

Tecnologie Vibro

Consolidamento del terreno con sistemi
di vibrocompattazione profonda

Soluzioni geotecniche per il settore delle costruzioni

Panoramica delle tecnologie per la vibro-compattazione profonda



Il sottosuolo

Le condizioni geologiche sono solitamente descritte in una relazione di sintesi delle indagini geognostiche. Se le caratteristiche geomeccaniche del sito non soddisfano i requisiti del progetto, le tecnologie di vibrocompattazione profonda offrono una soluzione tecnica ed economica vantaggiosa per il consolidamento del terreno a qualsiasi profondità.

I vibrocompattatori profondi

Il vibro è di forma cilindrica, ha normalmente una lunghezza compresa tra i 3 ed i 4 m e un peso di circa 2 tonnellate. L'elemento principale del vibro è una massa eccentrica, azionata da motori elettrici, che induce l'oscillazione orizzontale del vibro stesso. Tutti i componenti vengono assemblati e collegati con il tubo prolunga al fine di adattarsi alle profondità di progetto. I vibro possono essere montati su gru a fune o su specifiche macchine operatrici realizzate dal Gruppo Keller (Vibrocat).

Le tecnologie

I sistemi di vibrocompattazione si possono suddividere in tre categorie principali che si differenziano sia in termini di finalità di miglioramento del terreno che in termini di meccanismi di trasferimento dei carichi. Il progetto dell'inter-

vento di consolidamento viene spesso sviluppato direttamente da Keller in stretta collaborazione con i Progettisti e consulenti geotecnici.

La vibrocompattazione viene utilizzata per l'addensamento dei terreni granulari che sono in grado di autoaddensarsi, se sottoposti a vibrazione, grazie alla ridistribuzione delle singole particelle.

La vibrosostituzione, ovvero la formazione di colonne portanti in ghiaia compattata, viene utilizzata in terreni coesivi o su depositi granulari caratterizzati da alta percentuale di frazione fine.

La terza applicazione prevede la formazione di elementi colonnari rigidi che garantiscono l'adeguato trasferimento dei carichi nei casi di terreni caratterizzati da modestissime caratteristiche geomeccaniche e quindi mancanza di sufficiente contrasto laterale per poter applicare le metodologie di vibrosostituzione sopra descritte.

L'esecuzione

In tutte le metodologie, l'utensile vibro viene dapprima infisso nel terreno fino alla profondità desiderata per poi essere estratto, secondo le modalità specifiche della tecnologia, al fine di compattare il terreno o per la formazione degli elementi colonnari.

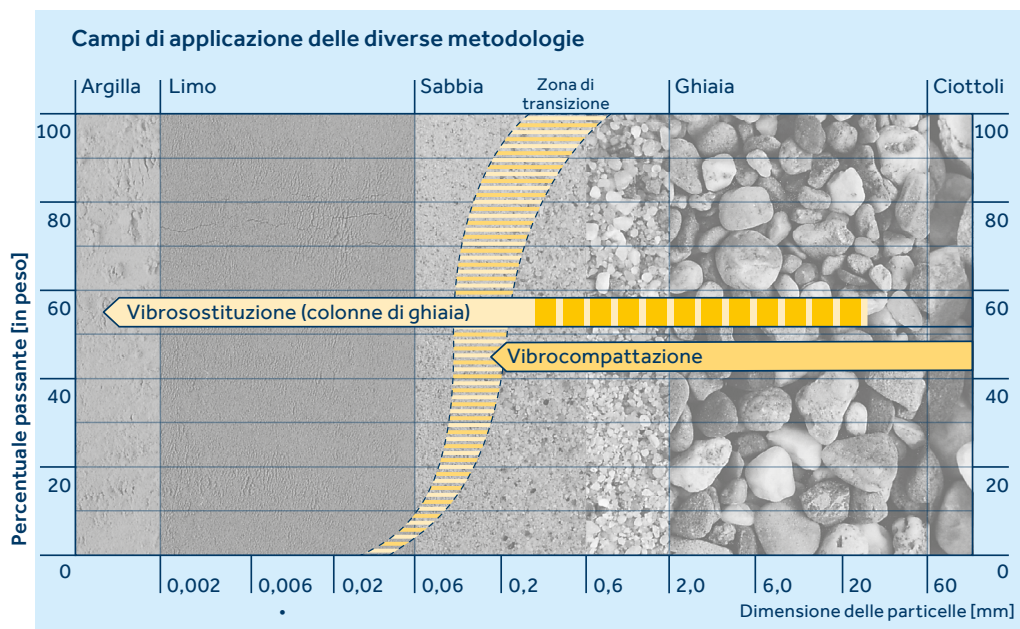
Panoramica generale

Le tecniche Vibro offrono soluzioni flessibili per il consolidamento del terreno. Sono utilizzate principalmente nei casi di strutture da realizzare su terreni con scarsa capacità portante. Keller sviluppò inizialmente la tecnica della vibrocompattazione profonda (brevetto del 1934) al fine di compattare terreni non coesivi (sabbie e ghiaie). Oggi Keller offre la possibilità di adottare queste tecnologie su un'ampia gamma di terreni, anche di natura coesiva, grazie alla possibilità di utilizzare svariate tipologie di vibrocompattatori e metodologie applicative.

