

MANUALE OPERE DI PALIFICAZIONE

Questo contributo è nato come un depliant redatto per una ditta di opere speciali di palificazione, al quale si è voluto dare un taglio leggermente più tecnico che promozionale, e vuole essere una sorta di guida speditiva all'utilizzo delle opere di palificazione nelle problematiche geotecniche.

In particolare vengono espone le metodologie d'impiego dei micropali nelle loro applicazioni più comuni (opere di sostegno, di fondazione indiretta e di consolidamento), in raffronto alle altre tecnologie più frequenti quali pali trivellati, diaframmi, pali battuti o iniezioni cementizie.

Un capitolo a parte è occupato dall'impiego della tecnologia Jet-Grouting nelle sue varie applicazioni ed in special modo gli scavi sottofalda.

Interessante la valutazione del quantitativo medio di micropali e tiranti in funzione dell'altezza di scavo e delle condizioni al contorno:

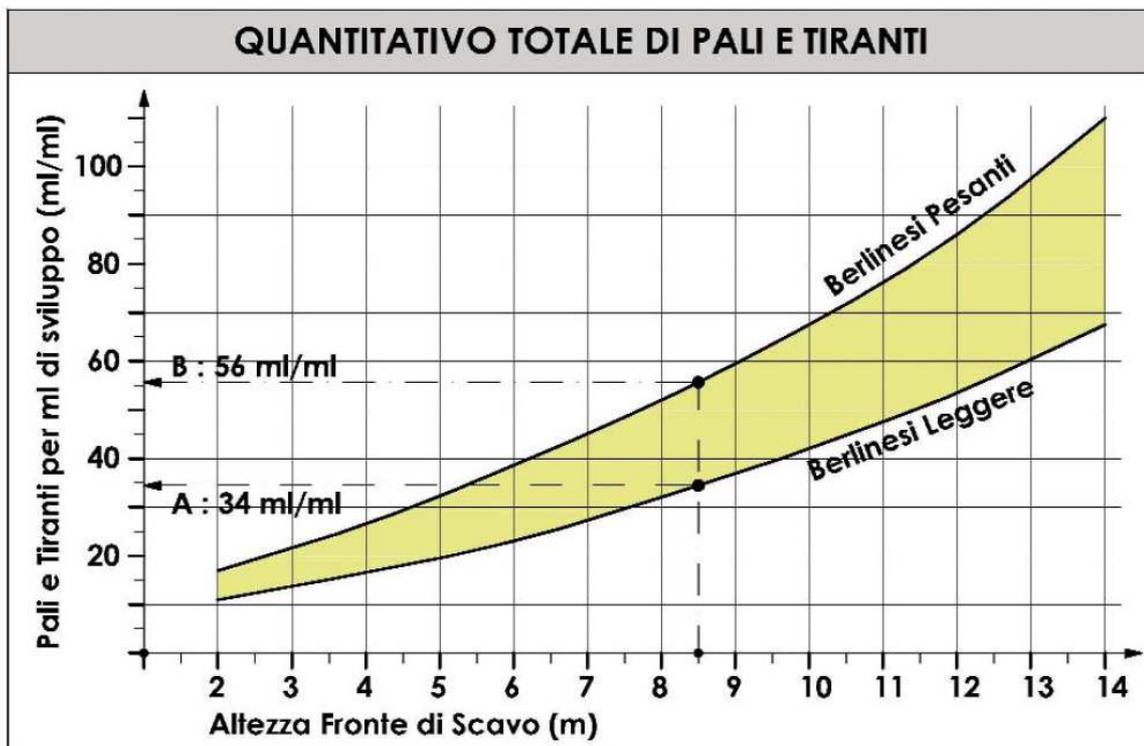
- Berlinesi Leggere: per terreni di buone caratteristiche e bassi sovraccarichi
- Berlinesi Pesanti: per terreni scadenti e forti sovraccarichi

Il risultato ottenuto è il totale di micropali e tiranti per ml di fronte da scavare (comprensivo dell'infissione), che fornisce un ordine di grandezza immediato del costo delle opere:

L'esempio rappresentato, per uno scavo di 8.5m per un fronte di 40.0ml, per il quale risulterebbe:

- indice di palificazione medio 45ml/ml
- totale micropali e tiranti = $45 \times 40 = 1800\text{ml}$
- considerando un costo medio di 60€/ml (valori al 2018)
- si avrebbe un costo complessivo 108.000,00€

Ovviamente tale valore va verificato, ma fornisce una prima indicazione sul costo delle opere.



TEKNODRILL

TECNOLOGIA DELLE FONDAZIONI SPECIALI



CONSOLIDAMENTI

PALIFICAZIONI

JET GROUTING

DIAFRAMMI

TIRANTI

SONDAGGI GEOGNOSTICI

CONSULENZE

TeKnodrill srl opera nel campo delle fondazioni speciali da oltre 25 anni, nel corso dei quali ha saputo affrontare con successo le molteplici problematiche tecniche, finanziarie e normative che hanno caratterizzato questi ultimi anni.

La tecnica delle fondazioni speciali ha subito una rapida evoluzione, adattandosi alle differenti necessità logistiche dei cantieri e dei lotti edificabili.

Nel recente passato, il processo edificatorio poteva infatti disporre di ampi spazi e non richiedeva l'utilizzo intensivo del lotto edificabile; i cantieri risultavano quindi molto agevoli e non era strettamente necessario sfruttare al limite i propri confini di proprietà. In questo contesto hanno trovato grande diffusione le tecniche più conosciute e ormai di comune impiego, quali la realizzazione di diaframmi in c.a., di pali trivellati e di pali battuti, tuttora validissime e convenientemente impiegate per opere di grande estensione.

In ambito edilizio, la saturazione degli spazi disponibili, la crescente necessità di disporre di ampi sotterranei da adibire a parcheggio, o la necessità di consolidare e ristrutturare edifici esistenti, ha richiesto lo sviluppo di tecnologie più efficaci in ambienti ristretti o di completamento, in grado di adattarsi a situazioni cantieristiche poco agevoli o addirittura anguste.

Altrettanto, in ambito infrastrutturale, la crescente complessità delle opere da realizzare, unita alle problematiche appena viste, ha richiesto lo sviluppo di tecniche più adattabili alle molteplici situazioni stratigrafiche.

TeKnodrill è stata da subito impegnata nello sviluppo delle tecnologie più efficaci nel rispondere alle mutate richieste di mercato, impostando la propria attività principale proprio nella realizzazione dei micropali e della cementazione del terreno con colonne jet-grouting. L'affinamento delle modalità esecutive, ha gradatamente reso concorrenziali tali tecniche anche nei confronti di quelle più classiche, spostando sempre più avanti il limite di convenienza delle une rispetto alle altre.

Accanto alla normale realizzazione di opere su progetto esecutivo, nell'ambito della quale il confronto con altri

operatori verte essenzialmente sull'efficienza e sul contenimento dei prezzi unitari, TeKnodrill è anche in grado di fornire un valido supporto progettuale ai propri clienti, garantendo la massima efficacia nel raggiungimento delle specifiche necessità.

Si avvale in ciò della consulenza continuativa dello Studio Brambilla-Colombo di Milano, cui è anche demandato il compito di verificare e validare le progettazioni più complesse prima della loro esecuzione.

Lo sviluppo di progettazioni proprie, viene sempre preceduto dalla stesura di predimensionamenti mirati, volti a definire le problematiche principali dell'intervento, e garantire così una preventivazione economica il più possibile realistica ed affidabile.

Lo scopo finale delle attività progettuali ed esecutive è quello di fornire sempre le migliori soluzioni tecniche e la loro più efficace realizzazione, in modo da raggiungere la completa soddisfazione del cliente.

Nell'ambito della realizzazione di opere pubbliche, TeKnodrill possiede l'iscrizione alla categoria OS 21 categoria IV.

In materia di qualità, TeKnodrill ha raggiunto la certificazione ISO 9001-2000

Il presente fascicolo si propone la duplice finalità di presentare l'attività della TeKnodrill attraverso le sue realizzazioni e di fornire a progettisti ed impresari un primo accostamento alle principali implicazioni tecnico-progettuali, connesse con la scelta della migliore metodologia esecutiva, in relazione alle diverse problematiche da affrontare.

Il testo è inoltre arricchito con tabelle, grafici e disegni, in modo da rendere il più possibile chiare sia le grandi potenzialità delle tecnologie speciali, sia l'estrema delicatezza della materia, che richiede quasi sempre uno studio accurato del singolo caso particolare.

Sono inoltre rappresentati alcuni esempi di particolari costruttivi, di più comune impiego.

La trattazione è stata approfondita unicamente per la realizzazione di opere con micropali e jet-grouting, ponendo l'accento sulle loro peculiarità rispetto alle tecnologie classiche di più comune impiego e facenti ormai parte della pratica abituale.

TEKNODRILL

INDICE

PRINCIPALI ATTIVITÀ pag. 4

Capitolo 1
L'USO DEI MICROPALI pag. 6

Capitolo 2
I MICROPALI DI FONDAZIONE INDIRETTA pag. 22

Capitolo 3
LE OPERE DI CONSOLIDAMENTO pag. 31

Capitolo 4
L'USO DEL JET-GROUTING pag. 35

PRINCIPALI ATTIVITÀ

Pali trivellati

I pali trivellati rappresentano una delle più diffuse e collaudate tecniche di fondazioni profonde, grazie alla disponibilità di numerosi diametri di perforazione ed alla consolidata tecnica esecutiva, che si traduce in un'ottima conoscenza del comportamento della palificata.

I diametri di perforazione variano da 400 a 2000mm (di più frequente impiego sono il $\varnothing 600$ e 800mm), e consentono di ottenere portate variabili da 50ton a oltre 400ton.

L'armatura è costituita da barre longitudinali (con diametri da 16 a 20mm) e da una staffatura a spirale (diametro $10\div 12$ mm e passo $20\div 30$ cm).

Specie per i diametri maggiori, la portata viene sviluppata prevalentemente di punta, per cui è buona norma intestare il palo all'interno di una stratificazione portante di buone caratteristiche geotecniche, ed immorsarlo per almeno $1.5\div 2.0\varnothing$, con un minimo di 2.5m.

Un primo criterio per identificare la portata ottimale da attribuire al palo consiste nel considerare una tensione media nel calcestruzzo di circa $25\div 35$ kg/cmq;

la portata va comunque sempre verificata in relazione alle caratteristiche del terreno che possono essere fortemente limitative.

Nel caso di substrati dotati di caratteristiche scadenti, per ottenere le portate di cui sopra è necessario sfruttare a fondo anche la portata laterale dei pali, aumentando la lunghezza di infissione nella porzione portante; occorre però rilevare che se le caratteristiche dei terreni sono troppo scadenti, può essere conveniente aumentare il diametro del palo anziché aumentarne a dismisura la lunghezza.



MCingegneria

Diaframmi

La tecnica dei diaframmi in c.a. è ormai largamente diffusa; vengono realizzati praticando uno scavo, sostenuto da una sospensione di fanghi bentonitici, all'interno della quale viene calata la gabbia d'armatura ed il getto in calcestruzzo. Si ottiene così una parete in c.a. di spessore variabile da 40 a 120cm in funzione della benna di scavo, la cui larghezza standard è di 2.5m.

Nell'edilizia corrente, l'impiego più usuale consiste nel sostegno di fronti di scavo per la formazione di spazi interrati; in questo ambito, la tendenza è quella di limitare gli ingombri, impiegando perlopiù spessori da 40, 50 o 60cm; i quantitativi d'armatura variano da $25\div 30$ kg/mq per le opere di minor altezza e spessore, per arrivare a $60\div 80$ kg/mq per quelle di maggior impegno e spessore.

La massima altezza con schema a mensola varia da $3.5\div 4.0$ m con spessore 40cm per arrivare a circa 6.0m per spessori di $60\div 80$ cm; le infissioni sono pari a circa $1.0\div 1.5$ volte l'altezza. Per altezze superiori è necessario disporre di tirantature che possono essere in un'unica fila per scavi fino a $8.0\div 10.0$ m o su due o più livelli per altezze maggiori

Con l'impiego di particolari giunti nell'accostamento tra pannelli adiacenti, è possibile rendere la parete sufficientemente impermeabile per consentire la realizzazione di opere sottofalda.



Pag. 4

Pali battuti

La tecnologia del palo battuto consente di fornire un vasto range di portate adeguate alle più svariate necessità statiche e con la massima economia.

Le registrazioni continue della resistenza all'infissione garantisce un elevato grado di sicurezza nella definizione della portata dei pali; inoltre dato che vengono posti in opera senza estrazione di terreno, si realizza un effetto costipante, la cui importanza aumenta nel caso di pali in gruppo.

L'esecuzione del palo viene completata con la posa di un'armatura metallica (in tondini a spirale o in tubolare cavo), che integra la sezione resistente del calcestruzzo.

Diametri, portate e interasse minimo dei pali:

Ø (mm)	Portata (t)	Interasse (m)
260	20÷30	0.80
300	30÷40	0.90
340	40÷50	1.00
400	50÷70	1.20
460	70 ÷100	1.40
540	100 ÷160	1.60
620	160 ÷200	1.90



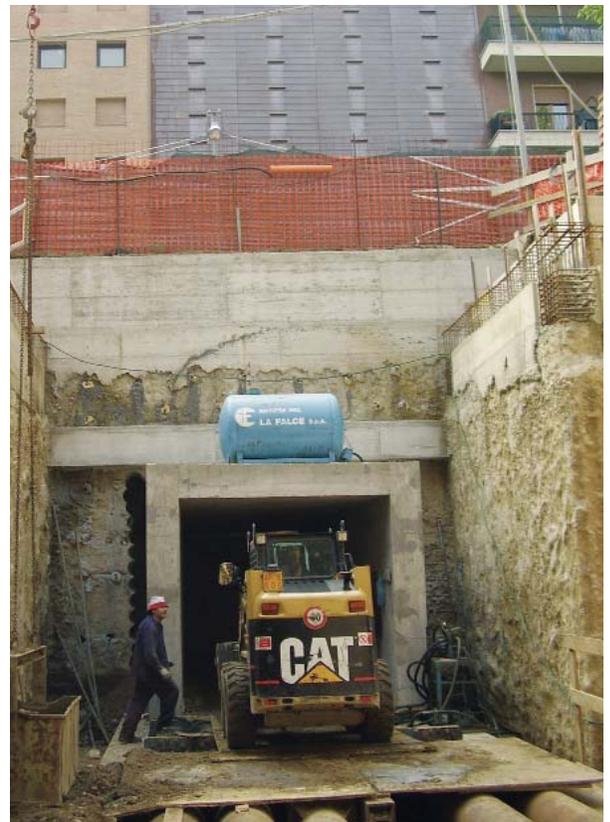
Esempio di esecuzione con battipalo leggermente inclinato.

Iniezioni cementizie

Le iniezioni a base di miscele cementizie vengono impiegate principalmente per conferire ai terreni di tipo granulare un maggior grado di adesione. L'iniezione avviene attraverso un tubo valvolato, calato all'interno di perforazioni eseguite con sonde operatrici in tutto simili a quelle impiegate per la realizzazione di micropali o tiranti.

Tra gli impieghi più frequenti, vi è il consolidamento fondazionale di edifici dissestati o in ampliamento, nel qual caso occorre considerare che il risultato del trattamento ha un carattere prevalentemente qualitativo.

Altrettanto, è frequente il loro impiego per opere preparatorie ad altre fasi di lavoro, quali scavi, sottomurazioni o attraversamenti mediante la tecnica a spinta; le iniezioni impediscono in questi casi pericolosi allentamenti dei terreni



Esempio di sottopasso a spinta eseguito in Milano; prima della spinta del monolite è stata eseguita una corona di iniezioni cementizie di preconsolidamento.

- Micropali
- Tiranti
- Jet-grouting

Il grande sviluppo di queste tecnologie ne ha fortemente ampliato gli ambiti tecnico - realizzativi.

Le loro modalità esecutive e di impiego vengono approfondite nelle sezioni a seguire, fornendo particolari utili sia in fase di progettazione che di preventivazione.

L'USO DEI MICROPALI

In questa sezione si descrivono le principali modalità d'impiego e caratteristiche tecniche dei micropali, ponendo l'accento sulle principali differenze e peculiarità rispetto all'uso di tecnologie più note e facenti ormai parte della pratica corrente.

Vengono in particolare sviluppate le tematiche riguardanti le opere di sostegno mediante berlinesi, le palificazioni portanti e le opere di consolidamento, fornendo le prime e basilari nozioni tecniche di predimensionamento, alcune stime di incidenza delle lavorazioni, nonché i particolari costruttivi di più comune impiego.

Le quantità eventualmente desunte dal presente fascicolo hanno carattere puramente indicativo e non potranno in alcun modo essere prese alla base di stime ufficiali delle opere.

1. OPERE DI SOSTEGNO CON BERLINESI DI MICROPALI

Le opere di sostegno scavi stanno diventando di sempre maggiore attualità a causa del diminuire degli spazi edificabili, che impongono spesso la realizzazione di scavi a parete verticale, anche in aderenza ad edifici esistenti.

L'opera di sostegno viene realizzata essenzialmente con due modalità:

- **Diaframmi in c.a.**
- **Berlinesi di micropali accostati**

Con il termine 'berlinesi' si identifica una struttura volta al sostegno di fronti di scavo, realizzata accostando pali verticali, eventualmente coadiuvati da adeguati contrasti alle spinte orizzontali.

Normalmente vengono realizzate berlinesi di tipo provvisoria, aventi il solo scopo di consentire l'approfondimento dei fronti di scavo necessari alla successiva edificazione, le cui strutture vengono poi dimensionate per assorbire autonomamente le pressioni dei terrapieni, generalmente a mezzo del mutuo contrasto offerto dai solai di orizzontamento.

In taluni casi le opere assumono invece carattere definitivo; in tal caso le tirantature di contrasto assumono una importanza decisiva per la durabilità dell'opera, ed impongono inoltre la verifica di importanti aspetti giuridici legati all'occupazione permanente del sottosuolo limitrofo.

Poiché l'impiego di diaframmi è generalmente alternativo alla soluzione con berlinesi di micropali, si raffrontano le due tecnologie individuando le situazioni che possono indirizzare verso la scelta globalmente più conveniente.

