



LA TECNOLOGIA DEL DIRECTIONAL DRILLING A SECCO

Renzo Chirulli*

Grazie al continuo perfezionamento delle tecnologie esecutive, il range applicativo del directional drilling a secco si sta rapidamente estendendo. Questa tecnologia No-Dig, fino a poco tempo fa destinata solo ad applicazioni di nicchia, come la realizzazione di piccoli attraversamenti in presenza di banchi rocciosi, oggi può essere impiegata su lunghezze e diametri considerevoli, e per condizioni del sottosuolo estesamente variabili.

L'EVOLUZIONE DEL DIRECTIONAL DRILLING

E' utile ricordare che il directional drilling è nato, quasi settanta anni fa, in campo petrolifero, come misura di emergenza per attuare il controllo di un pozzo in eruzione (blowout) - rif. bibl. [1]. Negli anni l'uso

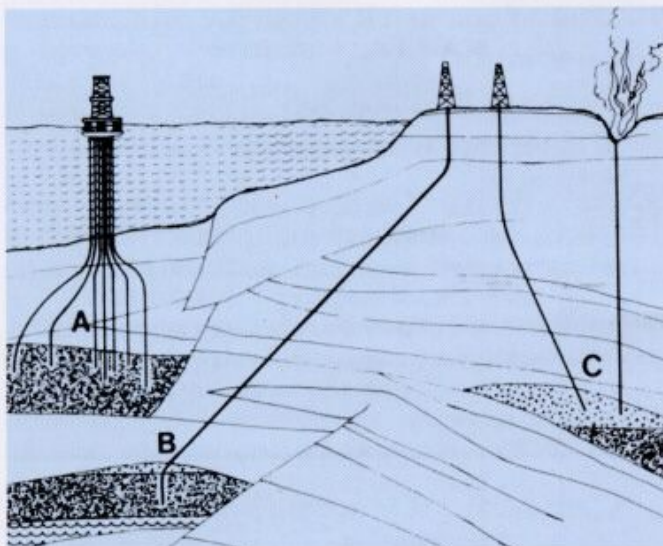


fig. 1 - impiego del directional drilling nel settore petrolifero: a) pozzi multipli da singola stazione; b) pozzi deviati; c) controllo del blowout.

del directional drilling si è andato diffondendo ed affinando consentendone impieghi differenti, tra i quali si ricordano essenzialmente: la perforazione di pozzi multipli, a partire da un'unica stazione di superficie; la realizzazione di pozzi inclinati oppure orizzontali in grado di attuare un migliore sfruttamento dei reservoirs petroliferi (fig. 1) - rif. bibl. [1], [2].

Nel campo petrolifero, perforando a profondità anche di alcune migliaia di metri, è stato sempre piuttosto ovvio il ricorso ai fanghi bentonitici, anche se a questi si è affiancato nel tempo l'uso di polimeri ad alta biodegradabilità, al fine di limitare l'inquinamento che deriva dall'uso dei fanghi.

Mentre il directional drilling propriamente "petrolifero" consente di realizzare perforazioni che si sviluppano prevalentemente in profondità, quella che chiamiamo perforazione orizzontale controllata permette invece di realizzare perforazioni a bassa profondità con sviluppo prevalentemente parallelo alla superficie del suolo.

Molto di quanto oggi sappiamo ed utilizziamo nel settore della perforazione orizzontale controllata (a cui per estensione terminologica diamo correntemente il nome di directional drilling) deriva dalle conoscenze sviluppate nel settore petrolifero.

È stato naturale quindi per i primi utilizzatori e sviluppatori di tecnologie di perforazione orizzontale controllata (erano i primi anni '70) impiegare materiali e tecniche di perforazione molto simili a quelli impiegati nel directional drilling petrolifero o comunque da questi derivati.

I fanghi bentonitici rappresentano una di queste "eredità", e sebbene siano stati in un certa misura adattati all'impiego con la perforazione orizzontale a bassa profondità, presentano praticamente le medesime fondamentali caratteristiche di quelli impiegati in campo petrolifero. Fino alla comparsa delle prime perforatrici direzionali a secco, il directional drilling si è quindi coniugato quasi esclusivamente all'uso di fanghi bentonitici, che solo in taluni casi venivano sostituiti da semplice acqua.

