di rottura;
- scelta del tipo di rinforzo, della sua posizione e geometria in funzione delle resistenze ultime locali del rinforzo stesso (sfilamento e rottura) e di prefissati coefficienti di sicurezza;
- verifica della stabilità globale del terreno rinforzato e di quello strettamente adiacente;
- stima degli spostamenti dell'opera e verifica dell'ammissibilità degli stessi;
- progetto del rivestimento esterno in base alla stabilità, all'estetica ed alla durabilità;
- per opere definitive, scelta dei sistemi di protezione alla corrosione in relazione alle condizioni del terreno;
- definizione di dettagli progettuali (drenaggi, teste dei chiodi, estetica, ecc.).

Spostamenti:

Gli spostamenti che la struttura subisce costituiscono un importantissimo aspetto perchè "garantiscono" il funzionamento della stessa e perchè devono mantenersi entro valori accettabili.

La stima degli spostamenti è legata a correlazioni di tipo empirico dall'osservazione di opere eseguite in terreni diversi e con diversi sistemi di rinforzo.



Tuttavia, è possibile affermare che gli spostamenti necessari per mobilitare le forze resistenti sono decisamente piccoli, come è possibile verificare dalla figura seguente, nella quale sono riportati i risultati dovuti a PECK (1969), relativi a fronti di scavo sostenuti con diverse tecniche in terreni di diverse caratteristiche. Una probabile motivazione dei piccoli spostamenti osservati può essere ricercata nei limitati tempi di auto – sostentamento che i singoli fronti di scavo devono sostenere.

ESEMPI DI INTERVENTI DI SOSTEGNO CON PARETI CHIODATE

CANTIERE

Caratteristiche fondamentali dei terreni individuati nell'area indagata

STRATO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	γ KN/m ³	Coesione non drenata DaN/cm ²	ϕ	Modulo deformazione DaN/cm ²
A					
B					

CANTIERE

Caratteristiche fondamentali dei terreni individuati nell'area indagata

STRATO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	γ KN/m ³	RQD %	Coesione non drenata DaN/cm ²	Coesione DaN/cm ²	ϕ	Modulo deformazione DaN/cm ²	K_a	K_p	K_0
A										
B										