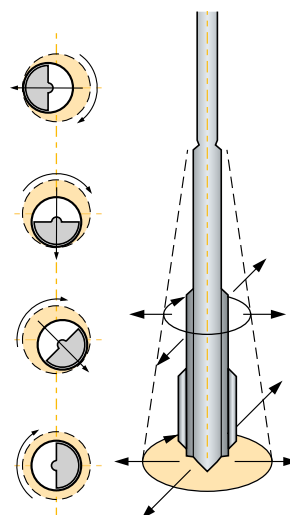
I vantaggi

Le tecniche vibro sono molto versatili e possono essere modulate al fine di essere utilizzate con efficacia su un'ampia varietà di condizioni geologiche e di requisiti progettuali. L'esecuzione è veloce, anche nel caso di trattamenti su grandi volumi di terreno e la costruzione delle successive opere strutturali può seguire immediatamente dopo. Il consolidamento del terreno consente al Committente la possibilità di realizzare fondazioni superficiali standard e quindi ottenere ulteriori risparmi.

Un altro vantaggio è la massima compatibilità della tecnica con l'Ambiente in quanto vengono utilizzati materiali naturali senza asportazione di terreno in sito (solo minime quantità vengono rimosse nel corso dell'esecuzione).



Il principio della vibrocompattazione



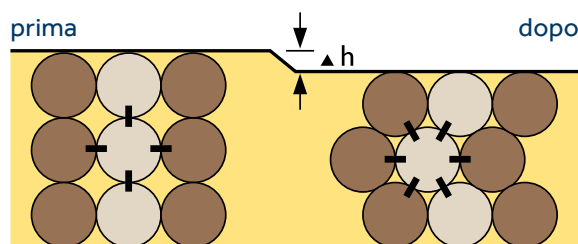
Vibrocompattazione in terreni granulari

Attrezzature ed esecuzione

La compattazione dei terreni granulari è particolarmente efficace ed economica quando eseguita con utensili Vibro a bassa frequenza, la cui azione induce il miglior grado possibile di addensamento tra le particelle del terreno. Normalmente il vibro viene montato su gru a fune. L'infissione nel terreno e la successiva fase di compattazione è aiutata da specifici ugelli che iniettano acqua con portate e pressioni regolabili. Il sistema di iniezione è completamente assemblato all'interno del vibro. La compattazione viene eseguita dal basso verso l'alto con intervalli di risalita ed intervalli di compattazione prefissati. Il risultato finale del trattamento è funzione della giusta scelta dell'utensile vibro e della natura del terreno.

Aspetti geotecnici

La vibrazione induce una migliore disposizione delle particelle del terreno all'interno dell'area di influenza del trattamento garantendone la compattazione. Il raggio di influenza del trattamento dipende dalla tipologia di vibro utilizzata, dalla natura del terreno e dalla metodologia impiegata. In alcuni tipi di terreno e per elevate intensità di trattamento si possono raggiungere riduzioni di volume dell'ordine del 15%.

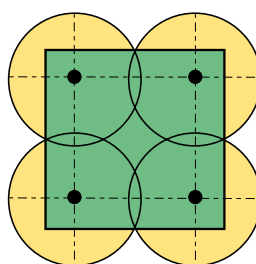
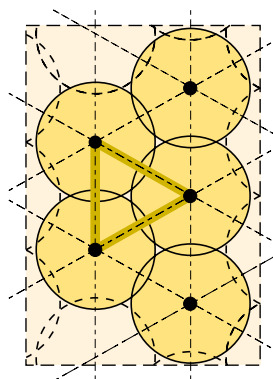


Il concetto di fondazione

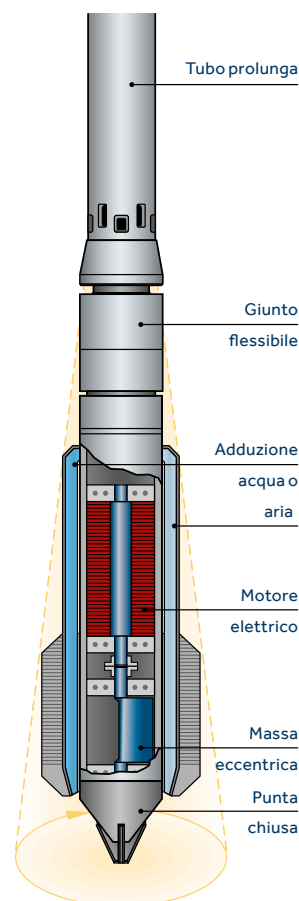
Il grado di addensamento raggiungibile sul singolo punto dipende da diversi fattori: Keller dispone