Aspetto	Micropali o Diaframmi
Cantierizzazione	<p><i>La lavorazione con micropali è nel complesso più pulita, in quanto elimina le problematiche di gestione della risulta di scavo (fanghi bentonitici).</i></p> <p><i>La vasta gamma di dimensioni delle sonde di perforazione consente di operare anche con ridottissimi spazi di manovra (sia planimetrici che altimetrici), consentendo anche di seguire tracciamenti tortuosi, o di eseguire lavori all'interno di edifici esistenti.</i></p>
Opere preparatorie	<p><i>La realizzazione di una berlinese generalmente non richiede l'esecuzione di opere preparatorie, invece necessarie con i diaframmi, quali i cordoli guida, o l'asportazione di blocchi cementati preesistenti nel sottosuolo.</i></p>
Dimensione	<p><i>Poiché l'impianto cantiere dei micropali è molto più economico rispetto ai diaframmi, per lavori di piccola entità le berlinesi sono nel complesso più vantaggiose. In linea di massima, i diaframmi cominciano a diventare vantaggiosi oltre i 500÷600mq di fronte da scavare.</i></p>
Opera finita	<p><i>Con il diaframma si realizza una parete controterra che richiede poche finiture (spesso è sufficiente anche solo un controtavolato), e sulla quale è possibile impostare i solai interrati. Viceversa, nel caso dei micropali, occorre realizzare un contromuro in getto.</i></p> <p><i>Con i diaframmi è possibile assorbire notevoli carichi verticali (pilastri fuori terra del nuovo edificio); questa possibilità sussiste anche con le berlinesi, ma richiede molta attenzione nel dimensionamento della palificata e delle travi di coronamento</i></p>
Altezza di scavo	<p><i>Per elevate altezze di scavo (oltre i 6÷7m), sono generalmente convenienti i diaframmi; questi ultimi, grazie alla maggiore resistenza statica (variabile in funzione dello spessore), richiedono un minor numero di tirantature e di conseguenza minori fermi scavo.</i></p> <p><i>Mediante disposizioni particolari dei diaframmi (ad esempio a T), è possibile ottenere soluzioni dotate di elevatissima resistenza e rigidità, che consentono di superare elevati sbalzi anche senza tirantature.</i></p> <p><i>L'uso dei micropali richiede l'impiego di contrasti orizzontali già a partire dai 2.5÷3.0m</i></p>

Aspetto Micropali o Diaframmi

Stratigrafia

Le micropali possono essere realizzati in qualunque successione stratigrafica, mentre per i diaframmi sono assolutamente problematiche eventuali croste di terreno cementato (quali ad esempio le formazioni di 'ceppo' comuni in Brianza), o trovanti lapidei.

La possibilità di adattare le modalità di perforazione alla stratigrafia da attraversare si traduce in un minor disturbo dei terreni, con maggiore sicurezza per le eventuali costruzioni adiacenti.

L'impiego dei diaframmi consente l'esecuzione di scavi sottofalda; adottando particolari giunti all'accostamento tra i pannelli ed un tappo di fondo con colonne jet-grouting, è possibile sostenere elevati battenti senza emungimento (a tutto vantaggio della stabilità di eventuali edifici adiacenti)

Opere in pendio

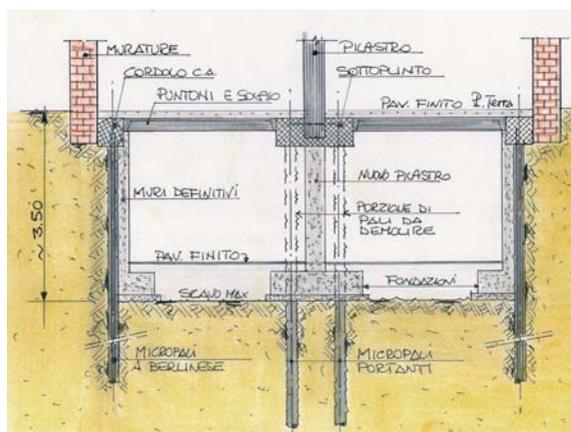
In questo caso è generalmente obbligato l'impiego dei micropali, in quanto la movimentazione e lavorazione delle benne per diaframmi richiedono l'esecuzione di piste di lavoro molto ampie (circa 10÷12m), con conseguenti pericolosi intagli preparatori nel pendio.

Ambiti ristretti

Esistono comunque degli ambiti particolari per i quali, a causa della ristrettezza degli spazi è praticamente obbligato l'uso dei micropali, le cui sonde perforatrici possono operare grazie alla loro versatilità dimensionale.



Un caso tipico in cui l'uso dei micropali risolve le problematiche progettuali è rappresentato dalla realizzazione di scavi all'interno di edifici esistenti per ricavare o ampliare gli scantinati. In tali situazioni le attrezzature per micropali consentono di realizzare un paramento provvisorio per i muri di confine e, se necessario, di realizzare dei sostegni per la sospensione e il successivo approfondimento dei pilastri interni; è importante notare che i micropali di sospensione possono essere demoliti ad opera finita, in modo da non creare ingombri eccessivi. La figura a lato esplica tale possibilità e la metodologia di esecuzione:



Fasi operative:

- Abbassamento del piano terra per avere maggiore altezza di lavoro rispetto al solaio di piano 1°
- Esecuzione della berlinese al perimetro con pali a passo 33÷40cm e lunghezza 7.0÷8.0m
- Esecuzione dei pali interni di sostegno (in n° di 4÷8 per pilastro) lunghezza 12÷15.0m e portata 15÷20ton.
- Getto delle travi di testa dei pali, del plinto di sospensione e delle travature di contrasto
- Approfondimento scavo fino alla quota in progetto
- Realizzazione fondazioni, muri perimetrali e ricostruzione del pilastro sotto all'esistente
- Getto del solaio di P.T.
- Eliminazione dei micropali di sospensione
- Realizzazione pavimentazioni e finiture.

1.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELLE BERLINESI

Le berlinesi sono costituite da un paramento verticale formato da micropali; per altezze significative, il contrasto alle spinte orizzontali è solitamente affidato a tirantature provvisorie, oppure, nel caso di altezze ridotte, a micropali inclinati. L'opera è completata dalle travi di coronamento in testa ai pali e dalle eventuali travi di ripartizione dei tiranti, che possono essere realizzate in c.a. o più comunemente in acciaio. L'altezza dei fronti di scavo non ha limitazioni teoriche, ma viene normalmente limitata attorno ai 15m a causa di possibili deviazioni dalla verticalità dei pali.

Gli elementi che costituiscono l'opera sono:

Micropali:

- Vengono eseguiti realizzando una perforazione con diametro da 150 a 240mm, all'interno della quale viene calata l'armatura metallica; il foro viene poi riempito con miscela di acqua e cemento iniettata a semplice gravità.

- In funzione dei terreni da attraversare, si impiegano diverse tecniche di perforazione: la rotopercolazione con circolazione ad aria è la più rapida ed economica e consente di attraversare anche le frazioni più resistenti, mentre la perforazione a rotazione con circolazione ad acqua, generalmente più lenta e costosa, è più adatta in presenza di terreni sottofalda.

- L'interasse tra i pali è variabile generalmente da 33cm (n°3pali/ml) a 50cm (n°2pali/ml); interassi inferiori possono rendersi necessari in casi di estrema fluidità dei terreni, mentre interassi maggiori possono impiegarsi solo per terreni con grande livello di autosostentamento.

Normalmente la scelta dell'interasse è dettata non tanto da aspetti statici quanto piuttosto dalle caratteristiche dei terreni, tendendo a disporre i pali con il maggiore interasse possibile compatibile; la soluzione più economica si ottiene infatti allargando i pali ed impiegando armature metalliche più resistenti.

- L'armatura è generalmente costituita da un tubolare metallico con diametro variabile da 90 a 170mm e spessori da 8 a 10÷12.0mm, con un'incidenza di peso da 16 a 40 kg/ml; in casi particolari è possibile comunque utilizzare

anche diametri maggiori (fino a 219mm). In alcuni casi è anche conveniente utilizzare profili metallici della serie HE, passando dall'HEA100 all'HEB140.

Tiranti:

- Vengono eseguiti realizzando una perforazione con diametro da 100 a 150mm, all'interno della quale viene inserita l'armatura; il foro viene poi riempito con miscela di acqua e cemento, fino alla fuoriuscita dalla bocca del foro

- La lunghezza dipende dalla consistenza dei terreni e dall'altezza dell'opera, con valori minimi di 11÷15m, fino a 20m; in casi particolari si arriva ad oltre 30m.

- L'armatura è costituita da un fascio di trefoli in acciaio armonico da 0.6"; le portate ammissibili più utilizzate variano da 30t a 90t in funzione del n° dei trefoli impiegati (15ton/trefolo); la massima portata è di 120ton.

- Il tirante può essere diviso in una parte libera (dove i trefoli sono inguainati e liberi di scorrere) e nel bulbo di fondazione (dove si sviluppa l'ancoraggio con il terreno); la lunghezza della parte libera deve essere tale da superare il cuneo di scivolamento, mentre la lunghezza del bulbo è molto variabile in funzione del terreno di supporto.

Travi di coronamento e ripartizione:

L'opera viene completata dalle travi di coronamento e ripartizione.

- Le travi di coronamento devono essere rigorosamente in c.a., in modo tale da costituire un continuo collegamento della testa dei pali, favorendo la mutua collaborazione nel caso di debolezze locali. La dimensione minima è di 40x40cm, per salire a 50x50 nel caso siano presenti anche elementi di contrasto quali tiranti o micropali inclinati.

- Le travi di ripartizione possono essere sia in acciaio che in c.a.. Con le travi in acciaio, solitamente costituite da due profili HE accostati, la posa in opera è piuttosto speditiva e consente un rapido abbassamento dei piani di scavo per la realizzazione dei tiranti inferiori. Le travi di ripartizione in c.a. sono invece da preferire nel caso di opere di una certa importanza o quando sia necessario inclinare i tiranti oltre i 20° (limite massimo per le travi in acciaio).

1.2 TIPOLOGIE E PREDIMENSIONAMENTO DELLE BERLINESI

Una primaria differenziazione tipologica può essere individuata nelle modalità di ancoraggio, unitamente ai sovraccarichi in adiacenza ed alla relativa sensibilità ad eventuali assestamenti, che può essere bassa (per strade o recinzioni) o elevata (per edifici).

Per sensibilità delle opere in adiacenza si intende l'effetto che può produrre una deformazione del paramento sull'opera stessa; è evidente che per strade o recinzioni, eventuali piccoli assestamenti possono essere ben tollerati senza ingenerare fastidiosi dissesti, mentre, per contro, in presenza

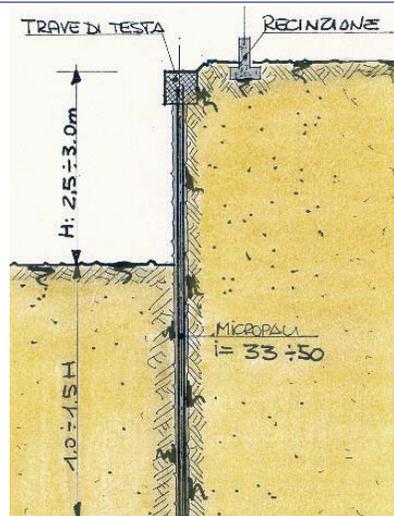
di un edificio, eventuali piccole deformazioni possono provocare fessurazioni nello stabile, con tutte le problematiche tecniche e giuridiche che ne derivano. Una graduatoria di sensibilità degli edifici, vede le più esposte nelle strutture in muratura (specie se con fondazioni superficiali), poi a seguire gli stabili con struttura ad ossatura in c.a. ed infine i capannoni industriali.

Di seguito, e con riferimento alle figure rappresentate a lato si definiscono le tipologie principali. Ovviamente, casi particolari possono portare a definire variazioni alle caratteristiche tipologiche delle opere, modificando i quantitativi medi di seguito riportati.

1. Berlinesi a sbalzo:

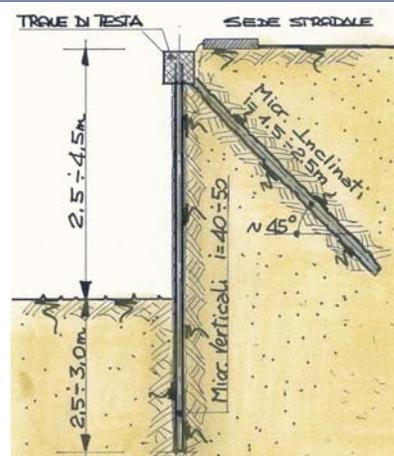
possono impiegarsi per altezze fino a circa 2.5÷3.0m e con adiacenze poco sensibili a deformazioni; in questo caso, l'infissione dei pali sotto la quota di scavo sarà di circa 1.0÷1.5 volte lo sbalzo da sostenere, in funzione delle caratteristiche dei terreni.

La limitazione all'impiego delle berlinesi a sbalzo consiste principalmente nella deformabilità delle armature metalliche, che può ingenerare spostamenti della testa non tollerabili, specialmente in presenza di edifici adiacenti, o anche, semplicemente, di muri di recinzione. È buona norma dotare le berlinesi di una trave di coronamento in c.a. per collegare tra loro tutti i pali ed assorbire eventuali debolezze locali.



2. Berlinesi contrastate con micropalo inclinato:

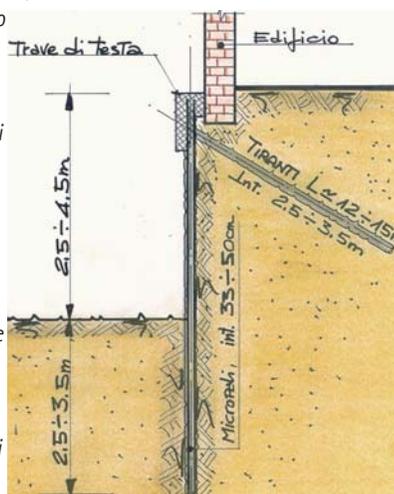
possono utilizzarsi per altezze di circa 2.5÷4.5m e con adiacenze poco sensibili (strade o recinzioni); infatti il contrasto alle spinte è dato dal micropalo inclinato a 30÷45°, che funziona come una sorta di tirante passivo, ed entra quindi in gioco a seguito di deformazioni. In questo caso l'infissione sotto la quota di scavo sarà di circa 2.5÷3.0m. I pali inclinati hanno lunghezze di circa 1.2 volte i verticali ed interassi di circa 1.5÷2.5m; vengono inglobati nella trave di coronamento in c.a. con grande economia di cantiere in quanto non sono necessari fermi scavo successivi, e si eliminano i tempi necessari alla tesatura dei tiranti.



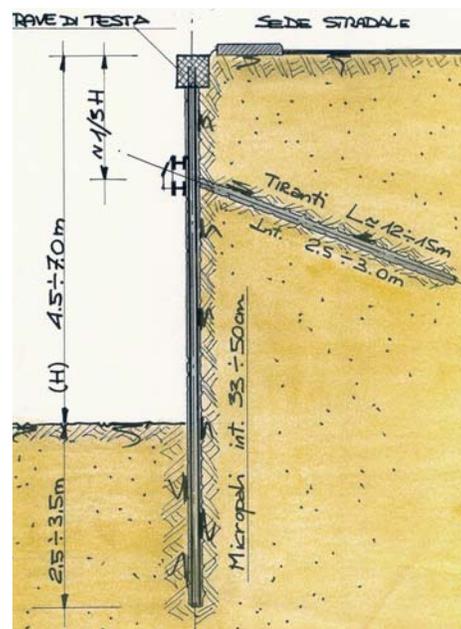
3. Berlinesi con un ordine di tiranti:

possono impiegarsi per le stesse altezze del caso precedente 2.5÷4.5m in presenza di adiacenze sensibili (edifici), oppure per altezze superiori, fino ad un massimo di circa 6÷7m (per adiacenze poco sensibili); oltre tali altezze diventa solitamente più economico aumentare il numero di tirantature. Per basse altezze di scavo, il tirante può essere inglobato nella trave di coronamento sommitale, mentre per altezze elevate occorre impostare i tiranti su travi di ripartizione a quota intermedia, generalmente costituite da coppie di profili metallici tipo HEA o da travi in c.a.

L'infissione dei pali verticali sarà di circa 2.5÷3.5m, mentre i tiranti verranno disposti ad interasse di circa 2.5÷3.5m con lunghezze medie di circa 12.0÷15.0m.



Esempio di berlinesi con adiacenza sensibile (edificio) e tirante impostato sulla trave di coronamento; altezze massime 4÷4.5m



Esempio di berlinesi con adiacenza poco sensibile (sede stradale) e tirante impostato a livello intermedio su travi in acciaio; altezze massime 6.0÷7.0m

4. Berlinesi multiancorate:

La spaziatura verticale tra i tiranti (ordini) varia generalmente da 2.5m a 3.5m con portate ad aumentare verso il basso; in questo caso, particolare attenzione deve essere posta nella definizione del tratto libero, intestando i bulbi di fondazione dei tiranti al di fuori del cuneo di spinta dei terreni.

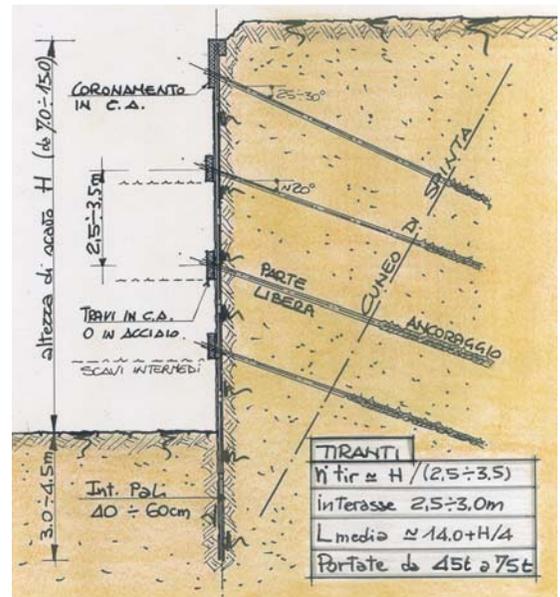
L'infissione dei pali può variare da 3.0 a 4.5m in funzione delle caratteristiche dei terreni e della quota di posa del tirante più basso.

Il numero delle tirantature varia da $H/3.5$ a $H/2.5$ dove H è l'altezza di scavo totale.

In presenza di edifici, particolare attenzione deve essere posta nel dimensionamento della prima fila di tiranti, per la quale, data la delicatezza, è opportuno un abbondante sovradimensionamento.

Le travi di ripartizione possono essere sia metalliche che, preferibilmente, in c.a.

Le travi di coronamento devono invece essere realizzate in c.a. in quanto spesso assumono un carattere di decisivo presidio dei primi metri di terreno, potenzialmente molto pericolosi. In tal caso, poter disporre di un buon collegamento, risulta di strategica importanza per la stabilità dell'opera, ed è anche utile realizzare le travi con una certa altezza (oltre $1.0 \div 1.5m$), per estendere maggiormente i benefici effetti di chiusura.

