



Università degli Studi di Napoli FEDERICO II
Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale
ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

prof. Fabrizio Leccisi
a.a. 2015-16

IL TRACCIAMENTO DELLE FONDAZIONI



TRACCIAMENTO

Il **tracciamento** delle **fondazioni** del fabbricato ha la funzione di fornire alle maestranze del cantiere i *riferimenti* necessari alla corretta esecuzione e al corretto *posizionamento* degli *scavi* e delle *fondazioni* del fabbricato. L'operazione di **tracciamento** è concettualmente reciproca dell'operazione di rilievo topografico: dato il progetto dell'edificio si eseguono calcoli e misurazioni sul terreno per posizionare l'oggetto progettato.

Per edifici a pianta regolare e terreni piani si impiegano strumenti quali *squadro agrimensorio* e *a croce di prismi*, *livelli*, *rulline*, *distanziometri elettronici*, *paline* e *triplometri*, per edifici più complessi si utilizzano strumenti tecnologicamente più avanzati quali *tacheometri*, *teodoliti*, *stazioni totali*. Queste ultime sono di attuale impiego, con vantaggi in termini di precisione e di rapidità esecutiva.

TRACCIAMENTO

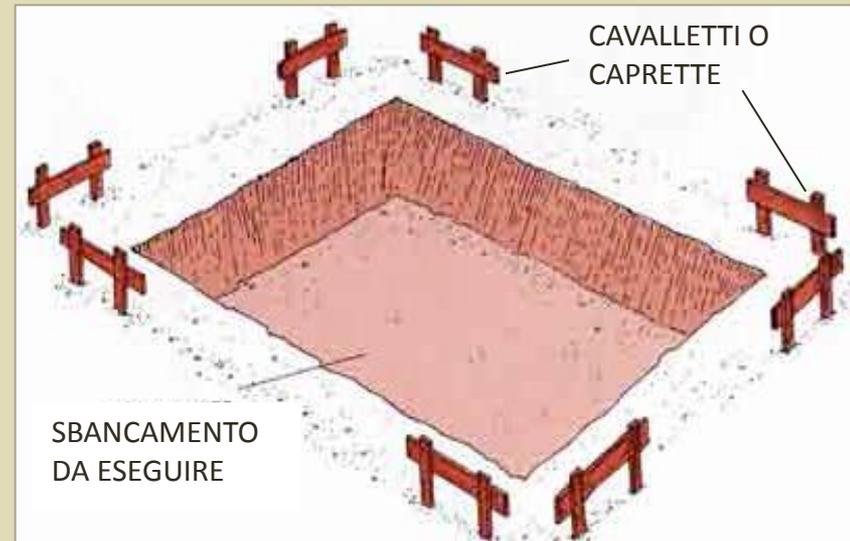
Per eseguire tracciamenti di fondazioni la squadra è composta da un caposquadra, *operatore topografico*, con uno o due aiutanti, *canneggiatori*.

I sistemi operativi comunemente impiegati sono:

- ❖ **tracciamento per allineamenti ortogonali**;
- ❖ **tracciamento polare da alcuni punti dominanti**;
- ❖ **tracciamento misto**.

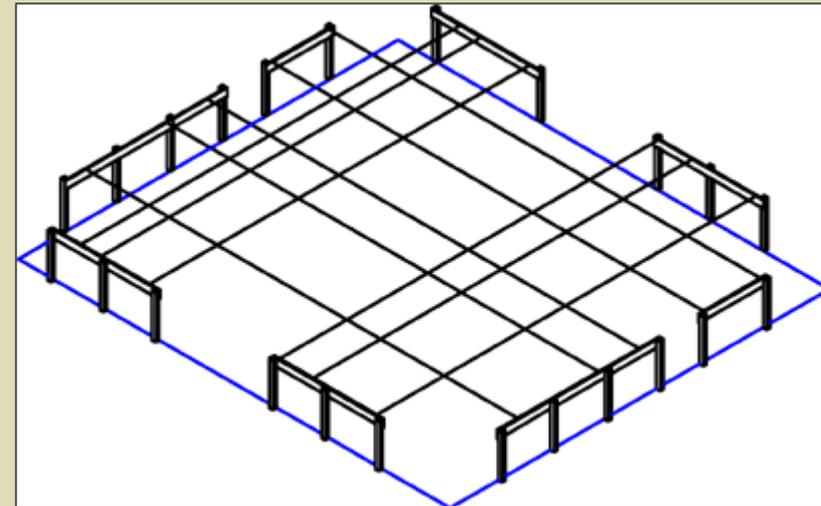
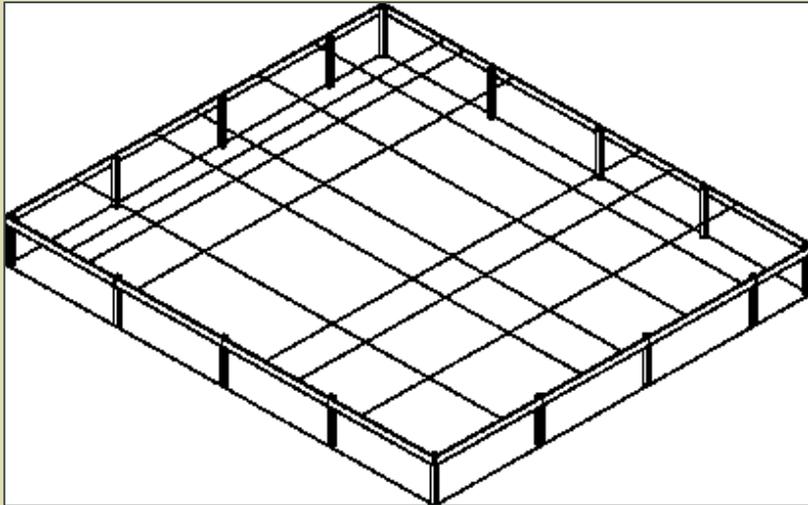
Si sceglie il **tracciamento per allineamenti ortogonali** se le strutture seguono un *reticolo uniforme*, definendo e materializzando sul terreno con *picchetti*, stabili e cementati, i punti nodali lungo il perimetro in due direzioni ortogonali.

Da questi punti, materializzati con chiodi infissi su modine, *cavalletti*, *caprette*, posizionati ad una certa distanza dal fronte di scavo, si posizionano gli incroci degli allineamenti che determinano il punto o la mezzeria del basamento da tracciare.



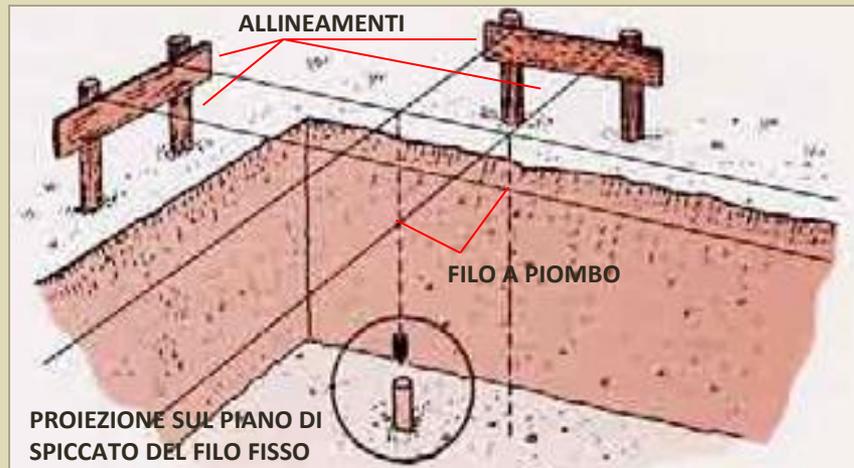
TRACCIAMENTO PER ALLINEAMENTI ORTOGONALI

Le *modine* sono il *tavolo da disegno* perfettamente orizzontale in cui si traccia in scala 1:1 la pianta dell'opera edile da costruire. Su di esse si riportano le misure dell'opera e si fissano i fili per individuare gli assi delle fondazioni dell'opera. Esse sono normalmente realizzate con picchetti e tavole in legno. Lo spigolo superiore delle tavole deve essere perfettamente orizzontale e ad una quota ben definita rispetto al piano campagna. Se l'edificio da costruire è di modeste dimensioni le modine si dispongono lungo tutto il perimetro dell'edificio. Se l'opera è di grandi dimensioni le modine si dispongono solo in corrispondenza degli assi delle fondazioni.

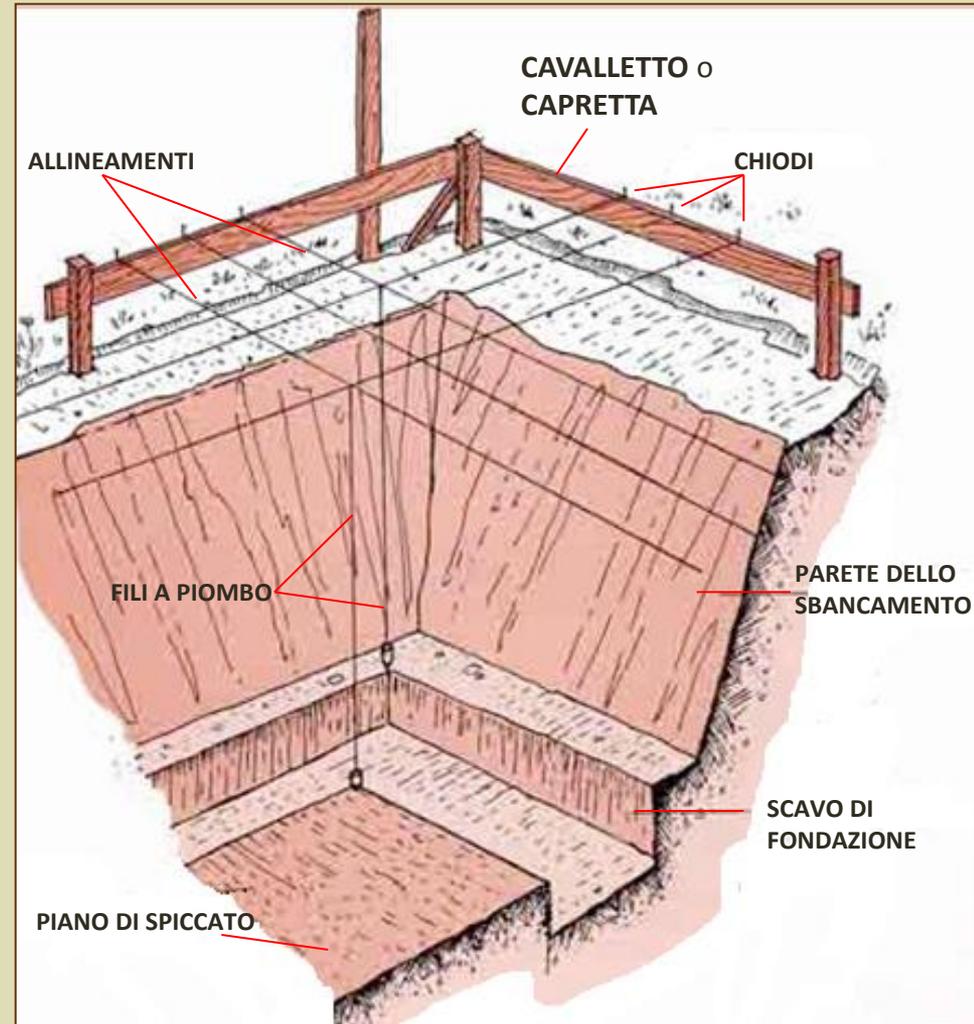


TRACCIAMENTO PER ALLINEAMENTI ORTOGONALI

Con il filo a piombo, in corrispondenza degli incroci dei vari allineamenti ortogonali, si proiettano i punti nodali, *fili fissi*, sul piano di spiccato. Nei casi più semplici per materializzare tali allineamenti si impiega il *livello*.



Nei casi più complessi si usano strumentazioni e attrezzature più precise. Si possono eseguire controlli, utilizzando allineamenti e misurazioni da diversi punti nodali perimetrali.



TRACCIAMENTO POLARE

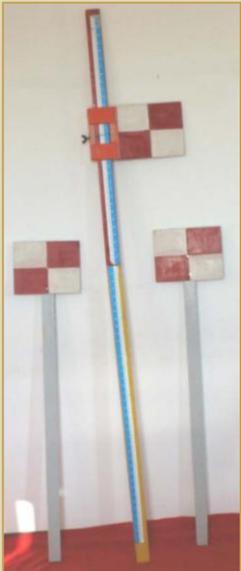
Si sceglie il **tracciamento polare** quando le strutture da tracciare sono discontinue, non ortogonali ed il terreno, nella zona operativa non è pianeggiante oppure presenta difficoltà ed impedimenti vari. Si scelgono e si materializzano sul terreno, con picchetti stabili e cementati, i punti dominanti sui quali fare stazione per tracciare le fondazioni con coordinate polari.

I punti di base e di collegamento dei basamenti si collegano con poligoni chiuse o con reti plano-altimetriche ai punti di stazione. Si calcolano le coordinate ortogonali di tutti i punti necessari al tracciamento, per definire poi tutte le coordinate polari per materializzare sul terreno i basamenti.

I controlli si possono eseguire unicamente ritracciando gli stessi punti da altre stazioni. E' buona norma eseguire spesso controlli, rilevando con un *tacheometro* o una *stazione totale* le misure lineari ed angolari tra basamenti consecutivi.

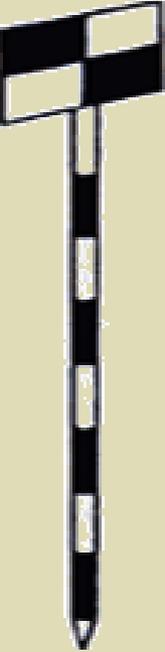
PALINE MIRE BIFFA PICCHETTI

Le **paline geodetiche** sono costituite da aste sottili in legno o da profilati metallici a sezione circolare o poligonale, alte 1,50 m e munite di punte in acciaio per conficcarle nel terreno. Sono dipinte a fasce bianche e rosse alternate, ciascuna della lunghezza di 20 cm, servono per allineamenti, punti fissi e riferimenti visivi.



Le **mire** sono segnali permanenti finalizzati ad aumentare la visibilità di un punto da collimare a distanza. Fra le mire più usate è il *palo con alette fisse o mobili*.

La **biffa** è un'asta usata in topografia per operazioni di livellazione, allineamento o misurazione del terreno: è una palina particolare che porta all'estremità uno **scopo** che ne aumenta la visibilità.



I **picchetti** sono aste in legno con punta oppure spezzoni di tondino di ferro più o meno lunghi. Sono usati per fissare in via provvisoria i vari punti individuati nelle operazioni di tracciamento.



BINDELLA DISTANZIOMETRO LASER

La **bindella**, *rollina* o *cordella metrica*, è utilizzata per effettuare misurazioni. Può avere la cassa in materiale sintetico, un'impugnatura per un comodo impiego ed il nastro in tela o in acciaio temperato (la più precisa). Le bindelle, di lunghezza 10-20-50 m, sono strumenti di precisione da trattare con riguardo. Di norma per le operazioni di tracciamento va usata la cordella in nastro metallico.



Con il **distanziometro laser** si misurano direttamente le distanze. I diversi modelli si basano su principi diversi, in funzione dell'entità delle distanze da misurare. Permette di misurare in interni, all'aria aperta e in zone inaccessibili. I migliori hanno grado di protezione IP65.



FILO A PIOMBO SPAGO FILO DI FERRO



Il *filo a piombo* è lo strumento più esatto per controllare la verticalità di uno spigolo. Lo si usa anche per alzare o abbassare lungo la verticale un punto di riferimento.



Lo *spago*, in materiale plastico, deve essere inestensibile e di colore preferibilmente chiaro.



Il filo di ferro deve essere sottile e del tipo *filo di ferro cotto*. Si vende in rotoli o in bobine.



Lo spago ed il filo di ferro si usano per materializzare le linee rette tra due punti qualsiasi, tenendoli con le mani, o tra due picchetti.

STADIA

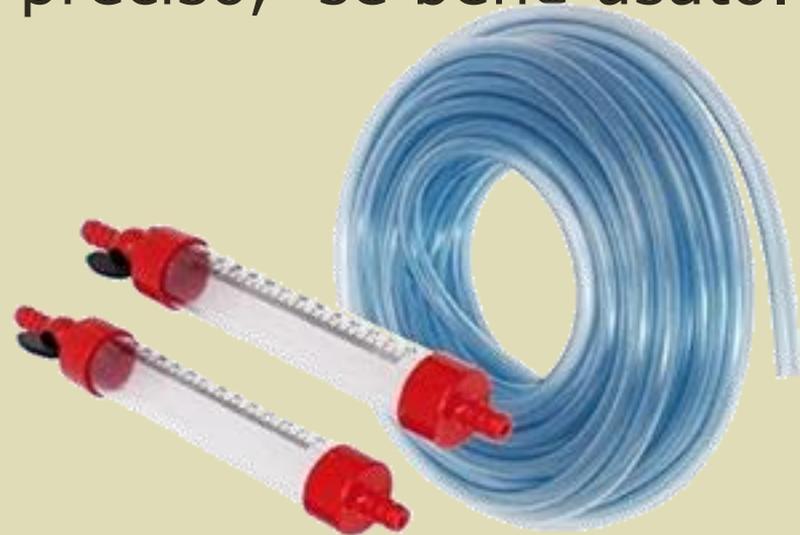
La **stadia** per rilevamenti è un'asta di legno o metallica graduata, alta 3 o 4 m, impiegata con il *livello* e sostenuta dal *canneggiatore*.

La linea centrale del reticolo impresso sulla lente del cannocchiale coincide con la quota da leggere o fissata precedentemente.

Con la stadia si possono determinare anche la distanza strumentale ed i dislivelli.

LIVELLO AD ACQUA

Il **livello ad acqua** è costituito da due siringhe in vetro, graduate, collegate con un tubo flessibile pieno di acqua. Si impiega per mettere a livello, cioè sullo stesso piano, due punti anche non visibili tra di loro. E' uno strumento molto preciso, se bene usato.

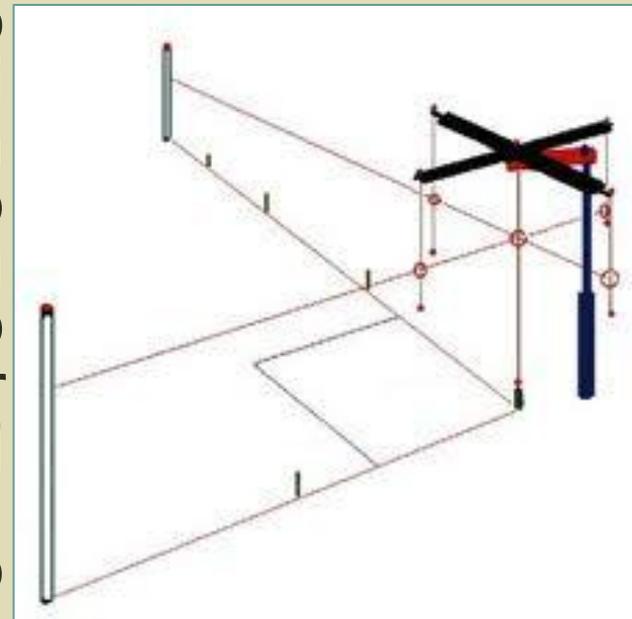


SQUADRO AGRIMENSORIO

Lo **squadro agrimensorio** è uno strumento costituito da una scatola, generalmente di forma cilindrica, ottagonale o sferica, dotata alla base di un manicotto che serve per fissare lo strumento ad una palina o ad un treppiede: permette l'individuazione di linee sul terreno perpendicolari tra loro o formanti un angolo di 45° . Deriva dalla *groma*, una coppia di aste alla cui estremità erano legati quattro fili a piombo ed era fissato a terra.

Sulla superficie dello squadro sono presenti otto fessure, disposte in direzioni opposte tra loro e formanti un angolo di 45° , nelle quali si possono trarre i segnali per eseguire allineamenti perpendicolari tra loro.

Si impiega con l'ausilio delle *paline*.



Groma



SQUADRI



*Squadro con
allineatore a
cannocchiale*

Lo squadra può essere dotato di *allineatore a cannocchiale* per tracciare allineamenti con qualsiasi inclinazione e, completo di cerchio verticale, può essere usato come livello/tacheometro.

Lo **squadro a prisma** è uno strumento che serve per riportare angoli multipli di 45 gradi che può avere una forma cilindrica, prismatica o sferica.

Sulle facce di questi solidi sono incise delle fessure sottili, che si corrispondono due a due e permettono di mirare attraverso di esse.

Per tracciare con lo squadra l'angolo retto, si *mette in stazione* lo strumento, fissandone l'asse in posizione verticale esattamente sul punto di stazionamento. Per ottenere la verticalità dell'asse dello squadra si pone un filo a piombo ad una certa distanza dallo strumento e si traguarda attraverso una copia di fessure.

Se la linea della fessura coincide con la linea verticale del filo a piombo, l'asse dello strumento è in posizione verticale.



*Squadro a
prisma*

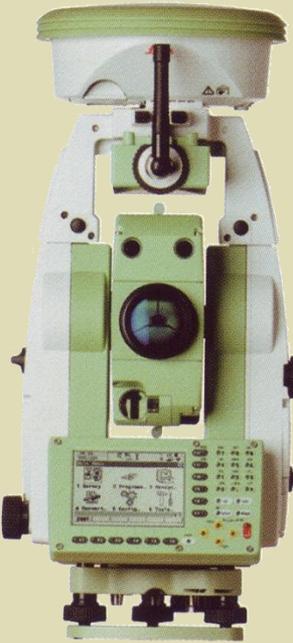
TEODOLITE

Il teodolite è costituito da una base, un'alidada e da un cerchio graduato orizzontale ed uno verticale. La base è dotata di una livella e di viti, *viti calanti*, per regolare la verticalità dell'asse principale dello strumento.

