PuntoSicuro

ARTICOLO DI PUNTOSICURO

Anno 19 - numero 3934 di martedì 24 gennaio 2017

Sicurezza e tutela della salute nell'esecuzione del jet-grouting

Nonostante siano passati quasi nove anni dall'entrata in vigore del D. Lgs. 81/2008, si continuano a vedere PSC assolutamente carenti quando nell'esecuzione dell'opera sono previste lavorazioni particolari. Di Carmelo G. Catanoso.

Ancora oggi, nonostante siano passati quasi nove anni dall'entrata in vigore del D. Lgs. n° 81/2008 con il suo allegato XV, si continuano a vedere PSC assolutamente carenti dal punto di vista qualitativo; prevalentemente le carenze riguardano la superficialità e l'approssimazione con cui viene effettuata la ricerca di tutte quelle scelte prevenzionali (progettuali, tecniche e organizzative) in grado di eliminare, quando possibile, o ridurre al minimo i rischi per il personale incaricato dell'esecuzione dei lavori.

Sovente, il coordinatore della sicurezza per la progettazione (CSP) non possiede quel livello di conoscenza di **particolari processi costruttivi** tali da permettergli un'efficace analisi preventiva della futura attività di cantiere con la conseguente determinazione delle scelte prima indicate. Se è vero che da una parte, l'obbligo di redazione del POS, è potenzialmente in grado di far integrare nel PSC, le specificità tecniche, organizzative e procedurali delle imprese esecutrici, dall'altra però, tutto ciò non deve costituire una legittimazione di quanto avvenuto fino ad adesso e cioè la redazione, da parte dei CSP, di documenti assolutamente generici, spesso redatti con uno dei tanti software disponibili sul mercato. Pertanto, un'efficace analisi prevenzionale in fase progettuale può essere condotta solo se vi è una buona conoscenza dei processi costruttivi che si svolgeranno in cantiere.

Pubblicità
<#? QUI-PUBBLICITA-MIM-[QS0026] ?#>

Se per la maggior parte delle tipologie costruttive quest'affermazione può sembrare banale o superflua, per altre non lo è per nulla. Infatti, esistono tutta una serie di lavorazioni, veramente complesse, la cui conoscenza è tutt'altro che diffusa. Nel seguito di questo contributo, verranno affrontate le problematiche inerenti la sicurezza e la tutela della salute nell'**esecuzione del jet-grouting**, in modo da fornire agli addetti ai lavori una serie di informazioni utili per la redazione del piano di sicurezza e coordinamento relativo ad appalti che includono questa tipologia di lavorazione.

Che cos'è il jet-grouting

La tecnica del jet-grouting per il consolidamento dei terreni è basata, in estrema sintesi, sulla disgregazione e sulla contemporanea miscelazione del terreno stesso con un fluido stabilizzante (in genere una miscela di acqua e cemento); il terreno disgregato e la miscela stabilizzante, una volta giunti a maturazione, costituiscono un conglomerato con buone capacità di resistenza.

In pratica, la tecnica del jet-grouting prevede due fasi principali:

1. perforazione;
2. iniezione della miscela stabilizzante ad altissima pressione (fino a 600 bar).

Durante la seconda fase, la speciale asta di perforazione viene estratta dal terreno ruotando mentre, da un ugello posto alla sua estremità, esce la miscela che disgrega il terreno e fa sì che lo stesso, assieme alla miscela, formi un conglomerato che, una volta maturato, può raggiungere resistenze a compressione paragonabili a quelle di un discreto calcestruzzo (ovviamente, tali resistenze sono legate alle caratteristiche del terreno, alla pressione d'iniezione ed al dosaggio della miscela stabilizzatrice).

Tecnicamente, la disgregazione e la miscelazione del terreno può essere effettuata, oltre la miscela cementizia (jet-grouting tipo 1), con o senza l'ausilio di altri fluidi, e cioè:

- con aria compressa = jet-grouting tipo 2,
- con aria compressa e acqua = jet-grouting tipo 3.