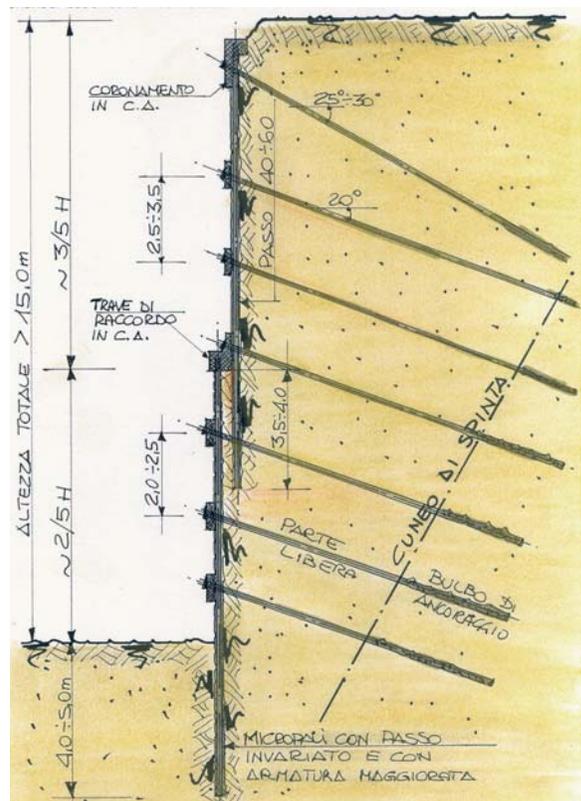


5. Berlinesi accoppiate:

per altezze di scavo oltre i $15 \div 20m$, il controllo della verticalità delle palificate diventa difficoltoso; risulta quindi conveniente spezzare l'altezza di scavo con due berlinesi adeguatamente sovrapposte e tirantate. Questa soluzione presenta inoltre il vantaggio di poter graduare l'armatura della palificata, utilizzando per la parte inferiore armature tubolari più resistenti mantenendo invariato il passo in modo da non interferire con i tiranti della zona di sovrapposizione che è di circa $3.5 \div 4.0m$.

L'infissione si mantiene generalmente attorno ai $4.0 \div 5.0m$.

Per la disposizione delle tirantature ed il loro dimensionamento valgono le stesse indicazioni del caso precedente, con le ovvie maggiori attenzioni dovute all'altezza superiore.



1.3 PARTICOLARI COSTRUTTIVI INGOMBRI

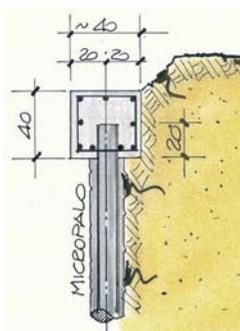
Travi di coronamento e ripartizione:

Di seguito si riportano alcuni esempi delle travi di coronamento delle teste dei micropali, per le berlinesi a

sbalzo, e per quelle con contrasto in sommità (micropalo inclinato o tirante).

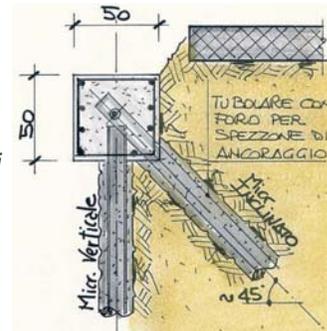
Trave di testa con micropali a sbalzo;

in questo caso la trave ha il solo scopo di contenere tutti i micropali; a livello geometrico può essere sufficiente un cordolo 40x40.



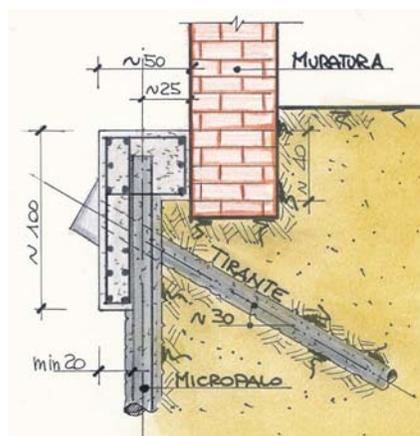
Trave di testa con micropalo inclinato;

in questo caso, oltre che contenere i pali verticali, la trave deve contenere i pali inclinati ripartendo la loro reazione; le dimensioni minime sono generalmente di 50x50cm.



Trave di testa con tirante ed edificio.

In presenza di edifici aderenti alla berlinese è necessario realizzare una travatura con sezione ad L rovesciata; in questo modo, la tirantatura può essere posizionata in modo da non interferire con le fondazioni adiacenti, mentre la parte superiore del cordolo, andando a diretto contatto con la muratura, garantisce l'immediata disponibilità della reazione del tirante. Prima di eseguire le tirantature a confine con edifici esistenti è comunque necessaria una attenta campagna di assaggi per definire con precisione la geometria dell'esistente.

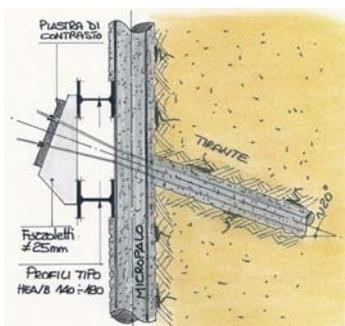


Le travi ripartizione intermedie possono essere sia acciaio che in c.a.; le prime sono da preferire per la loro velocità di posa in opera, mentre le seconde garantiscono una migliore

ripartizione sui pali e sono quindi da preferire per le berlinesi con altezze di scavo impegnative o in presenza di situazioni di particolare delicatezza.

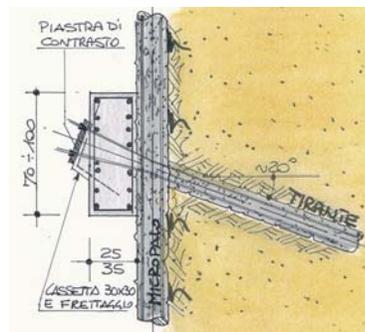
Trave di ripartizione con profili HE:

le armature dei micropali devono essere adeguatamente spessorate contro le travi di ripartizione. L'inclinazione dei tiranti non deve superare i 20°.



Travi di ripartizione in c.a.:

generalmente lo spessore minimo è di 25÷35cm, per un'altezza di 70÷100cm. Le dimensioni dipendono dalla tirantatura impiegata.



Ingombri

Ai fini della corretta disposizione architettonica e strutturale delle opere è di fondamentale importanza la definizione degli ingombri da considerare nella ripartizione degli spazi interrati.

L'elemento fondamentale che determina tutta l'opera è la minima distanza della sonda di perforazione dal filo dell'edificio confinante o del muro di recinzione, che è pari a 25÷30cm.

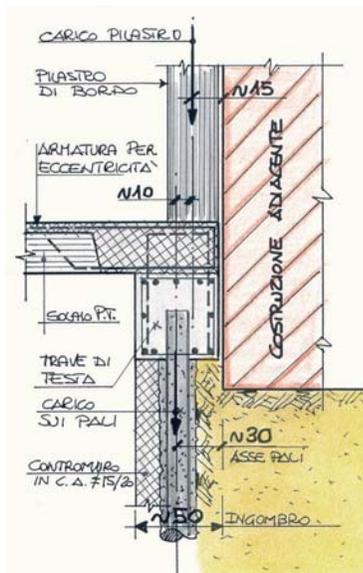
Il pacchetto strutturale di interrato per l'opera finita risulta quindi avere ingombri variabili dai 50 ai 65cm, in funzione della necessità o meno di impermeabilizzare il muro di interrato, come riportato nelle figure che seguono.

I dettagli evidenziano anche la possibilità di assorbire il carico di eventuali pilastri situati al bordo del lotto di proprietà; si evidenzia che l'azione di tali pilastri è eccentrica rispetto ai contromuri di interrato che normalmente sono adibiti a portare il carico in maniera autonoma. In tale situazione, la trave di coronamento ed il solaio di piano terra,

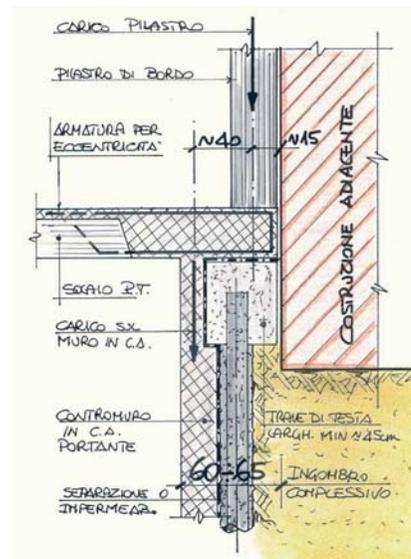
devono essere dimensionati in modo da assorbire tale eccentricità per mezzo di adeguate armature, in grado di ricentrare il carico sul muro inferiore.

Come già detto, è anche possibile convogliare i carichi sui micropali di berlinese; in questo caso, occorre disporre di una robusta trave di ripartizione, in grado di diffondere il carico sui pali sottostanti, ed aumentare l'infissione dei micropali. Prima di definire il corretto posizionamento delle berlinesi, è quindi delle modalità di assorbimento dei carichi, è necessario procedere ad una attenta campagna di assaggi, in modo da verificare la geometria delle fondazioni adiacenti, sia in relazione alla loro quota di posa che all'eventuale fuoriuscita di dadi verso l'interno dello scavo.

La conoscenza esatta della quota di fondazione può essere molto utile per limitare la lunghezza dei micropali e stabilire correttamente i piani di lavoro (ad esempio, con un piano di fondazione a q. -1.5m, sarà conveniente realizzare un piano di lavoro a q. -1.0m, o quantomeno arrestare a tale livello le armature dei micropali).



Contromuro tipico e carichi verticali portati dai micropali: ingombro complessivo circa 50cm ed eccentricità di circa 10÷15cm.



Contromuro impermeabilizzato e carico sul muro: ingombro complessivo 60÷65cm ed eccentricità di circa 40cm.

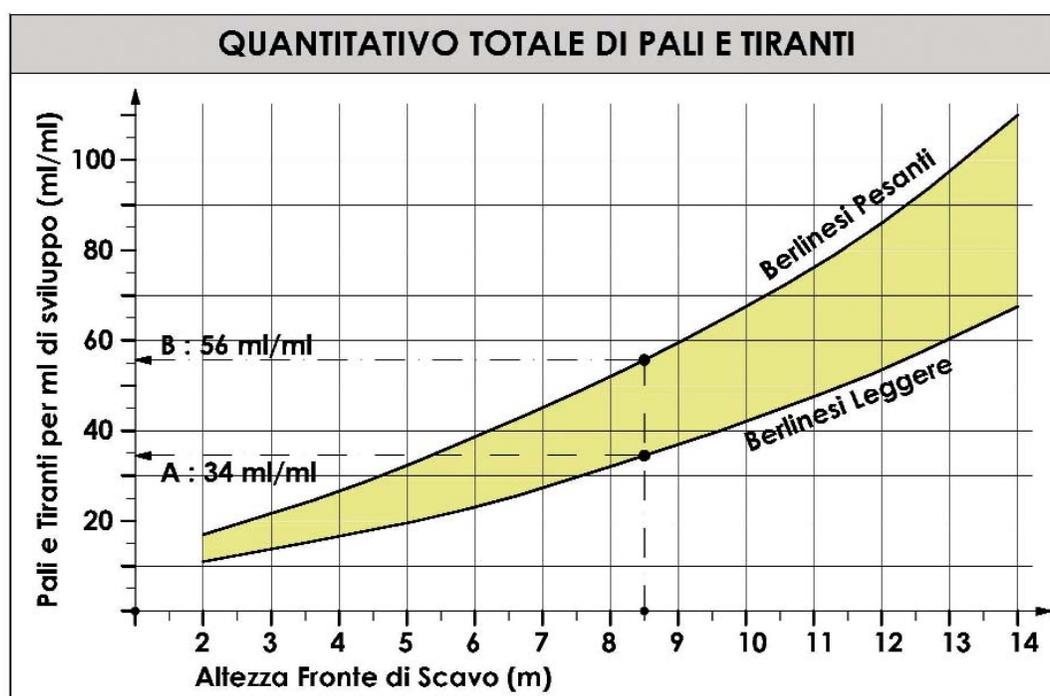
1.4 QUANTITATIVI MEDI DI PALI E TIRANTI

Al fine di consentire una rapida e sommaria quantificazione delle opere, e solo per le berlinesi di tipo provvisoriale, si propone un grafico che fornisce la lunghezza complessiva di micropali e tiranti in funzione dell'altezza di scavo da sostenere.

Il grafico è stato ottenuto sulla base della quantificazione di molteplici berlinesi, progettate e realizzate, con grande variabilità di carichi applicati nelle adiacenze (terreni liberi, strade o edifici di varia altezza), e di tipologie di terreni. L'utilità del grafico è data dal costo paragonabile dei tiranti e dei micropali, cosicché diviene semplice identificare l'ordine di grandezza di massima dei costi dell'opera.

Nel grafico sono rappresentate due curve, all'interno delle quali si collocano i quantitativi medi normalmente impiegati; la curva bassa (berlinesi leggere) identifica situazioni con bassi sovraccarichi accoppiati a terreni di buone caratteristiche, mentre quella associata alle berlinesi pesanti identifica situazioni con elevati sovraccarichi e terreni scadenti.

Ovviamente, casi particolari possono richiedere quantitativi in eccesso o in difetto rispetto a quanto indicato.



Un esempio numerico chiarisce meglio l'impiego del grafico.

Caso A: Si deve aprire un fronte di scavo con uno sviluppo orizzontale di 40.0ml ed un'altezza di 8.5m, in aderenza ad una strada e con terreni di buone caratteristiche:

La berlinese ricade nella tipologia "leggera", e richiede un totale di 34 ml di pali e tiranti per ogni metro di sviluppo, pertanto per completare l'opera, se ne impiegheranno un totale di 1360 ml (40.0x34).

Caso B: Stessa geometria e sviluppo, ma con edifici in aderenza e terreni mediocri:

La berlinese ricade nella tipologia "pesante", e richiede un totale di 56 ml di pali e tiranti per ogni metro di sviluppo, pertanto per completare l'opera, se ne impiegheranno un totale di 2240 ml (40.0x56).

Infine, una sommaria distinzione tra pali e tiranti può effettuarsi considerando che la percentuale di tirantature aumenta con l'altezza dell'opera, passando da un minimo del 20÷30% per scavi ridotti per raggiungere il 45÷60% per gli scavi più elevati.

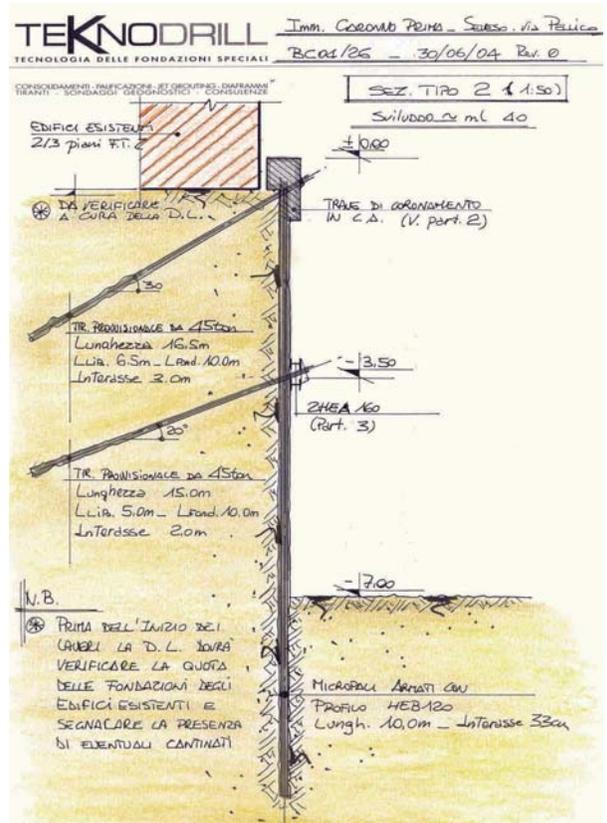
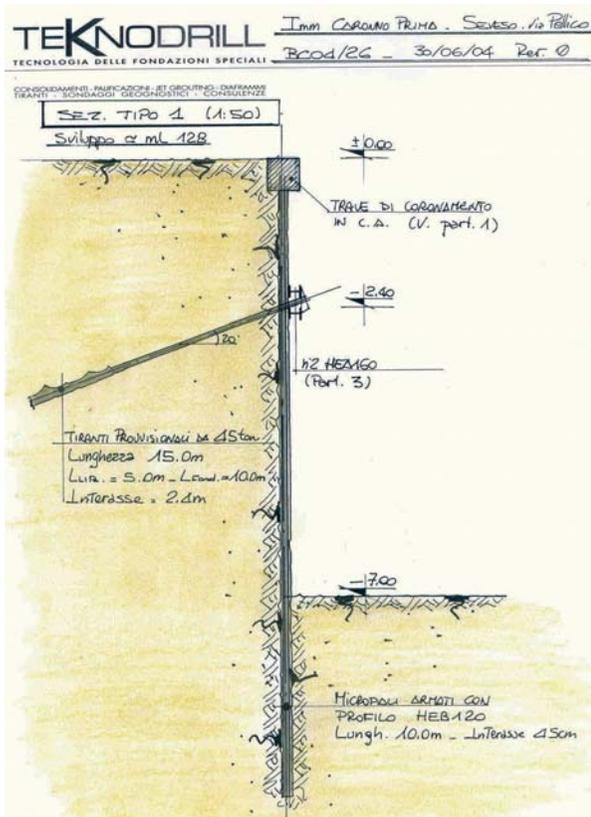
1.5 ESEMPI DI BERLINESI

Esempio: Cantiere in Seveso (Mi), via Silvio Pellico - Berlinese Provvisionale.

Lo scavo massimo è di 7.0m e viene realizzato parte in fregio ad una strada (sez.1) e parte in fregio ad un edificio a due piani fuori terra senza scantinato (sez.2); i terreni sono di media qualità.

Il progetto:

Per la zona a lato strada (Sez.1), viene adottata la tipologia con un solo tirante intermedio e trave di ripartizione in acciaio. Per la zona in aderenza al fabbricato (Sez.2), si realizzano due file di tiranti provvisionali (la prima su trave in c.a. e la seconda su travi in acciaio).



Incidenza di pali e tiranti:

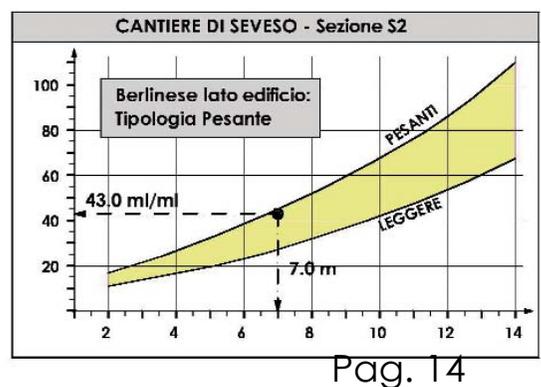
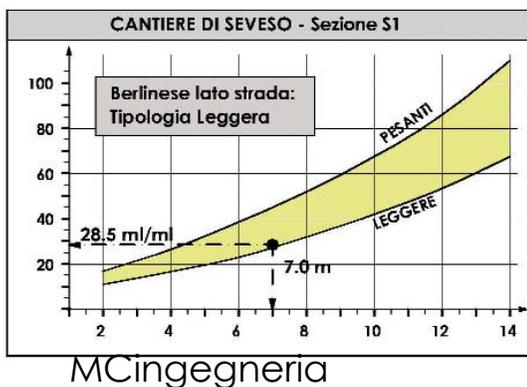
$$10.0/0.45 + 15.0/2.4 = 28.5\text{ml/ml}$$

Il punto identificativo nel grafico dei quantitativi medi si colloca nella fascia relativa alle berlinesi leggere.