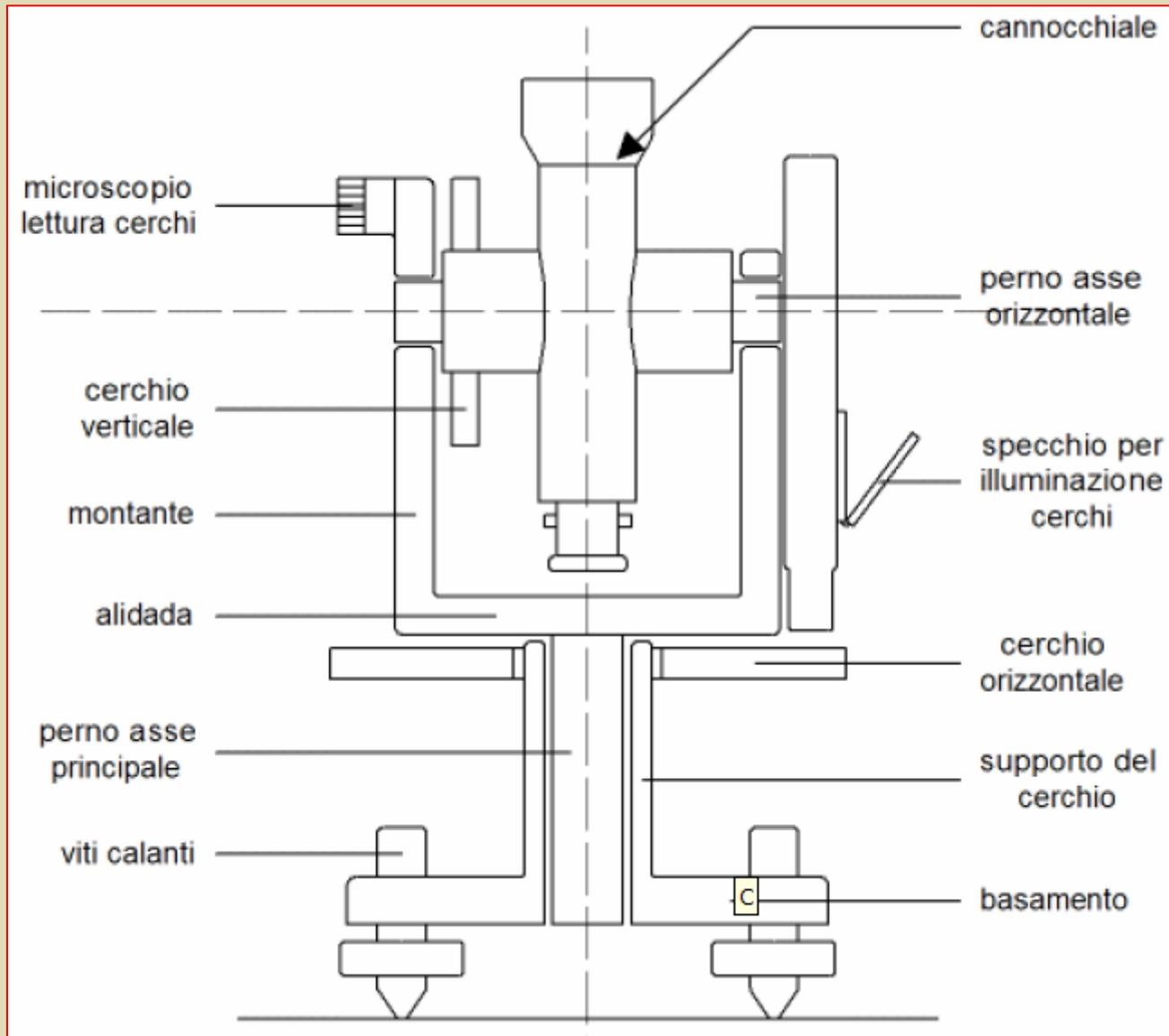
L'alidada è montata sulla base in modo da poter ruotare attorno all'asse verticale ed a sua volta è munita di un cannocchiale che ruota su un asse orizzontale.

I cerchi graduati orizzontale e verticale sono solidali rispettivamente al basamento o all'alidada e all'asse di rotazione del cannocchiale. Le misurazioni azimutali sono fatte sul cerchio orizzontale mentre quelle zenitali sono effettuate su quello verticale.

Si differenzia dal tacheometro, che misura anche le distanze, per la maggiore precisione delle misure angolari: un teodolite può apprezzare normalmente da 1 a 5 secondi centesimali, un tacheometro inizia ad apprezzare mediamente dai 20 secondi centesimali in su.



SCHEMA TEODOLITE



TACHEOMETRO



Il **tacheometro** è uno strumento, simile al teodolite, atto alla misurazione sia angolare che metrica di media precisione.

Nel basamento trovano posto tre viti calanti che servono a posizionare l'asse principale dello strumento lungo la verticale terrestre, con l'ausilio di una livella sferica di primo centramento e attraverso una livella toroidale di alta precisione. Il centramento sul punto a terra è eseguito tramite il *filo a piombo*.

All'interno del basamento è inserito un cerchio graduato che serve per la misurazione degli angoli azimutali. L'alidada ruota attorno all'asse primario del basamento orizzontale e sorregge il cannocchiale, la cui rotazione sull'asse dell'alidada permette la lettura degli angoli zenitali sul cerchio graduato verticale. Lo strumento quindi ha tre assi, verticale (basamento), orizzontale (alidada) e l'asse secondario del cannocchiale, perpendicolare a quello orizzontale e rotante attorno ad esso.

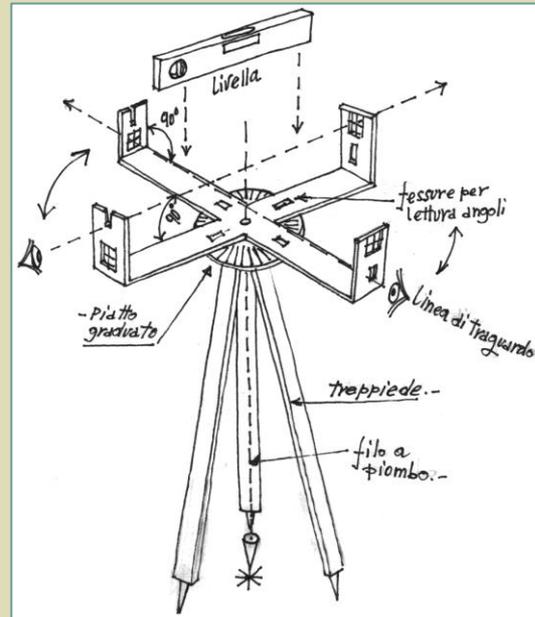
LIVELLO

Il livello consiste essenzialmente in un cannocchiale posto su un alidada. La rotazione dell'alidada consente di ruotare nel piano orizzontale il cannocchiale, che può ruotare anche nel piano verticale di piccoli angoli. In virtù di questa rotazione nel piano verticale, l'asse di collimazione del livello può essere reso orizzontale, con opportuni dispositivi e procedure.

La misura di un dislivello tra due punti con il metodo della **livellazione geometrica** prende il nome di **battuta di livellazione**.

Una battuta di livellazione consente di determinare il dislivello tra due punti che distino al massimo tra di loro di non più di **100 m**.

Facendo però battute di livellazioni consecutive con la livellazione geometrica si può misurare il dislivello tra punti posti a qualsiasi distanza.



livello tradizionale



livello ottico

LIVELLO



Lo strumento è formato da:

- ❖ una traversa, che ruota attorno all'asse verticale, imperniata sulla base provvista di viti calanti con le quali si ottiene la verticalità del suddetto asse;

- ❖ un cannocchiale solidale con la traversa

avente asse di collimazione ed eventualmente retino distanziometrico, con una livella torica ad esso connessa, al cui centramento fine si provvede tramite la vite di elevazione, sino a renderne orizzontale la tangente centrale.

Differisce dal teodolite per la mancanza dei cerchi e dell'alidada; esiste ancora l'asse primario, ma il cannocchiale è incernierato alla traversa e la vite di elevazione permette di alzare od abbassare l'asse di collimazione di soli pochi gradi all'orizzontale.

Un'evoluzione è rappresentata dagli **autolivelli**, nei quali l'orizzontalità dell'asse di collimazione è raggiunta automaticamente con sistemi a pendolismo od a fluido, meccanici od ottici. Sul mercato sono comparsi **livelli elettronici**, a **laser** che di digitale hanno solo la lettura alla stadia, rimanendo buon autolivelli.

LIVELLO A RAGGI LASER



Il **livello a raggi laser** è costituito da una sorgente di un sottile fascio di raggi laser, che ruota su un supporto perfettamente piano, e da un recettore, che se colpito dal fascio di raggi lungo una sottile fessure, emette dei segnali. È impiegato per individuare punti sullo stesso piano.



LIVELLO

La classificazione dei livelli e della livellazione geometrica viene elaborata in relazione alla precisione dello strumento ed è basata sull'errore quadratico medio di una livellazione in andata e ritorno su un tratto di un chilometro. Si hanno:

1. livelli di *bassa precisione*
o *da cantiere* : maggiore di 5 mm;
2. livelli da *ingegneria* : tra 2 mm e 5 mm;
3. livelli di *precisione* : tra 1 mm e 2 mm;
4. livelli di *alta precisione* : minore di 1 mm.

Per raggiungere queste precisioni con lo strumento devono utilizzarsi accessori e metodi specifici di rilievo.

Il livello è uno strumento molto semplice che può essere utilizzato anche da personale non specializzato, per definire una quota di un piano, oppure per il calcolo di lievi dislivelli in rilievi planimetrici di modesta estensione.

STAZIONE TOTALE

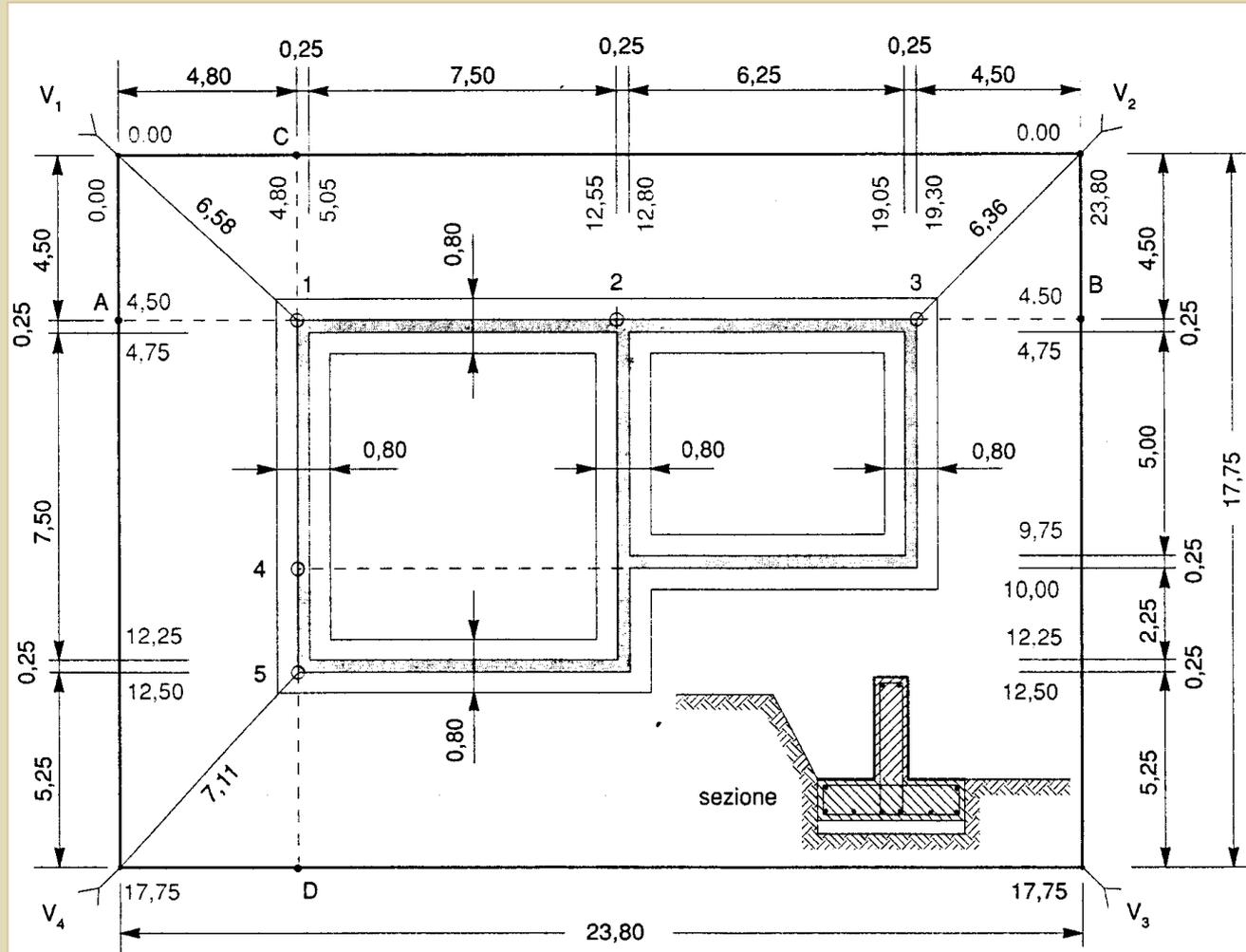


La **stazione totale** è uno strumento oggi comunemente utilizzato per il rilievo indiretto. Si differenzia dal tradizionale teodolite ottico-meccanico per essere dotato rispetto a quello di un distanziometro che può essere di tipo tradizionale, e cioè con prisma riflettente per effettuare la misura distanziometrica, o del tipo laser che rileva la distanza senza l'ausilio del prisma, molto utile in caso di punti inaccessibili, e di un computer per la memorizzazione e il calcolo dei dati. Consente di misurare angoli e distanze di una serie di punti, determinandone l'esatta collocazione spaziale rispetto a un sistema di coordinate predefinito. Lo strumento è composto dal *basamento*, che viene fissato a un treppiede per mezzo di una vite centrale, il quale comprende un piombo laser per centrare il punto a terra e tre viti calanti per la messa in bolla, e dall'*alidada*, dotata di cannocchiale, mirino, bolla sferica, viti per i piccoli spostamenti del cerchio orizzontale e del cerchio verticale (viti micrometriche azimutale e zenitale), tasto di accensione, computer e alloggiamento per la batteria.

OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

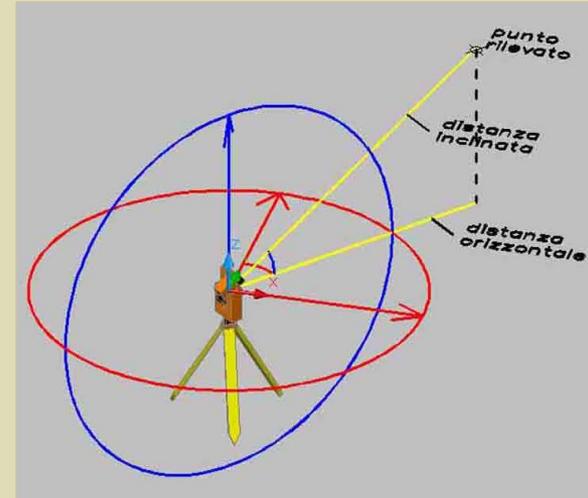
Per un corretto approccio a questa problematica, si prende in via preliminare attenta visione dei disegni esecutivi delle fondazioni del fabbricato da tracciare sul terreno con le loro dimensioni.

Di lato si riporta la tavola di tracciamento di un edificio a pianta semplice, con muri o telai ortogonali, cui si farà riferimento nella esposizione delle fasi che caratterizzano le **operazioni di tracciamento**.



OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

Per determinare la posizione di un punto è necessario effettuare con lo strumento 3 letture: *angolo orizzontale* (o *azimutale*), *angolo verticale* (o *zenitale*) e *distanza inclinata*. L'angolo azimutale è dato dalla **rotazione** dell'alidada sul piano orizzontale e viene calcolato in relazione all'asse polare.



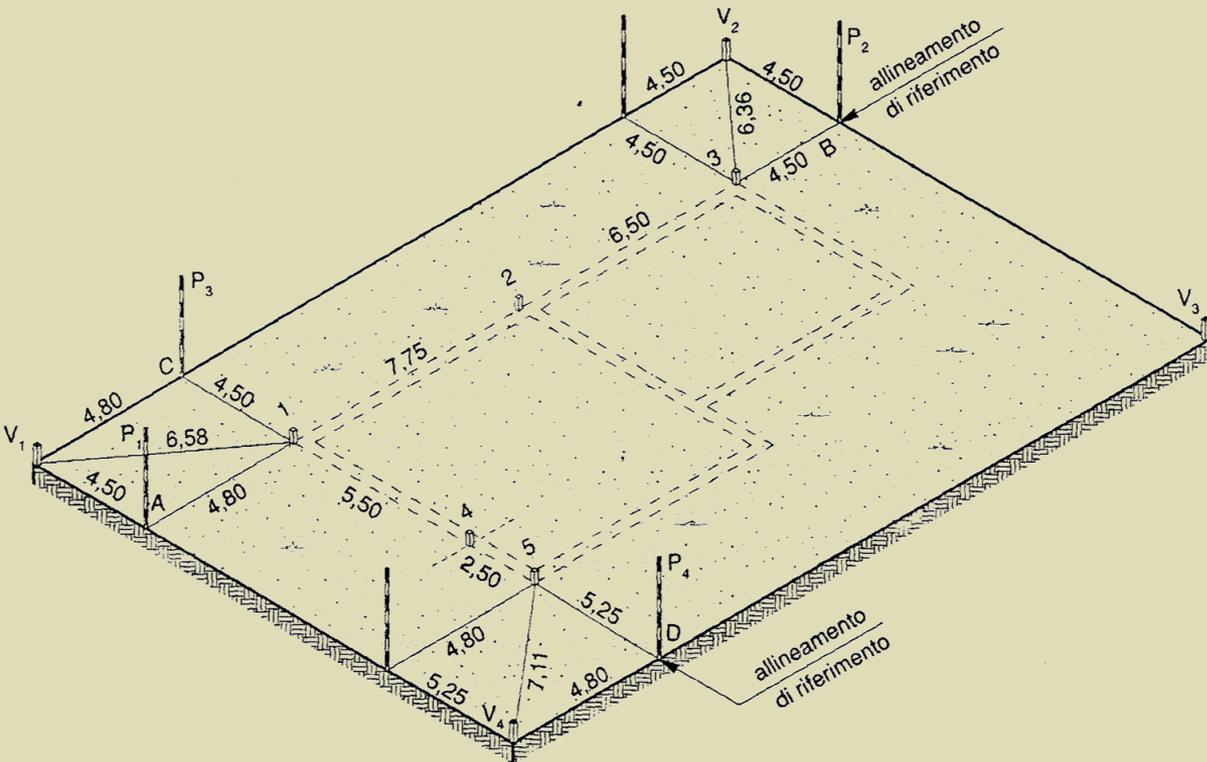
L'angolo zenitale è conseguente invece alla **rotazione** del cannocchiale sul piano verticale ed è calcolato rispetto all'asse delle z.

Ultimata la fase a tavolino, si procede con il *lavoro di campagna*, preceduto da un'accurata **pulizia** dell'appezzamento, effettuata con mezzi meccanici che scorticheranno il terreno asportando erbe, cespugli e qualsiasi altro ostacolo, realizzando un piano sul quale si potranno effettuare le operazioni necessarie.

La prima operazione in campagna consiste nel materializzare e visualizzare con paline gli allineamenti assunti come riferimento nel lavoro a tavolino.

OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

Si individuano gli allineamenti **AB** e **CD**, riportando rispettivamente dai vertici dell'appezzamento indicati con V_1 e V_2 le distanze del fabbricato dal lato $V_1 V_2$ (nel ns. esempio ambedue queste distanze risultano di 4,50 m (lato 1-3 parallelo a $V_1 V_2$)). L'allineamento **AB** verrà poi visualizzato dalle paline **P₁** e **P₂**, posizionate rispettivamente in **A** e in **B**. Sull' allineamento **AB** si individuano e segnalano i *punti caratteristici* **1**, **2** e **3**, che corrispondono ai fili dei muri del fabbricato ortogonali ad

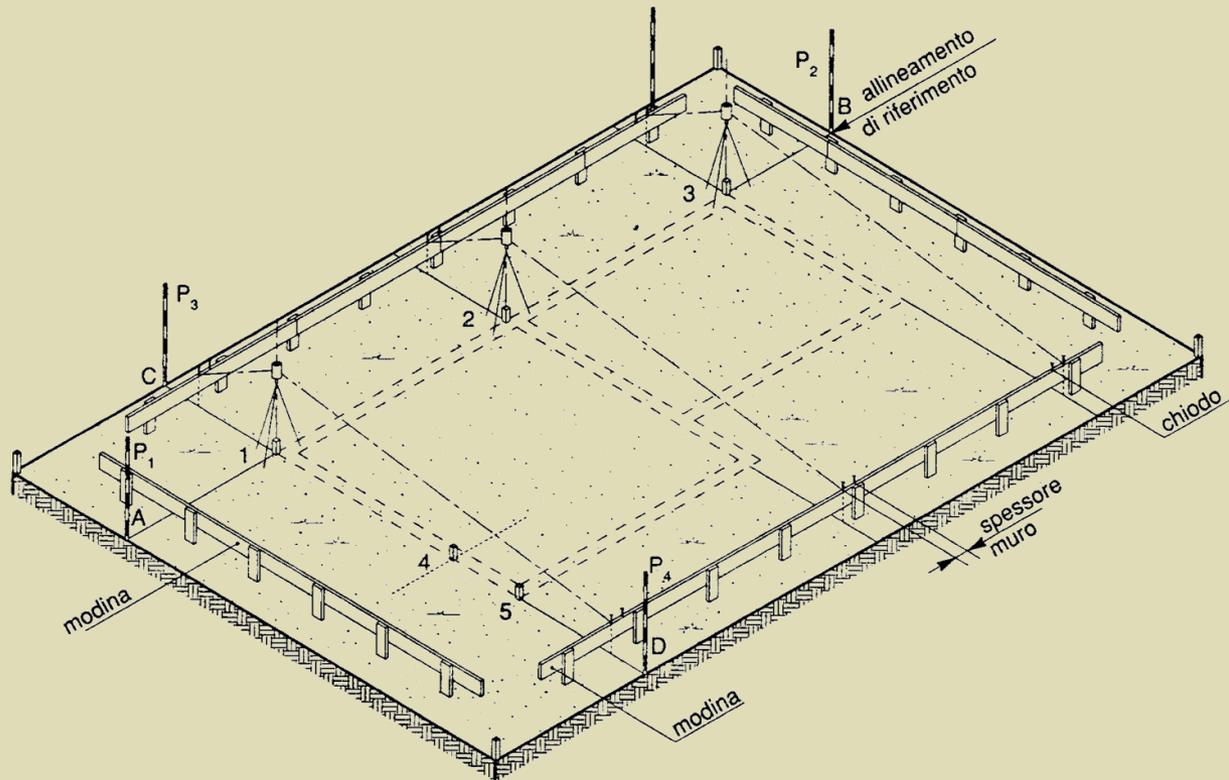


AB, riportando con la cordella metrica sull'allineamento le rispettive *quote progressive* desunte dai grafici di tracciamento o dalla pianta dei fili fissi nel caso di edificio in c.a.