della più vasta esperienza per poter sviluppare le soluzioni più adatte alle richieste progettuali. Spesso la migliore disposizione dei punti di trattamento viene definita in sito attraverso un campo prova preliminare, testando diverse "maglie" e metodologie di trattamento. Dopo la compattazione si possono raggiungere elevatissimi valori di capacità portante in grado di sostenere carichi e pressioni distribuite sul terreno fino a 1 MN/m^2 (10 Kg/cm^2). Il layout finale dei punti di trattamento può essere facilmente modificato in modo da garantire il consolidamento di tutte le superfici e volumi richiesti. Il livello di compattazione raggiunto può essere verificato facilmente e a costi molto ridotti, utilizzando svariate metodologie di prova (es. prove penetrometriche).

Disposizione tipica sotto platee e carichi distribuiti



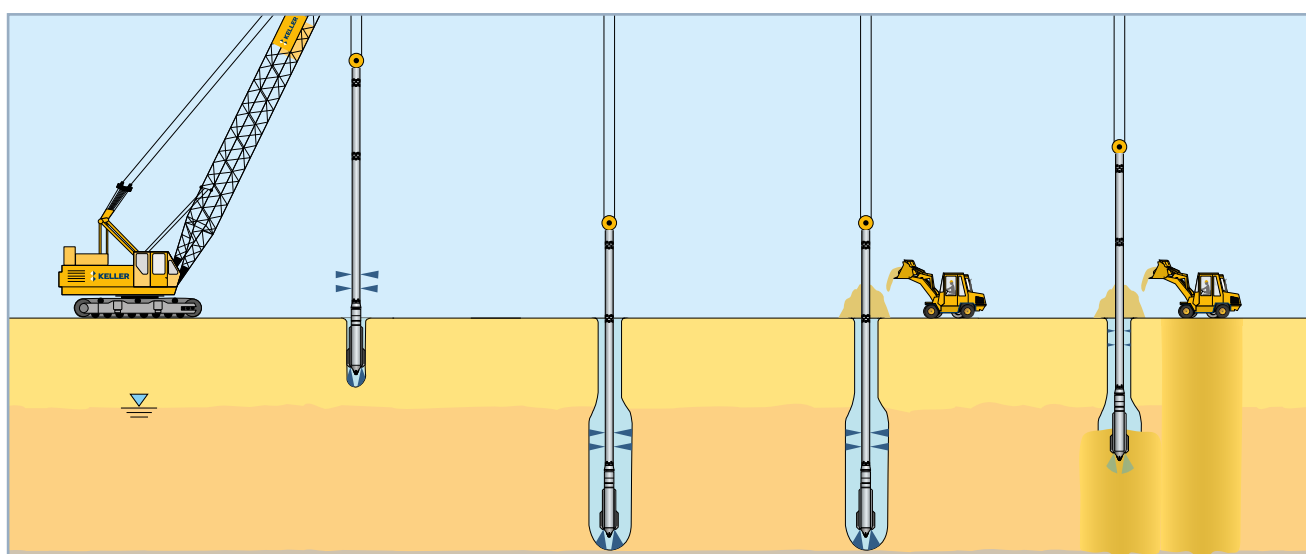
Disposizione tipica per fondazioni isolate



Technical highlights

La tecnologia della vibrocompattazione è adatta alla compattazione di terreni granulari con basso contenuto di fini (L+A) attraverso la ridistribuzione delle particelle. La riduzione dell'indice dei vuoti comporta l'aumento della densità relativa del deposito e quindi il miglioramento di tutte le caratteristiche geomeccaniche (modulo elastico, resistenza al taglio, ecc).

La sequenza esecutiva



1. Infissione

L'utensile vibro penetra nel terreno con l'ausilio di getti d'acqua in pressione. La frazione fine del terreno viene contestualmente dilavata e portata in superficie. Al raggiungimento della profondità di progetto il flusso di acqua viene ridotto.

2. Compattazione

Il trattamento viene eseguito per step successivi dal basso verso l'alto. Si possono raggiungere diametri di terreno trattato fino a 5 m. Il crescente grado di addensamento si manifesta con l'incremento di assorbimento di energia (amperaggio) richiesto dal motore elettrico del vibro.

3. Riempimento

Intorno al vibro si forma un cono che viene man mano riempito con materiali granulari approvvigionati dall'esterno o riutilizzando i terreni in sito. Il volume del materiale necessario può raggiungere il 15% del volume trattato.

4. Finitura

Dopo la conclusione del trattamento la superficie viene ri-livellata e compattata mediante rullatura.