Incidenza di pali e tiranti:

$$10.0/0.333 + 16.5/3.0 + 15.0/2.0 = 43.0\text{ml/ml}$$

Il punto identificativo nel grafico colloca la berlinese in prossimità delle berlinesi pesanti.



La realizzazione



Operazioni preparatorie per il getto della trave di coronamento.



*Scavo di sbancamento completato.
Vista del lato strada con la tirantatura su un'unica fila.*



*Sbancamento eseguito:
Vista del lato edificio con la doppia serie di tiranti.*

MCingegneria

Esempio 2: Cantiere in Milano, via Broletto - Berlinese provvisoria

Durante i lavori di scavo per la realizzazione della nuova sede della Consob, vengono alla luce dei reperti archeologici disposti su una superficie di circa 10.0x5.0m. Su richiesta della Soprintendenza ai beni archeologici viene quindi

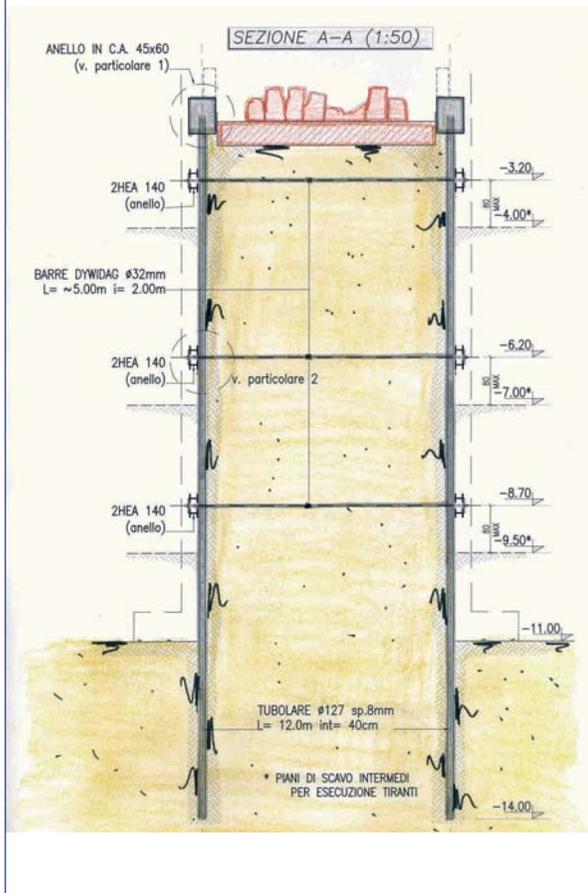
realizzata una berlinese di contenimento delle antiche murature che si dispone sui quattro lati. Lo scavo massimo arriva alla quota di -11.0m e viene eseguito da un piano a -2.50 circa.

A causa della ristrettezza degli spazi, sui cordoli delle berlinesi viene inoltre impostato un pontile in carpenteria metallica per l'accesso e l'operatività dell'escavatore.

Il progetto:

Il prisma di terreno viene contenuto con una cortina di micropali ad interasse 40cm lunghi 12.0m.

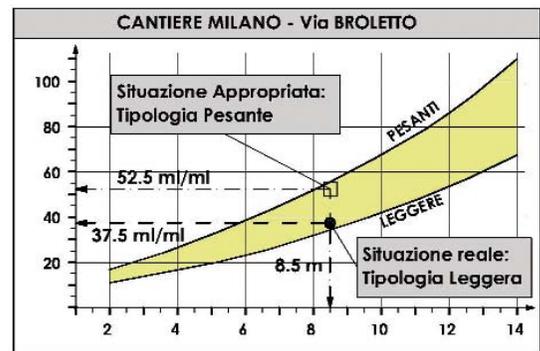
La cerchiatura viene realizzata mediante tre ordini di barre dywidag Ø 32mm ad interasse 2.0m e con lunghezza 5.0m; le barre sono impostate su profili HEA140 disposti ad anello su tutto il perimetro.



Incidenza di pali e tiranti:

$$12.0/0.40 + 3 \times 5.0/2.0 = 37.5 \text{ ml/ml}$$

Il punto identificativo nel grafico dei quantitativi si colloca nella fascia relativa alle berlinesi leggere.



Va detto che, in questo caso, le tirantature sono molto corte perché mutuamente contrastate.

Nel caso non vi fosse stata questa possibilità la loro lunghezza media sarebbe stata di circa 15.0m (a causa della necessità di ancorare i tiranti al terreno) e quindi il quantitativo totale di pali e tiranti sarebbe risultato di 52.5ml/ml, più prossimo alla zona delle berlinesi pesanti e più appropriato al caso in oggetto vista la delicatezza dell'intervento.

La realizzazione



Realizzazione dei pali verticali, della trave di coronamento in c.a. e del primo anello di contrasti con barre Dywidag.

Realizzazione del pontile per il posizionamento dell'escavatore e l'approfondimento dello scavo.



Scavo ultimato: vista d'insieme e particolare



MCingegneria

Pag. 17

Esempio 3: Cantiere di Bergoggi (Sv): Berlinesi permanenti

L'opera consiste nella realizzazione di paramenti tirantati per il sostegno dei terreni in pendio. Proprio a causa della realizzazione su pendio, le costruzioni in progetto non hanno la possibilità strutturale di assorbire le spinte dei terreni e

pertanto le opere di sostegno, ed in particolare le tirantature assumono carattere definitivo. L'altezza totale dei paramenti varia da circa 7.0m a 12.0m.

I fronti d'intervento sono piuttosto ampi (circa 100ml) ed interessano terreni di natura molto variabile a causa di una complessa conformazione geomeccanica.

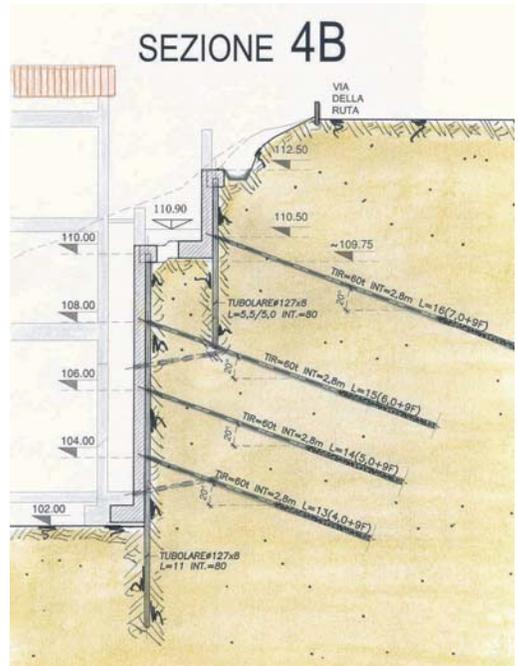
Il progetto:

Sfruttando anche le esigenze architettoniche, il dislivello viene superato realizzando 2÷3 berlinesi in modo da gradonare lo scavo e limitare l'altezza di ciascuna volata.

Sono stati impiegati micropali con interassi variabili da 60 ad 80cm (grazie alla buona consistenza del materiale da scavare), infissi per 4.0m sotto la quota di scavo.

I contrasti sono stati realizzati con tiranti permanenti a doppia protezione con portata nominale di 60.0ton disposti con spaziature orizzontali di 1.8÷2.8m e verticali di 2.0÷2.5m. La lunghezza è variabile da 25.0 a 15.0m.

Il paramento in c.a. viene gettato per conchi a scendere con spessore di 40cm, e ingloba le travi di ripartizione dei tiranti.



Preparazione del piano di lavoro



Realizzazione dei primi pali e tiranti

La realizzazione



Posizionamento casseri ed armature dei muri



Esecuzione di pali verticali



Fasi di getto dei muri a scendere



Esecuzione tirante



Vista della berlinese in fase di lavoro
MCingegneria

Esempio 4: Lumezzane (Bs), Berlinesi provvisionali

Per la realizzazione dell'ampliamento dell'ospedale Gnutti, è stato necessario sostenere fronti di scavo di un'altezza massima pari a circa 16.0m.

Il Progetto:

Il paramento verticale è composto da micropali ad interasse 50cm infissi per 3.0m sotto la quota di scavo.

La tirantatura è stata impostata su 5-6 ordini impiegando tiranti con portate variabili da 45t a 60t, disposti con interassi verticali di 2.5m, ed orizzontali di 2.0÷2.5m; le lunghezze variano da 23.0 a 16.0m.

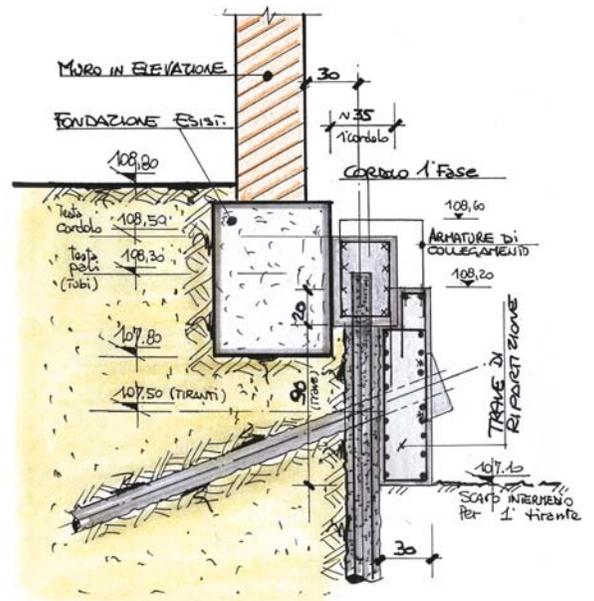
La realizzazione:

Le travature di ripartizione sono in c.a. con sezione 100x30.

Il muro definitivo è in c.a.; per aumentare la sicurezza e contenerne la dimensione, sono stati inseriti dei fasci in tondino $\varnothing 24$ zincati aventi funzione di legatura del terreno.



Esecuzione tirante intermedio





Vista della berlinese e dell'ospedale



Vista generale berlinese

Montaggio delle armature del muro definitivo



2. I Micropali di fondazione indiretta

Poichè rispetto ad altre tipologie di palificazione la tecnica dei micropali è generalmente più onerosa, il loro impiego viene limitato a condizioni particolari che non permettono l'uso delle usuali tecnologie. Alcune delle situazioni che orientano verso l'uso dei micropali sono:

- limitati spazi disponibili in cantiere
- limitata estensione delle lavorazioni (in questo caso l'impianto cantiere delle usuali attrezzature da pali incide eccessivamente sull'economia generale)
- Necessità di realizzare pilastri in aderenza a strutture esistenti (in questo caso, ad esempio, sarebbe impossibile eseguire pali di tipo battuto sia per ragioni di ingombro che per motivi di perturbazione delle fondazioni esistenti)
- presenza di carichi eccessivamente variabili (da molto piccoli a molto grandi); l'impiego di micropali con modulo di portata adeguato consente di ottimizzarne il numero in funzione delle sollecitazioni
- stratigrafie con presenza di trovanti o croste cementate di quota e spessore aleatoria che non consentono l'attraversamento con le usuali tecniche
- necessità di eseguire nuove pilastrate all'interno di edifici esistenti (in questo caso diventa fondamentale poter impiegare attrezzature con ridotta altezza quali le sonde per micropali).

I grafici che seguono mostrano la portata dei micropali in funzione del diametro del palo (150÷200mm) e della lunghezza totale. Per ogni diametro vengono individuate due linee; quella inferiore è relativa a terreni con caratteristiche medie, mentre la superiore è relativa a terreni con caratteristiche buone/ottime.

2.1 Dimensioni e portate

Il diametro di perforazione viene determinato in funzione della logistica di cantiere e varia da 150 a 250mm.

Le armature sono generalmente costituite da tubolari metallici con diametro esterno da 88.9 a 192mm e spessore adeguato alle sollecitazioni (da 7 a 12mm);

le sezioni di armatura sono dimensionate in modo che il tasso di lavoro si mantenga poco sopra i 1000÷1200 kg/cm², in modo da evitare eccessive deformazione elastiche dell'armatura stessa. È infatti necessario ricordare che la quasi totalità del carico viene assorbita dall'armatura metallica introdotta e che la miscela cementizia di iniezione ha solo lo scopo di trasmettere al terreno il carico del palo. Le portate comunemente rese dai micropali in terreni di tipo granulare variano da 15 a 40ton; in particolari condizioni, quali ad esempio la presenza di formazioni rocciose o strati di ghiaia molto compatti, si arriva anche a fornire portate dell'ordine delle 60÷80ton.

La portata ammissibile viene raggiunta con un notevole contributo dell'attrito laterale, pertanto, aumentando adeguatamente la lunghezza dei pali è in linea teorica possibile raggiungere qualunque portata desiderata, ovviamente tenendo conto delle condizioni stratigrafiche del sito; ad esempio, con grosse coperture di terreno eccessivamente cedevole (torbe, limi saturi), non è conveniente eccedere nella richiesta di portata per non incorrere in fenomeni di instabilizzazione del fusto del palo.

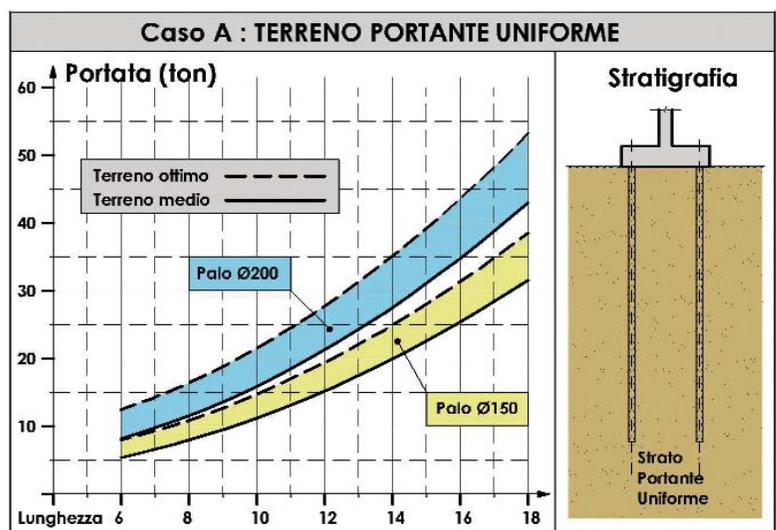
Sono prese in considerazione tre diverse condizioni stratigrafiche in quanto l'efficienza della parte utile dei pali varia notevolmente in funzione della profondità.

Caso A: Terreno uniforme

Rappresenta la situazione tipica in cui il terreno, pur di caratteristiche medio-buone non consente l'impiego di fondazioni dirette per eccessiva dimensione delle piattabande.

Prendendo ad esempio un palo da 10.0m, le portate di riferimento risultano:

- 12 ton per pali Ø150 e terreni medi
- 22 ton per pali Ø200 e terreni ottimi

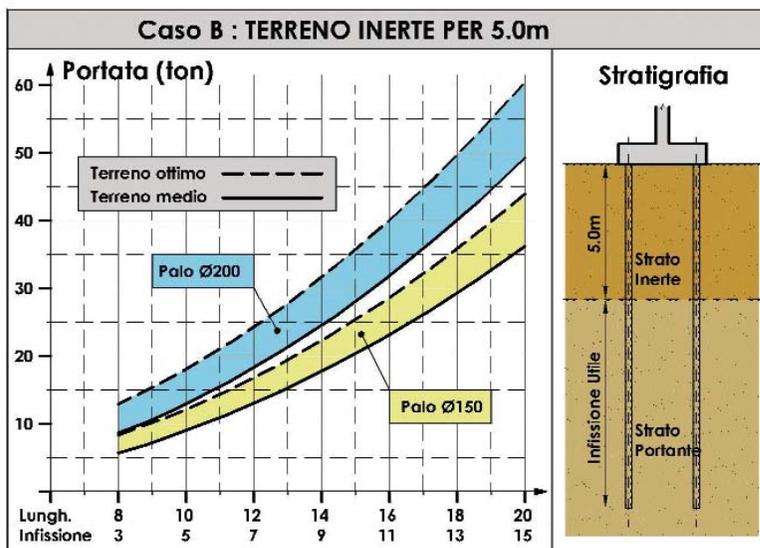


Caso B: Terreno inerte per 5.0m

In questo caso, si nota l'aumento dell'efficienza della parte utile del micropalo in funzione della profondità.

Considerando ancora la stessa infissione utile del micropalo di 10.0m (lungh. totale 15.0m), le portate di riferimento risultano:

- 20ton per pali Ø150 e terreni medi
- 36ton per pali Ø200 e terreni ottimi



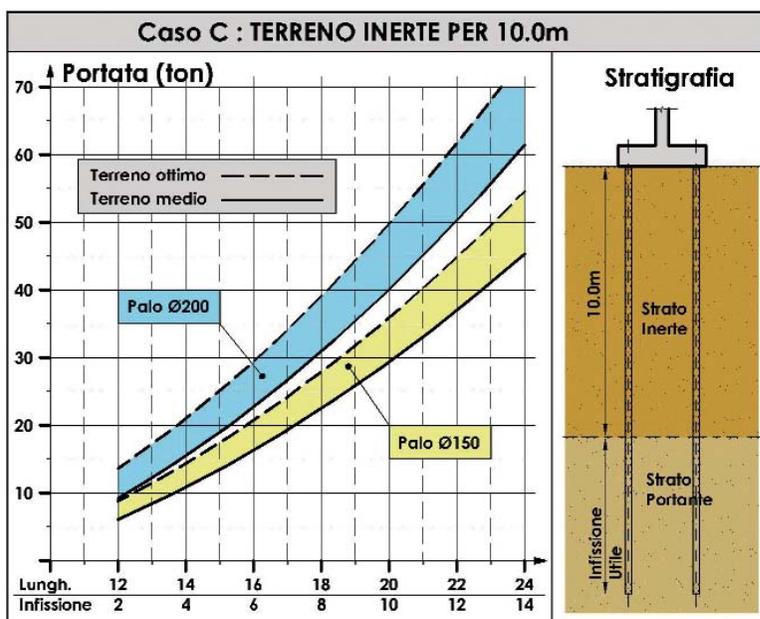
Caso C: Copertura inerte per 10.0m

In questo caso, l'aumento di portata unitaria della parte utile del micropalo è ulteriormente accentuato.

Considerando ancora la stessa infissione utile del micropalo di 10.0m (lungh. totale 20.0m), le portate di riferimento risultano:

- 29ton per pali Ø 150 e terreni medi
- 50ton per pali Ø 200 e terreni ottimi

È da tener presente, che l'effetto di cui sopra non cresce indefinitamente all'aumentare della profondità. In via preliminare è quindi conveniente riferirsi alle infissioni utili ricavate per il caso C per coperture inerti di maggiore altezza.



Si rileva che i grafici riportati rappresentano le portate valutate nel caso di assenza di falda.

È importantissimo infatti rimarcare che la presenza della falda acquifera diminuisce sensibilmente la portata dei micropali, a causa della diversa interazione tra la miscela di iniezione ed il terreno in sito. L'effetto finale è poi

strettamente dipendente dalla quota relativa tra il livello freatico e la parte di micropalo intestato nello strato portante, cosicché risulta impossibile identificare grafici di una qualche utilità pratica, ma al contrario è necessario valutare le portate caso per caso.

