

## Il « palo radice Fondedile,, tipo M/2

Soc. AN. FONDEDILE \*

### Premessa

Il « palo radice » tipo M/2 è uno dei numerosi tipi di « palo radice » messi a punto dalla Fondedile<sup>(1)</sup> nel corso di una lunghissima esperienza, iniziata circa venti anni or sono allorché, per la prima volta, la Fondedile stessa mise in luce le singolari ed eccezionali prestazioni di pali di piccolo diametro (chiamati in un primo momento « micropali » dalla Metropolitana Milanese che li impiegò su larga scala) gettati a pressione nel sottosuolo con miscela granulosa di sabbia e cemento.

I « pali radice » furono inizialmente impiegati solo per lavori di sottofondazione; ben presto, però, se ne vide la possibilità di impiego anche in problemi di fondazioni difficili, nonché in altri problemi impegnativi di consolidamento di frane, gallerie ecc.

Ormai i « pali radice », dopo le

innumerevoli applicazioni ai problemi più svariati e complessi portate a compimento, sia in Italia che all'Estero, dalla Fondedile e dalle sue Filiali e Consociate estere, costituiscono elemento pressoché insostituibile nella moderna tecnica delle fondazioni. Questo anche in virtù di uno dei più importanti requisiti del « palo radice » che è quello di poter essere eseguito *in qualsiasi terreno* ed in qualsiasi condizione ambientale.

Nel tempo, i procedimenti esecutivi si sono affinati ed aggiornati ai progressi tecnologici, allo scopo di conseguire, per i « pali radice », prestazioni sempre maggiori, fermi restando, però, i requisiti essenziali caratterizzanti questo particolare tipo di palo. Requisiti fondamentali che vale qui la pena di riassumere:

a) Il « palo radice » è un *vero e proprio palo in c.a., a fusto rigorosamente continuo* dotato di numerosi corrugamenti ed espansioni, costituito da *conglomerato* di sabbia e cemento opportunamente additivato e dotato di armatura metallica per l'intera lunghezza.

Nonostante la formale analogia esso non ha, quindi, nulla di comune con una iniezione « armata » (con ferro o tubo) di boiacca fluida di cemento.

È necessario, infatti, che un palo in c.a., in quanto tale, ri-

sponda dal punto di vista sia formale che sostanziale ad inderogabili requisiti sanzionati, del resto, anche da norme e regolamenti, basati e sulla collaborazione ferro-conglomerato, e sulla resistenza specifica del conglomerato, e sulla protezione dell'armatura con idoneo copriferro, ecc.

A siffatti requisiti, assolutamente indispensabili per opere permanenti, non può certo rispondere un ferro (o tubo) cementato nel terreno con miscele a base pressoché esclusiva di cemento (e, quindi, di resistenza specifica minima) anche se anche esso può manifestare, all'inizio, una discreta capacità portante, sulla cui durata nel tempo è lecito, però, avanzare legittime riserve<sup>(2)</sup>.

b) L'*aderenza* ferro-calcestruzzo è assicurata o adoperando barre alettate di diametro non superiore al Ø 20 m/m, oppure ricorrendo a procedimenti speciali che assicurino la necessaria, ed essenziale, aderenza tra metallo e conglomerato.

c) Il getto è eseguito *a pressione rigorosamente controllata* in modo da evitare possibili, e più che probabili, deformazioni del terreno ove dette pressioni fossero eccessive e, comunque, incontrollate.

Il conglomerato deve, perciò,

(\*) Sede: Napoli, Via Verdi 35.

(1) Sia il palo nel suo complesso che i singoli dettagli esecutivi sono coperti da brevetti internazionali.

(2) Molti regolamenti esteri prescrivono, per le strutture semplicemente compresse, di non superare, con la sezione di armatura longitudinale, una determinata percentuale della sezione del conglomerato.