Si procederà poi al controllo del lavoro eseguito, misurando

OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

le distanze parziali tra i punti **1**, **2** e **3**, confrontandole con le corrispondenti quote parziali, verificando inoltre la distanza in diagonale tra il vertice V_1 e il punto **1** e tra il vertice V_2 e il punto **3**. La segnalazione dei punti **1**, **2** e **3** sull'allineamento **AB** potrà essere con *picchetti in legno* sulla cui testa verrà conficcato un chiodo per definire con precisione il punto stesso. In modo analogo si procederà per individuare l'allineamento **CD**, ortogonale ad **AB**, visualizzato con le paline **P₃** e **P₄**, e per segnalare i punti **4** e **5**. Ma i punti sul terreno sono destinati a essere rimossi durante le operazioni di scavo. Il problema si risolve utilizzando *modine*, *cavalletti*, *caprette*, sui quali verranno proiettati i fili dei muri, segnalandoli con chiodi conficcati nella parte superiore delle



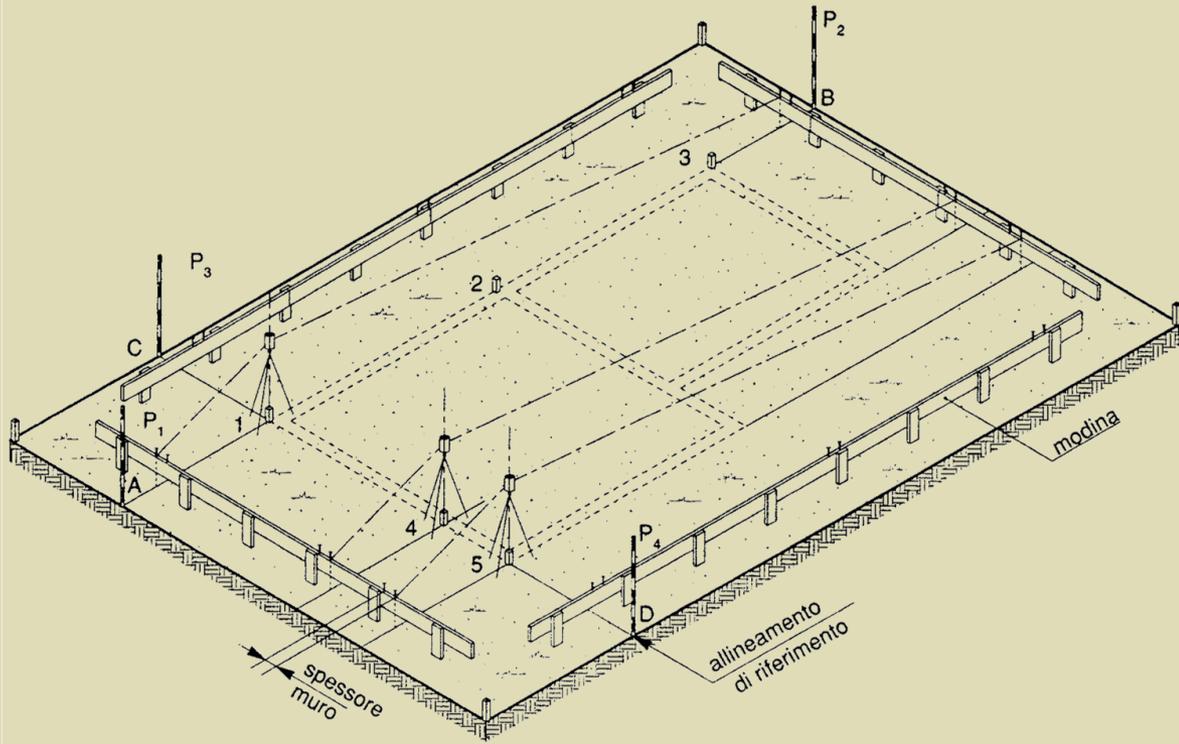
OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

modine stesse. Queste possono avere varie forme: in genere sono costituite da *tavole di legno* ancorate al terreno con paletti, a un'altezza dal suolo di 70-80 cm e comunque almeno 10-15 cm più alte della parte superiore delle fondazioni. Le *modine*, una per ciascun lato del fabbricato, vanno posizionate in prossimità del confine del terreno, parallelamente ai lati del costruendo fabbricato ad adeguata distanza dallo stesso (minimo 3-4 m), in modo da intralciare i mezzi che eseguiranno lo scavo delle fondazioni. Con uno *squadro* o un *goniometro*, via via posizionato sui picchetti **1**, **2** e **3**, montati precedentemente sull'allineamento **AB**, ed orientato sull'allineamento stesso, si individuano, con l'ausilio di un assistente e l'impiego delle *paline* **P₁** e **P₂**, sulle due *modine* parallele all'allineamento **AB**, le proiezioni dei muri ortogonali allo stesso allineamento, segnalando tali punti con chiodi. Per ogni muro è sufficiente considerare uno solo dei due fili che lo delimitano, poiché lo spessore potrà essere riportato direttamente sulla *modina*: si ottengono in tal modo 3 coppie di chiodi su ciascuna *modina* parallela ad **AB**, individuanti le direzioni dei 3 muri ortogonali ad *AB*.

OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

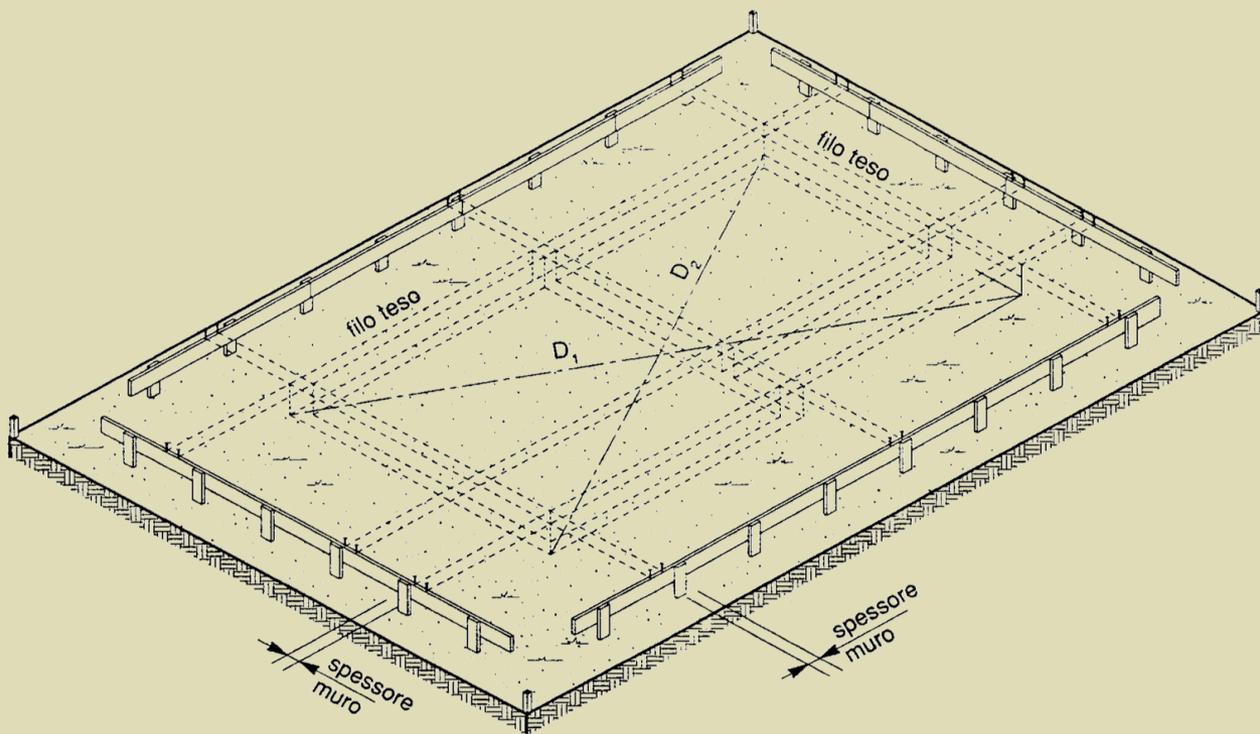
In modo analogo si sviluppano le operazioni per proiettare sulle altre due *modine* i muri ortogonali all'altro allineamento **CD** di riferimento.

Dopo tali operazioni, si collegano i chiodi corrispondenti a ciascun muro del



fabbricato, e montati sulle *modine* opposte, con fili di adeguata sezione ed opportunamente tesi. Tale reticolo individua e materializza la direzione e la posizione dei muri del fabbricato e delle sottostanti fondazioni. Prima di procedere all'esecuzione degli scavi è necessario procedere a controlli per verificare la precisione del lavoro svolto. Uno controllo, particolarmente efficace, consiste nel misurare le **diagonali** del rettangolo ideale ottenuto considerando i lati di maggior lunghezza del fabbricato.

OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

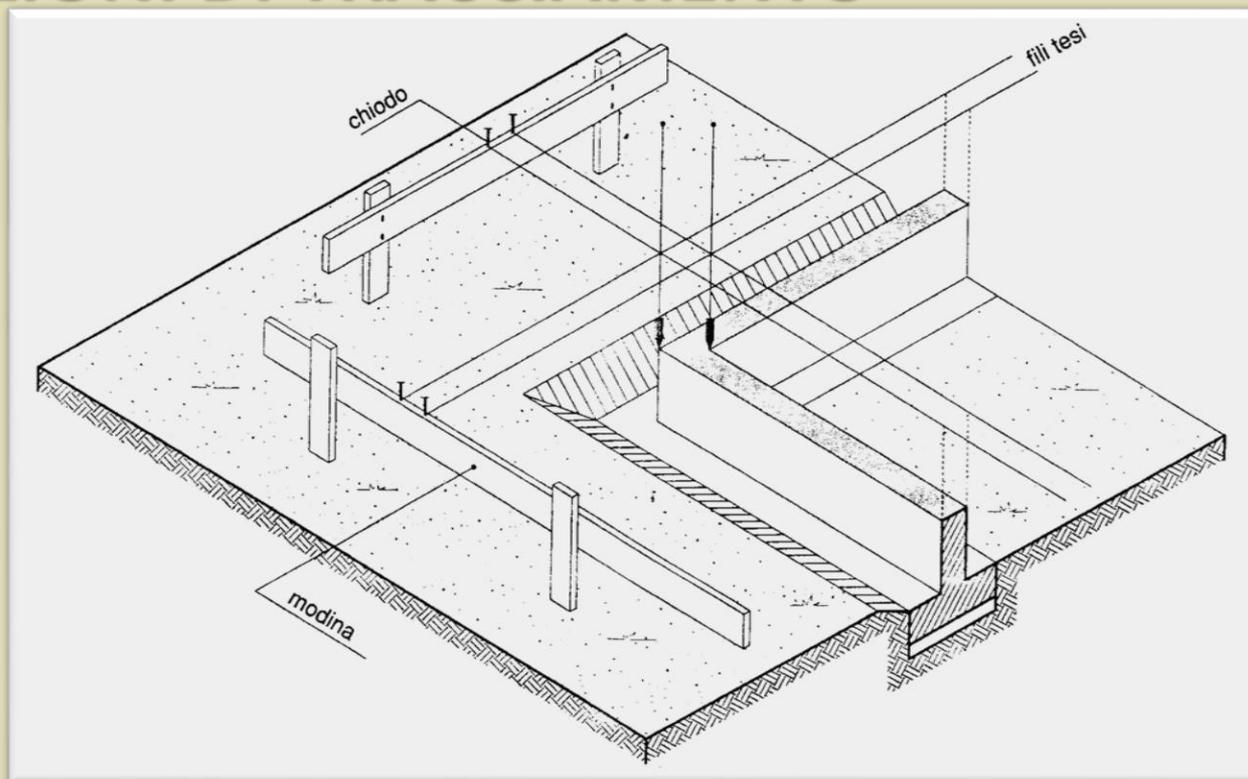


La lunghezza delle due diagonali di tale rettangolo (**D_1** e **D_2**) dovrà risultare uguale alla lunghezza teorica calcolata con il teorema di Pitagora.

L'uguaglianza (**$D_1 = D_2$**) garantisce l'ortogonalità dei muri perimetrali del fabbricato. Se tale verifica fornisce indicazioni soddisfacenti, si potrà procedere al tracciamento delle zone di scavo sul terreno, in caso contrario si dovranno ripetere le operazioni prima descritte. L'ingombro degli scavi sul terreno viene definito utilizzando un *filo a piombo* posizionato in corrispondenza delle intersezioni dei fili di nylon tesi tra le *modine*, tenendo conto della larghezza delle fondazioni.

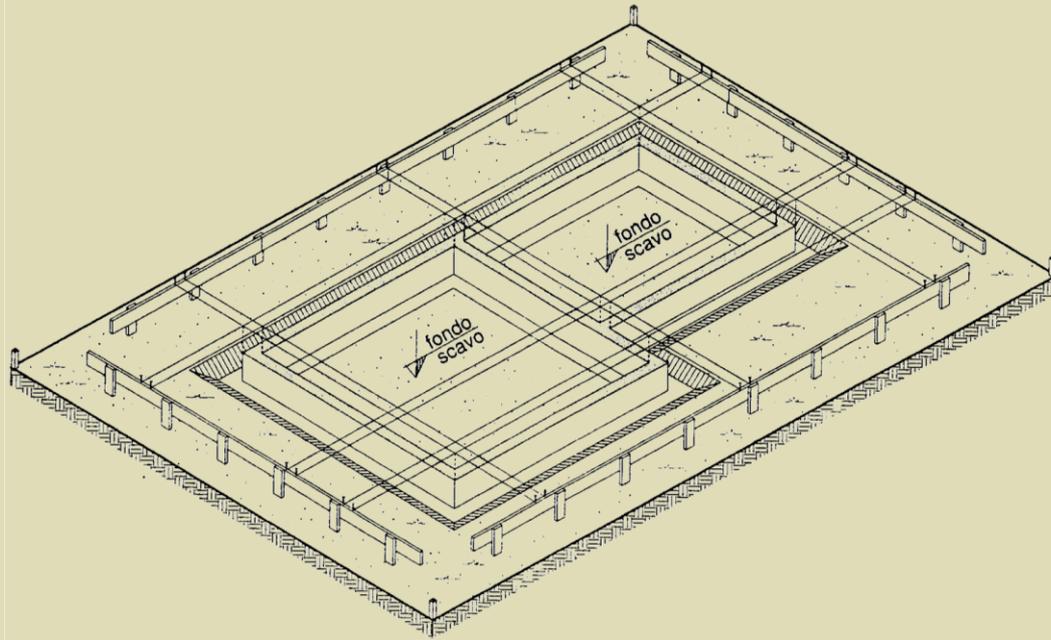
OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO

Tali ingombri saranno poi visualizzati con tracce di gesso o di calce che sono la guida per le maestranze nella realizzazione degli scavi.



Durante tale fase, vengono rimossi provvisoriamente i fili di nylon per non ostacolare le manovre dei mezzi impegnati nell'esecuzione degli scavi. Ultimati gli scavi, verranno di nuovo montati i fili tesi tra le opposte modine, per posizionare correttamente le *casserature* destinate a contenere i getti di calcestruzzo delle fondazioni.

OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO



La precisione richiesta nelle operazioni di tracciamento delle fondazioni è dell'ordine di **1-2** cm.

Precisioni di questa entità, qualora vengano utilizzati nelle operazioni strumenti semplici come squadri e cordelle, sono garantite solo nel caso che il fabbricato presenti dimensioni limitate a poche decine di metri (30-40m).

Conclusa la realizzazione delle fondazioni del fabbricato, termina anche la funzione delle *modine*, che verranno rimosse dal cantiere.

DESCRIZIONE QUADRO DI RILIEVO



St	P.C.	Lett. C.O.	Dist. (m)
100	101	59 ^g ,249	59,10
	102	124 ^g ,113	65,23
	103	243 ^g ,297	64,31
	104	336 ^g ,135	59,76
	105	370 ^g ,044	52,49

STAZIONE	PUNTI DI COLLIMAZIONE	LETTURE AL CERCHIO ORIZZONTALE	DISTANZE IN METRI
100	101	59 ^g ,249	59,10
	102	124 ^g ,113	65,23
	103	243 ^g ,297	64,31
	104	336 ^g ,135	59,76
	105	370 ^g ,044	52,49

FARE STAZIONE SU DI UN PUNTO SIGNIFICA POSIZIONARE IL TEODOLITE DISTANZIOMETRICO PER ESEGUIRE IL RILIEVO DEL TERRENO

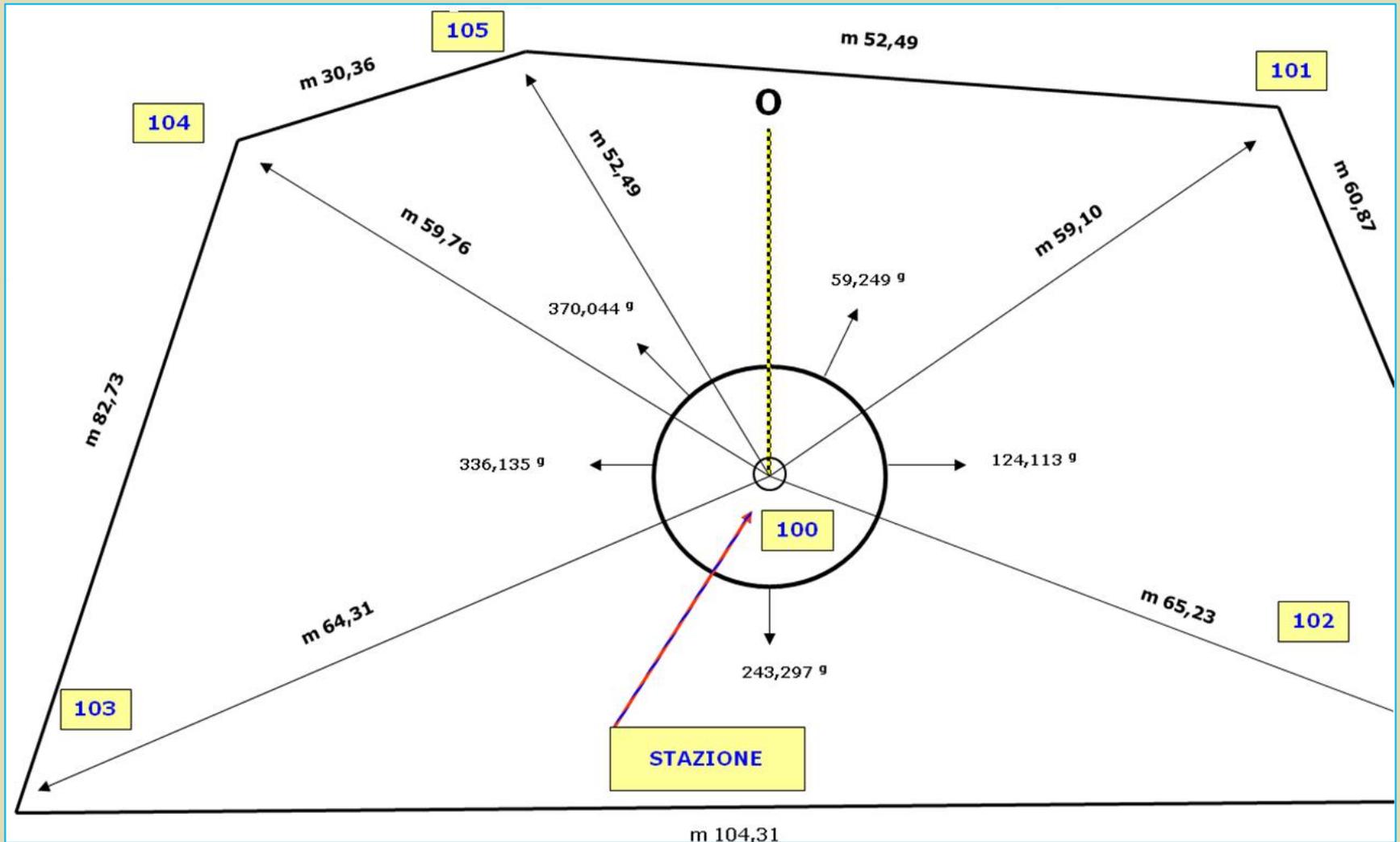
SONO I PUNTI CHE DEFINISCONO IL TERRENO E QUINDI OGGETTO DEL RILIEVO

SONO QUELLE EFFETTUATE IN CORRISPONDENZA DEL CERCHIO ORIZZONTALE DEL TEODOLITE RELATIVE AL PUNTO COLLIMATO

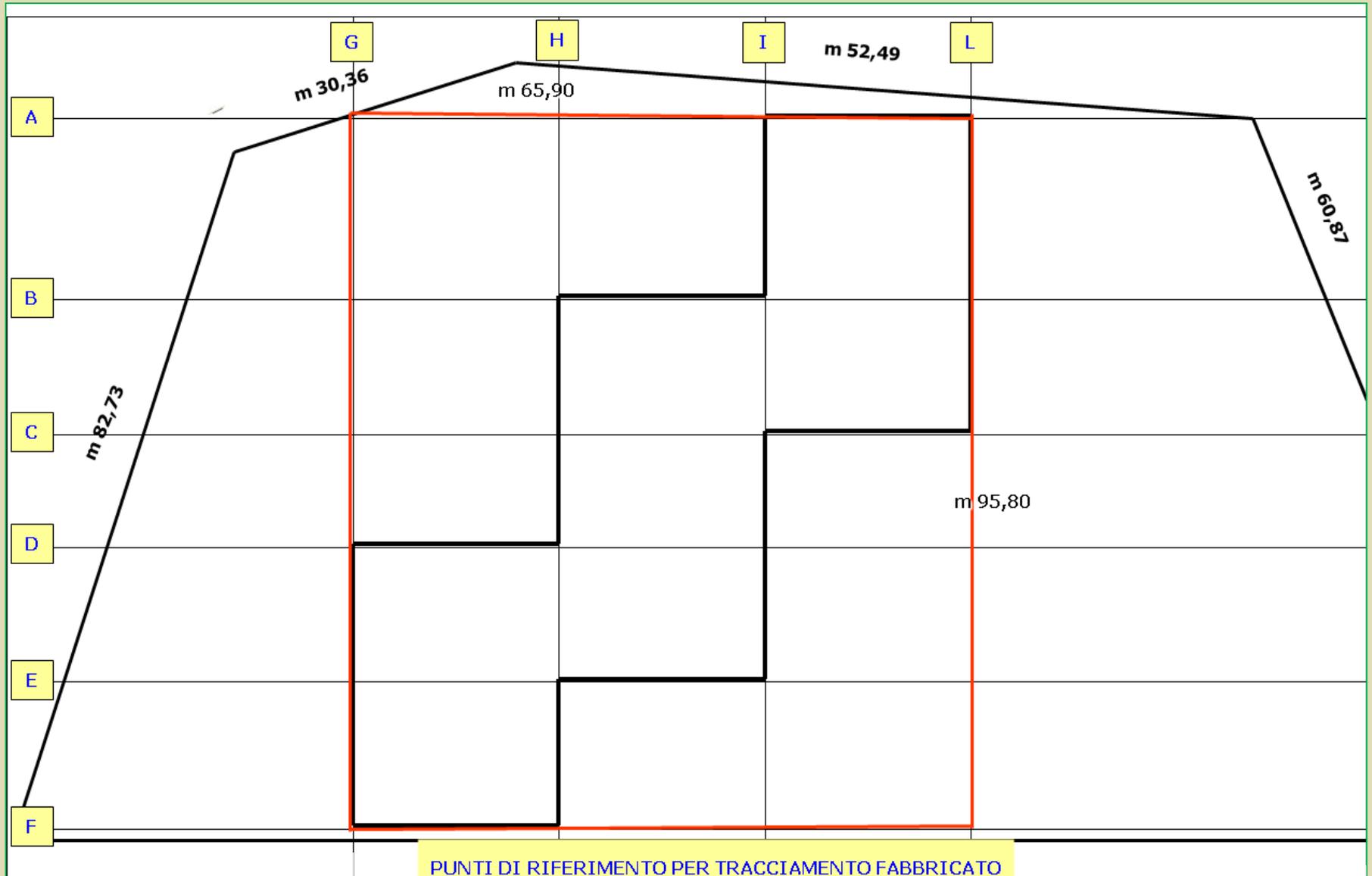
SONO LE DISTANZE IN METRI TRA IL PUNTO DI STAZIONE E I SINGOLI PUNTI COLLIMATI



RESTITUZIONE GRAFICA RILIEVO

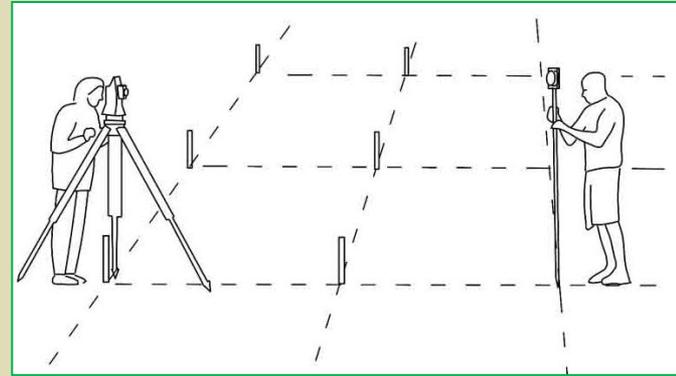


TRACCIAMENTO FABBRICATO



TRACCIAMENTO CON STAZIONE TOTALE

Si posiziona lo strumento topografico su uno dei quattro angoli dell'area, facendo coincidere l'asse polare con uno dei lati del rettangolo da picchettare. Ruotando lo strumento di 100 gradi si individua sul terreno l'orientamento dell'altro lato.