2.2 La disposizione dei micropali

Nella disposizione dei pali tradizionali al di sotto delle piattabande si adotta generalmente un interasse minimo di 3 volte il diametro; ad esempio per pali Ø60cm l'interasse diviene di 180cm.

Adottando la stessa regola con fondazioni su micropali, il loro ridotto diametro porterebbe ad avere interassi dell'ordine dei 60cm, per cui, ad esempio un plinto su 4 pali potrebbe avere dimensioni globali di soli 120x120cm compresi i franchi laterali di 30cm.

Questo genere di disposizione è però sconsigliabile per varie ragioni:

- Eventuali momenti flettenti inducono nei micropali azioni elevate di trazione o compressione a causa del ridotto braccio di coppia
- Per motivi analoghi, eventuali errori di tracciamento o di posizionamento delle sonde di perforazione, generano delle eccentricità di carico e quindi l'insorgere di momenti

flettenti, il cui effetto è un aumento del carico assiale sui pali che, nel caso di un ridotto braccio di coppia, può essere importante

- A causa del meccanismo portante dei micropali, che si sviluppa essenzialmente per attrito laterale, il disturbo reciproco è maggiore che per i pali tradizionali che sviluppano la propria portata prevalentemente alla base; inoltre, dato che l'errore medio di verticalità nell'esecuzione dei micropali è dell'ordine del 2%, si avrebbe un pericoloso avvicinamento dei fusti

In definitiva, quindi, è consigliabile impiegare interassi dell'ordine di 5 volte il diametro, e preferibilmente attorno a 120-150cm, in modo da avere una congrua risorsa nell'assorbimento delle azioni flessionali, siano esse intenzionali che involontarie, riservando ai casi particolari la possibilità comunque presente di disporre i pali con interassi ridotti.

Nel caso di piattabande semplici ed isolate, il massimo/minimo carico sul palo, può determinarsi, in via speditiva attraverso la seguente formulazione:

$$N_p = N/n_p \pm M_x/(b_x \cdot n_{p_x}) \pm M_y/(b_y \cdot n_{p_y})$$

dove:

- N = azione assiale alla base della fondazione
- n_p = numero totale pali impiegati
- M_x/y = momento flettente in direzione x/y alla base
- b_x/y = braccio di coppia per M_x/M_y
- $n_{p_x/y}$ = numero dei pali sul braccio di coppia

Si rileva che la formula è valida solo per plinti simmetrici in entrambe le direzioni e per due sole file di pali utili ai fini flessionali. Per casi diversi valgono le formulazioni più generali reperibili in letteratura tecnica.

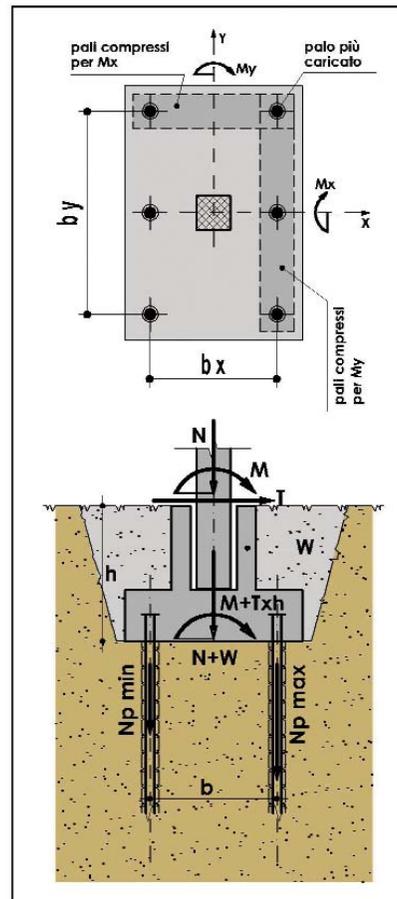
Nella disposizione dei pali è utile distinguere il caso dei pilastri prefabbricati da quelli tradizionali:

Pilastri prefabbricati: in questo caso sono sempre presenti azioni flessionali, ed occorre valutare attentamente le azioni fornite dal prefabbricatore; in particolare, occorre sapere:

- se le azioni flettenti sono contemporanee; in questo caso la formula va applicata nella sua generalità, viceversa si deve applicare in una sola direzione per volta, orientando opportunamente la piattabanda nella direzione di massimo momento flettente
- la quota di applicazione dei carichi; solitamente i carichi vengono forniti alla sommità del colletto, per cui è necessario considerare l'aumento dell'azione flettente sulle piattabande dovuta al taglio, che si ottiene moltiplicando il taglio stesso per l'altezza di colletto e piattabanda
- se nei carichi è compreso il peso dei pannelli elementi di tamponamento, fattore importantissimo per i pilastri di bordo; il peso dei pannelli è di circa 350kg/mq, pertanto per un capannone alto 10m e con interassi di 9.0m, il peso complessivo risulterebbe di circa 31.5ton, valore non trascurabile.

I pilastri delle strutture edilizie tradizionali, non sono invece tendenzialmente interessati da momenti flettenti, in quanto tutte le azioni flessionali vengono di norma convogliate nei corpi scala. Per le piattabande con pochi pali

(2÷4), è buona norma però, considerare una eccentricità di carico pari ad almeno 10÷15cm nelle due direzioni, per effetto di eventuali errori di tracciamento o azioni parassite non conteggiate nei calcoli di analisi. Inoltre, occorre sempre disporre almeno due pali per ogni pilastro, orientando le piattabande per favorirne il collegamento con le cordolature trasversali di stabilizzazione



2.3 Disposizioni Tipiche e Calcolo Azioni

Di seguito si riportano alcune disposizioni ricorrenti in funzione del numero dei pali impiegati, nonché l'applicazione della formula per la determinazione del massimo e minimo carico sul palo.

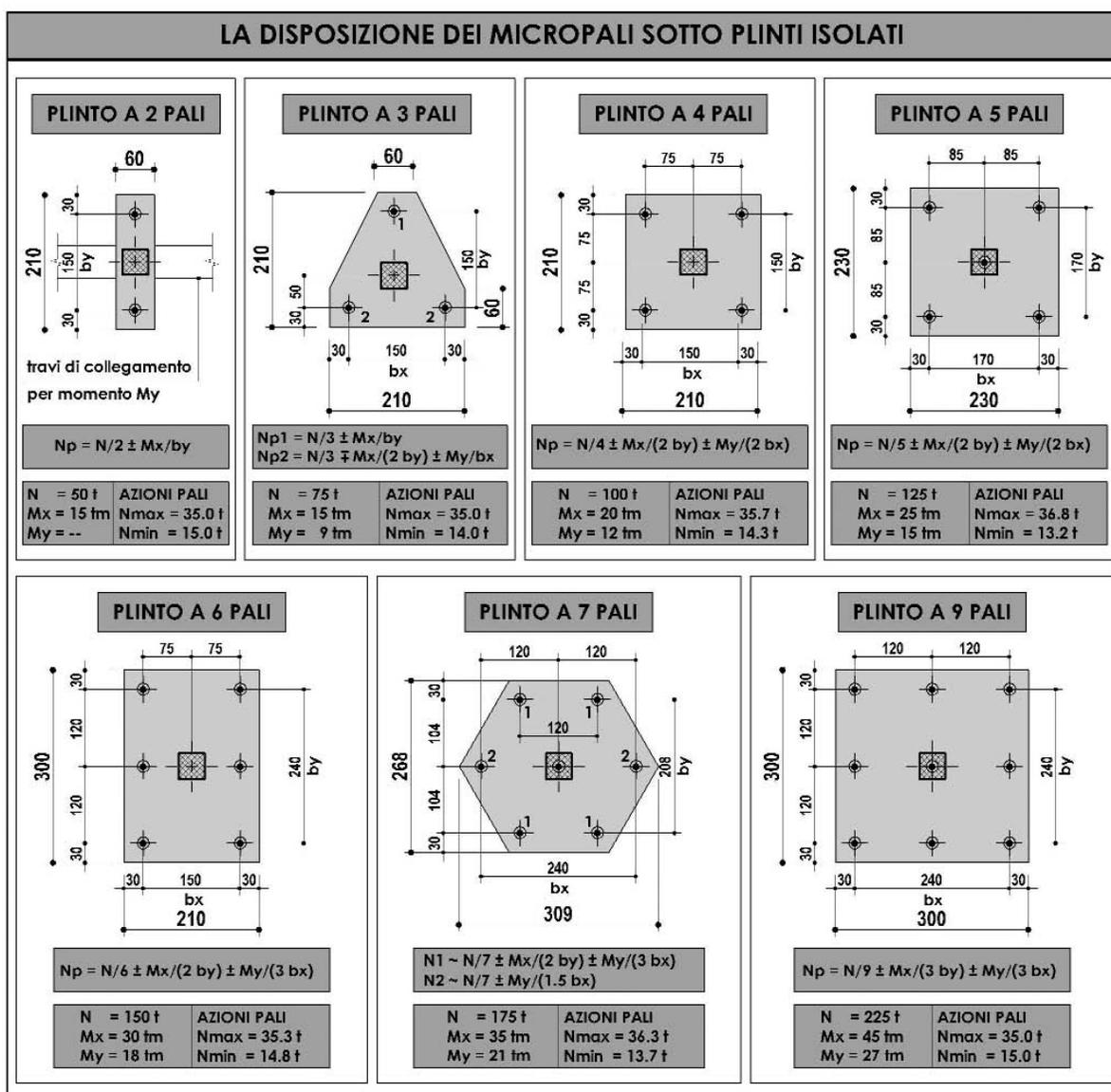
Per ciascuna tipologia viene specializzata la formulazione generale e si forniscono degli esempi di calcolo delle massime e minime sollecitazioni sui micropali, valutate nel caso di azioni flessionali contemporanee.

Gli esempi sono proposti considerando l'azione assiale che, in assenza di momenti flettenti, provocherebbe un carico sul palo di 25.0t, mettendo così in evidenza l'influenza delle azioni flessionali. Queste ultime sono proposte in proporzione all'azione assiale, in modo da avere un'eccentricità costante.

Si nota che l'azione massima sui micropali varia da 35 a 37 ton, con un aumento del 45% circa rispetto al caso di carico centrato, cui corrisponderebbe una compressione massima di 25.0t.

Riguardo alle varie tipologie vi è da dire che:

- la disposizione a 2 pali necessita sempre di travi di collegamento trasversali
- la disposizione a 3 pali è la prima autonomamente stabile, per cui, nel caso di pilastri molto distanti, il suo impiego può essere preferibile in luogo di quella a 2 pali, anche se la portata dei micropali non viene sfruttata completamente (si risparmiano le travi di collegamento)
- le disposizioni a 4, 5 e 6 pali sono le più semplici sia dal punto di vista costruttivo che per il posizionamento delle armature; inoltre quella a 6 pali può essere efficacemente impiegata nel caso di azione flettente predominante in una direzione.



2.4 Edifici in aderenza

Un caso tipico che può essere risolto adeguatamente solo con l'impiego dei micropali si verifica nel caso di costruzioni in aderenza ad edifici preesistenti. In questo caso, esigenze architettoniche e costruttive portano a disporre i nuovi pilastri il più vicino possibile all'esistente sbilanciando fortemente la fondazione.

L'impiego di pali tradizionali diventa quindi praticamente improponibile; nel caso di pali trivellati di medio o grosso diametro, la piattabanda si troverebbe infatti completamente eccentrica rispetto all'asse dei pilastri, mentre nel caso di pali battuti, le vibrazioni indotte in fase di infissione generano perturbazioni eccessive alle fondazioni esistenti; in ogni caso, l'eccentricità delle piattabande palificate rispetto ai pilastri diventerebbe eccessiva.

L'impiego dei micropali consente di superare entrambe le problematiche in quanto con adeguate disposizioni è possibile avvicinare il baricentro dei pali a quello dei pilastri e parimenti le modalità di perforazione sono tali da non indurre perturbazioni eccessive.

In questo caso è necessario disporre i micropali con i minimi interassi possibili (ovviamente tenendo conto di una certa diminuzione di portata del singolo palo), e considerarne comunque un maggior numero rispetto al caso di pilastro isolato; ciò è dovuto al fatto che i pali posti lungo il confine tendono ad assorbire quasi completamente il carico del pilastro, ma diviene anche necessario (specie in presenza di

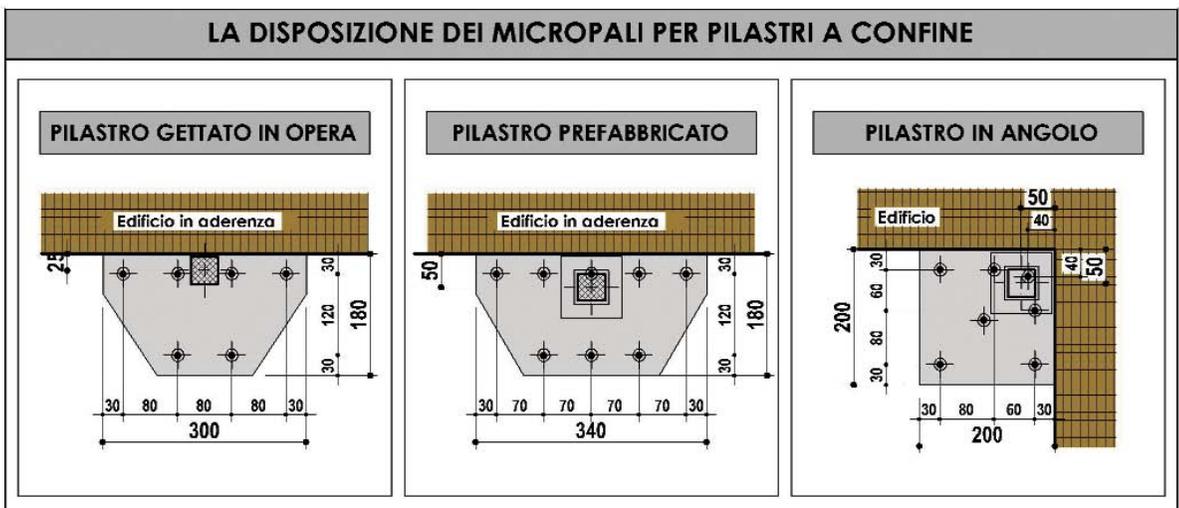
momenti flettenti), disporre di ulteriori pali più interni in modo da garantire equilibrio alla fondazione.

Alcuni esempi di palificazione in aderenza sono riportati nelle figure a seguire.

■ **Caso di pilastri prefabbricati:** solitamente, la dimensione del pilastro e del colletto del plinto a bicchiere spostano l'asse del pilastro di circa 50÷60cm oltre il filo di proprietà; in questo caso la fila di pali più in aderenza riesce a lavorare con un certo equilibrio. Il numero di pali interni dipende dalle azioni flessionali sul pilastro.

■ **Caso di pilastri gettati in opera:** in questo caso la problematica dell'eccentricità del carico si accentua (può anche capitare che l'asse dei pilastri sia totalmente al di fuori della linea dei pali di confine). Vi è da dire che però, normalmente i pilastri gettati in opera non sono soggetti a forti sollecitazioni flessionali, per cui in definitiva, il numero dei pali di riequilibrio risulta contenuto.

■ **Caso di pilastri in angolo:** In questo caso le problematiche di cui sopra si accentuano ulteriormente e diviene spesso necessario fare ricorso a pali leggermente inclinati; in tal modo la testa dei pali può ravvicinarsi nei pressi dell'asse dei pilastri, mentre la zona del fusto che sviluppa la portata si allontana adeguatamente dai restanti pali. Anche in questo caso è necessario disporre di un elevato numero di pali di riequilibrio.



2.5 Pali sotto murature continue in c.a.

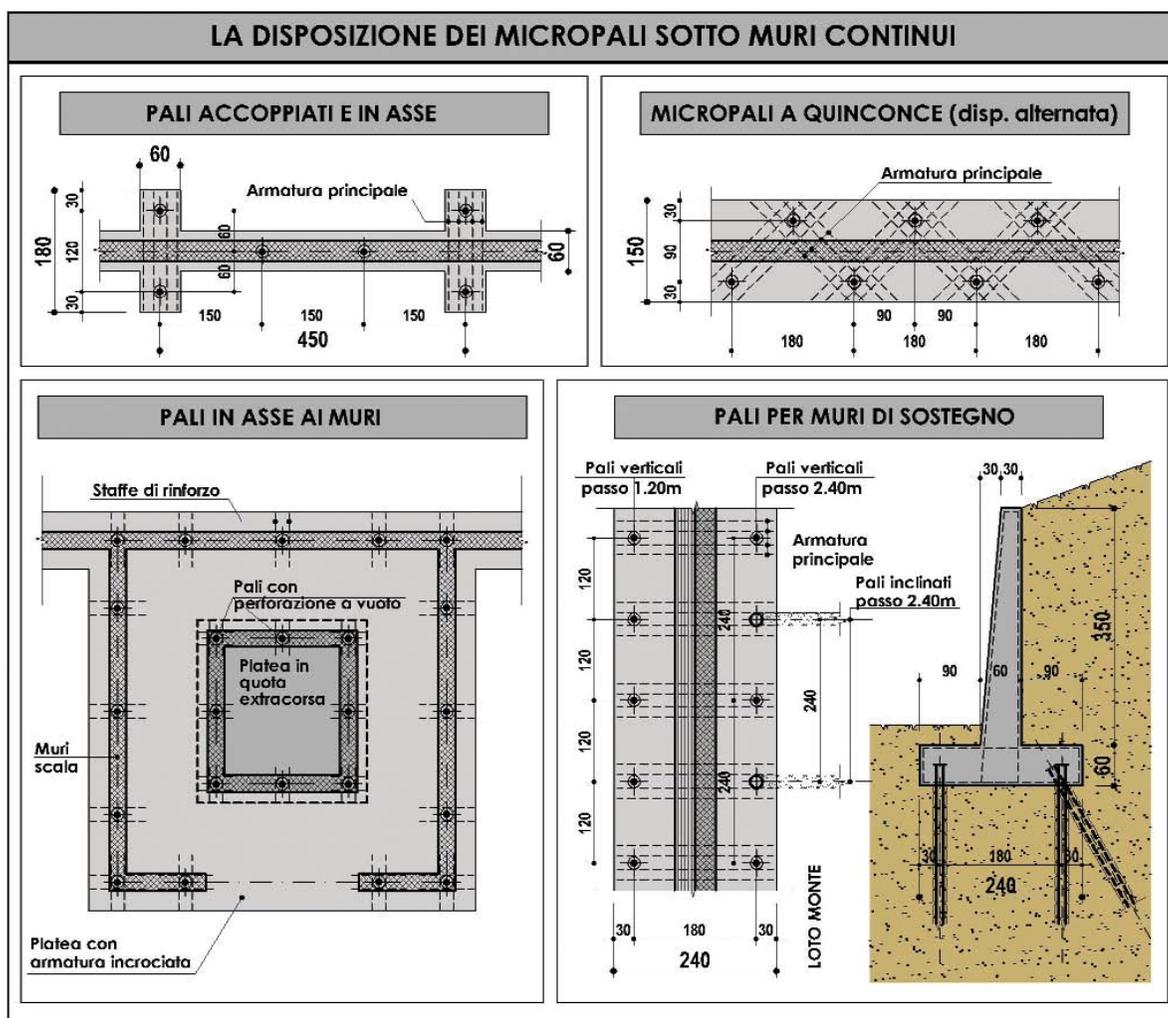
Nel caso di micropali sotto muri continui, anche se unicamente soggetti a carichi assiali, occorre conferire alla fondazione anche un minimo di risorsa flessionale, pertanto, sono possibili tre tipologie distributive:

■ **Pali accoppiati e in asse:** in questo caso i pali accoppiati (che vanno disposti al massimo ogni due pali in asse) consentono di stabilizzare la muratura; si ottiene anche una certa economia di materiali e una maggiore semplicità nella disposizione delle armature, a scapito di maggiori difficoltà di tracciamento e cassetatura.