I benefici della vibrocompattazione

- Riduzione dei cedimenti
- Incremento della capacità portante con conseguente riduzione delle dimensioni delle fondazioni
- Incremento dei moduli elastici del terreno
- Incremento della resistenza al taglio
- Possibile riduzione della permeabilità
- Mitigazione del rischio di liquefazione
- Stabilizzazione dei pendii
- Possibilità di costruire su aree di riporto/riempimento
- Possibilità di utilizzare fondazioni di tipo superficiale

La vibrosostituzione (colonne in ghiaia vibro-compattate - CGV) in terreni coesivi e/o granulari con alto contenuto di fini

Attrezzature ed esecuzione

Per la formazione delle colonne di ghiaia vibrocompatte generalmente viene utilizzato il metodo "bottom feed" che consente la fuoriuscita dell'inerte direttamente dalla punta del vibro con l'aiuto di aria in pressione. Per rendere più efficace la tecnologia e migliorarne le prestazioni, il Gruppo Keller ha sviluppato specifiche macchine operatrici (Vibrocat) dotate di torre guida che consente una migliore penetrazione nel terreno grazie ad una spinta aggiuntiva verso il basso, forza che viene sfruttata anche nelle fasi di compattazione delle colonne. Il processo di vibro sostituzione si basa su continui step alternati verso l'alto e verso il basso. Nelle fasi di estrazione la ghiaia fuoriesce dalla punta cava del vibro ed è quindi successivamente compattata e spinta verso il terreno adiacente nello step successivo di ri-penetrazione. In questo modo vengono formati elementi colonnari in ghiaia compattata che, unitamente al terreno che ne resta intercluso, creano un sistema composito, idoneo a sostenere i carichi.

Aspetti geotecnici

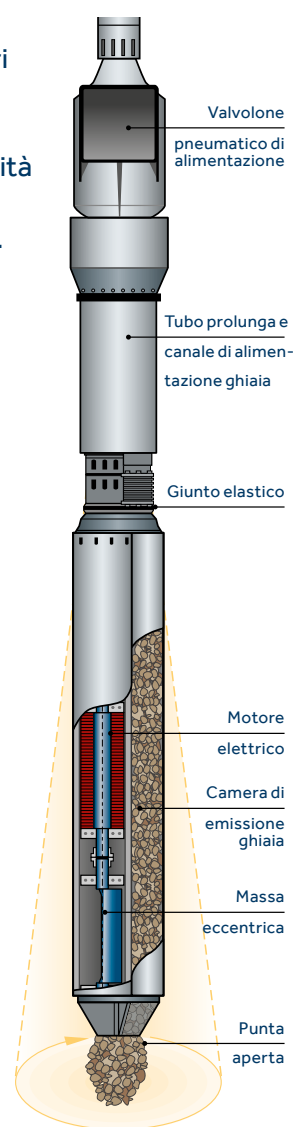
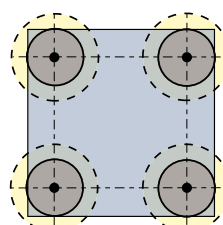
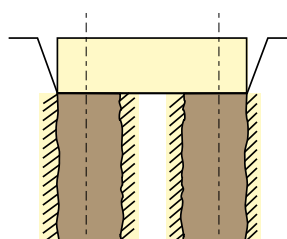
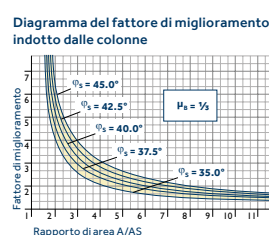
Anche nel caso della vibro sostituzione si possono ottenere, in terreni misti granulare-coesivo, effetti di compattazione del terreno intercluso tra le colonne per effetto delle vibrazioni orizzontali. Si tiene conto di questo effetto, se presente, come nel caso della vibrocompattazione precedentemente descritta.

Nel caso della vibro sostituzione (colonne in ghiaia vibrocompatte) tipicamente si parte dal presupposto che il terreno non sia suscettibile di auto addensamento per vibrazione. Il consolidamento del terreno si ottiene pertanto grazie alla maggiore rigidità del complesso indotta dalle colonne, dalla maggiore resistenza al taglio che le colonne stesse conferiscono ai depositi trattati e, limitatamente, anche dalla compattazione dell'anello di terreno adiacente la colonna.

Il concetto di fondazione

Mentre nel caso della vibrocompattazione l'incremento di rigidità indotto nel terreno può essere facilmente verificato attraverso prove pre e post trattamento, l'effetto di miglioramento indotto dalle colonne può essere controllato solo attraverso prove di carico in sito.