Ad esempio il regolamento francese sul c.a. prescrive che la sezione metallica non debba superare il 5% della sezione del conglomerato.

essere inviato con sistema tale da evitare qualsiasi perdita di carico lungo il condotto di immissione fino a fondo foro, talché la pressione letta al manometro di superficie sia praticamente coincidente con la pressione con la quale il conglomerato stesso sollecita il terreno.

d) Il contatto palo-terreno è assicurato nel migliore dei modi garantendo che tra la superficie rugosa del getto ed il terreno non vi siano sostanze estranee (bentonite o simili) che potrebbero danneggiare il getto e diminuire l'aderenza del palo contro il terreno.

Uno dei principali fattori che contribuiscono alla eccezionale capacità portante dei « pali radice » è, infatti, costituita dalla scabrezza delle pareti del perforo messe a vivo dalla trivellazione, unitamente alla penetrazione nel terreno, immediatamente a ridosso del fusto del palo, di una sia pur ridotta aliquota della frazione cementizia liquida del conglomerato. Penetrazione che, per quanto modesta, assicura una efficiente zona di transizione tra il fusto massiccio del palo ed il terreno adiacente realizzando così un graduale trasferimento degli sforzi dal palo al terreno.

e) Il « palo radice » basa la sua portanza pressoché unicamente sulla *resistenza per attrito laterale* che anche un terreno di pessime caratteristiche è in grado di fornire; questo in virtù del particolare sistema esecutivo del palo stesso, in base al quale si può affermare che « ogni terreno è buono » per i pali radice.

Non è prevista e, comunque, non è tenuta in conto la cosiddetta portanza di base. In terreni molto scadenti può essere eseguito un allargamento alla base (v. dettagli esecutivi) che ha essenzialmente lo scopo di fornire una

specie di « precarica » al complesso palo-terreno (« bulbo di precarica »).

#### Schema di esecuzione

La perforazione viene eseguita con speciali attrezzature, in massima parte di costruzione Fondedile, funzionanti a rotazione od a rotopercolazione con caratteristiche e procedimenti diversi a se-

conda dei terreni da attraversare.

In formazioni sciolte, ad esempio, l'avanzamento è ottenuto con tubo forma e corona rotante, affondati progressivamente nel terreno, secondo il procedimento classico dei primi « pali radice ».

L'armatura metallica può, a seconda dei diametri e delle portate, essere costituita da una gabbia oppure da una barra singola, oppure anche da un tubo, oppu-