■ **Pali a quinconce:** in questo caso la fondazione presenta larghezza costante (circa 120÷150cm) ma per contro diventa più difficile la disposizione delle armature, specie per elevati interassi trasversali; in tal caso, le armature principali, congiungendo i centri dei pali, si trovano ad essere fortemente inclinate

■ **Pali in asse:** è da utilizzare esclusivamente nel caso di murature che abbiano una conformazione autonomamente stabile, quali ad esempio i corpi scala o ascensori; l'intelaiatura dei muri garantisce la stabilità della fondazione anche in presenza di piccoli errori di tracciamento dei pali. In questo caso le armature delle ciabatte non differiscono di molto rispetto al caso tradizionale, in quanto le teste dei pali sono posizionate sull'asse dei muri e non presentano quindi problematiche di punzonamento; è comunque buona norma infittire le staffe in corrispondenza dei pali e predisporre piastre saldate sulle teste dei tubolari.

■ **Pali per muri di sostegno:** in questo caso, la palificata di valle sarà generalmente infittita, per assorbire efficacemente l'inflessione indotta dal terrapieno; nel caso di forti spinte orizzontali, può essere utile disporre micropali inclinati sul lato di monte. Per elevate altezze del paramento, diventa conveniente disporre anche tiranti, in modo da ridurre l'inflessione alla base.





Micropali disposti a quinconce: si notano le armature disposte in diagonale e le piastre superiori.



Esecuzione dei micropali in aderenza a pilastri esistenti

2.6 Particolari costruttivi

L'altezza minima ottimale delle piattabande è di 60cm, in modo da poter innestare i tubolari d'armatura per almeno 25÷30cm ed avere contestualmente un franco superiore di almeno 30÷35cm. Il franco laterale può essere contenuto tra 25 e 35cm in funzione della sollecitazione dei pali e del numero e diametro delle armature da impiegare.

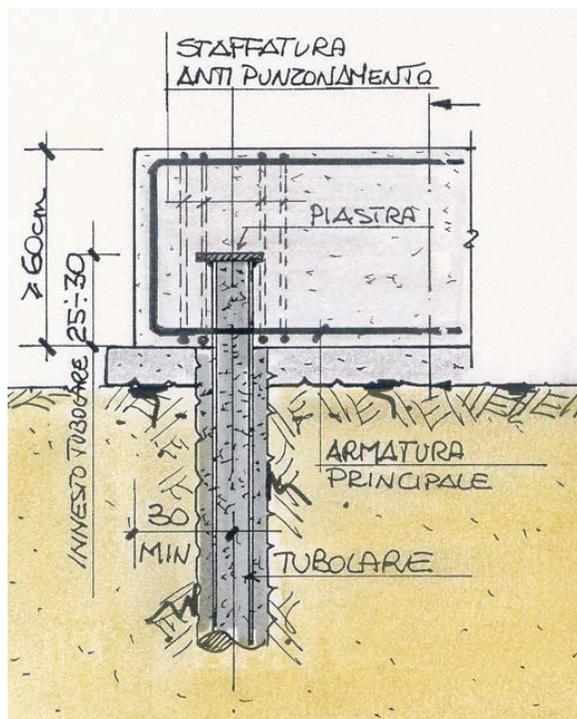
Le armature principali dei plinti sono solitamente disposte in modo da collegare le teste dei pali e convergere verso il centro del pilastro; si dispone inoltre una maglia rettangolare con funzione di ulteriore distribuzione.

Nel dimensionamento e disposizione delle armature principali occorre porre molta attenzione alla modalità di assorbimento della portata da parte dei micropali.

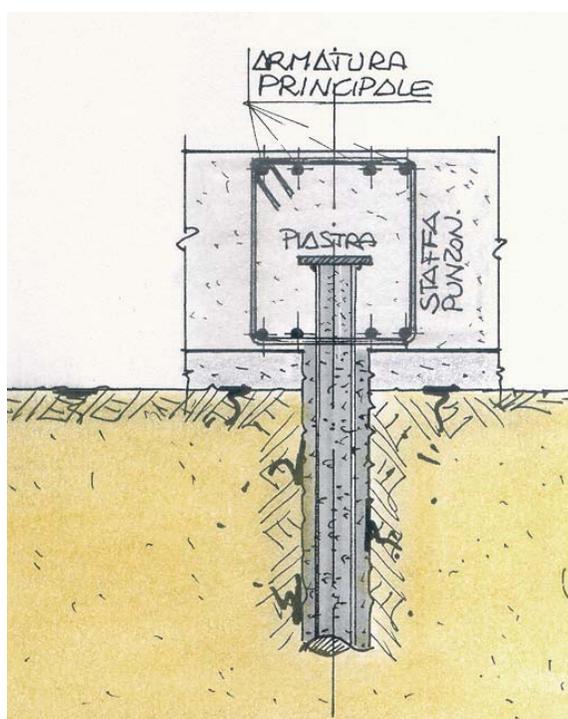
Infatti, dato che tutta la portata dei micropali viene convogliata dall'armatura metallica, composta generalmente da tubolari di ridotto diametro e con la testa posta molto vicino all'estradosso del plinto, è indispensabile adottare adeguati accorgimenti in modo da evitare la possibilità di plasticizzazione e punzonamento del calcestruzzo; gli accorgimenti tipici, riportati in figura sono generalmente:

- Posizionamento di una piastra sopra ai tubolari con 2÷3 punti di saldatura avente lo scopo di diffondere localmente la zona di compressione (le piastre hanno dimensione di circa 200x200x15mm); in luogo delle piastre e per portate non eccessive (max circa 25÷30ton), può essere conveniente disporre due spezzoni di grosso diametro $\varnothing 20\div 26\text{mm}$ in lunghezza 50÷60cm incrociati sopra ai tubolari. Altrettanto diffusa è la disposizione di maniglioni in tondino $\varnothing 16\div 20$ saldati lateralmente al tubolare.
- Posizionamento di staffature o barre piegate aventi lo scopo di riportare verso il basso tutta la portata dei pali e interessare quindi le armature principali (ad esempio nel caso di staffature l'area di armature necessaria è pari alla portata divisa per la tensione ammissibile dell'acciaio impiegato).

Avendo adottato le cautele di cui sopra, il dimensionamento delle armature principali del plinto può essere condotto con le usuali formulazioni valide per i pali tradizionali, ossia considerando che il carico del palo sia applicato all'intradosso del plinto stesso.



Sezione tipo innesto

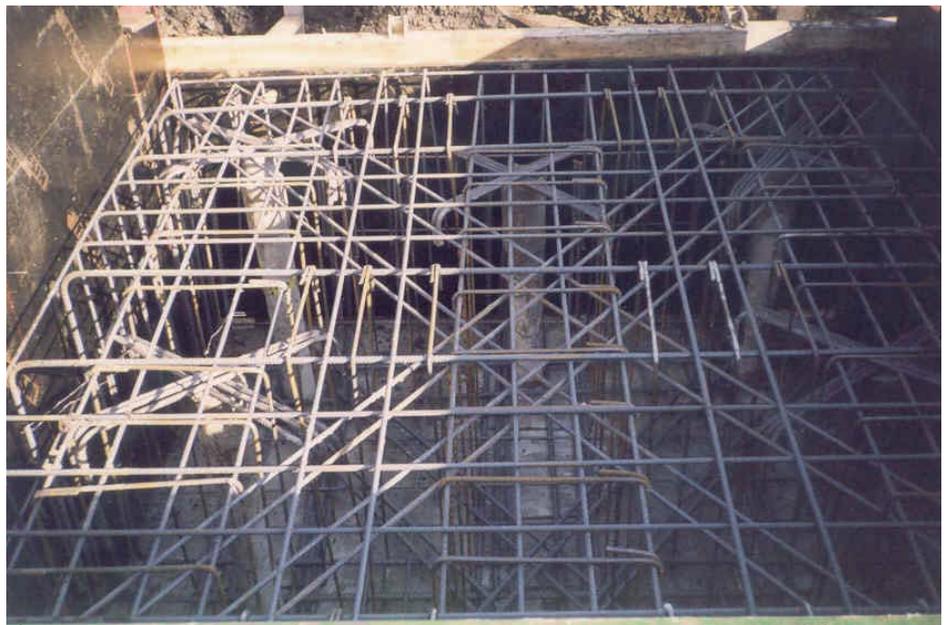


Particolare trasversale



*Micropali per la fondazione di una gru;
le armature di connessione sono realizzate con maniglioni saldati ai tubolari*

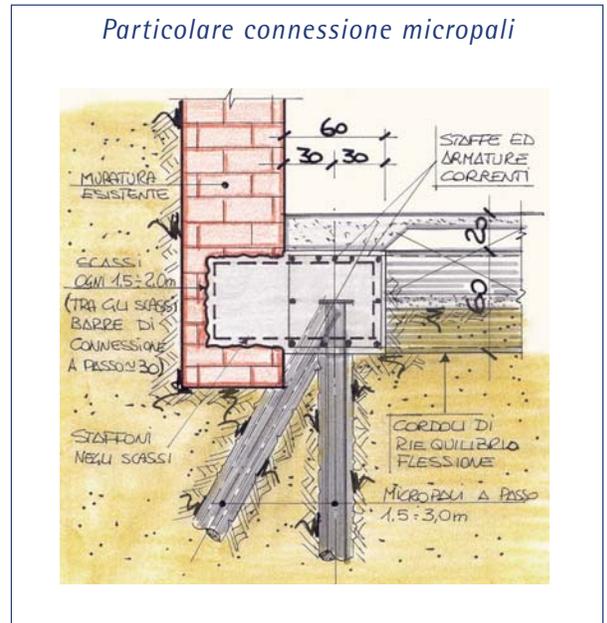
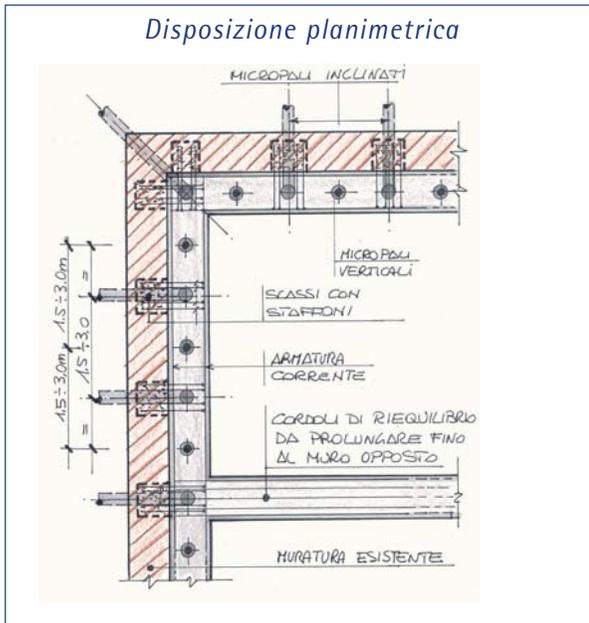
*Micropali per plinto isolato;
si notano le armature principali e le
staffature concentrate sulla
testa dei tubolari*



Nel caso di murature accessibili da un solo lato, la disposizione dei pali ed il meccanismo resistente risulta notevolmente più complesso, a causa della eccentricità del carico e della contestuale impossibilità di affidare ai micropali significative forze flessionali; occorre pertanto disporre dei cordoli trasversali in grado di assorbire tutta l'inflessione ingenerata dall'eccentricità di carico. Una disposizione tipica dei micropali consiste nell'alternare pali verticali a pali inclinati, mentre la connessione alla

muratura può ancora risolversi attraverso scassi che ne interessino quasi tutto lo spessore, coadiuvati da barre spinottate tra uno scasso e l'altro.

I pali saranno poi collegati da un cordolo continuo (da dimensionare anche a torsione), a sua volta intrecciato con i cordoli trasversali di stabilizzazione di cui sopra; questi ultimi dovranno essere prolungati fino alla muratura opposta e dimensionati per sollecitazione flessionale.



Esempio di sonde operatrici per l'esecuzione di micropali di consolidamento all'interno di ambienti ristretti.



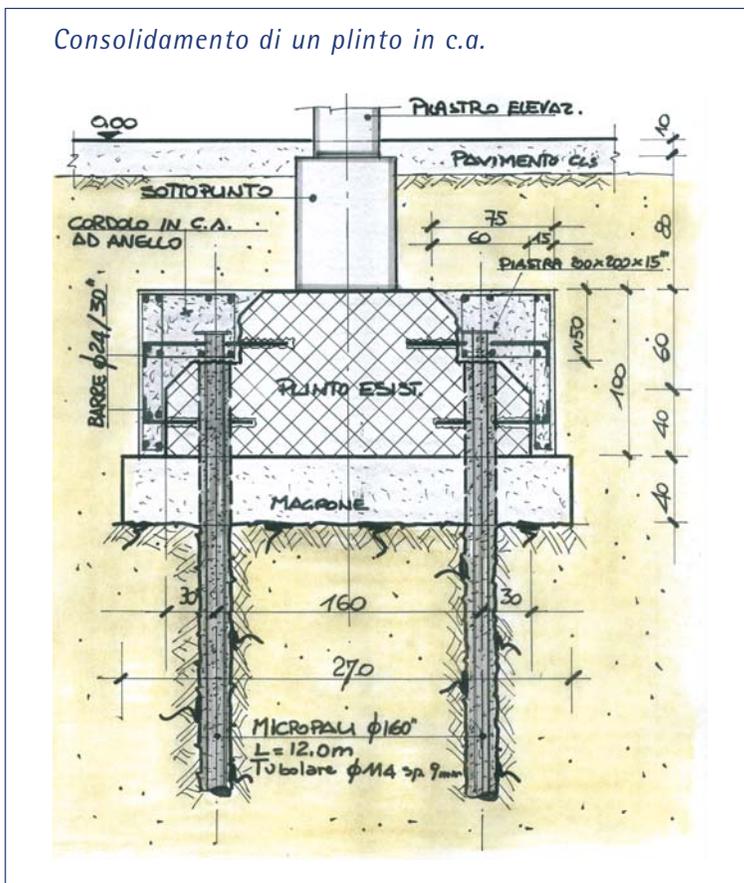
Quasi sempre, le lavorazioni appena descritte devono essere effettuate all'interno di ambienti angusti, con grosse difficoltà d'accesso e altezze di lavoro molto ridotte. In questo caso, quindi risulta di grande importanza poter disporre di attrezzature di limitato ingombro e facile movimentazione. Il limite di tali attrezzature consiste essenzialmente nella velocità e potenza di perforazione. Quest'ultimo aspetto, oltre a limitare il diametro di perforazione (normalmente si impiega un Ø150mm), limita anche notevolmente la lunghezza dei micropali e quindi, in ultima analisi la portata unitaria dei pali. Normalmente, la portata dei micropali viene comunque limitata a 15ton, in modo da facilitare la realizzazione delle opere di connessione.



Nel caso di consolidamenti di opere in c.a. la problematica principale consiste nella connessione dei nuovi pali alle fondazioni esistenti, che viene risolto normalmente mediante la formazione di nuove cordolature in getto spinottate all'esistente.

Nell'esempio a seguire una sonda operatrice per il preconsolidamento di plinti in c.a. nel cantiere di Torbole Casaglia, resosi necessario come misura precauzionale alla formazione di un paramento in colonne jetting da realizzare a ridosso dei plinti.

Consolidamento di un plinto in c.a.



In presenza di situazioni particolari, per la connessione dei pali alla struttura da consolidare è sufficiente la tensione di aderenza sviluppata dal palo nel suo attraversamento del supporto.

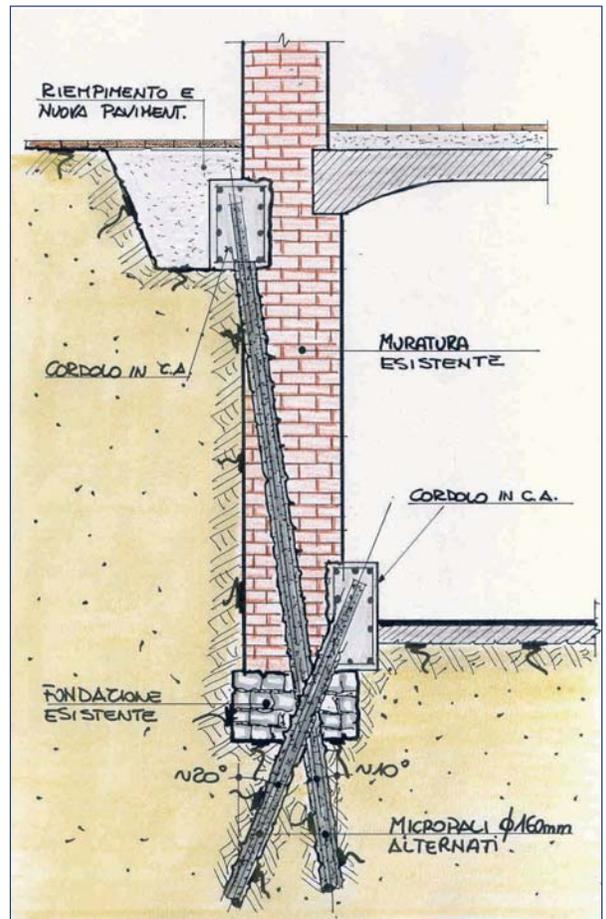
Un caso tipico si riscontra in presenza di murature di notevole spessore ed altezza, cosicché diventa possibile realizzare i pali direttamente all'interno della muratura, incrociandoli ed inclinandoli opportunamente.

Altrettanto, nel caso di fondazioni in c.a. di notevole altezza (almeno 80÷100cm), si può far conto su tale meccanismo.

In ogni caso, è buona norma non trasferire tutto il carico contando sulla semplice aderenza del fusto del micropalo, e inserire, a seconda dei casi, ulteriori meccanismi resistenti.

Nel caso di murature in mattoni, sono utili piccoli scassi e cordolature adeguatamente ingranate al supporto originario; ciò può ottenersi, ad esempio, rimuovendo i mattoni debolmente adesi oppure inserendo spinottature metalliche.