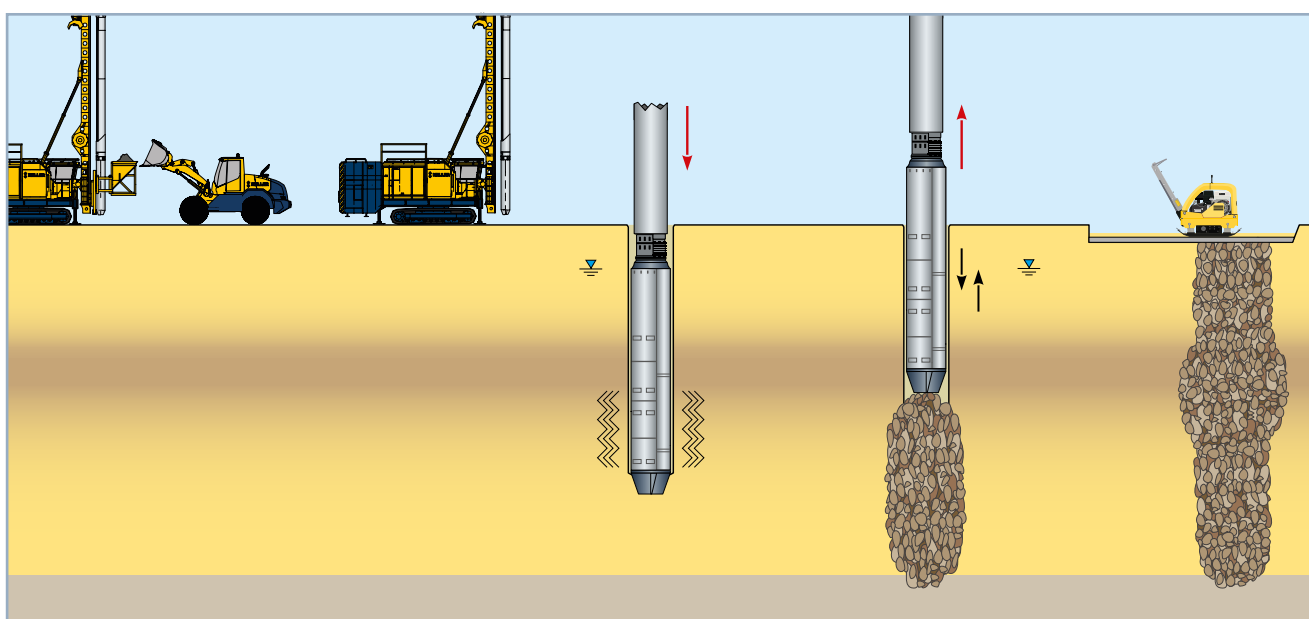
Keller ha sviluppato affidabili metodologie di calcolo che utilizzano, come dati di input, la geometria dell'intervento e l'angolo di attrito interno del materiale costituente le colonne. Per la progettazione delle strutture di fondazione il sistema terreno-colonne viene considerato come un normale terreno caratterizzato da parametri geotecnici incrementati. La tecnologia permette di raggiungere valori di capacità portante tipicamente compresi tra 150 e 400kPa.



Technical highlights

La tecnologia della vibrosostituzione permette la formazione di elementi colonnari portanti realizzati con ghiaia compattata (CGV), in terreni coesivi o granulari caratterizzati da alta percentuale di frazione fine.

La sequenza esecutiva



1. Preparazione

La macchina operatrice (Vibrocator) si posiziona sul punto di intervento e aziona gli stabilizzatori. Una pala gommata di supporto carica la ghiaia nella tramoggia frontale.

2. Ricarica

Dopo aver sollevato la tramoggia fino alla sommità del vibro, la ghiaia viene scaricata nel valvolone pneumatico. Una volta chiuso quest'ultimo, il sistema viene messo in pressione per spingere la ghiaia fino alla punta del vibro.

3. Penetrazione

Il vibro viene infisso nel terreno fino a raggiungere la profondità di progetto, il terreno viene dislocato lateralmente. L'infissione avviene grazie alla spinta del tirabasso della macchina operatrice e contestuale fuoriuscita di aria in pressione.

4. Compattazione

Al raggiungimento della profondità finale il vibro viene man mano estratto per step. Lo step verso l'alto consente la fuoriuscita della ghiaia. Il successivo affondamento dell'utensile ne produce la compattazione e lo schiacciamento laterale sul terreno.

5. Finitura

Una volta terminata la formazione della colonna per passi successivi di estrazione ed affondamento, è necessario ri-livellare e compattare il piano di lavoro.