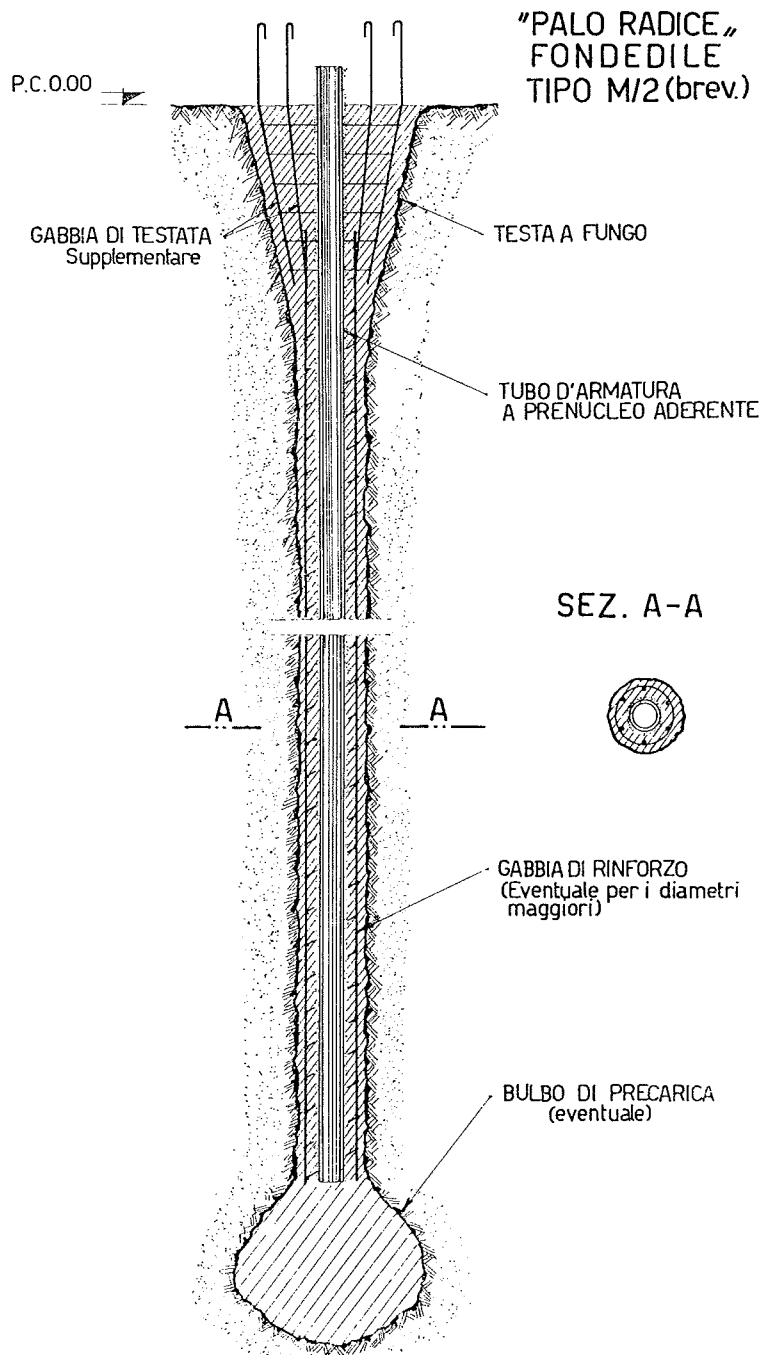


Fig. 1

re da gabbia più tubo o barra ecc.

Ognuno di questi elementi metallici può essere collocato in opera rivestito con uno speciale strato di malta adesiva ad altissima resistenza (prenucleo) sì da assicurare la migliore unione con il conglomerato del palo.

La miscela per il getto è costituita da sabbia granulare e cemento, in ragione di 6 q di cemento per metro cubo di sabbia; quest'ultima, di adatta granulometria, viene accuratamente vagliata; il tutto con l'aggiunta di correttivi ed additivi fluidificanti, di tipo e caratteristiche adeguate alla sabbia di volta in volta impiegata.

Il getto viene eseguito, in generale, a moderata pressione (max. 6 atm) durante l'estrazione del tubo forma provvisorio, con accurato controllo al manometro in modo da evitare di introdurre nel sottosuolo indebite sovrappressioni.

Per ottenere una salda aderenza palo-terreno non è, infatti, necessario adoperare pressioni elevate, le quali, si ripete ancora una volta, potrebbero alterare gravemente la conformazione del terreno.

Per pali eseguiti in formazioni rocciose o semirocciose, ove manchi, in tutto od in parte, il tubo forma provvisorio, la pressione viene esercitata a mezzo di tampone di tenuta.

Ove necessario (terreni sciolti) la parte superiore del palo viene, durante la perforazione ed a mezzo di apposito utensile, allargata a tronco di cono, sì da creare una « testa a fungo ».

Parimenti, sempre in terreni sciolti, a getto avvenuto e consolidato, l'interno del tubo assiale di armatura (o di apposito tubo guida) viene riperforato, proseguendo la trivellazione per un certo tronco al di sotto del piede

del palo; facendo uso, se del caso, di opportuni allargatori.

Lo scopo di questo approfondimento è quello di creare al piede del palo un « *bulbo di precarica* » da assoggettare a pressione più elevata di quella adoperata per il getto del palo. Detta pressione viene esercitata a mezzo di miscela cementizia inviata a mezzo di pompa di iniezione direttamente attraverso il tubo assiale.

Lo scopo di questo bulbo sarà meglio chiarito in seguito.

### Caratteristiche tecniche

#### a) Il « *prenucleo* »

È costituito dallo strato aderente che può essere interposto tra l'armatura metallica ed il conglomerato. Esso, per effetto dei materiali impiegati, assicura, anche per sollecitazioni unitarie molto elevate, una perfetta aderenza tra ferro (qualunque sia il suo diametro) e calcestruzzo.