Nel caso di strutture in c.a., è spesso utile disporre piastre metalliche e realizzare nuovi getti che andranno collegati all'esistente mediante spinottature metalliche.



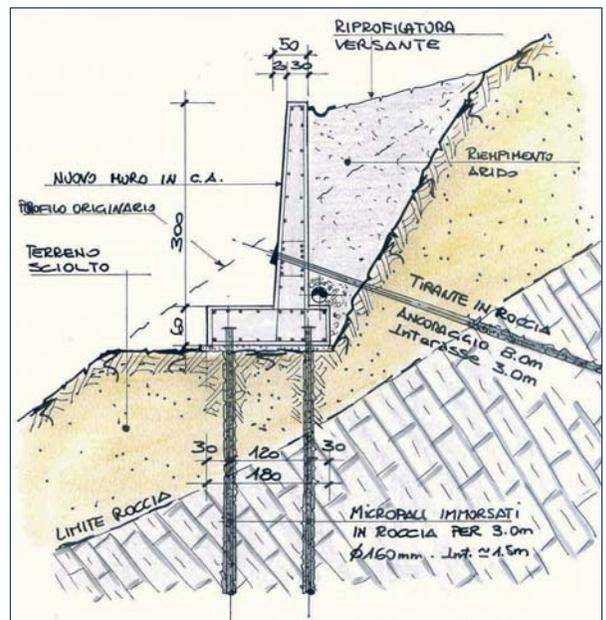
Infine, è frequente l'impiego di micropali e tiranti per il consolidamento di versanti o la realizzazione di muri di sostegno.

Il caso in esempio illustra l'intervento di stabilizzazione di un versante di terreno sciolto sovrastante il substrato roccioso.

In questo caso, i micropali vengono disposti nella ciabatta del muro e prolungati in modo da intestarsi nel substrato per almeno 3.0m circa, mentre le tirantature andranno intestate per almeno 8.0m circa in funzione della portata richiesta.

L'impiego dei micropali consente di realizzare la ciabatta del muro con una piccola sporgenza verso monte, cosicché si riducono sensibilmente gli scavi ed i reinterri successivi, che vanno sempre eseguiti con materiale drenante.

Qualora non ci fosse il substrato roccioso, le lunghezze di micropali e tiranti devono essere valutate caso per caso, in modo da fornire le portate necessarie.



4. L'USO DEL JET-GROUTING

4.1 Tecnica esecutiva e campo di applicazione

Le colonne in terreno cementato vengono realizzate con sonde di perforazione in tutto simili a quelle in uso per i micropali, previa sostituzione di alcuni apparati specifici per le aste di perforazione e per l'iniezione ad alta pressione della miscela cementizia; le operazioni si articolano nelle seguenti fasi:

- Perforazione fino alla profondità in progetto con asta del diametro di 76÷90 mm; la punta di perforazione può essere attrezzata con appositi utensili, in modo da attraversare qualsiasi tipo di successione stratigrafica; in terreni particolarmente consistenti e grossolani si può ricorrere all'esecuzione di un preforo con martello a rotopercolazione
- Raggiunta la quota di fondo, l'asta viene recuperata ponendola in rotazione; durante la fase di recupero, viene iniettata la miscela cementizia, che fuoriesce ad altissima pressione (circa 400 bar) attraverso 1÷2 ugelli del diametro di 2÷5mm contrapposti e collocati in prossimità della punta di perforazione. Il recupero non avviene con un moto costante, si procede invece per step successivi di 4÷6cm con la rotazione sempre inserita a basso numero di giri.

- Le operazioni di cui sopra sono relative all'iniezione monofluido (ossia semplicemente acqua e cemento); per le colonne bifluido, l'iniezione della miscela cementizia è coadiuvata da un flusso di aria che facilita il convogliamento della miscela cementizia e che riesce quindi a interessare un diametro maggiore (fino a 1.5m e oltre).

- La posa dell'eventuale armatura, viene eseguita con modalità differenti in funzione del diametro della stessa e delle caratteristiche dei terreni;

- per armature di piccolo diametro (barre piene 40÷50mm - tubolari fino a 88.9mm), questa può essere calata immediatamente a getto fresco, sfruttando il fatto che la zona centrale della colonna cementata è sensibilmente più fluida delle parti laterali e fornisce pertanto una sorta di guida

- per armature di grosso diametro oltre 114mm, occorre spesso riperforare la colonna precedentemente realizzata con metodologie simili a quelle in uso per i micropali, posare il tubolare e successivamente iniettare miscela cementizia

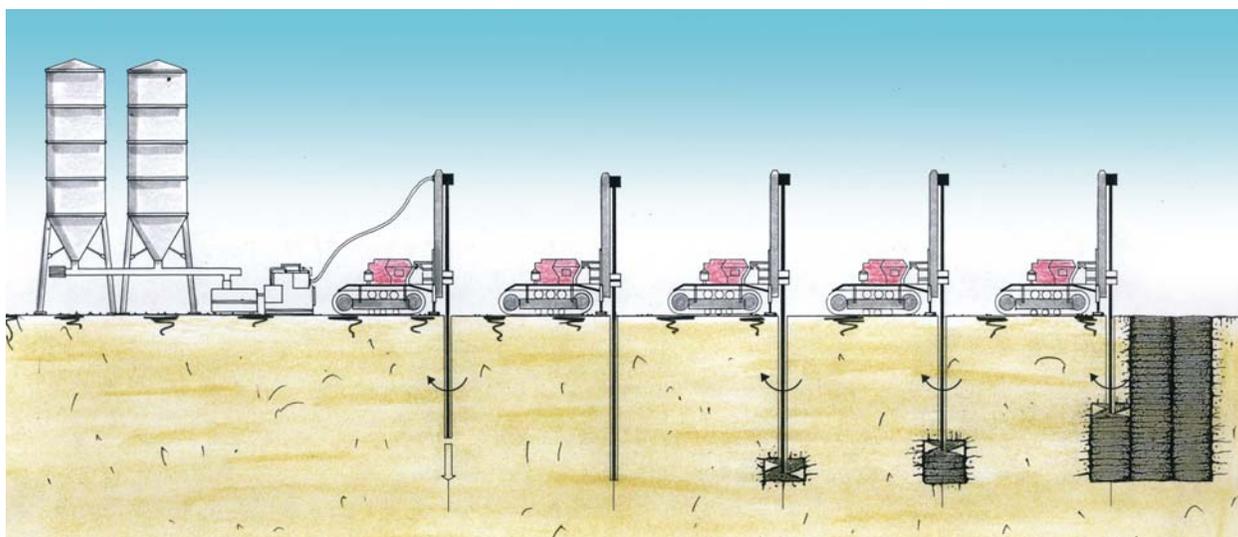


Fig.1: Fasi esecutive di una serie di colonne

La tecnologia esecutiva delle colonne richiede molta attenzione e presenta molteplici peculiarità:

- Le modalità di recupero ed in particolare il rapporto tra i tempi di iniezione e quelli di risalita sono molto importanti per la buona riuscita delle colonne e vanno adattati di volta in volta alle caratteristiche dei terreni. Altrettanto va calibrata la densità della miscela cementizia in funzione del terreno da trattare; mediamente si utilizza una densità di circa 1500kg/m³.

- Poiché il diametro di progetto non viene raggiunto previa perforazione (elemento certo), ma previa disgregazione temporanea e ricementazione del terreno, diventa importante effettuare dei controlli specifici per valutare la buona riuscita del lavoro. Normalmente si effettua quindi un campo prove, che consiste nel mettere a nudo una porzione di colonna e valutarne sia il diametro che la resistenza meccanica.

■ Nella realizzazione di colonne in successione, occorre tenere presente il fatto che l'iniezione rende completamente fluido e disgregato il terreno fino a che il cemento inizia e completa la sua presa; pertanto è sconsigliabile realizzare colonne adiacenti, ma al contrario, occorre lasciare un congruo spazio tra due colonne successive e completare le lavorazioni ripassando una o due volte lungo gli stessi allineamenti. Tale precauzione è di assoluta e vitale importanza per le opere di sostegno ed in presenza di edifici esistenti.

■ In linea di massima, la produttività delle attrezzature varia da 60÷100ml/giorno a 50÷70ml/giorno, rispettivamente per la modalità monofluido e per la modalità bifluido.

■ Per la cantierizzazione, occorre considerare che normalmente le sonde sono ingombranti e richiedono quindi ampi spazi di manovra; va inoltre considerato che occorre un approvvigionamento costante di cemento in grande quantità il che richiede la posa di un silo con capienza da 300÷400qli; infine, l'impianto di messa in pressione consiste in una speciale motopompa a pistoni.

Esempi di Tecnologia Monofluido:

Colonne portanti realizzate in terreni costituiti da sabbie fini con abbondante frazione limosa.



Esempi di Tecnologia Bifluido:

Colonne di contenimento realizzate in terreni ghioso-sabbiosi diametro 1400mm.



Campi di applicazione

Le dimensioni delle colonne di terreno cementato variano generalmente da 60cm ad 1.0m nel caso di colonne con iniezione monofluido, per arrivare fino a 1.5÷2.0m per le colonne iniettate con la tecnica bifluido; la scelta del diametro più opportuno e realistico è legata sia alle richieste statiche o logistiche, sia alle caratteristiche stratigrafiche.

Le condizioni stratigrafiche più favorevoli si riscontrano in presenza di materiali sabbioso-ghiaioso con matrice fine, mentre le peggiori sono date dalla presenza di materiali fortemente argillosi. Nel primo caso, la frazione granulometrica più grossa (ghiaie) conferisce alla colonna una buona resistenza meccanica, mentre la matrice fine evita una eccessiva dispersione del fluido di iniezione, che rimane ben circoscritto. In presenza di materiali prettamente argillosi, invece, poiché è assente la componente ghiaiosa è

praticamente impossibile ottenere forti resistenze meccaniche, ed inoltre è difficile ottenere buoni diametri di fusto a causa della chiusura granulometrica del supporto.

Il campo d'impiego dei jet-grouting è per molti versi simile a quello dei micropali, consentendo rispetto a questi ultimi di risolvere problematiche anche più complesse. Per contro, proprio a causa delle modalità esecutive, che consistono nella iniezione ad altissima pressione della miscela cementizia (400÷500atm), occorre prestare particolare attenzione, specie in presenza di edifici adiacenti.

In generale, quindi, la tecnologia può applicarsi in presenza delle seguenti problematiche:

- Consolidamento di terreni per fondazione indiretta
- Sostegno di fronti di scavo
- Realizzazione di opere sottofalda

4.2 Fondazioni con Jet-Grouting

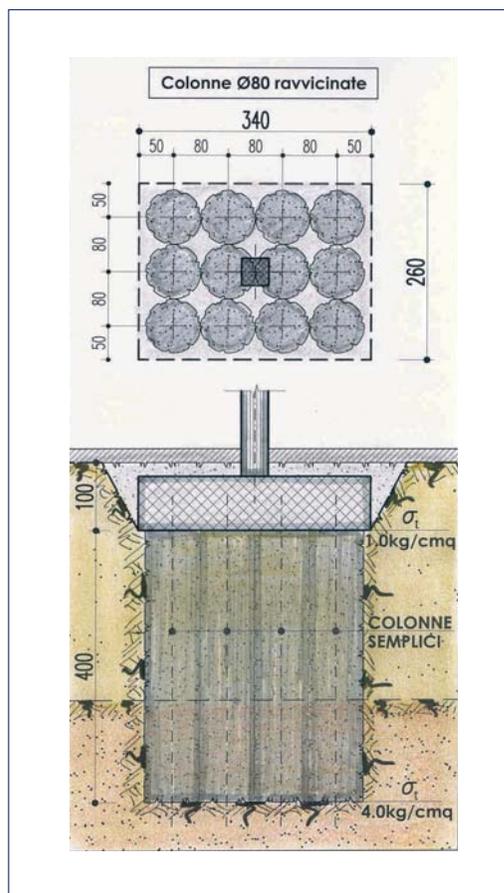
Le fondazioni su colonne jetting vengono generalmente realizzate secondo due criteri.

Il primo consiste nella formazione di una cementazione diffusa sotto il piano di fondazione ottenuta mediante colonne molto ravvicinate, con maglia pari al diametro stesso della colonna o poco superiore.

Il funzionamento statico di tale criterio si basa sul fatto che la portata del terreno, valutata con le usuali formulazioni per le fondazioni dirette, aumenta con la profondità; pertanto, abbassando adeguatamente il piano di posa della fondazione, si può raggiungere la σ_t necessaria, poniamo ad esempio di 4Kg/cm², senza dover eseguire piattabande eccessivamente estese. Altrettanto, tale tipologia può utilizzarsi quando sotto un livello di terreno scadente di limitato spessore (2÷4m), si trovi una stratificazione con caratteristiche migliori; in tal caso è sufficiente intestarvi le colonne per circa 1.5÷2.0m per ottenere la σ_t necessaria.

Il risultato finale è quindi paragonabile a quello che si potrebbe ottenere abbassando il piano di posa delle piattabande; queste ultime vengono poi dimensionate come se fossero appoggiate uniformemente sul terreno, con le usuali tecniche di calcolo.

Dato che l'elemento limitante di tale sistema è dovuto alla capacità portante del terreno, non si raggiungono mai elevate tensioni medie, (di solito 3÷5kg/cm²) e quindi non è generalmente necessario disporre alcuna armatura metallica nelle colonne; si rileva comunque che va sempre mantenuta sotto controllo la tensione ideale nella colonna in funzione dell'area di piattabanda di influenza.



Il secondo consiste nell'impiegare le colonne jetting come dei veri e propri pali di fondazione, disponendole con criteri simili a quelli tradizionali, anche se con interassi più ravvicinati; in luogo dei tradizionali 3 Ø, le colonne vengono disposte ad interassi di 1.5÷2.5 Ø.

Questo caso è tipico delle situazioni con elevati spessori di terreno non portante, cui segue una stratificazione più compatta, nella quale le colonne andranno ad intestarsi per 2.5÷3.5m o in funzione delle verifiche geotecniche specifiche.

Infine, il dimensionamento e la disposizione delle armature nelle piattabande è del tutto simile al caso dei pali tradizionali, salvo adottare adeguati accorgimenti nel caso che le colonne siano dotate di armature per aumentarne la portata.

Portata delle colonne jetting

La portata meccanica delle colonne varia in funzione di molteplici fattori e può essere aumentata mediante la disposizione di adeguate armature.

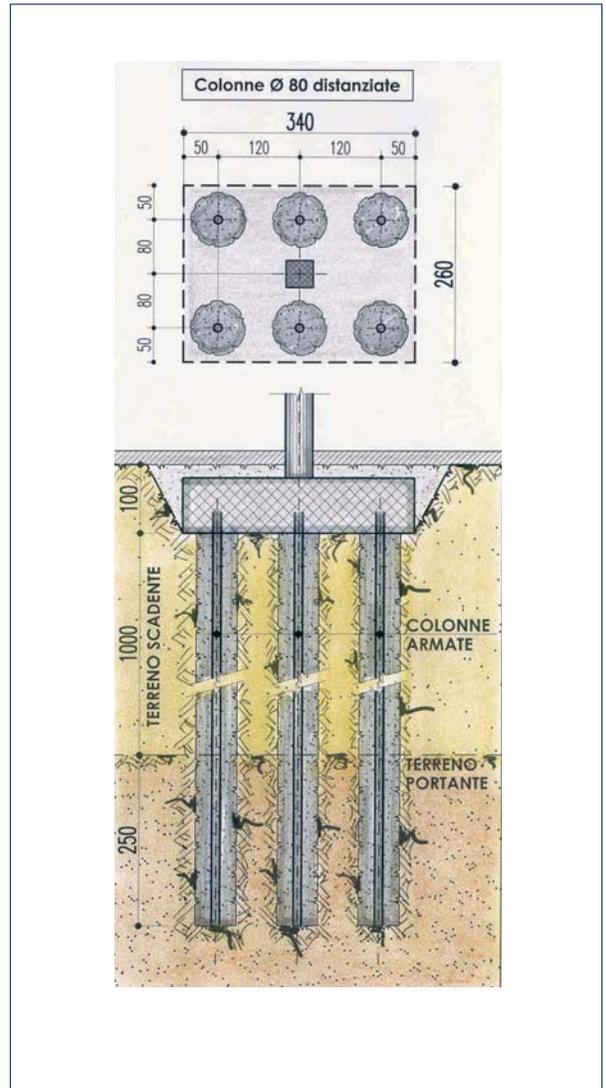
In linea di massima, conviene considerare che la tensione ammissibile del terreno cementato non supera i 15÷20kg/cm² e che questa va comunque poi mediata all'interno del diametro atteso per la colonna stessa.

Specie in presenza di elevati diametri, occorre quindi diminuire sensibilmente la tensione ammissibile media, in quanto la dispersione della resistenza del materiale può essere molto elevata, anche a causa delle possibili restrizioni del fusto.

Pertanto, se per piccoli diametri è possibile fare riferimento ad elevati valori della σ_j media (fino a 15÷16kg/cm²), per i diametri più elevati ciò potrebbe esporre a notevoli rischi e conviene tenersi sotto i 10kg/cm².

Di seguito si propone una tabella che fornisce le portate generalmente fornite dalle colonne, in funzione del diametro e della presenza o meno di armatura.

Nella tabella vengono segnalati anche i campi dei valori della σ_j media più appropriati per ciascun diametro.



Diametro colonna	Portata minima	Portata massima	Con armatura
Ø 600	30 t	45 t	65÷70 t tubo Ø114x10
	$\sigma_j = 10 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_j = 16 \text{ kg/cm}^2$	
Ø 800	45 t	70 t	90 t tubo Ø127x11
	$\sigma_j = 9 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_j = 14 \text{ kg/cm}^2$	
Ø 1000	70 t	95 t	110 t tubo Ø140x12
	$\sigma_j = 9 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_j = 10 \text{ kg/cm}^2$	
Ø 1200	80 t	115 t	Armatura non conveniente
	$\sigma_j = 7 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_j = 8 \text{ kg/cm}^2$	
Ø 1500	105 t	140 t	Armatura non conveniente
	$\sigma_j = 6 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_j = 8 \text{ kg/cm}^2$	



Cantiere in Bergamo, via Pelandi:

Vengono realizzate colonne portanti con tecnologia bifluido del diametro di 1500mm e con portate ammissibili di 100 e 140ton, ottenute graduando la lunghezza di iniezione da 6.0 a 7.5m; la compressione media nella colonna varia da 5.7 a 8.0 kg/cmq. Sullo sfondo la berlinese di micropali per sostenere lo scavo di 7.5m a lato della via pubblica: sono stati impiegati micropali armati con tubolare Ø127sp.10mm ad interasse 45cm con doppia fila di tiranti con portate di 30t (1°fila) e 45t (2°fila).