Vantaggi delle colonne in ghiaia Vibrocompattate (CGV)

- Riduzione dei cedimenti
- Incremento della capacità portante, con conseguente possibilità di riduzione delle dimensioni delle fondazioni
- Incremento dei moduli elastici del terreno
- Incremento della resistenza al taglio
- Rapida dissipazione delle sovrappressioni
- Mitigazione del rischio di liquefazione
- Stabilizzazione dei pendii
- Permette la costruzione nei riempimenti
- Possibilità di costruire su aree di riporto/riempimento
- Possibilità di utilizzare fondazioni di tipo superficiale

Elementi colonnari rigidi

Colonne di ghiaia vibrocompattate cementate (CGVC)

Attrezzature ed esecuzione

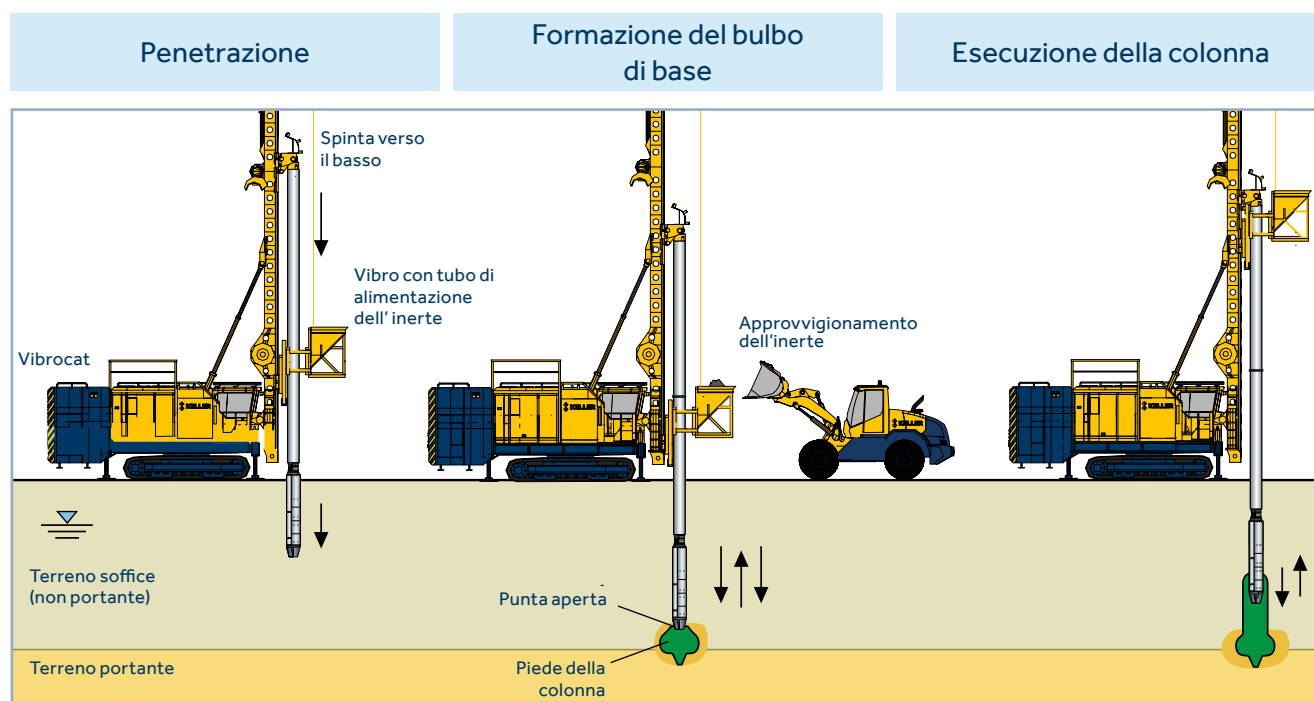
Questi elementi vengono realizzati con lo stesso procedimento già descritto per la formazione delle colonne di ghiaia, ma utilizzando specifiche miscele di ghiaia addizionata a cemento/calcestruzzo caratterizzate tipicamente da classi di resistenza variabili tra C8/10 e C20/25. Come per le colonne di ghiaia l'applicazione consente gli stessi effetti di compattazione del materiale e del terreno adiacente.

Aspetti geotecnici

La capacità portante delle colonne cementate (CGVC) è assimilabile a quella dei pali tradizionali.

Il concetto di fondazione

La metodologia di calcolo delle fondazioni su terreno consolidato con colonne CGVC si basa su un gran numero di prove di carico dal vero eseguite secondo la normativa DIN 1054 in cantieri effettuati in tutto il mondo. A seconda delle condizioni del terreno e dei materiali utilizzati, si possono raggiungere valori di capacità portante ai carichi verticali fino a 900 kN. Le colonne cementate (CGVC) possono essere inoltre combinate con le normali colonne di ghiaia (CGV) eliminando l'utilizzo del calcestruzzo nella parte sommitale o alla base della colonna, se richiesto. Questo al fine di creare una zona di transizione tra la fondazione e l'elemento colonnare rigido.



Technical highlights

- L'aggregato cementizio viene sempre alimentato direttamente dalla punta del vibratore, assicurando la formazione di una colonna continua.
- Il collasso del foro non è possibile, anche in terreni critici, grazie al sistema ad aria compressa.