Lo scopo del jet-grouting è quello di far assumere al terreno trattato la configurazione di una serie di colonne di conglomerato cementizio aventi andamento orizzontale (jet-grouting sub-orizzontale), come nel caso del preconsolidamento delle volte delle gallerie o verticale ((jet-grouting verticale), come nel caso dei fondelli, delle fondazioni delle pile dei viadotti, ecc.. E' anche possibile migliorare ulteriormente le citate caratteristiche inserendo, dopo l'iniezione, un'asta metallica quale armatura della colonna consolidata. La tecnica del jet-grouting, infine, può essere utilizzata per consolidare interi tratti di terreno incoerente, mediante una serie di *"gettoiniezioni"* estese in lunghezza e in larghezza, al fine di fornire allo stesso le caratteristiche richieste dall'opera da realizzare.

Le attrezzature di lavoro comunemente utilizzate per l' esecuzione del jet-grouting possono essere suddivise in:

- attrezzature di perforazione
- impianti per la miscelazione ed iniezione,
- attrezzature di supporto.

In genere, le attrezzature di perforazione sono costituite da:

- sonde con supporto meccanico (mast) per l'esecuzione di perforazioni subverticali o suborizzontali, dotate di motore elettrico o termico, gommate o cingolate e con stabilizzatori;
- batteria d'aste e/o rivestimenti metallici, dotati in punta dell'utensile di perforazione ed eventuale caricatore;
- testa porta ugelli per l'uscita della miscela ad alta pressione;
- testa di rotazione e morsa o doppia morsa di manovra per le aste, la prima scorrevole su una slitta fissata sul mast, la seconda fissa alla base del mast;
- eventuale sistema di battuta (pneumatico) sulle aste per facilitare la perforazione (rotopercussione), costituito essenzialmente da una massa battente, posta in corrispondenza della testa di rotazione;
- pompa con motore termico o elettrico per la circolazione del fluido di perforazione, oppure compressore per l'aria nel caso di perforazione a secco.

Gli impianti per la miscelazione e iniezione, sono costituiti da:

- impianti (automatici o semiautomatici) per la preparazione delle miscele d'iniezione a partire dai componenti base;
- impianto di iniezione dei componenti del jet-grouting:
- motopompa a pistoni ad alta pressione,
- pompa a pistone a doppio effetto per pompaggio miscela cementizia,
- compressore d'aria;
- silos e serbatoi per lo stoccaggio dei materiali d'iniezione;
- pompe per la circolazione dei materiali fra le varie parti dell'impianto di miscelazione e di stoccaggio e per l'invio agli iniettori;
- coclee per il trasporto dei materiali base granulari o in polvere dai silos all'impianto di miscelazione;
- vasche per lo stoccaggio delle miscele e per l'agitazione delle stesse in attesa dell'iniezione.

Infine, quali attrezzature di supporto, in cantiere troviamo:

- macchine movimento terra di supporto alle lavorazioni;
- pompe e tubazioni per il recupero dei reflui dell'iniezione;
- compressori d'aria;

- gruppi elettrogeni per il fabbisogno elettrico dell'attività.

Generalmente, le fasi in cui è articolata questa particolare lavorazione sono le seguenti:

a. posizionamento della sonda in prossimità del foro da eseguire (jet-grouting suborizzontale o subverticale);
b. posizionamento del mast di perforazione secondo la direzione di progetto;
c. invio alla sonda, dall'impianto di miscelazione ed iniezione, della miscela cementizia ad alta pressione;
d. iniezione della miscela di cemento (pressione = 400 ? 500 bar), con portata definita e con velocità di rotazione e di risalita prestabilita;
e. estrazione dell'asta di perforazione;
f. per il solo jet-grouting armato, infissione dell'asta d'armatura;
g. posizionamento della sonda in corrispondenza di un altro foro (l'ordine dei fori perforati non è progressivo ma alterno, in modo da permettere la maturazione della miscela iniettata).

Scelte progettuali ed organizzative per eliminare o ridurre i rischi

Come già evidenziato precedentemente, le lavorazioni per la realizzazione del jet-grouting costituiscono, quasi sempre, delle attività lavorative inserite in un contesto esecutivo più ampio quale la costruzione di ponti, viadotti, gallerie, ecc..