Detto strato costituisce, altresì, una migliore protezione del ferro dalla ossidazione, in quanto esso rappresenta già di per se stesso un primo efficiente copriferro.

#### b) La « *testa a fungo* »

Come è noto, i « pali radice » traggono la loro eccezionale capacità portante essenzialmente dalla resistenza di attrito della parete laterale del palo contro il terreno.

Il particolare sistema esecutivo (malta a base di sabbia granosa immessa a pressione) assicura già di per se stesso una conveniente aderenza del palo, in qualsiasi terreno.

Occorre, tuttavia, tener presente che alla reazione di aderenza del terreno al carico corrisponde una deformazione del terreno

stesso, tanto più accentuata, a parità di sforzo, quanto più esso è cedevole. Ne deriva che, in generale, allorché gli strati di terreno attraversati dal palo sono di diversa cedevolezza, il valore massimo di aderenza si manifesta in corrispondenza dello strato più compatto; gli strati meno compatti sviluppano una reazione di aderenza ridotta.

Per compensare questa riduzione è opportuno che negli strati più cedevoli il diametro del palo risulti maggiorato nei confronti del diametro corrente del fusto.

Questo aumento di diametro, nel « palo radice », avviene automaticamente negli strati più profondi, sia per effetto della perforazione, che in strati più teneri « scava » di più, sia per effetto del getto a pressione che da una parte provoca una espansione del palo, dall'altra costipa il terreno, con azione tanto più marcata quanto più quest'ultimo è cedevole.

Per quanto riguarda la testata, invece, dal momento che, quasi sempre gli strati di terreno più superficiali sono più cedevoli, è previsto un allargamento a fungo ottenuto, in trivellazione, a mezzo di speciale utensile.

#### c) Il « *bulbo di precarica* » alla base del palo.

In terreni molto cedevoli gli abbassamenti dei pali sotto carico sono proporzionalmente più elevati che non in terreni più consistenti.

Ove si voglia ridurre al minimo detto abbassamento, occorre sottoporre preventivamente (cioè prima dell'applicazione del carico) il sistema palo-terreno ad una sollecitazione di senso inverso a quello che, invece, il sistema stesso subirà all'atto del carico del palo.

Si tratta, in sostanza, di appli-

care il principio della precompressione al sistema palo-terreno.

È questo lo scopo del « bulbo di precarica ».

La miscela in pressione inviata in detto bulbo spinge il palo verso l'alto sviluppando tra palo e terreno un « attrito negativo ».

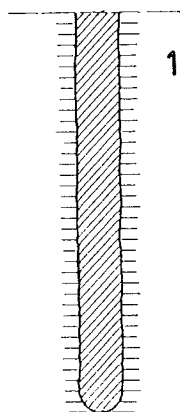
La deformazione verso l'alto del terreno costituisce, quindi, una riserva da recuperare all'atto del carico effettivo del palo.

I concetti innanzi esposti sono meglio chiariti negli schizzi di fig. 2.

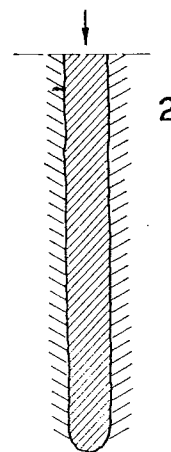
In complesso è bene, però, sottolineare che il cosiddetto « bulbo di precarica » non è, né vuole essere, un bulbo di base anche se, a conti fatti, esso esercita anche una funzione diretta di sostegno di base; il suo scopo è molto più importante e si inquadra nel concetto essenziale, che qui vale ribadire, che i « pali radice » sono essenzialmente pali portanti per « attrito ».

Ciò non toglie ovviamente che, in caso di presenza nel sottosuolo di banchi rocciosi, i « pali radice » possano essere impiegati, così come del resto tutti gli altri pali gettati in sito, come pali a portanza di base. Anzi la tecnologia esecutiva dei « pali radice » consente loro di addentrarsi nella roccia stessa per qualsiasi profondità, tanto da realizzare la voluta portanza.