Colonne vibrato in calcestruzzo (CVC)

Attrezzature ed esecuzione

Le colonne vibrato in calcestruzzo (CVC) sono solitamente realizzate con calcestruzzo C25/30 pompabile. Normalmente il piede della colonna viene allargato previo ripetuti cicli di affondamento/estrazione del vibro; la colonna invece viene realizzata per estrazione continua del vibro e contestuale alimentazione controllata del calcestruzzo.

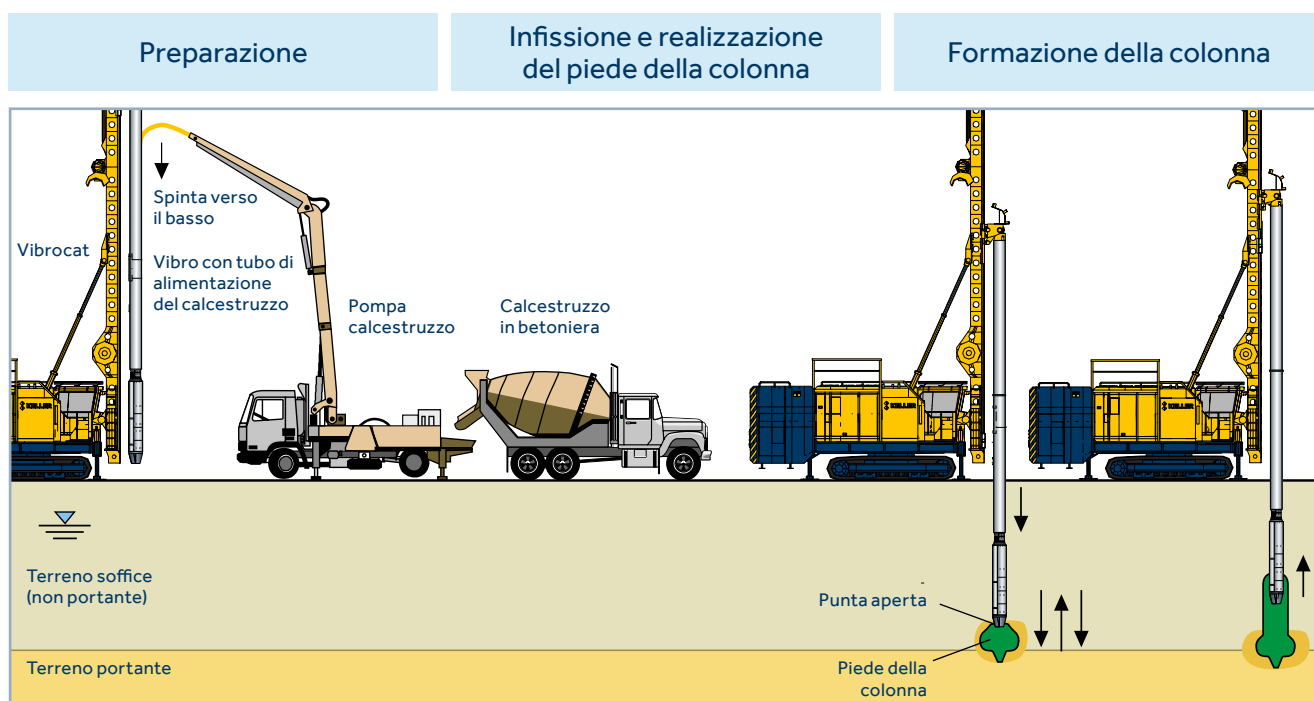
Aspetti geotecnici

Durante la formazione delle colonne CVC non si effettuano cicli mirati alla compattazione del terreno adiacente l'utensile. Come per gli altri elementi di fondazione, è possibile ottenere un

alto livello di miglioramento alla base garantendo alti valori di capacità portante con livelli deformazionali molto ridotti.

Il concetto di fondazione

Le colonne vibrato in calcestruzzo (CVC) sono un sistema certificato ufficialmente in Germania secondo la Normativa DIN. Sono elementi colonnari rigidi che presentano diametri resi finali normalmente compresi tra i 40 cm ed i 60 cm. La capacità portante delle colonne CVC può raggiungere i 1000 kN a seconda delle condizioni del terreno e della conseguente possibilità di allargarne il diametro al piede.