Pertanto, nel piano di sicurezza e coordinamento esse costituiscono solo una tra le diverse attività costruttive di cui è necessario tener conto per la redazione del citato documento. L'analisi dei rischi e l'individuazione delle misure preventive e protettive per il jet-grouting, da integrare nel più generale contesto del PSC per la realizzazione, ad esempio, delle fondazioni delle pile di un viadotto autostradale, deve focalizzarsi, su quelle che saranno le specifiche principali fasi di lavoro nel futuro cantiere.

Ovviamente, viste le fasi di lavoro in cui le stesse sono articolate, la tipologia delle attrezzature presenti, le forti interazioni con l'ambiente interno ed esterno al sito, risulta assolutamente necessario che in fase di progetto esecutivo dell'intera opera si tenga debitamente conto delle peculiarità insite nell'esecuzione del jet-grouting, senza rimandare al piano operativo di sicurezza predisposto dall'impresa specializzata incaricata della realizzazione dello stesso.

Quindi, la fase iniziale di ricerca prevenzionale in fase progettuale deve necessariamente approfondire lo studio di questa futura lavorazione con la massima attenzione. I principali punti critici sui quali soffermarsi e riflettere, al fine di definire le scelte migliori per eliminare o ridurre al minimo i rischi, sono i seguenti:

- caratteristiche geomeccaniche del terreno,
- caratteristiche climatiche del sito,
- inquinamento: terreno, atmosferico, acustico,
- interferenze con:
    - ♦ altre lavorazioni presenti in cantiere,
    - ♦ linee elettriche aeree,
    - ♦ sottoservizi (gas, elettricità, acqua, ecc.),
    - ♦ edifici adiacenti,
    - ♦ cantieri adiacenti,
    - ♦ strade, ferrovie, ecc.,
    - ♦ altri mezzi presenti in cantiere (gru, macchine movimento terra, ecc.),
- vie di transito interne,
- dimensioni aree di lavoro,
- accesso interno ai posti di lavoro,
- modalità di stoccaggio e movimentazione materiali,
- sistemi di protezione dei posti di lavoro,
- sistemi di alimentazione d'energia,
- criteri di realizzazione degli impianti tecnologici di supporto.

Il coordinatore per la progettazione deve definire nel PSC anche quelle cautele generali che, in futuro, la o le imprese esecutrici dovranno osservare per garantire, durante le fasi di lavoro, un adeguato livello di sicurezza. Esaminiamo, adesso, alcune tra le principali cautele, **presentandole come preventive richieste che poi, in fase di esecuzione, le imprese dovranno soddisfare**.

Nel caso in cui le **linee elettriche aeree**, segnalate nella planimetria allegata al piano, non siano state spostate o sezionate, le sonde di perforazione potranno essere posizionate solo in modo che nella zona di lavoro sia sempre rispettata la distanza minima prevista dalla legge (Allegato IX al D. Lgs. n° 81/2008) dalla sommità del mast di perforazione e che lo stesso, in caso di improvvisi cedimenti o rotazioni anomale per malfunzionamenti al sistema oleodinamico della macchina, non possa colpire i cavi. Per quanto riguarda le zone segnalate nella planimetria allegata al piano ed in cui la distanza di sicurezza è inferiore ai valori fissati dalla legge e con linee elettriche non sezionabili, le lavorazioni potranno essere effettuate solo previa messa in opera di specifiche protezioni da concordare con l'ente proprietario.

Per quanto riguarda i **sottoservizi**, i cui tracciati sono evidenziati nella planimetria allegata al piano, le imprese esecutrici devono verificare prima della perforazione, l'effettiva assenza, nella zona di lavoro, di cavi, tubazioni, ecc., interrati. Nelle zone in cui è certa la loro presenza e dove è necessario eseguire la perforazione, i lavori potranno iniziare solo dopo l'avvenuto spostamento degli stessi, da parte dell'ente proprietario. Per quanto riguarda, invece, i sottoservizi che si trovano nelle vicinanze delle zone di perforazione ma in posizione tale da ritenerne trascurabile ed accettabile il rischio, il loro tracciato dovrà, comunque, essere evidenziato mediante segnaletica costituita da paletti in ferro o in legno e nastro colorato, posta ad entrambi i lati, ad almeno 0.75 m. dall'asse del sottoservizio stesso. Per quei casi in cui non è stato possibile ottenere informazioni adeguate al riguardo, la perforazione dovrà avvenire inizialmente con estrema cautela, eseguendo dei prescavi.