Con il *distanziometro* si cercano lungo i due assi la posizione di tutti i punti, situati a intervalli definiti nella pianta dei fili fissi del progetto delle strutture, in cui si dovranno infiggere i picchetti. Si procede in questo modo: il **canneggiatore**, munito di prisma su asta metallica, si muove lentamente lungo uno dei due assi, mentre l'**operatore**, che sta alla stazione totale, prende delle distanze, valutando la differenza tra la distanza misurata e la distanza in cui ricade il punto e dando le conseguenti istruzioni al canneggiatore, il quale dovrà arretrare o avanzare di conseguenza.

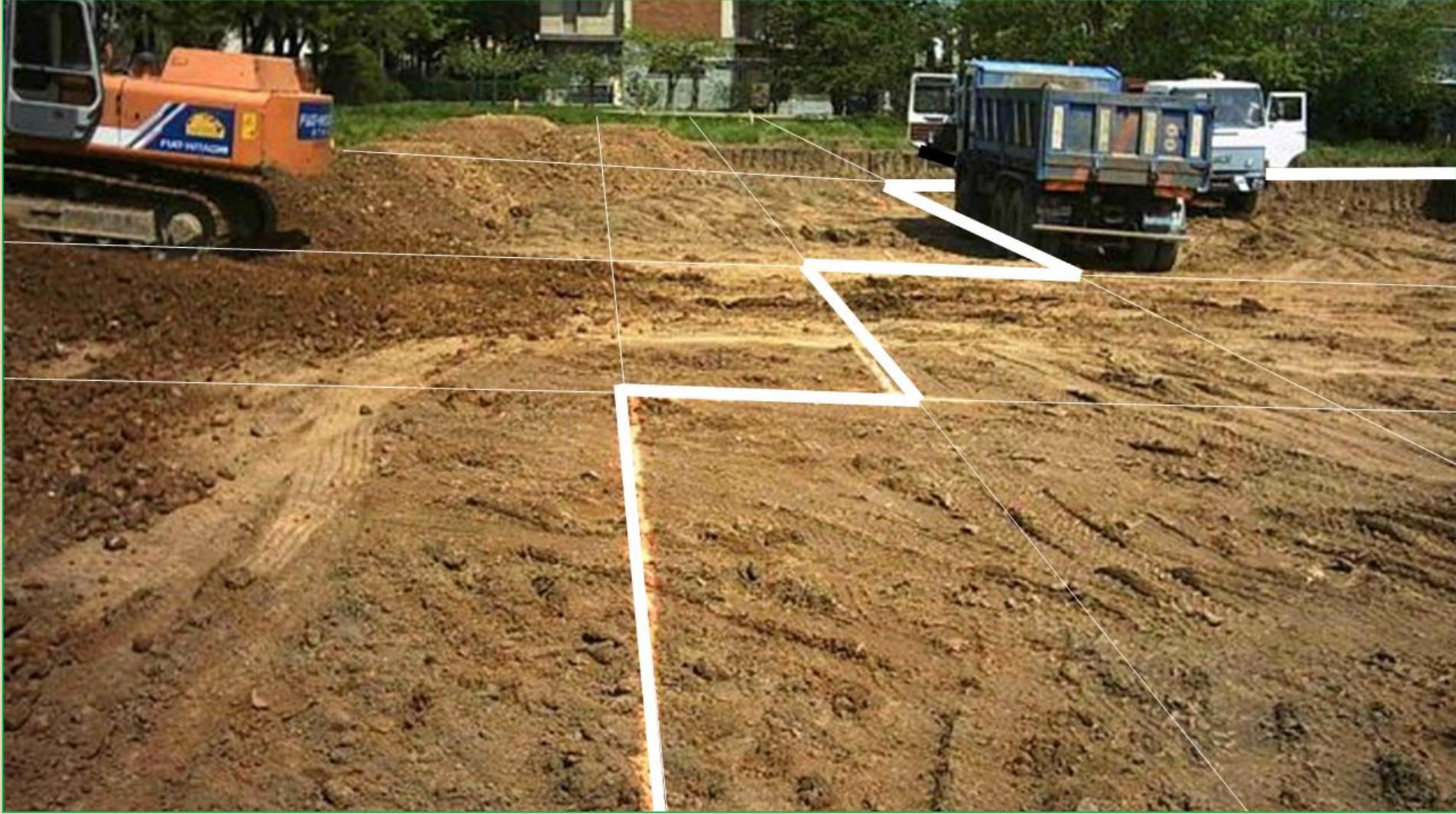


TRACCIAMENTO CON STAZIONE TOTALE

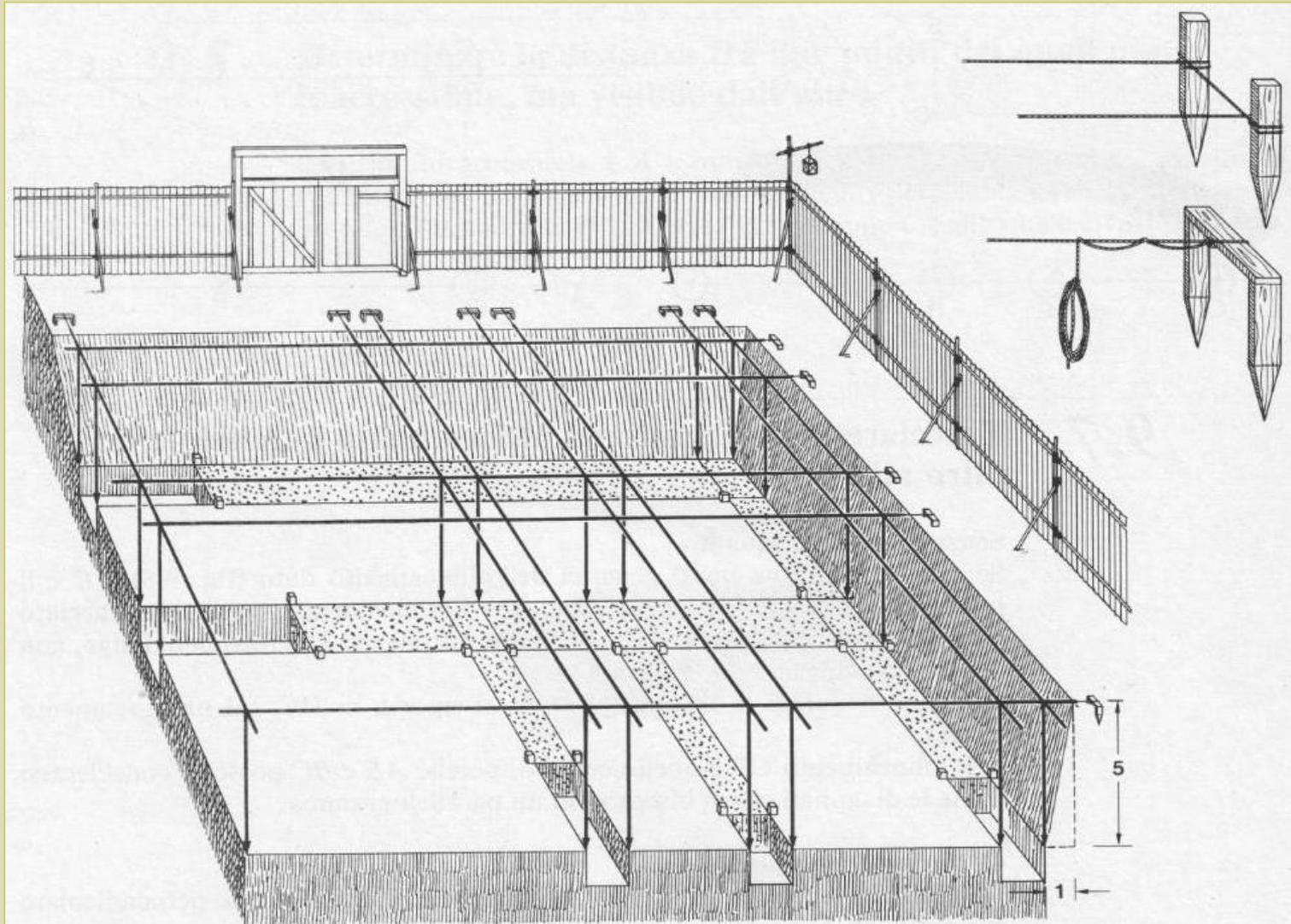
Fra i picchetti posizionati lungo il perimetro dell'area si possono tendere lenze per individuare i vari rettangoli della griglia. Tutti gli incroci del reticolo possono in ogni caso essere agevolmente determinati dalla stazione totale, collocata su un qualunque picchetto facente parte della maglia ed effettuando misurazioni anche in diagonale. Una volta stabilito il passo del reticolo, il programma è in grado di suggerire all'operatore l'angolo azimutale e la distanza dei singoli incroci, i quali verranno pertanto cercati sul terreno con l'aiuto del *canneggiatore* munito di prisma secondo la procedura di cui sopra.



TRACCIAMENTO SCAVO DI SBANCAMENTO



SINTESI OPERAZIONI DI TRACCIAMENTO



Bibliografia:

D'Agostino R.: *Tracciamenti di cantiere*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2010



Università degli Studi di Napoli FEDERICO II
Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale
ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

prof. Fabrizio Leccisi

a.a. 2015-16

LE OPERAZIONI DI SCAVO



MOVIMENTO TERRA

Per movimento terra si intende l'insieme delle attività atte a strutturare geometricamente un ambito di territorio, generalmente allo stato naturale, per renderlo adatto ad accogliere, secondo un indirizzo progettuale, uno o più manufatti funzionali, modificandone morfologia, relazioni e destinazione d'uso. La lavorazione e la movimentazione delle terre viene effettuata in genere con l'utilizzo di mezzi meccanici, dei quali vanno determinate le caratteristiche quali tipo, potenza, numero.

Inoltre va determinato il ciclo di lavoro delle singole macchine, nonché quello delle lavorazioni effettuate da più macchine fra loro interdipendenti, predisponendo diagrammi di lavorazione, dai quali derivare lo schema dell'organizzazione del cantiere.

Gli elementi da valutare preliminarmente sono in genere:

- ❖ Lavorazioni da eseguire;
- ❖ Natura e caratteristiche delle terre da lavorare;
- ❖ Volume delle terre;
- ❖ Livelli di produzione delle macchine;
- ❖ Distanze di trasporto;
- ❖ tempi di lavorazione.

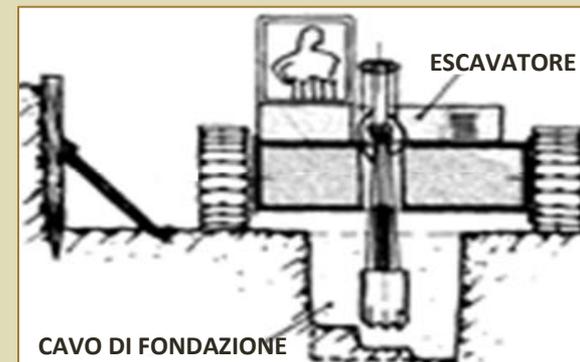
ESECUZIONE DEGLI SCAVI

Una volta effettuato il tracciamento dello scavo, se ne definisce la configurazione in modo da semplificare la realizzazione dello scavo stesso, delle strutture di sostegno delle pareti scavate e delle opere di fondazione.

Lo scavo può essere eseguito **all'asciutto** o **in presenza d'acqua**, con eventuale abbassamento falda freatica con barriere impermeabili o operazioni di pompaggio, *aggottamento*, e può essere realizzato:

- a **mano**;
- con **macchine escavatrici**.

Durante lo scavo vanno realizzate opere di sostegno delle pareti dello scavo, **provvisorie** o **permanenti**, per tutelare la sicurezza delle persone e degli eventuali manufatti adiacenti. Quindi si rimuove il terreno, trasferendolo in idonei siti, qualora non debba essere utilizzata per sistemazioni esterne o rinterri.



RISCHI PREVALENTI NELLE OPERAZIONI DI SCAVO

Nei lavori in cui sono presenti attività di scavo il lavoratore è esposto a rischi di seppellimento, di caduta dall'alto e/o strettamente connessi all'esecuzione dello scavo e di natura diversa in relazione alla attività specifica da svolgere, che possono provocare morte, lesioni gravi e di carattere permanente e danni alla salute.

Le tipologie di rischio prevalenti a cui il lavoratore è più frequentemente assoggettato, sono:

- ❖ **rischio di seppellimento** derivante da:
 - ***cedimento della parete di taglio;***
- ❖ **rischio di caduta dall'alto** all'interno dello scavo derivante da:
 - ***cadute dal bordo dello scavo.***

RISCHI CONCORRENTI NELLE OPERAZIONI DI SCAVO

Oltre ai rischi prevalenti, vanno valutati altri rischi quali:

- ❖ **rischio innescante il cedimento della parete di taglio** derivante da:
 - accumuli di materiali sul ciglio;
 - vibrazioni, scuotimenti;
 - presenza di falde acquifere e circolazioni di fluidi;
- ❖ **rischio innescante il cedimento del bordo dello scavo** derivante da:
 - accumuli di materiali sul ciglio;
 - vibrazioni, scuotimenti;
- ❖ **rischio innescante la caduta dall'alto all'interno dello scavo** derivante da:
 - mancanza di protezione dei bordi dello scavo;
 - insorgenza di vertigini;
 - abbagliamento degli occhi;
 - scarsa visibilità;
 - colpo di calore o di sole;
 - rapido abbassamento della temperatura;
- ❖ **rischio di danno alla salute e/o di natura meccanica derivante da eventi atmosferici**, quali:
 - vento, pioggia, umidità o ghiaccio sul calpestio.

CARATTERISTICHE DELLE OPERAZIONI DI SCAVO

Gli scavi per le opere di fondazione sono così caratterizzati:

- **avvengono a cielo aperto con ampie superfici;**
- **hanno una sezione obbligata con pareti verticali;**
- **risultano assenti le vie di fuga;**
- **presentano problemi di drenaggio;**
- **vengono effettuati anche in luoghi abitati.**

I principali fattori di rischio sono dovuti:

- ❖ **all'alterazione dell'equilibrio statico del terreno;**
- ❖ **agli accumuli di materiale sul ciglio dello scavo;**
- ❖ **alla presenza di falde acquifere e alle circolazioni;**
- ❖ **alla presenza sul fondo dello scavo di cassaforme;**
- ❖ **alle vibrazioni dovute alla presenza di escavatori;**
- ❖ **alla movimentazione di mezzi meccanici.**

COSTRUZIONE DI SERVIZI INTERRATI PER ACQUA, GAS, TELECOMUNICAZIONI, ENERGIA ELETTRICA

Tali scavi sono caratterizzati da:

- ❖ **presenza di una sezione obbligata;**
- ❖ **presenza di un notevole sviluppo longitudinale;**
- ❖ **profondità generalmente non elevata;**
- ❖ **presenza di una possibile disomogeneità dei caratteri chimico-fisici e strutturali dei terreni interessati allo scavo;**
- ❖ **spazi ristretti.**

I principali fattori di rischio sono dovuti:

- ❖ all'alterazione dell'equilibrio statico del terreno;
- ❖ agli accumuli di materiale e di attrezzi sul ciglio dello scavo;
- ❖ alla presenza di falde acquifere e alla circolazione di fluidi;
- ❖ alla presenza sul fondo dello scavo di cassaforme ed armature;
- ❖ alle vibrazioni causate da martelli pneumatici, escavatori, ecc.;
- ❖ alla movimentazione di mezzi meccanici;
- ❖ alla disomogeneità dei terreni lungo il tracciato.

RIDUZIONE DEL RISCHIO

Ai fini della prevenzione dei rischi importanza prioritaria va attribuita ai provvedimenti d'ordine tecnico-organizzativo diretti ad eliminare o ridurre sufficientemente i pericoli alla fonte ed a proteggere i lavoratori mediante mezzi di protezione collettivi.

Se queste misure di tipo collettivo non permettano di evitare e/o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute ad un livello accettabile, si deve ricorrere all'uso di idonei **Dispositivi di Protezione Individuale, DPI**.

Nelle attività esercitate nei cantieri temporanei o mobili deve essere impiegato personale formato, informato ed addestrato e deve essere evitata la presenza di personale non formato.

Particolare attenzione va posta nei confronti del rischio legato al fattore umano.

LE MACCHINE MOVIMENTO TERRA

L'esecuzione dello scavo tramite tecniche tradizionali, in una prima fase, si avvale dell'utilizzo di macchine movimento terra che sostituiscono l'intervento del lavoratore nella zona a rischio di seppellimento, ed in una seconda fase, della predisposizione di idonee opere di contrasto e di protezione.

Per macchina movimento terra si intende la macchina destinata ad essere adibita a lavori di scavo, carico, trasporto, spianamento di materiali (roccia, sabbia, terra, ecc.).

Essa, secondo la funzione che svolge, si divide in:

- macchina adibita esclusivamente alla movimentazione del materiale: apripista (*bulldozer*), motorgrader, scraper;
- macchina per il caricamento del materiale e da scavo: caricatore, escavatore, terne, miniescavatore, minipala;
- macchina per il trasporto materiale: dumper, autocarro, autoarticolato.

LE MACCHINE DA SCAVO

Le macchine da scavo sono mezzi meccanici la cui struttura di base, realizzata su *cingoli* o *ruote*, possiede a corredo gli utensili di scavo intercambiabili e di tipo differente che permettono di eseguire lavori specifici diversi. A secondo del modo in cui opera e degli attrezzi utilizzati, la macchina si divide in:

- ❖ **escavatore a cucchiaia rovescia;**
- ❖ **escavatore a cucchiaia frontale;**
- ❖ **pala meccanica a carico e scarico frontale;**
- ❖ **battipalo o berta;**
- ❖ **trivellatrice;**
- ❖ **perforatrice o fresa.**



escavatore



perforatrice



trivellatrice



battipalo



pale



ESCAVATORI PALA MECCANICA

Gli **escavatori** effettuano principalmente lavori combinati di *scavo* e di *caricamento* e si differenziano dal modo di affrontare gli scavi, dal piano di campagna in profondità o dal piano di splateamento, scavando la parete che si forma tra la quota di scavo e la quota di campagna, e dalla capacità di scavare e caricare i mezzi di trasporto attraverso la rotazione della struttura superiore della macchina cui è applicata una benna montata su un cinematismo a braccio articolato o su un braccio telescopico senza che il telaio o il carro si sposti durante il ciclo operativo dell'escavatore.

La **pala meccanica** è una macchina semovente con cingoli o ruote, dotata di un cinematismo anteriore che porta e muove una benna, *pala*, che scava e carica i mezzi di trasporto.



MOVIMENTI DI TERRA

I movimenti terra si distinguono in *riporti* di terreno e *scavi*; gli scavi si differenziano in quelli a *cielo aperto* e in quelli *sotterranei*.

Gli **scavi a cielo aperto** comprendono:

- ❖ *scavi in aree non antropizzate*: scavi di splateamento e sbancamento;
- ❖ *scavi in aree antropizzate* (aree urbane e/o in presenza di sottoservizi): scavi a sezione obbligata per trincee, sottomurazioni o fondazioni.

Gli **scavi sotterranei**, in presenza di sottoservizi o scavi in roccia per gallerie, si possono distinguere per dimensioni e andamento in:

- ❖ *scavi con andamento orizzontale o inclinato*: gallerie di grandi dimensioni o cunicoli stretti;
- ❖ *scavi con andamento verticale*: pozzi e camini.

Ulteriori importanti attività sui terreni sono l'esecuzione di pali, di diaframmi o di drenaggi.



SCAVI DI SPLATEAMENTO E SBANCAMENTO

Gli scavi di **splateamento** e di **sbancamento** vengono effettuati su *aree di notevoli dimensioni* e presentano problematiche di sicurezza simili tra loro.

Lo **splateamento** è l'attività relativa ad un **vasto scavo pianeggiante**, mentre lo **sbancamento** è l'attività relativa alla **modifica dell'andamento naturale del terreno**.

La vastità delle aree di intervento presuppone varie tipologie di attività di scavo e di sagomatura dei versanti, in quanto devono essere considerate l'antropizzazione del territorio, le opere previste lungo il tracciato e l'assetto plano-altimetrico.

L'ampiezza dell'area di intervento permette l'utilizzo di **mezzi meccanici**, sia per lo scavo che per il trasporto del materiale, con conseguente ulteriore rischio connesso alla movimentazione degli stessi.

Negli scavi di splateamento e di sbancamento possono verificarsi problemi di stabilità dei versanti, dovuti alla variabilità delle caratteristiche strutturali e di composizione dei terreni trasversalmente e lungo il tracciato.