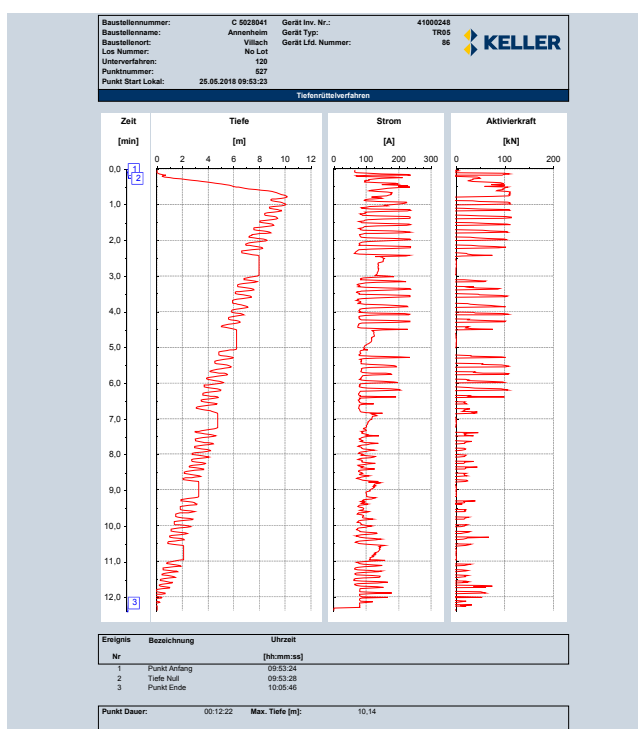
Controllo qualità e garanzia del prodotto

Per tutte le tecnologie vibro, vengono utilizzati sistemi elettronici di controllo per garantire elevati standard di Qualità e permettere la registrazione automatica in continuo delle lavorazioni effettuate.



Le registrazioni

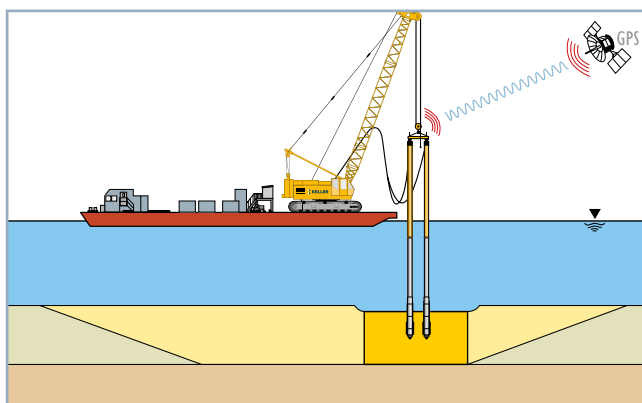
Nelle fasi di compattazione vengono registrati automaticamente diversi parametri di esecuzione. Valori come il tempo, la profondità, la velocità di penetrazione/estrazione, la spinta necessaria per la penetrazione e i livelli di amperaggio possono essere visualizzati graficamente e un protocollo (scheda di registrazione) può essere creato per ogni colonna o punto di intervento.



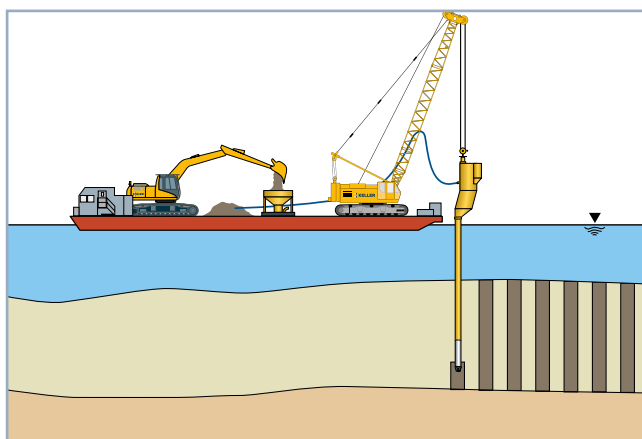
Applicazioni speciali

Vibro multipli e applicazioni offshore

La vibrocompattazione su aree molto estese, sia onshore che offshore, può essere eseguita con speciali gruppi di vibro specificatamente assemblati.



Per la formazione di colonne di ghiaia vibrocompattate offshore con sistema bottom feed, ad esempio nell'ambito della realizzazione di nuove opere portuali, viene utilizzata una pompa speciale per l'alimentazione in continuo della ghiaia.



Colonne in ghiaia Vibrocompattate – metodo top feed

Le colonne in ghiaia in terreni coesivi possono essere eseguite anche con il metodo top feed (alimentazione della ghiaia a boccaforo). In questo caso il vibro può essere montato su gru a fune come per la vibrocompattazione. La penetrazione nel terreno è supportata dall'azione dell'acqua che permette la stabilizzazione del foro e l'estrazione della frazione fine presente nel terreno. Grazie alla formazione della cavità anulare la ghiaia ha quindi modo di fluire fino alla base della colonna. E' una metodologia che viene utilizzata per creare colonne di diametro maggiore.



Keller Fondazioni S.r.l

Via della Siderurgia 10
37139 Verona

Löwecenter
Via Isarco 1 · Eisackstraße 1
39040 Varna/Bressanone · Vahrn/Brixen (BZ)

www.keller-fondazioni.com

Specialisti in soluzioni geotecniche