Al fine di evitare i **rischi di ribaltamento** delle macchine di perforazione, le imprese dovranno effettuare gli spostamenti sempre con il mast di perforazione in posizione di riposo, accertandosi preventivamente che il terreno interessato sia dal passaggio della macchina che dalla sosta della stessa per la perforazione, offra un'adeguata consistenza.

Nel caso in cui il terreno non offrisse adeguata consistenza, dovranno essere effettuati rinterri/riporti di terreno o dovranno essere posizionate lastre metalliche o assi di legno in grado di aumentare la stabilità della macchina.

Tutte le operazioni di posizionamento, dovranno essere effettuate in modo tale che gli operatori ai comandi delle sonde siano sempre coadiuvati nella movimentazione da almeno un'altra persona posta a distanza di sicurezza e in posizione ottimale per *"guidare"* l'operatore, specialmente in spazi ristretti. Queste movimentazioni andranno preventivamente pianificate in modo tale da minimizzare i rischi di investimento con altri veicoli circolanti in cantiere o, nel caso di sonda perforatrice con motore elettrico, i rischi di danneggiamento meccanico del cavo di alimentazione.

Nel PSC deve essere, quindi, evidenziata la necessità di un'attenta pianificazione delle sub attività e prevedere, prima dell'inizio della fase di perforazione, le seguenti operazioni:

- utilizzare, se le scadenti caratteristiche geomeccaniche del terreno lo rendessero necessario, lastre metalliche o tavole di legno di adeguata resistenza per meglio ripartire il carico sul terreno degli stabilizzatori della sonda;
- prevedere, nelle immediate vicinanze della macchina, spazi adeguati per posizionare dei robusti cavalletti porta aste di perforazione, al fine di facilitarne la movimentazione (montaggio/smontaggio);
- imporre, in caso di macchina sprovvista di caricatore automatico delle aste, un numero adeguato di aiutanti, in modo da minimizzare il rischio da movimentazione manuale dei carichi;
- predisporre, nel caso di sonde perforatrici con motore termico in galleria, un depuratore ad acqua da applicare in serie alla marmitta;
- predisporre, nel caso di perforazione in un terreno ad elevato contenuto di silice o che produca elevata polverosità, un sistema di abbattimento delle polveri di perforazione (schiuma, acqua, ecc.) e/o un sistema di captazione, aspirazione ed abbattimento della polvere originatasi dalla perforazione.

Per la **fase di perforazione** è possibile definire nel PSC una serie di cautele di carattere generale efficaci per ottenere un adeguato livello di sicurezza facendo fronte ai rischi presenti in questa fase; pertanto, il progettista e il CSP dovrebbero effettuare precise scelte progettuali ed organizzative riguardanti:

- la pianificazione delle sequenze lavorative della macchina di perforazione nelle varie aree d'intervento;
- la definizione dei criteri che il personale deve seguire per evitare interferenze con altre attività di cantiere;
- l'individuazione e il dimensionamento, in funzione dell'evoluzione dei lavori, delle aree da adibire al deposito temporaneo delle aste di perforazione;
- l'individuazione, nel caso la perforazione debba essere eseguita in zone con forti pendenze, delle protezioni da adottare per prevenire eventuali franamenti del terreno a monte ed a valle della piazzola di perforazione, tenendo conto anche degli eventi atmosferici in grado di alterare l'equilibrio del terreno (forti precipitazioni con dilavamenti, ecc.);

- la definizione del percorso ottimale per gli eventuali mezzi di trasporto del materiale di approvvigionamento per la perforazione (aste di perforazione, pompe, ecc.).