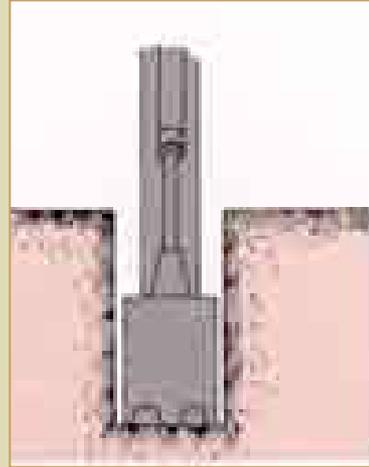
CONFIGURAZIONE DEGLI SCAVI



Valori dell'angolo di naturale declivio in funzione del tipo di terreno

ESECUZIONE DEGLI SCAVI

Realizzazione di uno scavo meccanico in trincea in un terreno roccioso



Realizzazione di uno scavo meccanico in un terreno argilloso per le fondazioni di un edificio



ESECUZIONE DEGLI SCAVI

Per scavi di sbancamento profondi è necessario realizzare una rampa di accesso per gli automezzi, le cui dimensioni sono funzione delle caratteristiche dei mezzi impegnati. La rampa dovrà essere attrezzata con parapetti di protezione, per minimizzare il rischio di caduta dall'alto dei lavoratori.

Sul fondo dello scavo, dopo avere eseguito *battute di livellazione*, si posizionano le *modine*, *caprette*, procedendo alle operazioni di tracciamento delle fondazioni.



ESECUZIONE DEGLI SCAVI

**BARRIERE
DI PROTEZIONE
DELLO SCAVO
DI SBANCAMENTO**

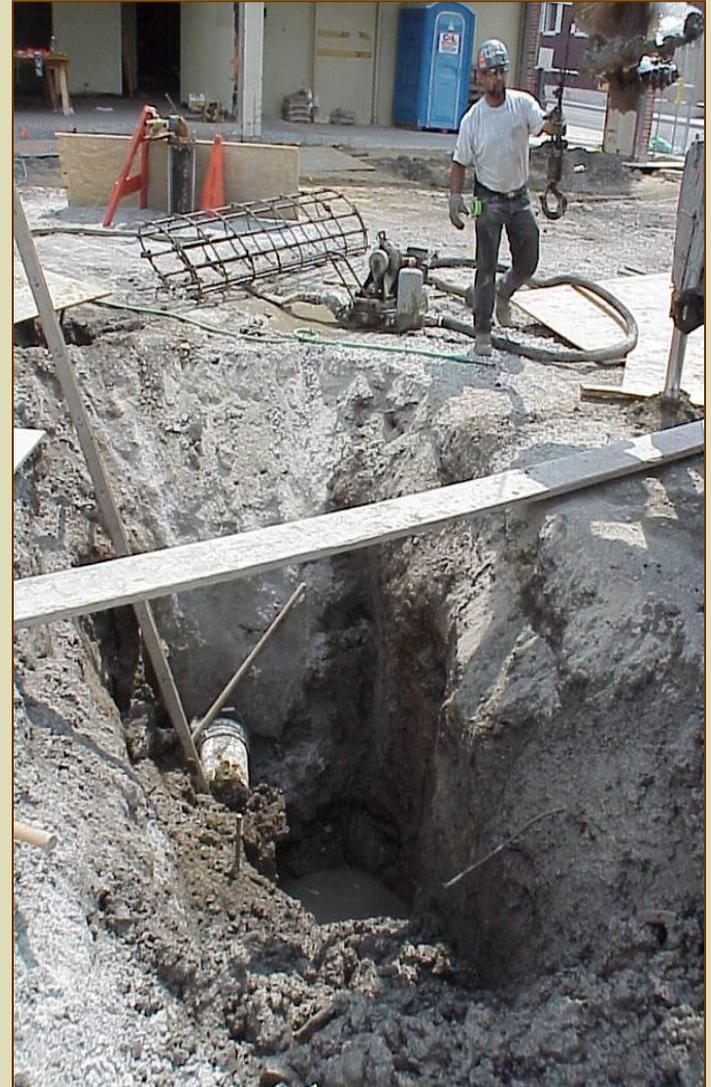
**CAVALLETTI PER I PUNTI DI
RIFERIMENTO
(TRACCIAMENTO FONDAZIONI)**

NORMATIVA SULLA SICUREZZA
IL CIGLIO DELLO SCAVO DEVE ESSERE MESSO IN
SICUREZZA CON DELLE BARRIERE DI PROTEZIONE



ESECUZIONE DEGLI SCAVI

Scavi eseguiti senza alcuna sicurezza



SCAVI A SEZIONE OBBLIGATA

Gli scavi a sezione obbligata vengono effettuati in tutte quelle attività dove la sezione dello scavo è vincolata allo stato dei luoghi e/o alla presenza di strutture o servizi.

Questa tipologia di scavi a cielo aperto presenta pareti verticali o subverticali, e viene effettuata spesso nei centri urbani per realizzare trincee, pozzi, sottomurazioni e fondazioni o servizi interrati.

È caratterizzata da una elevata lunghezza.

La sezione ristretta è fonte di pericolo:

- ❖ per il distacco di blocchi di terreno dalla pareti;
- ❖ per la limitatezza della via di fuga;
- ❖ per la bassa velocità di scampo consentita agli operatori, in caso di pericolo, per raggiungere un luogo sicuro.



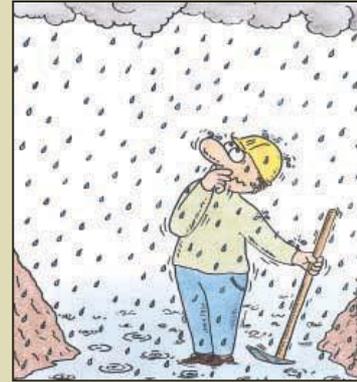
Recentemente sono state immesse sul mercato macchine per lo scavo parallelepipedale a sezione obbligata che consentono di scavare le dimensioni minime necessarie.

SCAVI A SEZIONE OBBLIGATA

Se negli scavi può verificarsi un accumulo di acqua, le precauzioni da prendere possono prevedere:

- ❖ armature particolari per evitare franamenti delle pareti dello scavo;
- ❖ sistemi adeguati per l'eliminazione delle acque o per il controllo del livello;
- ❖ uso di opportuni dispositivi di protezione individuali.

Se lo scavo interrompe il naturale drenaggio del terreno vanno predisposte canalizzazioni e/o barriere o altri adeguati mezzi per impedire l'allagamento dello scavo. Nell'eventualità di allagamento dell'area di scavo occorre attivare la procedura di emergenza, con la sospensione dei lavori, l'immediato allontanamento dei lavoratori e l'attivazione dei sistemi di smaltimento delle acque da parte degli addetti all'emergenza.



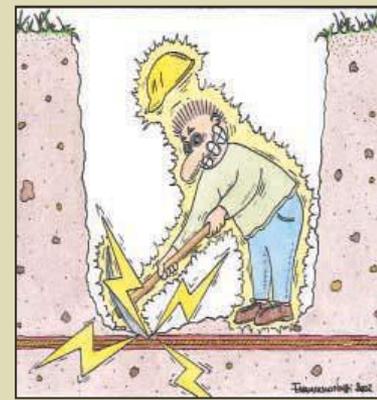
SCAVI A SEZIONE OBBLIGATA

La presenza di reti di servizio può provocare gravi incidenti, quando si fa uso di utensili o macchine di scavo, ossia nella quasi totalità dei contesti operativi presi in considerazione.

Se gli scavi devono essere effettuati in prossimità di gasdotti o linee elettriche sotterranee, occorre comunicarlo all'azienda erogatrice e ottenere le necessarie autorizzazioni.

Quando non è possibile stabilire l'esatta posizione delle canalizzazioni, nemmeno con sistemi elettronici di rilevamento, il lavoro deve essere svolto con cautela e, se possibile, con scavo manuale.

Per garantire la salubrità dell'aria nella trincea e la sicurezza dei lavoratori dal rischio incendio o esplosione, si dovrà disporre all'occorrenza di strumenti di rilevazione di gas nocivi od esplosivi.



EVOLUZIONE SCAVI A SEZIONE OBBLIGATA

Lo scavo tradizionale, a causa della sezione di scavo più ampia, richiede del materiale di ripristino per metro lineare nettamente più alto oltre ad un trasposto superiore dei materiali in eccedenza in termini di metri cubi.



Tali macchine cingolate sono in genere equipaggiate con **bracci** e **catene di scavo** per terreno normale, terreno asfaltato e terreno con sottofondi rocciosi.

SISTEMI PROVVISORIALI DI SOSTEGNO E PROTEZIONE DEGLI SCAVI

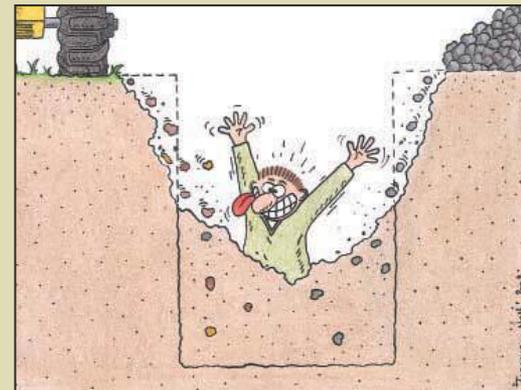
I lavoratori che operano all'interno dello scavo devono essere sempre protetti dalla possibile caduta di terreno, detriti o frammenti di roccia che si possono staccare dalle pareti dello scavo stesso.

I sistemi provvisori di sostegno e di protezione devono garantire la resistenza alle sollecitazioni provocate da:

- ❖ **pressione del terreno**;
- ❖ **strutture adiacenti lo scavo**;
- ❖ **carichi addizionali e vibrazioni** (materiale in deposito, traffico di automezzi, ecc.).

La scelta del tipo di armatura e del materiale da utilizzare dipende principalmente:

- ❖ dalla **natura del terreno**;
- ❖ dal **contesto ambientale**;
- ❖ dal **tipologia di scavo da eseguire**.



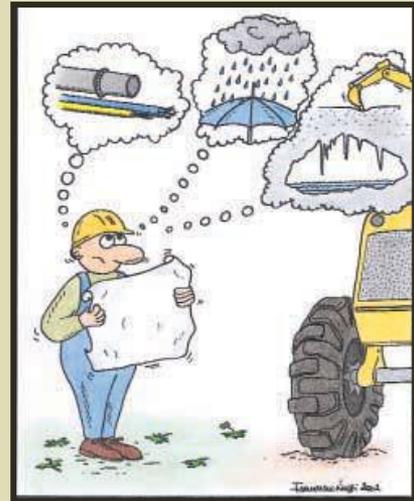
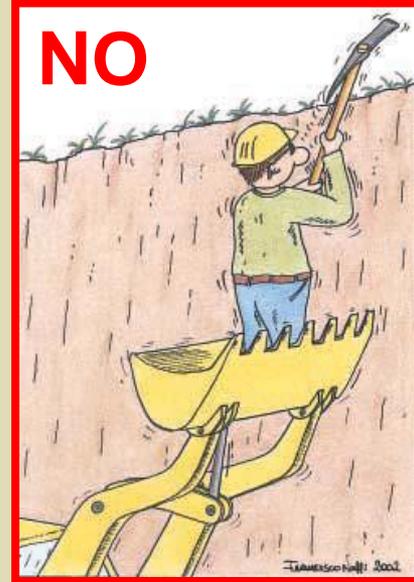
ARMATURA PER SCAVI IN TERRENI COERENTI

Nella esecuzione di scavi in terreni coerenti si possono presentare due casi:

- ❖ terreni con sufficiente coesione;
- ❖ terreni con buona coesione.

Nel primo caso, quando lo scavo non è realizzabile in sicurezza fino alla profondità voluta, si procede parzialmente con lo scavo fino a **80-120** cm, si dispone l'armatura e si continua successivamente in maniera analoga fino alla profondità richiesta.

Nel secondo caso, è sufficiente installare dei pannelli di legno, contro le pareti dello scavo, di altezza tale da sbordare il ciglio, da fissare poi a *puntoni* di legno provvisori: successivamente è consentito agli addetti la discesa in trincea ed il posizionamento degli elementi di contrasto definitivi.



ARMATURA PER SCAVI IN TERRENI COERENTI

L'installazione dell'armatura di protezione, deve essere effettuata dall'alto verso il basso, i puntoni posti in basso vanno collocati ad una distanza massima di 20 cm dal fondo dello scavo ed i successivi secondo quanto previsto dal progetto.

In caso di utilizzo di un pannello di legno o di acciaio tra armatura e parete, il puntone deve essere collocato sull'elemento verticale che lo sostiene e non direttamente sul pannello.

Con questa tipologia di armatura è necessario installare almeno 2 puntoni per ogni coppia di montanti verticali. Dopo aver installato il primo puntone in alto, si può procedere alla sistemazione del secondo puntone posto in basso.



ARMATURA PER SCAVI IN TERRENI GRANULARI

Quando sono presenti terreni in cui non è possibile scavare senza possibili cedimenti o scavi in zone urbane ove si deve evitare qualsiasi depressione nel terreno si deve utilizzare una procedura specifica *armatura a marciavanti* che prevede:

- ❖ lo scavo per circa 80 cm con le pareti verticali aventi una leggera inclinazione verso l'esterno dello scavo;
- ❖ l'infissione nel terreno delle armature;
- ❖ l'installazione di puntoni di contrasto;
- ❖ il proseguimento dello scavo secondo le modalità precedenti realizzando un secondo modulo di armatura con la stessa inclinazione di quella precedente fino alla profondità richiesta.

Con tale metodologia si possono effettuare scavi relativamente profondi e la realizzazione deve essere eseguita a regola d'arte con attrezzature dedicate e personale specializzato.



RIMOZIONE DELL'ARMATURA

La rimozione dell'armatura di sostegno delle pareti dello scavo deve tenere conto di quanto segue:

- ❖ il disarmo deve procedere dal basso verso l'alto;
- ❖ la procedura di rimozione deve indicare sequenze ed accorgimenti tali da proteggere sempre il lavoratore che si trova dentro lo scavo;
- ❖ quando viene rilevata una pressione del terreno sul sistema di protezione dello scavo, prima si deve procedere al riempimento dello scavo e successivamente alla rimozione dei puntoni e dei montanti;
- ❖ il disarmo deve essere effettuato possibilmente con le stesse maestranze che hanno installato l'armatura, per poter verificare, rispetto alla fase di installazione, se sono sopraggiunte nuove condizioni di rischio.

TIPOLOGIA DI SISTEMI METALLICI DI PUNTELLAMENTO PER SCAVI

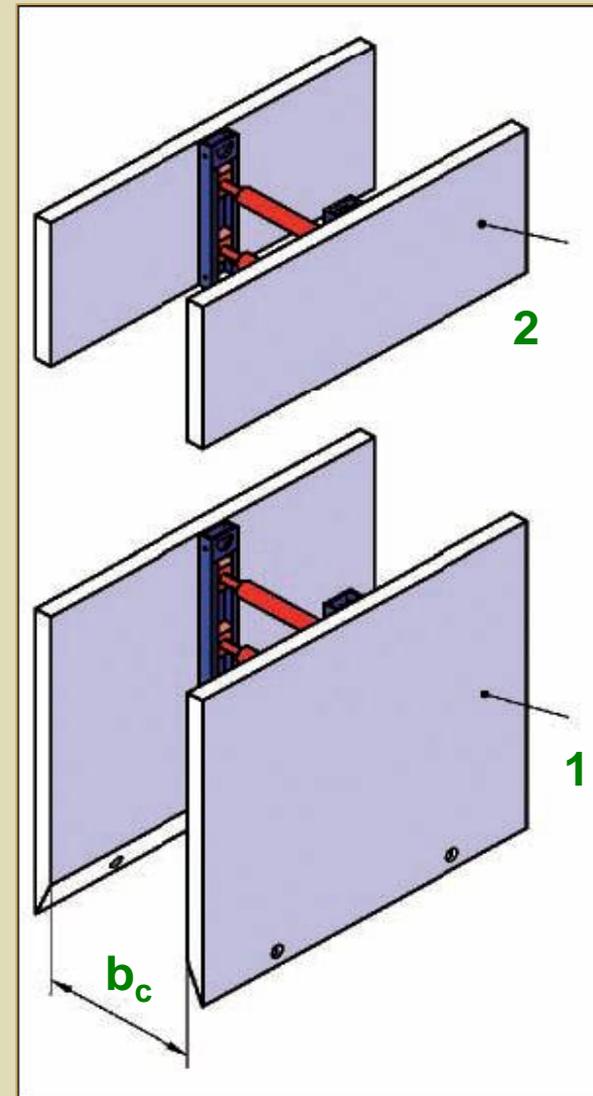
I sistemi di puntellamento metallici per scavi sono normati dalla UNI EN 13331-1 secondo *quattro* tipologie così definite:

- 1) Sistema di puntellamento per scavi supportato al centro (tipo **CS**);
- 2) Sistema di puntellamento per scavi supportato ai bordi (tipo **ES**);
- 3) Sistema di puntellamento per scavi su rotaia di scorrimento (tipo **R**), singola (**RS**), doppia (**RD**) o tripla (**RT**);
- 4) Sistema di puntellamento per scavi supportato ai bordi da trascinare orizzontalmente: cassa a trascinamento (tipo **DB**).

SISTEMA DI PUNTELLAMENTO TIPO CS

Il sistema, denominato *tipo CS*, è costituito da coppie di pannelli collegati mediante puntelli fissati lungo la loro linea mediana verticale formanti l'unità o modulo e deve possedere le seguenti caratteristiche:

- ❖ il sistema di puntellamento deve essere costituito da almeno due unità;
- ❖ i bordi verticali fra le due unità devono risultare sempre collegati;
- ❖ il sistema di puntellamento non deve avere più di un modulo superiore;
- ❖ il modulo superiore, **2**, deve disporre di almeno due puntelli sull'armatura del pannello.



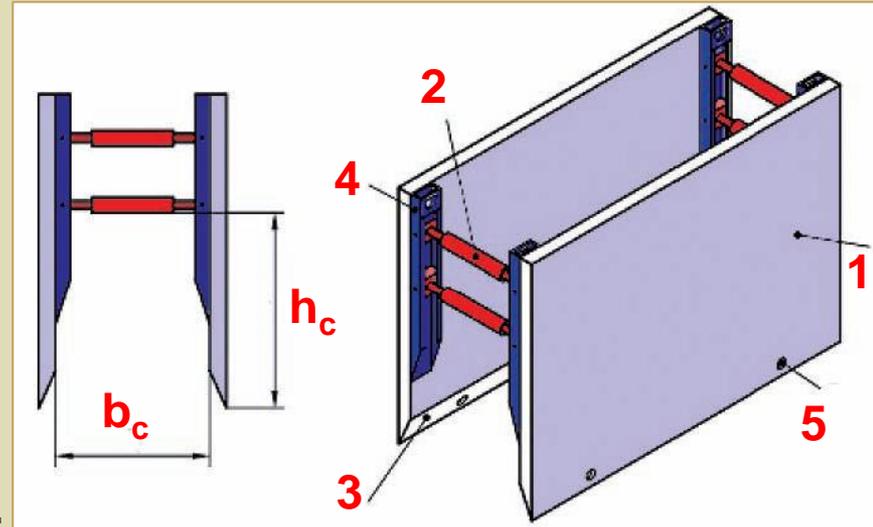
Il sistema è caratterizzato dalla larghezza interna di puntellazione b_c .

Il profilo inferiore a lama ne facilita il posizionamento.

SISTEMA DI PUNTELLAMENTO TIPO ES

Il sistema, denominato *tipo ES*, è costituito da coppie di pannelli collegati mediante puntelli fissati lungo i loro bordi verticali che formano l'unità o modulo. Tale sistema si distingue inoltre in:

- ❖ sistema di puntellamento per scavi supportato ai bordi **ES** con puntelli con regolazione variabile della lunghezza **SV**;
- ❖ sistema di puntellamento per scavi supportato ai bordi **ES** con puntelli con regolazione incrementale della lunghezza e collegamenti dei puntelli a rotazione limitata.

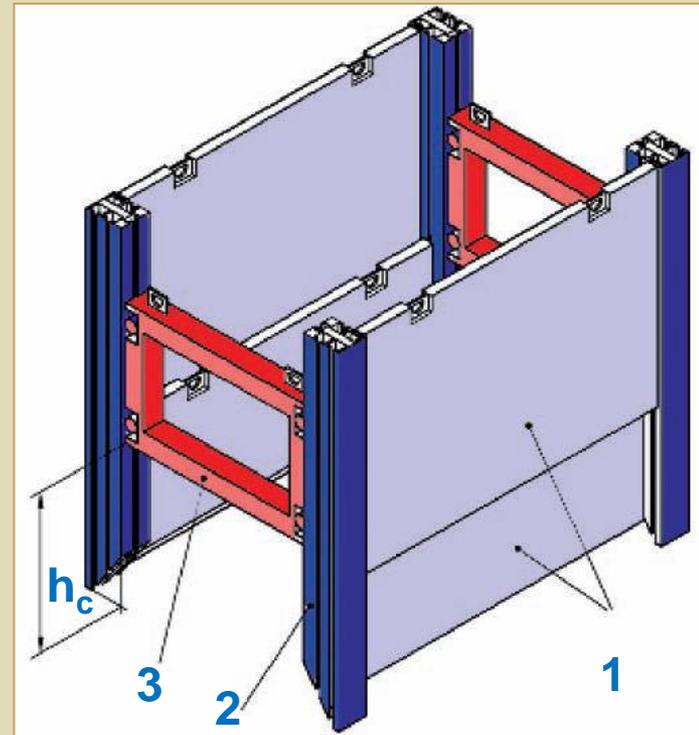


- 1** Pannello
- 2** Puntello con regolazione variabile e/o incrementale della lunghezza
- 3** Bordo di taglio
- 4** Armatura pannello
- 5** Punto di movimentazione
- b_c** Larghezza interna puntellamento per scavi
- h_c** Distanza del puntello dalla base

SISTEMA DI PUNTELLAMENTO SU ROTAIA DI SCORRIMENTO (TIPO R), SINGOLA (RS), DOPPIA (RD) O TRIPLA (RT)

Il sistema, denominato *tipo R*, è costituito da pannelli che possono essere spostati verso l'alto o verso il basso, sulle armature provviste di coppie di scanalature singole o multiple, realizzate su rotaie di scorrimento distanziate da puntelli o telai di sostegno e formanti l'unità o modulo

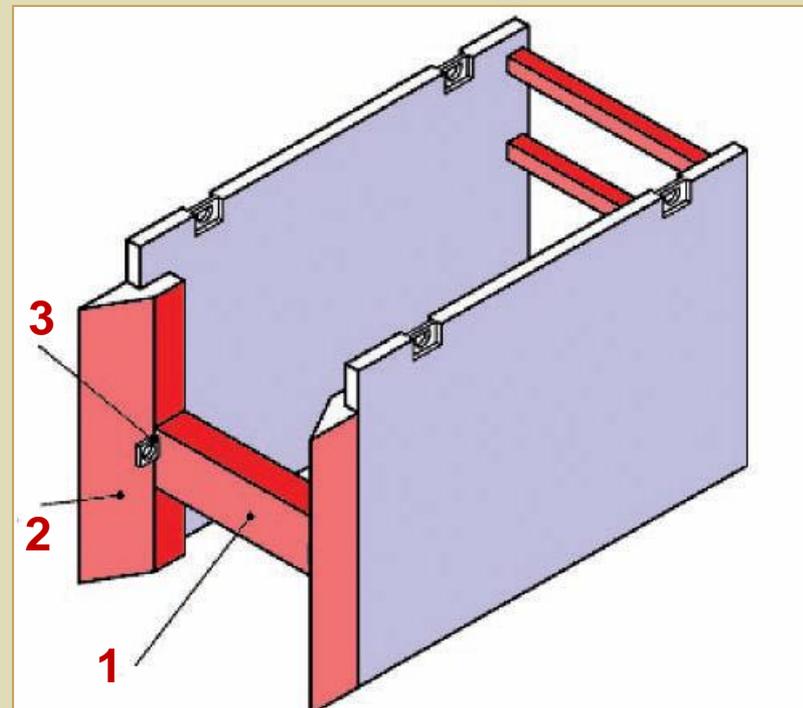
Le guide multiple permettono l'inserimento e l'estrazione dei pannelli in maniera indipendente, in quanto scorrono su guide parallele: con questo sistema il pannello sottostante può essere estratto, lasciando inserito quello superiore, evitando così cedimenti.