Realizzazione di colonne portanti con armatura in barra piena per muro in elevazione;

4.3 Le opere di sostegno scavi con Jet-grouting

Le berlinesi ottenute mediante l'accostamento di colonne jet-grouting vengono generalmente realizzate per opere di grande estensione (infrastrutturali) e lontano da edifici esistenti; infatti a causa della elevatissima pressione di iniezione e della possibilità che il fluido iniettato trovi vie di fuga impreviste, possono verificarsi fenomeni di sollevamento di pavimentazioni adiacenti o fuoriuscite di materiale cementato, anche a decine di metri dal punto di esecuzione.

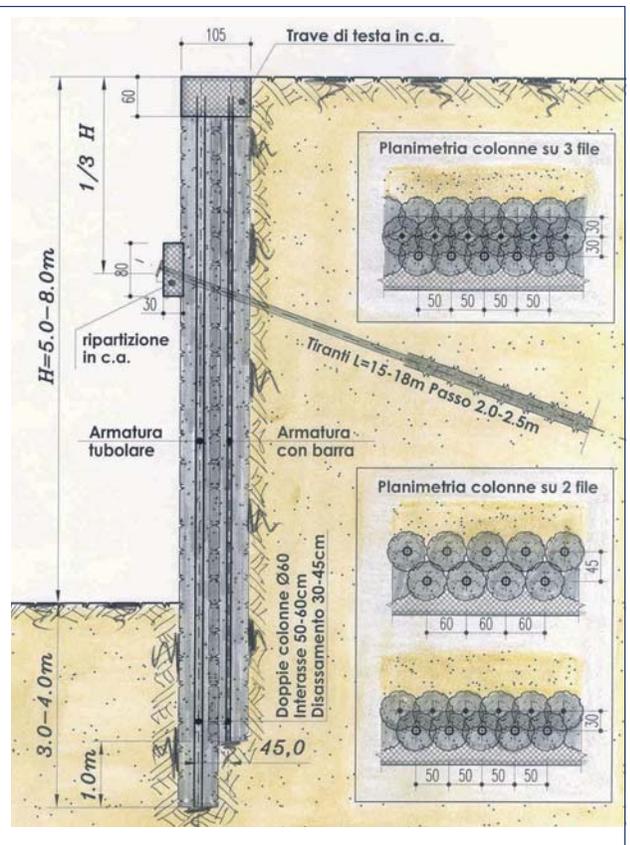
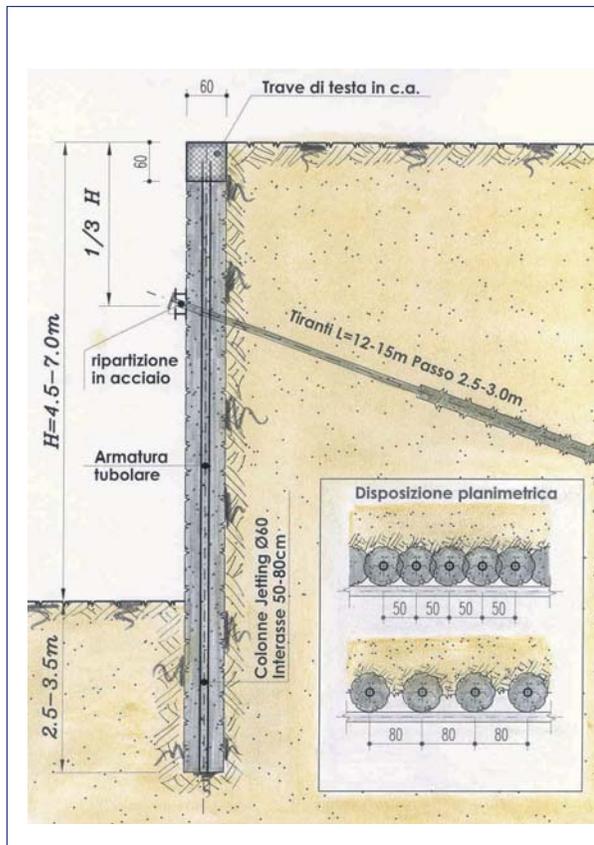
La caratteristica distintiva rispetto alle berlinesi di micropali consiste nella maggiore rigidità del paramento, che si ottiene grazie alla collaborazione tra i tubolari d'armatura e la colonna cementata. Questa peculiarità consente inoltre di disporre i pali su due file sfalsate (a quinconce), ottenendo un paramento molto rigido e graduabile sia nell'armatura che nella lunghezza (ad esempio adottando armature differenti per le due file di colonne in modo da seguire adeguatamente il diagramma delle sollecitazioni flessionali).

Per i paramenti realizzati su un'unica fila, si impiegano colonne con diametro di 600÷800mm sempre dotate di armatura tubolare.

Il loro interasse varia in funzione delle sollecitazioni e delle caratteristiche dei terreni, cosicché vengono disposte o in penetrazione (interassi di circa 50÷70cm) o con

interspazi di terreno (con interassi massimi di circa 0.8÷1.0m).

La tirantatura va disposta con criteri simili a quelli identificati per le berlinesi di micropali, in quanto la resistenza della colonna è di poco superiore al tubolare d'armatura impiegato.



I paramenti su due file vengono realizzati portando in reciproca compenetrazione la fila esterna con l'interna e variando il disassamento trasversale in modo da ottenere il grado di resistenza necessario. Si identifica così una sezione resistente che può ricondursi a rettangolare previa

eliminazione delle sporgenze, la cui verifica statica può effettuarsi in maniera del tutto simile alle sezioni in c.a. (in tal caso occorre adottare un coefficiente di omogeneizzazione $m=30$ circa)

La possibilità di realizzare colonne compenstrate, consente

inoltre l'esecuzione di opere sotto falda, fornendo al paramento un primo grado di contenimento delle acque (mai completamente impermeabile). Si impiega generalmente la disposizione su due file, aumentando la compenetrazione in funzione del grado di impermeabilità che si vuole raggiungere; in casi particolari, può inoltre essere necessario

disporre le colonne su tre file, che garantiscono un livello di impermeabilizzazione paragonabile a quello raggiunto dai diaframmi continui in c.a..

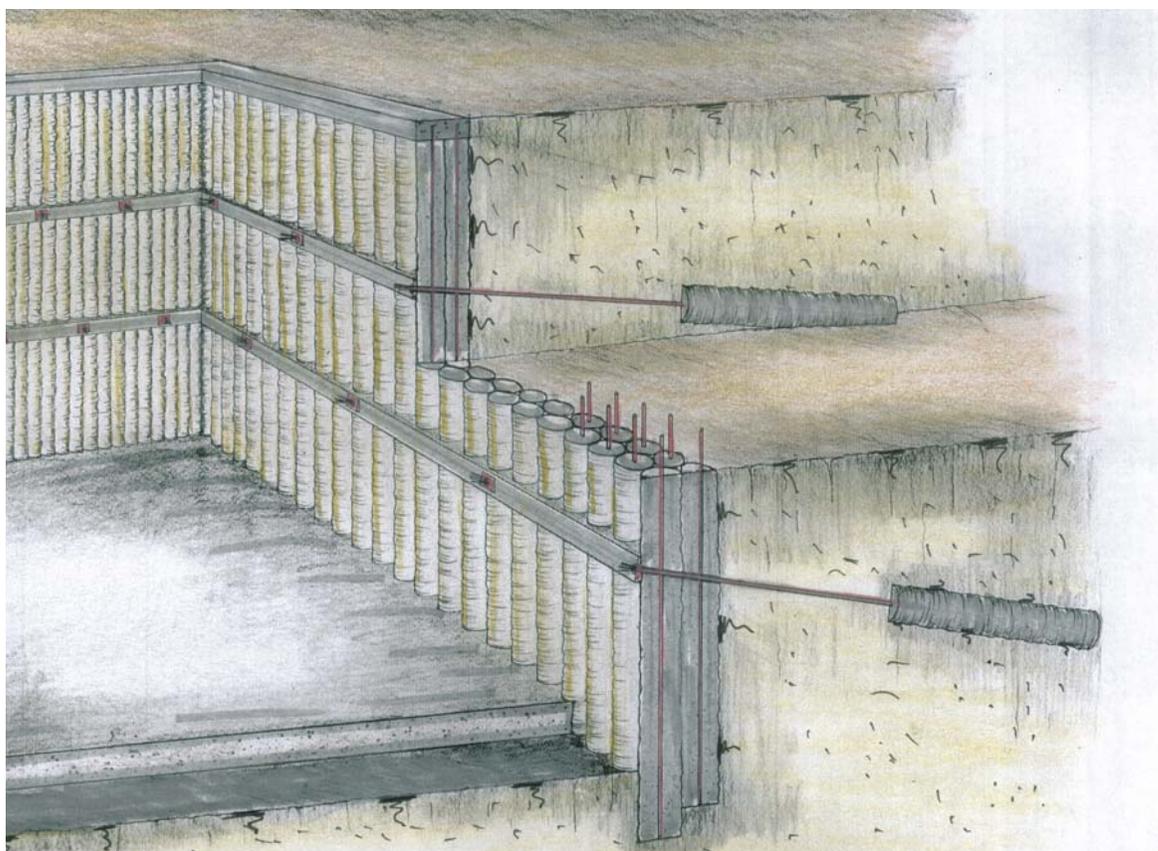
È importante rilevare che nel caso di colonne su più file, è possibile graduare sia l'armatura inserita nelle colonne sia la loro lunghezza in funzione delle sollecitazioni.

Disponendo i tiranti su più file è inoltre possibile coprire altezze anche maggiori.

In questo caso, graduando adeguatamente il diametro delle colonne, il relativo interasse, nonché l'armatura si possono realizzare scavi anche superiori ai 15.0m.

Adottando la disposizione su due file, e graduandone

l'interdistanza in funzione del passo longitudinale, si possono ottenere paramenti con una rigidità paragonabile a quella dei diaframmi tradizionali, e quindi un minor numero di file di tirantatura rispetto alla soluzione con colonne su un unico allineamento.



Cantiere in Torbole Casaglia.

Per la realizzazione di un laminatoio, vengono eseguite colonne perimetrali a sostegno dello scavo ed un tampone di fondo all'interno di un capannone.

Lo scavo totale arriva a quota -7.1m con un battente idraulico di 2.0m; le colonne vengono realizzate da quota -2.0m.

Il paramento è costituito da colonne $\varnothing 1200\text{mm}$ ad interasse 90cm, armate con doppio tubolare $\varnothing 114 \times 8.8\text{mm}$. Il contrasto alle spinte è realizzato con tiranti da 45ton ad interasse 5.0m impostati sulla trave di coronamento.

Il tampone di fondo è realizzato con colonne diametro 1200mm disposte in maglia 1.0x1.0m, iniettate per 2.2m e con perforazione a vuoto di 5.0m.



Torbole Casaglia: vista della vasca del laminatoio e posa delle armature della platea.



Cantiere in Torbole Casaglia: realizzazione colonne di tampone all'interno del capannone.



La perfetta tenuta idraulica delle colonne perimetrali e di fondo hanno consentito la posa delle armature nella massima efficienza.

TUBOLARI D'USO FREQUENTE

Spessori (mm)

Diametro (mm)	6.30		7.10		8.00		8.80		10.00		11.00		12.50	
76.00	13.80	22.23	15.37	24.25	17.09	26.35	18.58	28.07	20.73	30.39	22.46	32.11	24.94	34.36
	10.83	84.46	12.06	92.16	13.42	100.15	14.58	106.67	16.28	115.49	17.63	122.03	19.58	130.56
88.90	16.35	31.55	18.25	34.59	20.33	37.79	22.14	40.44	24.79	44.09	26.92	46.86	30.00	50.57
	12.83	140.24	14.32	153.76	15.96	167.97	17.38	179.74	19.46	195.98	21.13	208.28	23.55	224.76
101.00	18.74	41.79	20.94	45.97	23.37	50.41	25.49	54.12	28.59	59.31	31.10	63.29	34.75	68.72
	14.71	211.04	16.44	232.16	18.35	254.57	20.01	273.32	22.44	299.50	24.41	319.61	27.28	347.04
114.00	21.32	54.41	23.84	60.02	26.64	66.02	29.08	71.08	32.67	78.21	35.59	83.76	39.86	91.42
	16.73	310.12	18.72	342.11	20.91	376.30	22.83	405.15	25.65	445.82	27.94	477.41	31.29	521.08
127.00	23.89	68.70	26.74	75.95	29.91	83.75	32.68	90.37	36.76	99.77	40.09	107.14	44.96	117.42
	18.75	436.22	20.99	482.28	23.48	531.80	25.65	573.85	28.85	633.55	31.47	680.32	35.30	745.64
139.00	26.26	83.37	29.42	92.33	32.92	102.00	36.00	110.25	40.53	122.02	44.23	131.31	49.68	144.37
	20.62	579.42	23.10	641.67	25.85	708.89	28.26	766.22	31.81	848.07	34.72	912.59	39.00	1 003.37
152.00	28.84	100.87	32.32	111.88	36.19	123.81	39.59	134.03	44.61	148.68	48.73	160.30	54.78	176.75
	22.64	766.64	25.37	850.29	28.41	940.97	31.08	1 018.61	35.02	1 129.99	38.25	1 218.27	43.00	1 343.28
159.00	30.22	110.99	33.88	123.19	37.95	136.44	41.52	147.80	46.81	164.14	51.15	177.12	57.53	195.55
	23.72	882.38	26.60	979.35	29.79	1 084.67	32.60	1 175.01	36.75	1 304.88	40.15	1 408.09	45.16	1 554.65
168.00	32.00	124.71	35.89	138.53	40.21	153.57	44.01	166.50	49.64	185.13	54.26	199.99	61.06	221.15
	25.12	1 047.58	28.17	1 163.67	31.57	1 290.01	34.55	1 398.61	38.97	1 555.13	42.59	1 679.88	47.94	1 857.63
178.00	33.98	140.90	38.12	156.64	42.73	173.81	46.78	188.59	52.78	209.96	57.71	227.03	64.99	251.45
	26.68	1 253.99	29.92	1 394.10	33.54	1 546.88	36.72	1 678.48	41.43	1 868.63	45.30	2 020.61	51.02	2 237.87
193.00	36.95	167.03	41.47	185.89	46.50	206.51	50.92	224.32	57.49	250.14	62.89	270.85	70.88	300.57
	29.01	1 611.86	32.55	1 793.86	36.50	1 992.86	39.98	2 164.72	45.13	2 413.84	49.37	2 613.67	55.64	2 900.54
Σ														
203.00	38.93	185.69	43.70	206.79	49.01	229.89	53.69	249.87	60.63	278.89	66.35	302.21	74.81	335.78
	30.56	1 884.77	34.30	2 098.90	38.47	2 333.37	42.15	2 536.19	47.60	2 830.72	52.09	3 067.46	58.73	3 408.17
219.00	42.10	217.61	47.26	242.54	53.03	269.90	58.11	293.62	65.66	328.15	71.88	355.99	81.09	396.19
	33.05	2 382.78	37.10	2 655.82	41.63	2 955.43	45.62	3 215.15	51.54	3 593.29	56.43	3 898.12	63.66	4 338.29

Diametri e spessori di maggiore impiego

43.70	206.79	49.01	229.89
34.30	2 098.90	38.47	2 333.37

Sezione (cmq)	49.01	229.89	Modulo W (cm³)
Peso (kg/ml)	38.47	2 333.37	Modulo J (cm⁴)

PROFILATI PRINCIPALI DI USO CORRENTE

PESO E GEOMETRIA

Identif. Profilo	UPN			IPE			HEA			HEB			Identif. Profilo
	P (kg/m)	h (mm)	b (mm)	P (kg/m)	h (mm)	b (mm)	P (kg/m)	h (mm)	b (mm)	P (kg/m)	h (mm)	b (mm)	
100	10.60	100.0	50.0	8.10	100.0	55.0	16.70	96.0	100.0	20.40	100.0	100.0	100
120	13.30	120.0	55.0	10.40	120.0	64.0	19.90	114.0	120.0	26.70	120.0	120.0	120
140	16.00	140.0	60.0	12.90	140.0	73.0	24.70	133.0	140.0	33.70	140.0	140.0	140
160	18.90	160.0	65.0	15.80	160.0	82.0	30.40	152.0	160.0	42.60	160.0	160.0	160
180	22.00	180.0	70.0	18.80	180.0	91.0	35.50	171.0	180.0	51.20	180.0	180.0	180
200	25.30	200.0	75.0	22.40	200.0	100.0	42.30	190.0	200.0	61.30	200.0	200.0	200
220	29.40	220.0	80.0	26.20	220.0	110.0	50.50	210.0	220.0	71.50	220.0	220.0	220
240	33.20	240.0	85.0	30.70	240.0	120.0	60.30	230.0	240.0	83.20	240.0	240.0	240
260	37.90	260.0	90.0	-	-	-	68.20	250.0	260.0	93.00	260.0	260.0	260
270	-	-	-	36.10	270.0	135.0	-	-	-	-	-	-	270
280	41.80	280.0	95.0	-	-	-	76.40	270.0	280.0	103.00	280.0	280.0	280
300	46.20	300.0	100.0	42.20	300.0	150.0	88.30	290.0	300.0	117.00	300.0	300.0	300

CARATTERISTICHE MECCANICHE

(direzione di massima efficienza)

Identif. Profilo	UPN			IPE			HEA			HEB			Identif. Profilo
	A (cm ²)	W _x (cm ³)	J _x (cm ⁴)	A (cm ²)	W _x (cm ³)	J _x (cm ⁴)	A (cm ²)	W _x (cm ³)	J _x (cm ⁴)	A (cm ²)	W _x (cm ³)	J _x (cm ⁴)	
100	13.50	41.1	205.0	10.30	34.2	171.0	21.20	73.0	349.0	26.00	90.0	450.0	100
120	17.00	60.7	364.0	13.20	53.0	318.0	25.30	106.0	606.0	34.00	144.0	864.0	120
140	20.40	86.4	605.0	16.40	77.3	541.0	31.40	155.0	1 033.0	43.00	216.0	1 509.0	140
160	24.00	116.0	925.0	20.10	109.0	869.0	38.80	220.0	1 673.0	54.30	311.0	2 492.0	160
180	28.00	150.0	1 354.0	23.90	146.0	1 317.0	45.30	294.0	2 510.0	65.30	426.0	3 831.0	180
200	32.20	191.0	1 911.0	28.50	194.0	1 943.0	53.80	389.0	3 692.0	78.10	570.0	5 696.0	200
220	37.40	245.0	2 691.0	33.40	252.0	2 772.0	64.30	515.0	5 410.0	91.00	736.0	8 091.0	220
240	42.30	300.0	3 599.0	39.10	324.0	3 892.0	76.80	675.0	7 763.0	106.00	938.0	11 259.0	240
260	48.30	371.0	4 820.0	-	-	-	86.80	836.0	10 455.0	118.00	1 150.0	14 919.0	260
270	-	-	-	45.90	429.0	5 790.0	-	-	-	-	-	-	270
280	53.30	448.0	6 280.0	-	-	-	97.30	1 010.0	13 673.0	131.00	1 380.0	19 270.0	280
300	58.80	535.0	8 030.0	53.80	557.0	8 356.0	112.00	1 260.0	18 263.0	149.00	1 680.0	25 166.0	300



Progetto grafico: Areamarket (Bs)
Stampa: Artigianelli (Bs)