### “PALO RADICE” NORMALE

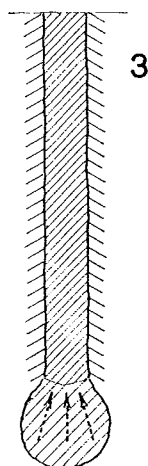


PALO SCARICO  
(terreno in riposo)

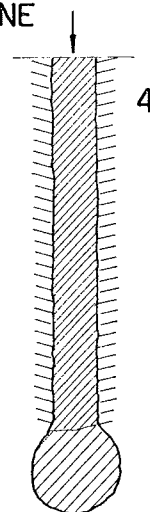


PALO SOTTO CARICO  
(terreno sotto cedimento verso il basso: attrito positivo)

### “PALO RADICE” A BULBO DI PRESSIONE



AZIONE DEL BULBO SUL  
PALO SCARICO  
(il terreno, spinto dal palo, manifesta un attrito negativo)



PALO SOTTO CARICO  
(il terreno recupera la precarica prima di abbassarsi nuovamente)

Fig. 2

<i>Convegno internazionale sulle acque sotterranee</i>	44	<i>Tecniche per elementi finiti nella meccanica dei solidi</i>	163
<i>Riunione del Gruppo di Ricerca « Terreni e Strutture » del CNR</i>	93	<i>Il metodo degli elementi finiti e le sue applicazioni all'ingegneria strutturale</i>	240
<i>Riunione dei docenti di Geotecnica delle Facoltà di Ingegneria italiane</i>	93		
<i>Simposio sull'Ingegneria del Terreno</i>	93	<b>NUOVE PUBBLICAZIONI</b>	
<i>IV Simposio di Ingegneria sismica</i>	94	<i>Atti del Congresso sulle indagini in sito nelle rocce sciolte e lapidee</i>	96
<i>Convegno sul meccanismo della rottura delle rocce a mezzo di esplosivo</i>	94	<i>Pubblicazioni della A.S.T.M.</i>	162
<i>Giornate di studio sugli esplosivi nell'Ingegneria civile e mineraria</i>	94	<i>Traduzioni a cura dell'Associazione Austriaca di Geomeccanica</i>	162
<i>Tavola rotonda sulle carte tematiche</i>	94	<i>Atti della sessione speciale sulla Dinamica dei Terreni del Congresso di Città del Messico</i>	162
<i>Convegno scientifico interdisciplinare del Gruppo ENI</i>	95	<i>Pubblicazioni della A.S.T.M.</i>	240
<i>Congresso europeo di Geotecnica</i>	163		
<i>Simposio sulla stabilità delle scarpate nelle miniere a cielo aperto</i>	163	<b>RICERCHE E STUDI</b>	
<i>Congresso della Clay Minerals Society</i>	163	<i>Borsa di studio in Geotecnica intestata a Giovanni Rodio</i>	240
<i>Congresso sul comportamento delle palificate di fondazione</i>	236		
<i>Giornate di studio sugli esplosivi per lavori di abbattimento in campo civile e minerario</i>	239	<b>INFORMAZIONI TECNICHE</b>	
<i>Congresso regionale asiatico dell'Associazione Internazionale degli Idrogeologi</i>	239	<i>IMPRESA ING. G. RODIO &amp; C. S.p.A.: Rivestimenti in resine di gallerie</i>	97
<b>CORSI</b>		<i>IMPRESA ING. G. RODIO &amp; C. S.p.A.: Tiranti di ancoraggio</i>	171
<i>Corso estivo sulle proprietà fisiche e sul comportamento dei terreni</i>	96	<i>SOC. AN. FONDEDILE: Il « palo radice Fondedile » tipo M/2</i>	242
<i>Corso sulle vibrazioni dei terreni e delle fondazioni</i>	96	<i>STUDIO GEOTECNICO ITALIANO: Una insolita applicazione della vibroflottazione</i>	45