- 1 Pannello
- 2 Rotaia di scorrimento
- 3 Telaio di sostegno
- h_c Distanza del puntello dalla base

SISTEMA DI PUNTELLAMENTO PER SCAVI SUPPORTATO AI BORDI DA TRASCINARE ORIZZONTALMENTE: CASSA A TRASCINAMENTO (TIPO DB)

Il sistema, denominato *tipo DB*, dispone di punti di attacco per il trascinamento orizzontale, punti di trazione, e di bordi di taglio nell'estremità anteriore e di possibili bordi di taglio nella base.



- 1** Puntello di estremità anteriore
- 2** Bordo di taglio
- 3** Punto di trazione

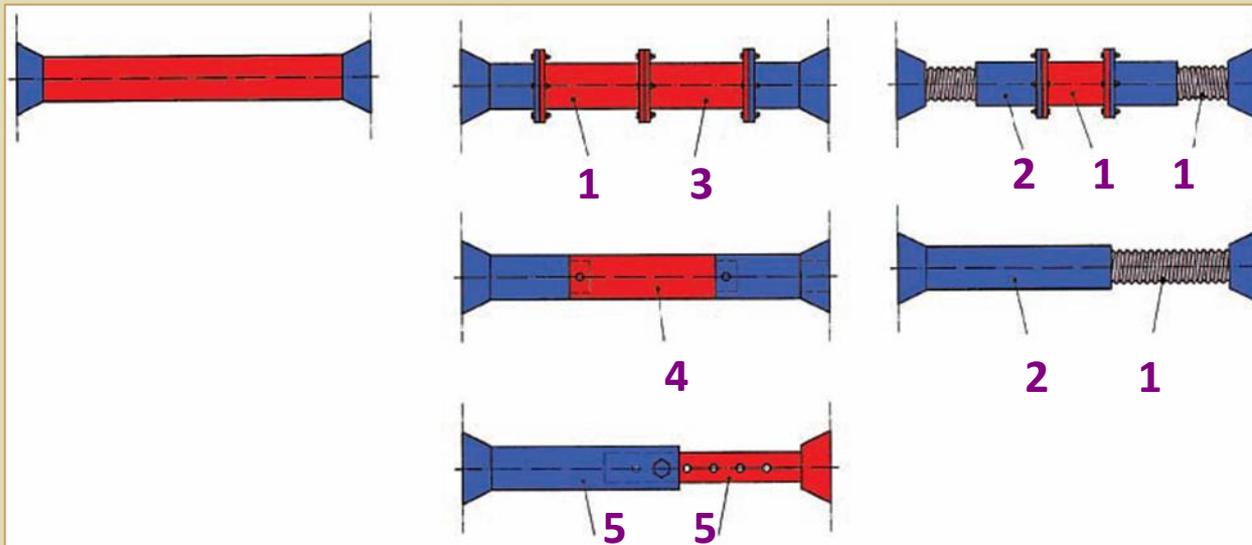
PUNTELLI

Il puntello è un componente che resiste alle forze di compressione e trazione e può resistere ai momenti nei collegamenti terminali.

Esso è elemento necessario sia nei sistemi di puntellazione per scavi che nei sistemi di sostegno e contrasto mediante infissione di palancole prefabbricate.

I puntelli si distinguono nei seguenti tipi:

1. puntelli non regolabili, **SN**;
2. puntelli con regolazione della lunghezza incrementale, **SI**;
3. puntelli con regolazione della lunghezza variabile, **SV**.



SN

SI

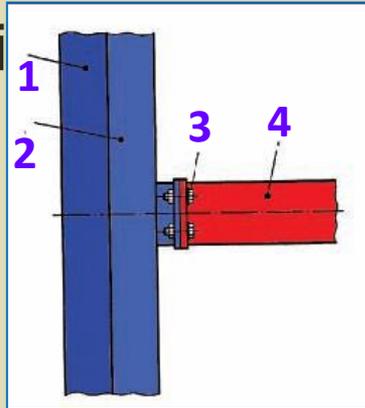
SV

- 1 Albero filettato
- 2 Dado
- 3 Prolunga
- 4 Barra di prolunga con collegamento con boccola e spina incavigliata
- 5 Tubi telescopici

PUNTELLI

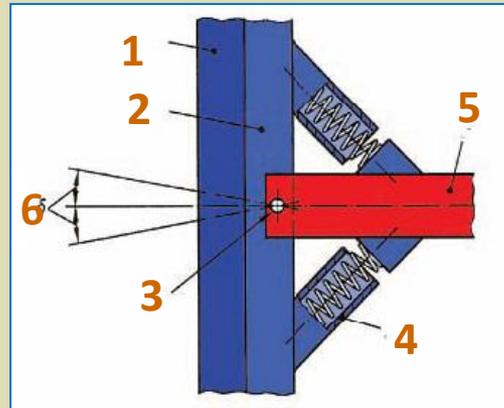
I puntelli possono essere collegati all'armatura del pannello con sistemi di collegamento:

❖ **fissi**



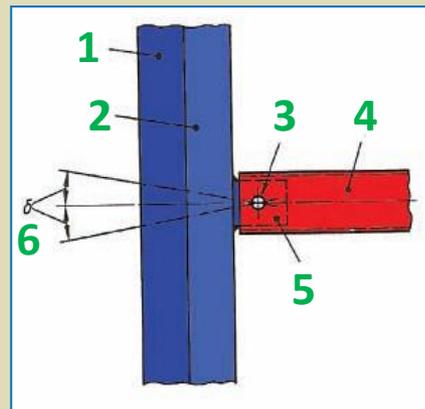
- 1 Pannello
- 2 Armatura pannello
- 3 Bulloni
- 4 Puntello

❖ **articolati**



- 1 Pannello
- 2 Armatura pannello
- 3 Perno
- 4 Dispositivo di limitazione della rotazione
- 5 Puntello
- 6 Angolo di rotazione possibile

❖ **a rotazione**



- 1 Pannello
- 2 Armatura pannello
- 3 Perno
- 4 Puntello
- 5 Connettore puntello / pannello
- 6 Angolo di rotazione possibile

PUNTELLI

Nel sistema fisso, il puntello è completamente bloccato rispetto al pannello o alla rotaia di scorrimento.

Nel sistema articolato, la rotazione del puntello è limitata, da idonei dispositivi meccanici, nel punto in cui incontra il pannello o la rotaia di scorrimento.

Nel sistema a rotazione, la rotazione del puntello è limitata, da distanze idonee costruttive, nel punto in cui incontra il pannello o la rotaia di scorrimento.



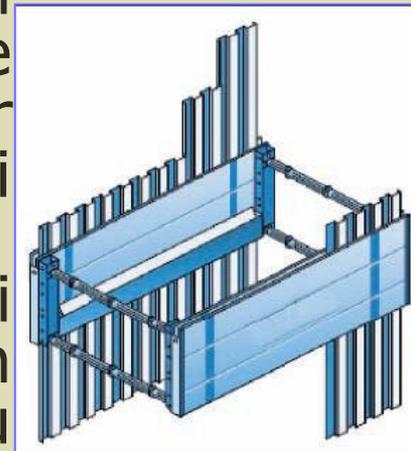
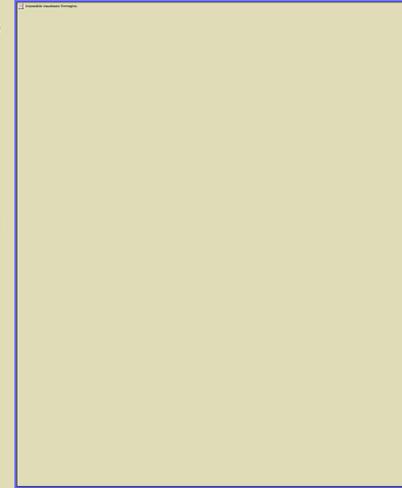
SISTEMI DI SOSTEGNO E CONTRASTO MEDIANTE INFISSIONE DI PALANCOLE PREFABBRICATE

La palanca è un elemento in acciaio, di opportuno profilo, provvisto di incastri (*guida metallica* o *gargame*) maschio-femmina che, collegati fra loro ed infissi nel terreno, formano un pannello continuo resistente alla spinta laterale del terreno.

I profili delle palanche si distinguono in sezione ad U ed a Z, la loro lunghezza varia a secondo dei produttori e per gli utilizzi abituali può arrivare fino a 12 m circa.

Alcuni sistemi di palanche, palancolato, sono costituiti dall'unione di palanche inserite in un cassero portapalanche che ha il duplice scopo di contrasto e guida dentro cui far passare le palanche stesse ed è provvisto di un elemento di regolazione.

Tale sistema viene utilizzato in scavi attraversati da sottoservizi e, consente con un opportuno posizionamento di una o più palanche, di attraversarli senza interromperli e senza indebolire il blindaggio.



SISTEMI DI SOSTEGNO E CONTRASTO

I sistemi di sostegno e contrasto devono essere installati secondo le istruzioni fornite dal fabbricante e vengono messi in opera a seconda della tipologia che può essere:

- ❖ **con cassoni;**
- ❖ **per infissione.**

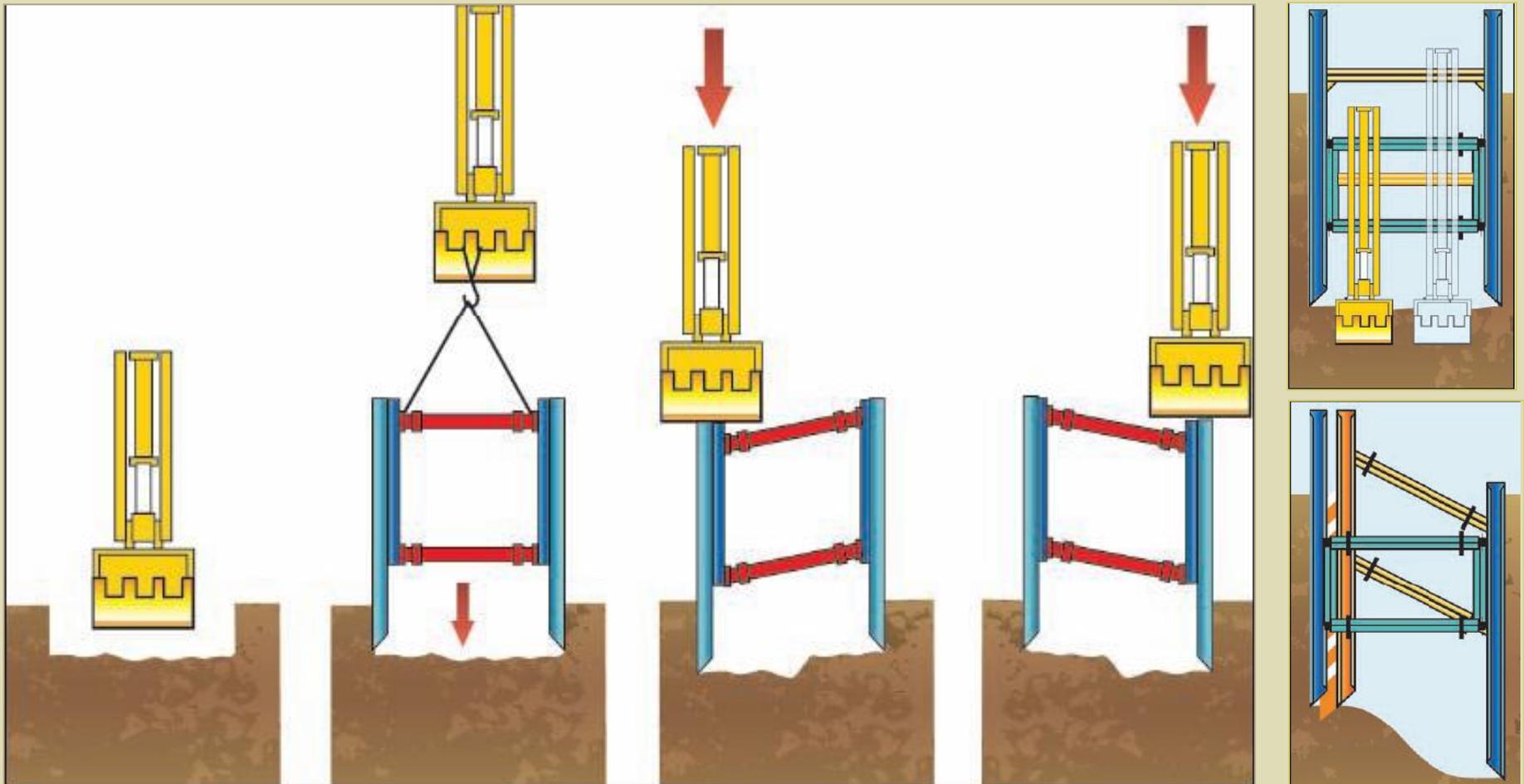
L'installazione di **sistemi di blindaggio** con *cassoni* avviene con il metodo di:

- 1. *taglio e spinta verso il basso di sistemi con bordi di taglio;***
- 2. *posa.***

METODO DI TAGLIO E SPINTA VERSO IL BASSO

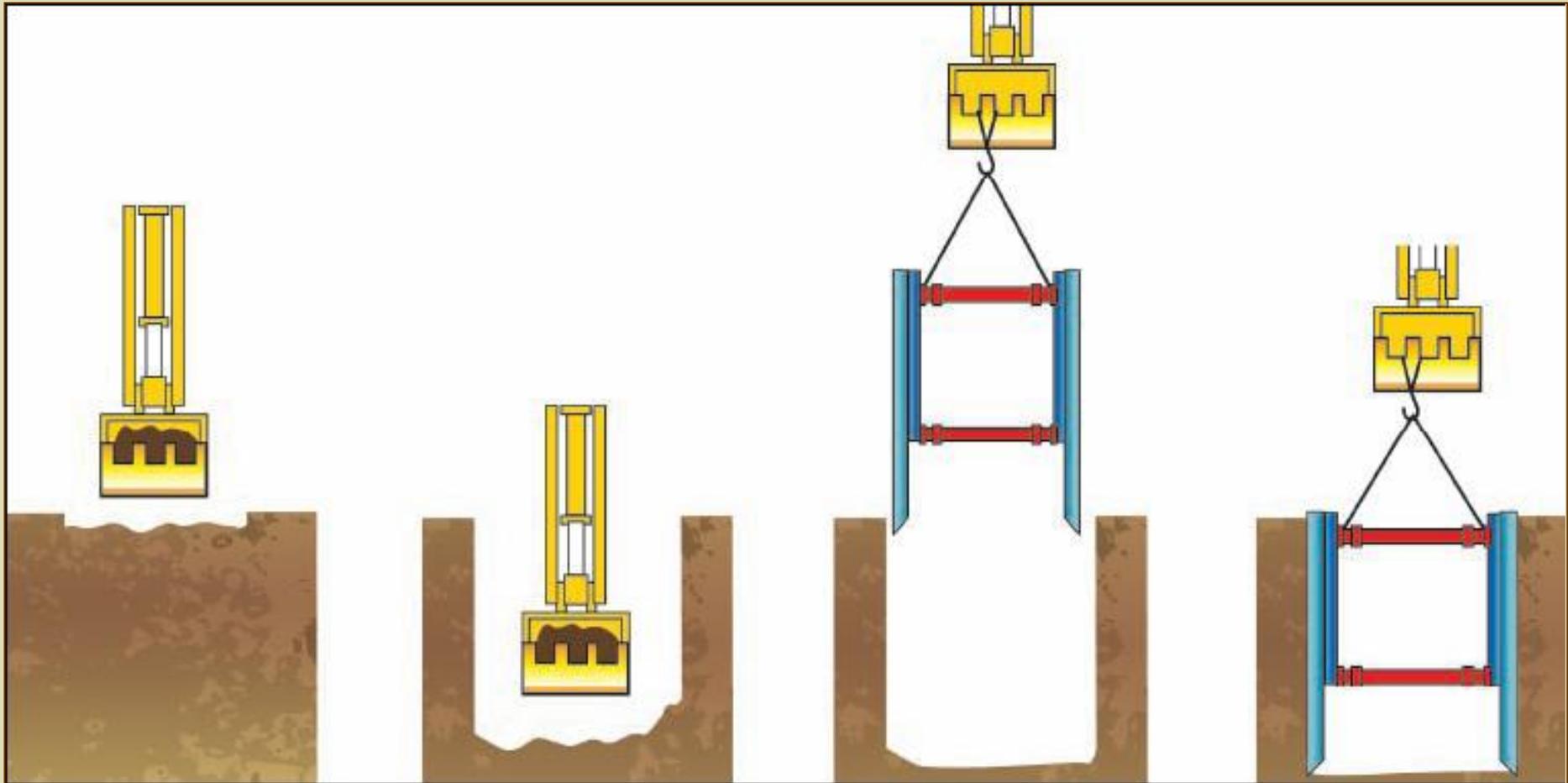
Il metodo di *taglio e spinta verso il basso*, il cassone è installato mentre si scava, spingendo ciascun pannello verso il basso con la benna dell'escavatore.

Successivamente si scava all'interno ed i pannelli sono così spinti alternativamente su ogni montante angolare.



METODO DI POSA

Nel metodo di *posa* si esegue prima lo scavo delle dimensioni in pianta del cassone e poi lo si posa verticalmente nello scavo.



SISTEMI DI INFISSIONE

L'installazione di sistemi *per infissione* nel terreno prevede l'utilizzo di speciali macchine che si distinguono per il sistema di azione:

- ❖ **a percussione (battipalo);**
- ❖ **a vibro - infissione;**
- ❖ **a presso – inflessione (statico).**

L'infissione a percussione si realizza mediante:



- ❖ martelli a caduta libera;
- ❖ martelli diesel;
- ❖ martelli idraulici a doppia azione;
- ❖ martelli a doppia azione rapida.

Il sistema è composto da una mazza cadente, che agisce in caduta libera o accelerata da un motore e viene sollevata e fatta cadere sulla palancola per batterla nel terreno.

SISTEMA A VIBRAZIONE

Il sistema a vibro-infissione può essere a:

- ❖ **vibro infissione;**
- ❖ **vibroinfissione a colpi.**



Nella *vibro infissione* una testa vibrante, appesa ad un'autogrù a fune o al braccio di un escavatore idraulico, afferra con una pinza idraulica la palancola e la mette in vibrazione. Le vibrazioni, trasmesse dalla testa vibrante alla palancola, sono trasferite a loro volta nel terreno che, sgretolandosi fa scendere nel terreno per peso proprio la palancola. Nella fase di estrazione le vibrazioni vincono l'attrito laterale del terreno intorno alla palancola che è estratta con l'autogrù o con l'escavatore.

Nella *vibro infissione a colpi* un vibro infissore agisce sulla palancola come un martello idraulico, assestando ad altissima frequenza colpi ascendenti e discendenti, vincendo così l'attrito del terreno.

Con tale sistema si limita sia la propagazione delle vibrazioni in direzione orizzontale che il fenomeno di risonanza in fase d'avvio ed in fase d'arresto, riducendo il rischio per il gruista ed il danno alla gru.

SISTEMA STATICO O A PRESSIONE IDRAULICA

Il sistema statico o a pressione idraulica è composto da un braccio meccanico che afferra la palancola e la spinge per un tratto nel terreno mediante pressione.

Le presse per palancole sono nate in alternativa ai metodi classici per eliminare il rumore generato in fase d'infissione, che per anni era stato considerato una controindicazione inevitabile.

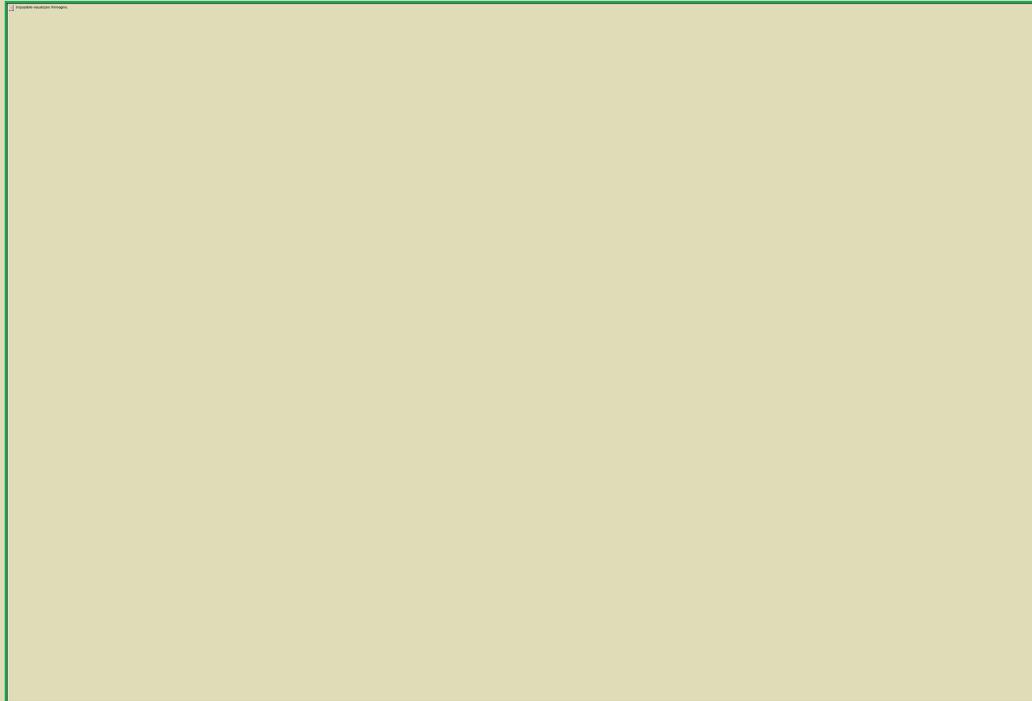
L'infissione avviene anche sfruttando il peso dell'attrezzatura stessa e la resistenza all'estrazione delle palancole precedentemente infisse sulle quali si fa leva. L'assenza di vibrazione consente l'applicazione del *palancolato* anche a distanza ridotta da strutture esistenti, eliminando il rischio di danni collaterali per cedimenti o altri danni che le vibrazioni possono provocare.