L'**impianto di miscelazione ed iniezione** dovrà essere concepito ed installato in modo che, ove le esigenze lo richiedano, sia agevole l'accesso per i mezzi e per il personale, a tutte le sue parti senza incontrare ostacoli. Particolare cura dovrà essere riservata alla disposizione dei cavi elettrici di alimentazione in modo tale che gli stessi abbiano un andamento razionale e regolare, un'adeguata protezione dagli urti e dal contatto con acqua o fango.

Nell'impianto di miscelazione ed iniezione, proprio per le sue caratteristiche, sono presenti un numero molto elevato di canalizzazioni idrauliche; pertanto, onde razionalizzare la disposizione delle stesse, è opportuno che le tubazioni presenti nell'impianto siano, ove possibile, interrate o poste al di sotto delle pedane utilizzate dal personale per gli spostamenti all'interno dell'area dell'impianto o, ancora, posizionate ad altezza superiore ai due metri per evitare di ingombrare i luoghi di lavoro.

Inoltre, le vasche per lo stoccaggio dei materiali ed i mescolatori dovranno essere installati in modo tale da eliminare il rischio di spruzzi verso il personale presente nell'impianto (schermi od altri accorgi–menti per evitare gli spruzzi di miscela).

Per l'**insilaggio del cemento**, particolarmente importante risulta il posizionamento dei silos in una zona tale da facilitare l'accesso ai mezzi per il rifornimento del cemento necessario alla preparazione della miscela d'iniezione. I silos dovranno essere posizionati su un basamento di adeguata capacità portante, effettuando, successivamente, l'ancoraggio dei "piedi" degli stessi ed eventualmente controventando, se necessario, con funi e tiranti. Inoltre essi dovranno essere dotati di un depolverizzatore in grado di eliminare la polvere prodotta durante la fase di carico dei silos stessi.

È consigliabile che le imprese utilizzino dei silos dotati di dispositivi che ne permettano l'installazione utilizzando sistemi di sollevamento e posizionamento che non necessitano della presenza del personale in cima agli stessi. In caso contrario, si dovranno prevedere dei silos dotati di scale con protezione, a partire da m 2,50, e, sulla sommità, di parapetti con corrente intermedio e fermapiede. Per le operazioni di carico, onde evitare il possibile scoppio del silo per la saturazione dello stesso, con i rischi facilmente intuibili, si dovrà raccomandare all'impresa esecutrice di:

- valutare preventivamente la capacità residua prima di effettuare il carico;
- verificare il funzionamento della tubazione di sfiato e l'efficienza del depolverizzatore;
- limitare, verso la fine dell'operazione di scarico, la pressione del compressore dell'automezzo con la quale viene scaricato il cemento.

Per la fase relativa alla vera e propria **iniezione ad alta pressione**, visto che il pericolo principale è la fuoriuscita accidentale della miscela ad alta pressione, è necessario che già in fase progettuale sia stato individuato e riportato sulla planimetria allegata al piano, il percorso ed i sistemi di protezione della tubazione ad alta pressione (lontano da luoghi di passaggio, da edifici, da strade, ecc.) in funzione dell'evoluzione dei lavori; nel caso in cui ciò non sia possibile, dovrà essere prevista un'adeguata protezione per evitare i rischi per il personale e/o per terzi come, ad esempio, inserendo le tubazioni flessibili ad alta pressione all'interno di tubazioni metalliche.

Per quanto riguarda i componenti idraulici (tubazioni, ecc.), utilizzati durante l'iniezione ad alta pressione, è necessario imporre preventivamente nel PSC, il rispetto di tutta una serie di requisiti:

- le tubazioni flessibili utilizzate dovranno essere del tipo tarato per resistere almeno a due volte la pressione d'iniezione;
- lungo le tubazioni flessibili dovranno essere montati uno o più dispositivi di sicurezza atti ad interrompere, in caso di anomalo aumento della pressione d'iniezione, l'afflusso di miscela e l'ulteriore aumento di pressione (ad esempio è possibile montare uno o più *tronchetti di sicurezza* con funzione di *fusibile idraulico* che, al superamento di una pressione max prefissata, scoppi contenendo gli effetti all'interno della corazzatura di cui è dotato, interrompendo così l'ulteriore aumento di pressione);
- in prossimità della macchina, dovrà essere predisposto un cavalletto con manometro e rubinetto di scarico per il controllo della pressione di iniezione;
- la pompa ad alta pressione dovrà essere dotata, sulla mandata, di una valvola di sicurezza, atta a scaricare la pressione della pompa in caso di occlusione dell'ugello montato sull'asta di perforazione ed iniezione e conseguente aumento anomalo della pressione;
- le tubazioni flessibili dovranno essere assicurate, sia nelle giunzioni sia in prossimità della testa d'adduzione e della