BLINDAGGIO AD UNA ROTAIA CON DISTANZIALI MOBILI A TELAIO DI SOSTEGNO AD ANGOLO RETTO

Nel sistema di blindaggio a scorrimento con singola rotaia, le travi e i pannelli di blindaggio vengono fatti avanzare verticalmente, sotto un precedente sterro di max. 0,5 m, a seconda della stabilità del terreno.

Con tale sistema il terreno fuori dallo scavo rimane intatto e non si hanno danni alle costruzioni, né disturbi al traffico veicolare, che si trova nelle vicinanze.



SISTEMA DI PUNTELLAMENTO PER SCAVI A DUE ROTAIE DI SCORRIMENTO

I sistemi di blindaggio provvisti di due travi a rotaie doppie ed almeno due distanziali formano un insieme a guida stabile e graduale.

Nel sistema di blindaggio a scorrimento graduale, le travi e i pannelli di blindaggio vengono fatti avanzare in verticale, sotto un precedente sterro di max. 0,50 m, a seconda della stabilità del terreno.

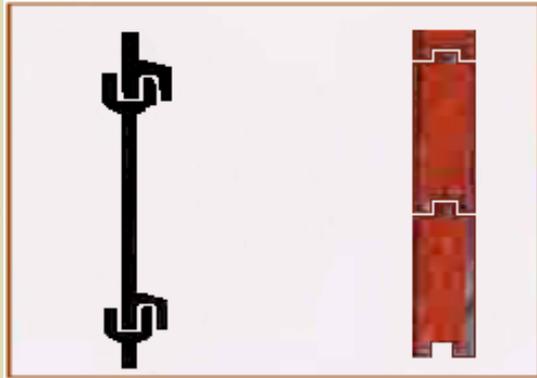
Le guide a due rotaie permettono l'inserimento e l'estrazione dei pannelli in maniera indipendente, in quanto scorrono su guide parallele: con questo sistema il pannello sottostante può essere estratto, lasciando inserito quello superiore



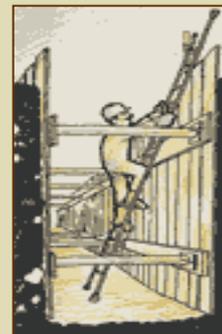
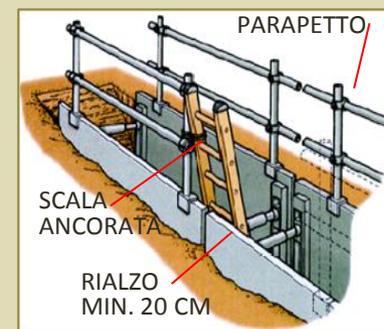
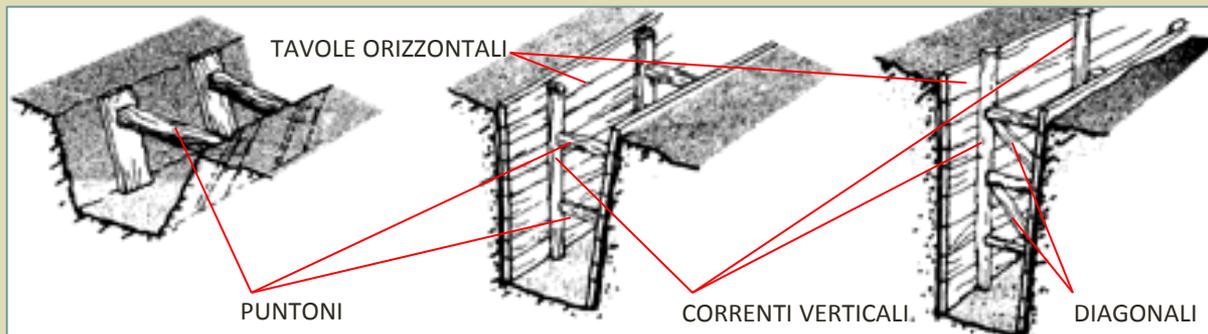
PUNTELLAMENTO E PROTEZIONE DI SCAVI ORDINARI

Le pareti di scavo, per profondità superiori a 1,50 m, devono essere **sempre** protette con idonee puntellature.

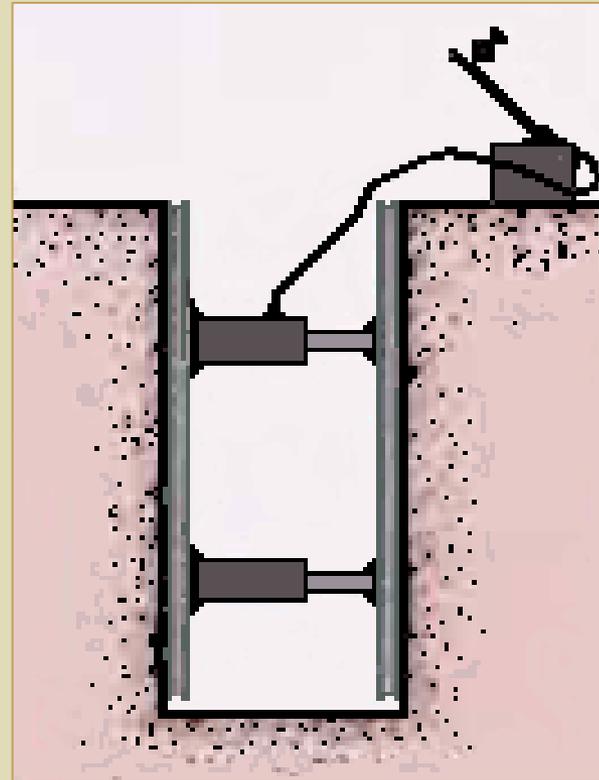
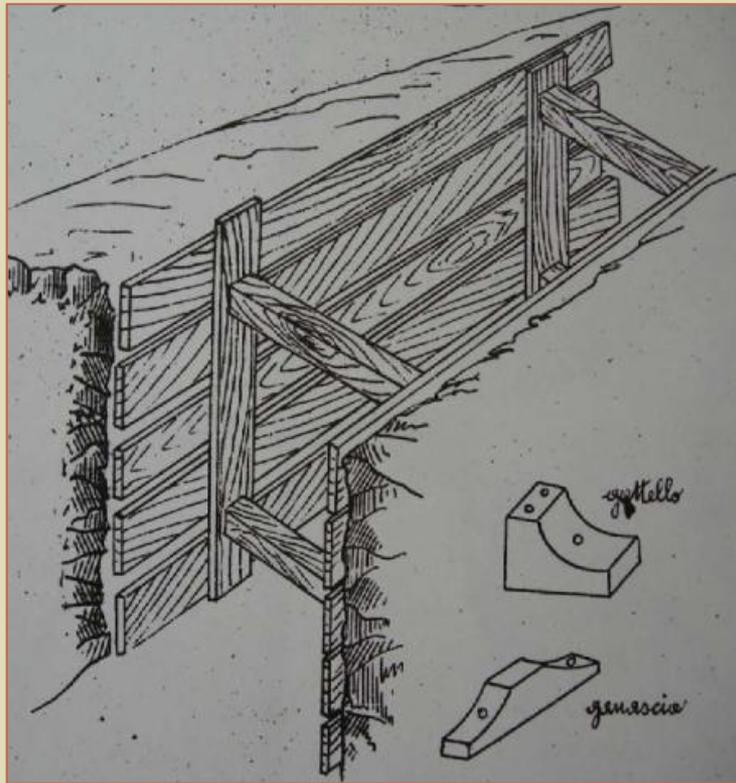
PALANCOLE IN FERRO E IN LEGNO



Gli scavi in trincea vanno poi attrezzati con scale a pioli, ancorate stabilmente per consentire agli operatori di lavorare in sicurezza e di risalire agevolmente in caso di pericolo. I bordi dello scavo devono essere protetti da bordi rialzati di almeno 30 cm sul piano di campagna.



PUNTELLAMENTO E PROTEZIONE DI SCAVI ORDINARI



Puntellamento rapido con puntoni estensibili



Università degli Studi di Napoli FEDERICO II
Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale
ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

prof. Fabrizio Leccisi
a.a. 2015-16

**TRASPORTO A RIFIUTO DI TERRE E
ROCCHE DI SCAVO**



MATERIALE DA SCAVO

Per **materiale da scavo** si intende:

- ❖ il suolo o sottosuolo, con eventuali presenze di riporto, derivante dalla realizzazione di un'opera (es. scavi, trivellazioni, infrastrutture);
- ❖ i materiali litoidi in genere provenienti da escavazioni (ad es. effettuate negli alvei, nei corpi idrici superficiali, nelle aree golenali dei corsi idrici, nei fondali lacustri);
- ❖ i residui di lavorazione di materiali lapidei (marmi, graniti, pietre, ecc.) anche non connessi alla realizzazione di un'opera e non contenenti sostanze pericolose.

I *materiali da scavo*, anche di gallerie, non costituiscono rifiuti e sono esclusi dal campo di applicazione del D.Lgs 152/2006 e s.m. e i. e possono contenere anche materiali come calcestruzzo, bentonite, PVC, vetroresina, miscele cementizie e additivi per scavo meccanizzato, purché non siano superate le concentrazioni massime di inquinanti previste dal D.M. 161/2012.

MATERIALE DA SCAVO

Il D.M. 161/2012 ne consente il *riutilizzo* e la *commercializzazione* in quanto **sottoprodotti**. Va però redatto il **piano di utilizzo** per la corretta gestione dei materiali da riporto e per certificarne le **caratteristiche chimico - fisiche**.

Tutte le tariffe prevedono che lo scavo sia pagato per un volume uguale a quello risultante dal prodotto tra la superficie della fondazione e la profondità di scavo, come indicato dal *Capitolato Speciale Tipo per appalti di*



lavori edilizi del Ministero dei Lavori Pubblici all'art. 72.1 *Scavi in Genere*, messo a punto negli anni '50 dello scorso secolo. Si sottolinea, inoltre, che il volume degli scavi aumenta in funzione del tipo di terreno.

GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

La normativa attuale in merito alla gestione delle terre e rocce da scavo è disciplinata dal D.Lgs. n°152/06 s.m.i., dalla L. 98/2013 (artt. 41 e 41 bis) e dal D.M. Ambiente 10 agosto 2012, n. 161. Le terre e le rocce da scavo possono essere riutilizzate nello stesso sito in cui sono state scavate e non conferite ad un centro autorizzato dalla Provincia a condizione che:

- 1. siano impiegate direttamente nell'ambito di opere o interventi preventivamente individuati e definiti;*
- 2. sin dalla fase di produzione vi sia certezza dell'integrale utilizzo;*
- 3. l'utilizzo integrale sia tecnicamente possibile senza necessità di preventivo trattamento o di trasformazioni preliminari;*
- 4. sia garantito un elevato livello di tutela ambientale;*
- 5. sia accertato che non provengono da siti contaminati;*
- 6. le caratteristiche chimiche e chimico-fisiche siano tali da non determinare rischi per la salute e per la qualità ambientale;*
- 7. sia dimostrata la certezza del loro integrale utilizzo.*

GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

Secondo il disposto della L. n 98/2013 art. 41 c. 3, per riutilizzare presso il sito di produzione eventuali matrici di riporto, queste devono essere sottoposte a cura dell'impresa esecutrice ad **analisi chimico-fisiche**.

Per opere ed interventi sottoposti a procedure di Valutazione di Impatto Ambientale, o Autorizzazione Integrata Ambientale, la gestione delle terre e rocce da scavo in qualità di *sottoprodotti* è normata dal D.M. 161/2012, che prevede la redazione del **Piano di Utilizzo** e la trasmissione all'autorità competente che previa verifica lo approva. Per interventi esclusi dalle procedure di V.I.A. o A.I.A., la gestione delle terre e rocce da scavo quali sottoprodotti è normata dalla Legge 98/2013, artt. 41 e 41 bis, per i quali il proponente attesta il rispetto delle condizioni con una dichiarazione all'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, A.R.P.A., ai sensi e per gli effetti del D.P.R. 445/2000.

GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

Le *terre e rocce da scavo*, che in teoria potrebbero essere riutilizzate, ma che al momento della loro formazione non hanno certezza di effettivo utilizzo per motivi di varia natura (indisponibilità di siti, materiale non idoneo dal punto di vista prestazionale, vincoli particolari etc.), sono considerati **rifiuti speciali** (codice CER 170504) e devono essere smaltiti presso un centro autorizzato dalla Provincia, individuando al contempo in cantiere l'eventuale deposito temporaneo, che non deve superare i **3** mesi o i **20** m³.

Il trasporto, effettuato da ditte iscritte all'Albo Gestori Ambientali o dell'impresa stessa previa richiesta all'Albo per il trasporto in conto proprio con obbligo di emissione, deve essere sempre accompagnato dal **Formulario Rifiuti FIR** da parte del produttore.

GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

Nel formulario va sempre indicata la quantità di rifiuti in **Kg** o in **litri**.

Solo nei casi in cui vi è la possibilità che durante il percorso il carico possa mutare per motivi fisiologici, è possibile barrare anche la seconda opzione, che ha un ruolo meramente integrativo e non alternativo, in caso di divergenze anche notevoli tra il peso dichiarato e quello reale, specialmente per evitare possibili episodi di frode.

FORMULARIO DI IDENTIFICAZIONE RIFIUTO (DL n. 22 del 05/02/97 art. 15)		Serie e Numero: _____ del ____/____/____	
(1) Produttore/Detentore:			
unità locale:			
C.fisc.:	N. Aut/Albo:	del ____/____/____	
(2) Destinatario:			
Luogo di destinazione:			
C.fisc.:	N. Aut/Albo:	del ____/____/____	
(3) Trasportatore del rifiuto:			
C.fisc.:	N. Aut/Albo:	del ____/____/____	
Trasporto di rifiuti non pericolosi prodotti nel proprio stabilimento (...) di			
Annotazioni:			
(4) Caratteristiche del rifiuto:		Descrizione:	
		Codice Europeo:	
		Stato fisico: [1] [2] [3] [4]	
		Caratteristiche di pericolo:	
		N. Colli/contenitori:	
(5) Rifiuto destinato a: [recupero/smaltimento]			
Caratteristiche chimico-fisiche			
(6) Quantità: (-) kg o litri		(P.Lordo: Tara:)	
(-) Peso da verificarsi a destino.			
(7) Percorso (se diverso dal più breve):			
(8) Trasporto sottoposto a normativa ADR/RID: (SI) (NO)			
(9) Firme:			
FIRMA DEL PRODUTTORE/DETTENTORE: *			
FIRMA DEL TRASPORTATORE: *			
(10) Cognome e nome conducente:		Targa automezzo:	
		Targa rimorchio:	
Data/ora inizio trasporto:		del ____/____/____	
(11) - Riservato al destinatario -			
Si dichiara che il carico è stato:		(-) accettato per intero	
		(-) accettato per la seguente quantità (kg o litri):	
		(-) respinto per le seguenti motivazioni:	
Data		FIRMA DEL DESTINATARIO: *	

TRASPORTO A RIFIUTO DEGLI SCAVI

Il formulario, redatto in **quattro** esemplari, deve essere:

- *datato e firmato su tutti e quattro gli esemplari dal detentore dei rifiuti;*
- *controfirmato su tutti e quattro gli esemplari dal trasportatore;*

La prima copia resta al detentore, mentre le altre tre copie sono acquisite dal trasportatore e devono essere controfirmate e datate in arrivo dal destinatario.

Di queste 3 copie 1 resta al destinatario e 2 sono acquisite dal trasportatore. Di queste due copie una resta al trasportatore e l'altra viene inviata dal trasportatore al detentore originale entro i **3** mesi successivi alla data del conferimento, che possono diventare **6** nel caso di spedizioni transfrontaliere.

TRASPORTO A RIFIUTO DEGLI SCAVI

Il trasportatore, che effettua stoccaggi in siti intermedi o depositi temporanei extra-aziendali, gestisce i rifiuti in modo illegale perché:

- ❖ il deposito va effettuato all'interno del luogo di produzione (a piè di macchina);
- ❖ ogni operazione che interrompe il trasporto va annotata come *sosta tecnica* e se vi è uno scarico ed un successivo carico di rifiuti questo deve essere documentato con l'emissione di un **nuovo formulario** e con le corrispondenti iscrizioni su un *registro di carico e scarico* di un destinatario autorizzato.

RIEPILOGO TRASPORTO A RIFIUTO DEGLI SCAVI

PRODUTTORE / DETENTORE DEL RIFIUTO

Consegna/ritiro assistita fin dal primo momento da **4** copie del formulario con firma e controfirma reciproca del produttore/detentore e del trasportatore



TRASPORTATORE

Ritorno del mezzo scarico in azienda ed invio al produttore della quarta copia del formulario controfirmata dal destinatario finale

TRASPORTATORE

Percorso di andata con instradamento prefissato e descritto nel formulario; viaggio assistito da **3** copie del formulario



NO SITO INTERMEDIO



TRASPORTATORE

Percorso di ritorno; viaggio assistito da **2** copie del formulario



DESTINAZIONE FINALE

Consegna/ritiro assistita dal formulario con firma e controfirma reciproca del trasportatore e del destinatario finale, con rilascio a quest'ultimo di **1** copia del formulario



Università degli Studi di Napoli FEDERICO II
Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale

ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

prof. Fabrizio Leccisi

a.a. 2014-15

ESECUZIONE DELLE FONDAZIONI



FONDAZIONI DIRETTE

In alcuni casi le armature delle fondazioni si posano direttamente sul terreno, avendo cura di scavare una maggiore larghezza (almeno 20 cm) e porre in opera distanziatori dalle pareti e dal fondo dello scavo.

Ma in genere, dopo aver proceduto al livellamento delle basi delle fondazioni ed al relativo tracciamento si procede alla posa in opera delle armature, all'esecuzione delle sponde e del getto.



CASSERATURA TRAVI DI FONDAZIONE DIRETTE

Dopo avere eseguito lo strato di livellamento, *magrone*, dello spessore di 15-20 cm, si procede ad eseguire la cassetteria dell'ala inferiore della fondazione.



CASSERATURA TRAVI DI FONDAZIONE DIRETTE

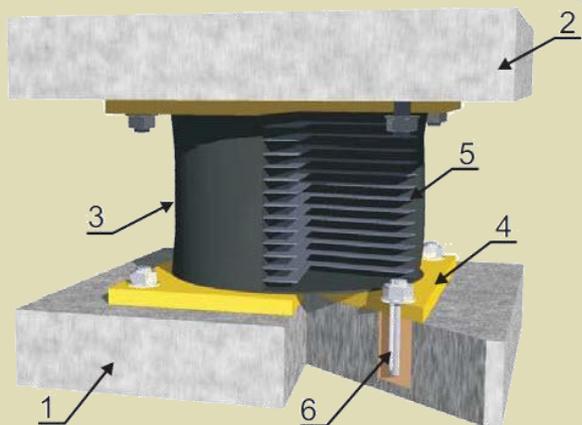
Dopo avere eseguito la cassetteria della suola inferiore della trave rovescia, si procede alla posa in opera delle armature in acciaio, prima della suola e poi dell'alla superiore, e quindi al getto.



ISOLATORI SISMICI

In zona sismica tra le fondazioni e le strutture in elevazione, per diminuire le sollecitazioni durante un eventuale terremoto possono essere interposti gli **isolatori**, la cui progettazione e realizzazione va eseguita in conformità alle N. T. C. ed alle UNI EN 15129:2009

Dispositivi antisismici



- 1) Struttura di fondazione
- 2) Struttura in elevazione isolata
- 3) Isolatore sismico elastomerico
- 4) Piastre di supporto
- 5) Armature
- 6) Tirafondi per il fissaggio alle piastre

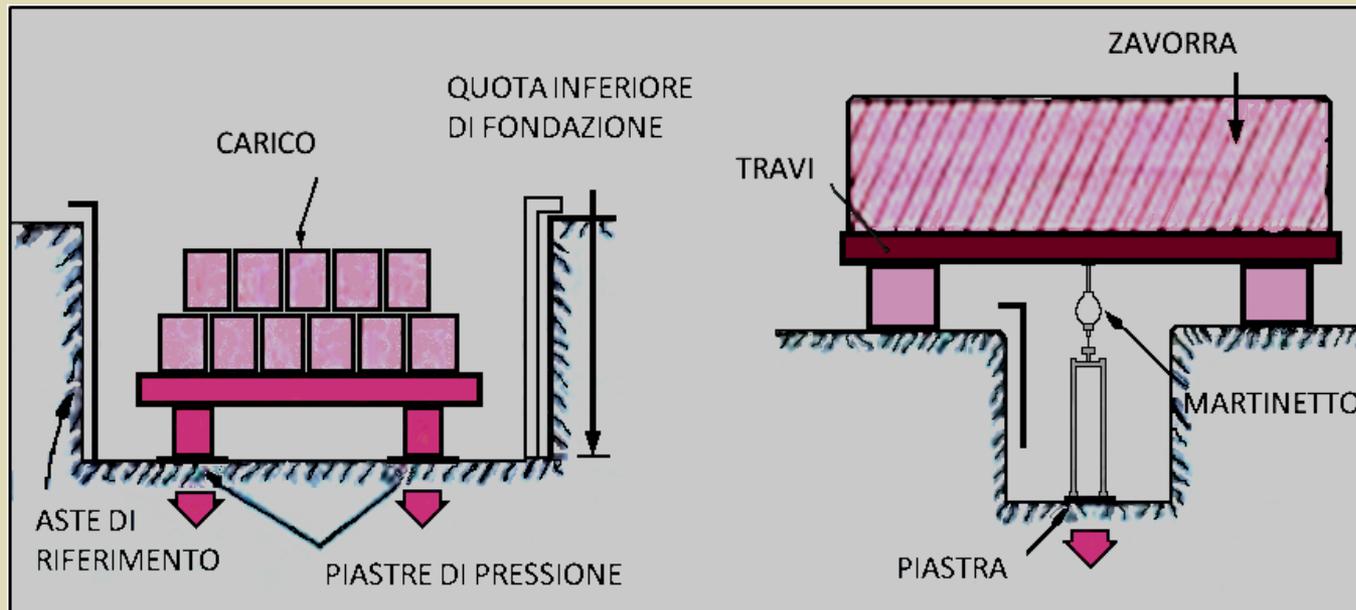


DETERMINAZIONE DEL CARICO AMMISSIBILE

Alcune volte vi è la necessità di determinare il carico ammissibile **sperimentalmente** con prove dirette sul terreno o sul palo di fondazione.

Si trasmettono carichi noti su determinate superfici, misurandone i relativi cedimenti prodotti sul terreno.