pompa ad alta pressione, con cravatta e catena a parti fisse per evitare, in caso di rottura, pericolosi *"colpi di frusta*";
- gli operatori alla sonda e gli operatori all'impianto dovranno essere costantemente in contatto visivo o radio - telefonico.

Durante l'iniezione, come precedentemente accennato, potrebbe verificarsi l'otturazione degli ugelli d'iniezione; in questo caso è importante che l'impresa esecutrice adotti una serie di procedure utili per garantire la sicurezza degli operatori. In particolare, in caso di occlusione degli ugelli, nel PSC dovranno essere richieste specifiche procedure complementari e di dettaglio da esplicitare nel POS riguardo le modalità operative adottate per minimizzare i rischi conseguenti (visto che questo tipo di rischio è afferente esclusivamente l'attività dell'impresa); nel POS, pertanto, dovranno essere esplicitate le modalità d'intervento quali, ad esempio, le seguenti:

- il sondatore, in caso di occlusione degli ugelli, dovrà immediatamente avvertire l'operatore alla pompa ad alta pressione;
- prima di intervenire sulle aste porta ugelli, l'operatore alla pompa ad alta pressione dovrà aver fermato la stessa ed aperto la valvola di scarico della pressione;
- solo quando la pressione sarà nulla, l'operatore alla pompa potrà dare il consenso all'operatore alla sonda per l'estrazione delle aste;
- solo dopo il consenso dell'operatore all'impianto, l'operatore alla sonda potrà estrarre la batteria d'aste, smontare le stesse e procedere alla sostituzione dell'ugello di iniezione;
- nel caso in cui non funzionasse la valvola di scarico della pompa, l'operatore alla sonda dovrà aprire, prima di procedere all'estrazione della manovra, il rubinetto posto sul cavalletto ubicato nelle vicinanze della sonda al fine di azzerare la pressione;
- se quanto detto nel punto precedente non riuscisse, solo dopo aver fatto allontanare il personale ed essersi messo a distanza di sicurezza ed aver controllato che la parte terminale delle aste, recante il portaugelli di iniezione, sia infissa nel terreno, l'operatore alla sonda, procederà alla messa in morsa delle aste e del portaugelli ed allo svitamento con la macchina;
- rimane, ovviamente, tassativamente vietata la pulizia degli ugelli (in caso di intasamento), quando la linea è in pressione.

La lavorazione del jet-grouting comporta l'utilizzo di notevoli quantità di miscela cementizia; ovviamente nelle zone in cui avviene l'iniezione è facile l'accumulo della stessa in quantità tali da rendere difficoltosa l'attività lavorativa con conseguenti rischi per l'integrità psicofisica del personale addetto.

Pertanto, è importante prevedere il **recupero dei fluidi di risulta** e imporre nel PSC che:

- l'area di lavoro sia dotata di un sistema di raccolta e canalizzazione dei fanghi di risulta dalle iniezioni, in modo da evitare la dispersione sul terreno ed il ristagno sul sito di perforazione;
- siano realizzate delle vasche di raccolta e decantazione (se scavate nel terreno essere devono essere protette da parapetti con corrente intermedio e fermapiede, con le pareti impermeabilizzate per evitare dispersioni nel terreno), dove raccogliere le acque di risulta delle lavorazioni;
- sia stata preventivamente studiata la possibilità di riciclo delle acque decantate e/o del trattamento dei fanghi di risulta.

Carmelo G. Catanoso

Ingegnere Consulente di Direzione

 Questo articolo è pubblicato sotto una Licenza Creative Commons.