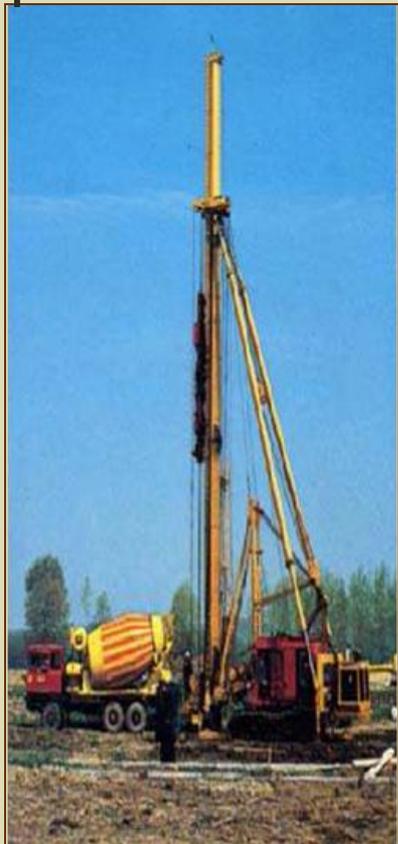
Il rapporto tra carico critico (carico che determina l'inizio di cedimenti plastici) e superficie della piastra di prova coefficiente legato a natura del terreno e tipo di fondazione (compreso tra 3 e 10).



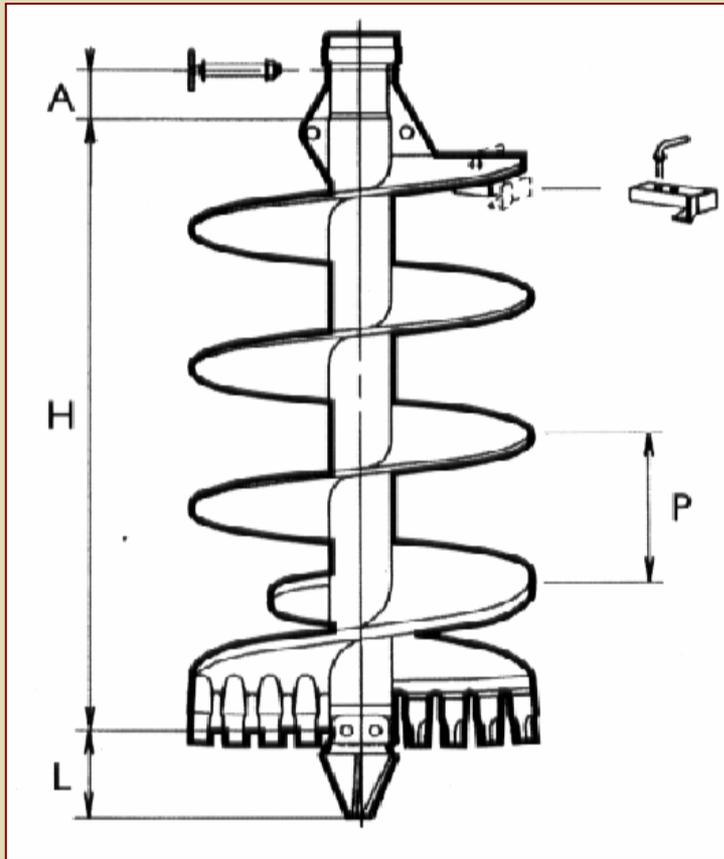
FONDAZIONI SU PALI

Dopo avere effettuato il tracciamento, con una *trivella* o una *battipalo* si realizzano i fori della profondità richiesta. Il foro può essere *incamiciato* o *meno*.

Completata la perforazione si procede all'infilaggio della gabbia di armatura, proveniente in genere da *centri di trasformazione* ed al successivo getto. Se è stata eseguita l'incamiciatura del foro, contemporaneamente al getto si procede all'estrazione della camicia.



UTENSILI PER LA PERFORAZIONE



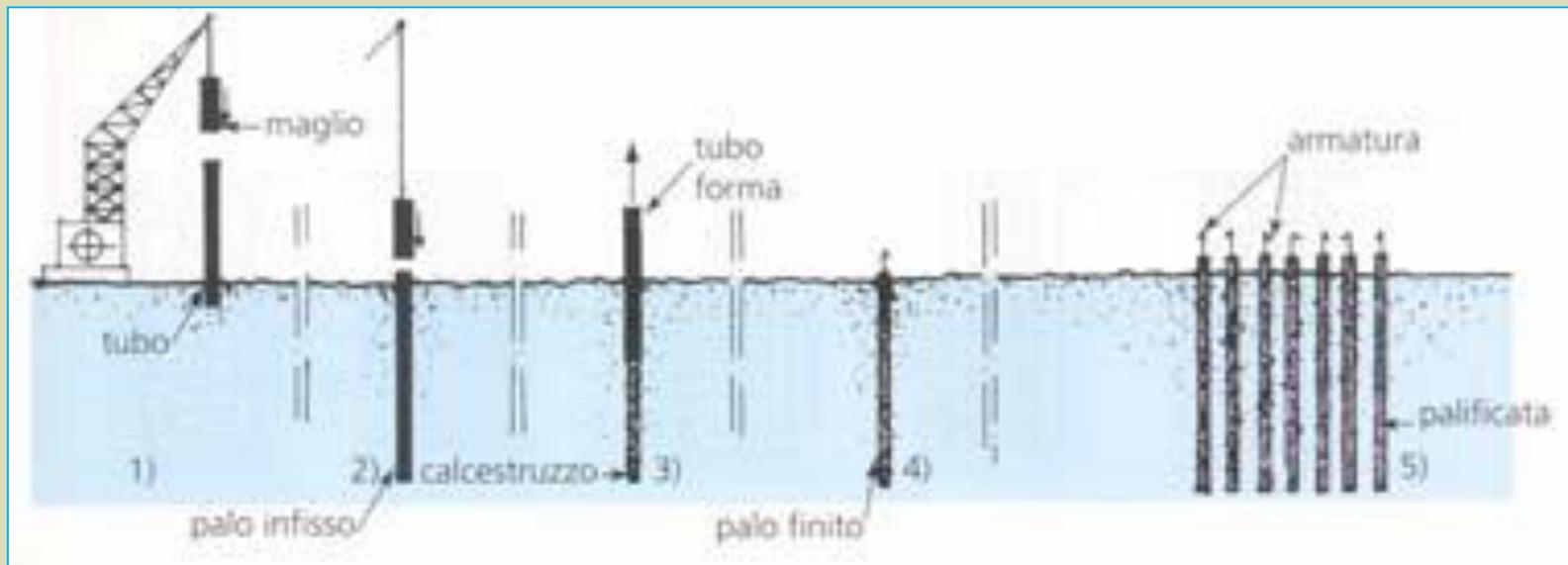
Trivella Auger

SCHEMA REALIZZAZIONE PALI BATTUTI

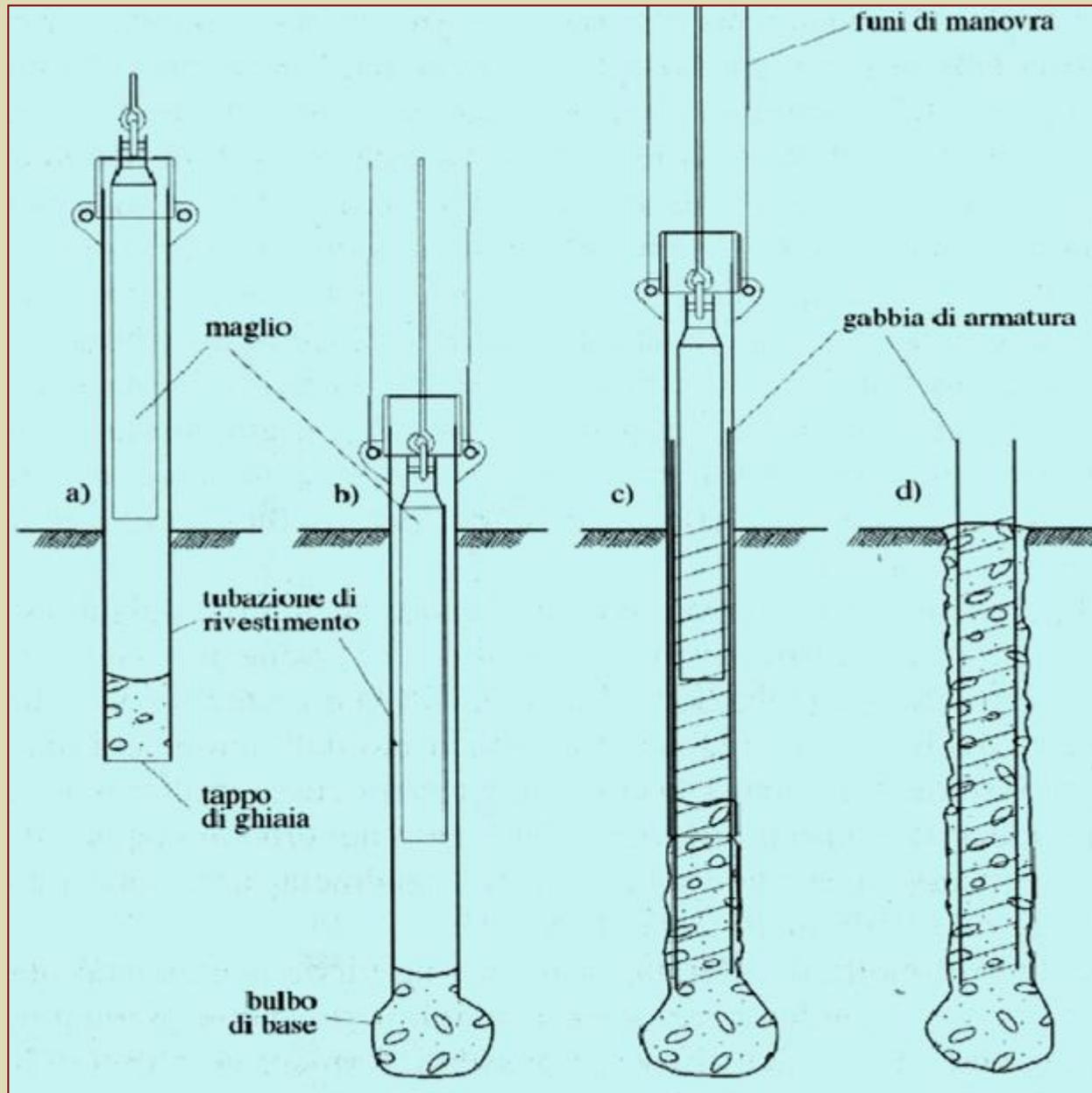
Si procede all'infissione di una camicia o tubo forma in acciaio nel terreno con un maglio, con o senza estrazione di terreno.

Una volta raggiunta la profondità di progetto si procede al lavaggio con acqua dolce dell'interno del tubo forma, calando con la gru la gabbia di armatura, provvista di idonei distanziatori.

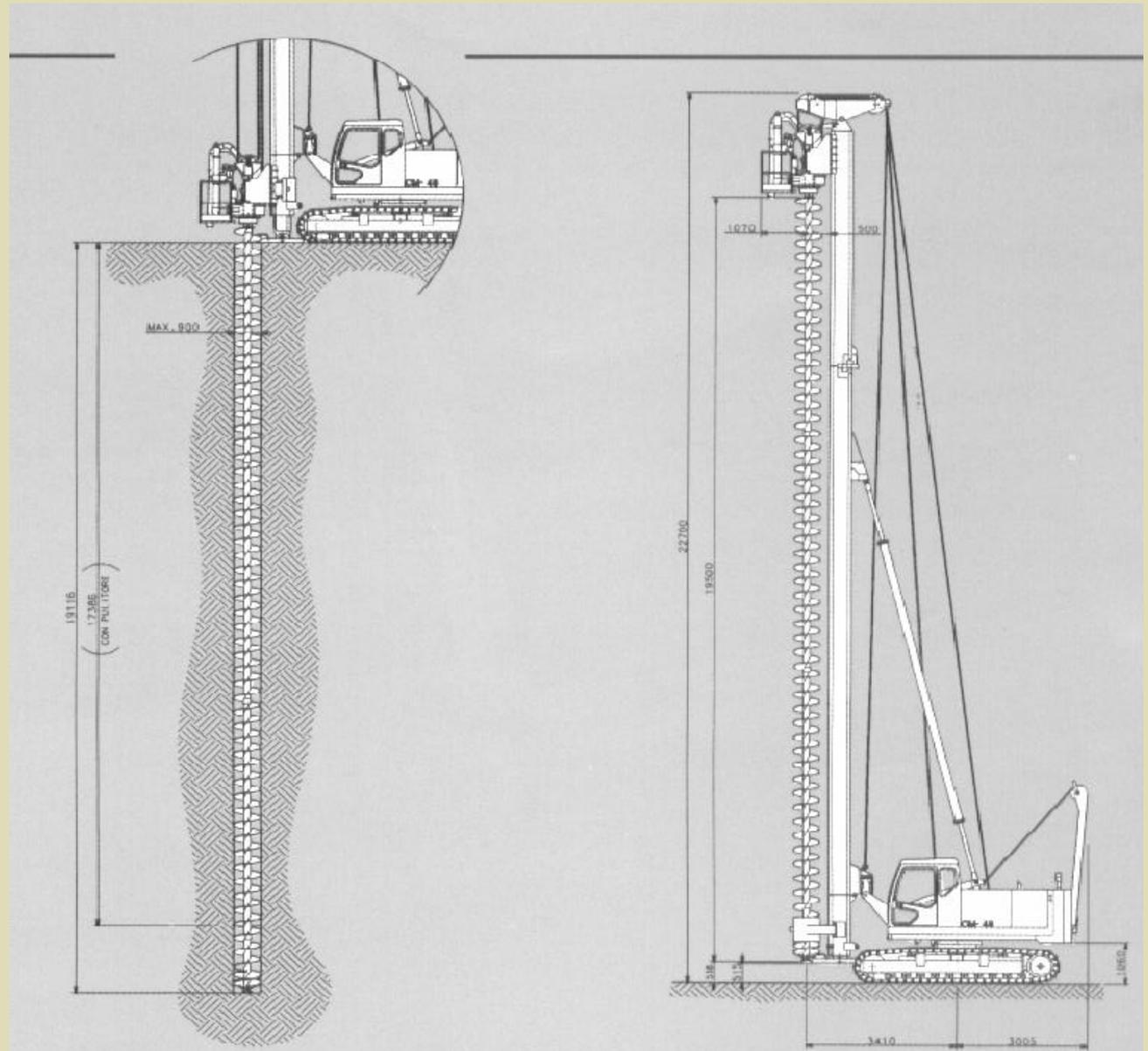
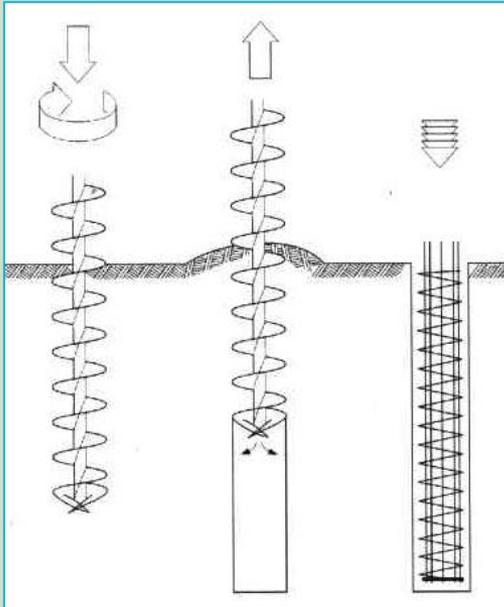
Si procede quindi al getto, sfilando contemporaneamente il tubo forma.



SCHEMA REALIZZAZIONE PALO BATTUTO FRANKI



PALO A ELICA CONTINUA



FONDAZIONI CON MICROPALI

Il termine **micropali** indica una categoria di pali di piccolo diametro, impiegati solitamente per realizzare sottofondazioni di strutture esistenti o per realizzare strutture di presidio o di rinforzo che richiedono attrezzatura di ingombro ridotto e capace di operare con qualsiasi inclinazione rispetto alla verticale.

Il micropalo, noto come **palo radice**, viene realizzato eseguendo la perforazione con una batteria di aste munite all'estremità di una corona tagliente adeguata alla natura del terreno. I detriti di perforazione sono eliminati dal fluido di perforazione (aria, acqua o fango bentonitico, a seconda della natura del terreno) tramite circolazione diretta, ossia con immissione dall'interno della batteria di aste e risalita attraverso l'intercapedine tra le stesse e il terreno.

L'**armatura** può essere **costituita** da un'unica barra o da una piccola gabbia e il getto di microcalcestruzzo (gli inerti sono costituiti da sabbia e il dosaggio in cemento è molto elevato, dell'ordine di 600 kg/m^3) viene realizzato dal basso, con un tubo convogliatore.



FONDAZIONI CON MICROPALI

Le tecniche di perforazione sono di vario tipo in funzione della natura del terreno attraversato. Dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti per evitare il franamento delle pareti del foro, la contaminazione delle armature, l'interruzione e/o l'inglobamento di terreno nella guaina cementizia che solidarizza l'armatura al terreno circostante.

Di norma le perforazioni sono eseguite in presenza di *rivestimento* e con *circolazione di fluidi*, per l'allontanamento dei detriti ed il raffreddamento dell'utensile. I fluidi di perforazione sono:

- ❖ **acqua;**
- ❖ **fanghi bentonitici;**
- ❖ **schiuma;**
- ❖ **aria**, nel caso di perforazione a rotopercolazione con martello a fondo foro.

Può essere adottata la perforazione senza rivestimenti con impiego di *fanghi bentonitici*.

FONDAZIONI CON MICROPALI

La *perforazione a secco* senza rivestimento non è di norma ammessa: potrà essere adottata, previa comunicazione alla D.L., in terreni uniformemente argillosi, caratterizzati da valori della coesione non drenata c_u che alla generica profondità di scavo H soddisfino la condizione: $c_u \geq \gamma \times H/3$ con γ = peso di volume totale.

La *perforazione a secco* è ammissibile solo dove possa essere eseguita senza alcun ingresso in acqua nel foro. La *perforazione a rotazione a secco* o con impiego di aria è raccomandata in terreni argillosi sovraconsolidati.

Nel caso di impiego della roto-percussione, sia mediante martello a fondo-foro che mediante dispositivo di battuta applicati alla testa di rotazione, dovrà essere assicurato il rispetto delle norme in merito ai limiti delle vibrazioni.

La D.L. dovrà richiedere all'impresa esecutrice di eseguire misure di controllo delle vibrazioni indotte, con oneri e spese a carico dell'Impresa.

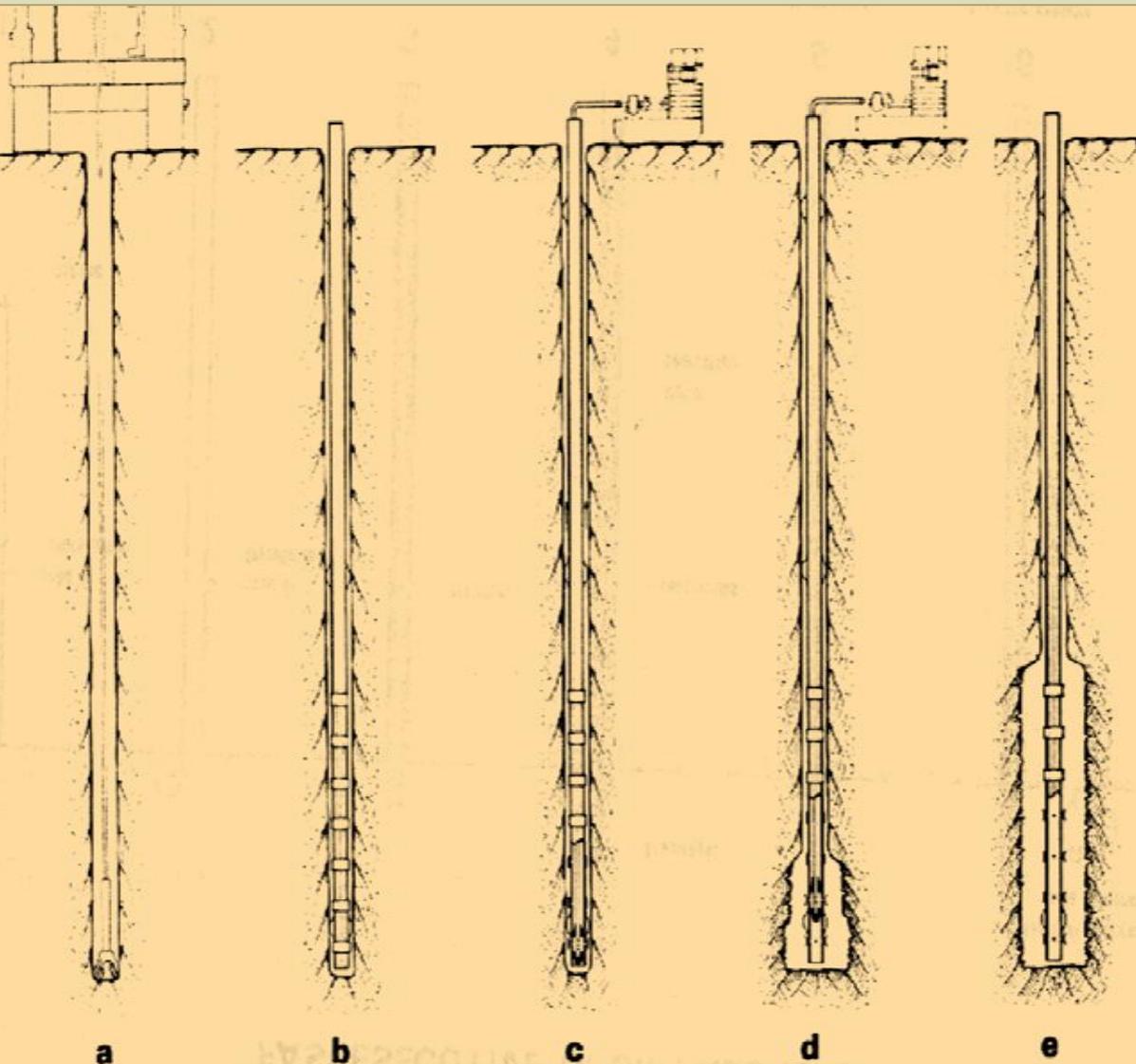
FONDAZIONI CON MICROPALI

Al termine del getto si immette, tramite una testa a tenuta, aria in pressione, in modo da sfilare la batteria di aste e, contemporaneamente, da forzare il calcestruzzo contro il terreno, per occupare il volume lasciato libero dalla tubazione.

I **diametri** usualmente impiegati sono compresi tra 80 e 250 mm, ai quali corrispondono carichi ammissibili compresi tra 60 e 80 kN, per i diametri minori, e tra 500 e 700 kN per quelli maggiori. Per i **Tubfix** la miscela adoperata ha solitamente la seguente composizione: 100 kg di cemento, 50 litri di acqua, 2,5 kg di bentonite ed eventualmente da 2 a 3 kg di fluidificante.



FASI ESECUTIVE DI UN PALO TIPO TUBFIX



- Perforazione;
- Posa dell'armatura tubolare;
- Iniezione di guaina;
- Iniezione di ancoraggio in più riprese;
- Tubfix ultimato.



Tubfix facoltà ingegneria