Occorre tuttavia ricordare che agli inizi la tecnologia del directional drilling era destinata quasi esclusivamente alla realizzazione di attraversamenti fluviali - rif. bibl. [3], o in generale di punti singoli (come strade o linee ferroviarie) del tracciato di grandi oleodotti o gasdotti. L'impiego prevalente era quindi essenzialmente di ambito extraurbano.



L'iniziale impostazione tecnologica si è andata modificando nel tempo, quando è stata compresa l'utilità che poteva derivare dal posare le reti urbane di servizi interrati con perforazione, quindi in modalità No-Dig (senza scavo a cielo aperto) - rif. bibl. [4].

Sono quindi nati i primi sistemi ad idrogetto per la perforazione orizzontale controllata in terreni teneri (soft soil), con i quali ad una perforazione di tipo prevalentemente meccanico operata con utensili da taglio (triconi o trilama mossi da motori a fango) assistita da fanghi bentonitici, si sostituiva una perforazione di tipo idromeccanico, nella quale il fango stesso, o in certi casi l'acqua, opportunamente pressurizzati venivano spruzzati, attraverso opportuni ugelli, sul fronte di perforazione, demolendo il terreno, o in certi casi semplicemente ammorbidendolo per facilitarne l'escavazione di tipo meccanico.

Sia i sistemi del primo che quelli del secondo tipo sono attualmente in uso e rappresentano ancora le tecnologie prevalenti, almeno dal punto di vista del numero di perforatrici in circolazione.

Poiché la domanda di reti di sottoservizi si concentra soprattutto negli ambiti urbani, sperimentare tecniche di perforazione che non prevedessero l'uso di fanghi è stato un passaggio obbligato in quel processo per il quale in molti paesi del mondo (Stati Uniti in testa) si preferisce oggi impiegare tecnologie No-Dig piuttosto che tecnologie con scavo a cielo aperto (Open Trench) nelle operazioni di installazione reti - rif. bibl. [4], [5].

Va tuttavia osservato che i primi tentativi di realizzare perforazioni senza l'ausilio di fanghi bentonitici o di acqua, non sono stati completamente incoraggianti, tanto che taluni produttori si sono fermati, nello sviluppo dei propri sistemi a secco, alla realizzazione di perforatrici di piccole dimensioni, in grado di realizzare perforazioni di modesta lunghezza e diametro.

Da qui si è ingenerata l'idea che il directional drilling a secco fosse una tecnologia minore di ridotte capacità operative. E questo, va detto subito, non corrisponde più alla realtà.

È stato certamente in Italia che questa tecnologia ha conosciuto il suo maggiore sviluppo.

Quando agli inizi degli anni '90 la Telecom Italia avviò uno studio sulle tecnologie disponibili per limitare l'effrazione della superficie nelle operazioni d'installazione di reti interrate per le telecomunicazioni, fu subito chiaro che non tutti i requisiti richiesti (tra i quali i bassi livelli d'impatto sull'ambiente urbano) potevano essere soddisfatti dalle tecnologie di perforazione allora esistenti.

Esistevano, e naturalmente esistono tuttora, una serie di problemi legati essenzialmente alla variabilità della natura del sottosuolo ed alla morfologia dei centri urbani italiani.

La presenza di materiali non omogenei, con alta percentuale di elementi lapidei o di banchi rocciosi e la larghezza piuttosto ridotta delle strade urbane, hanno suggerito il ricorso a tecnologie di perforazione che potessero coniugare alla capacità operativa (in termini di perforazione) in condizioni litologiche variabili, ed a volte molto difficili (roccia dura), una semplificazione e limitazione d'ingombro degli impianti e delle macchine da perforazione.

È stato allora che proprio in Italia, sulla base di queste significative e precise sollecitazioni, si è dato impulso allo sviluppo di una tecnologia che oggi rappresenta lo stato dell'arte nel directional drilling a secco.

Molto di questa tecnologia deriva dalla peculiare e speciale esperienza italiana nella perforazione verticale eseguita con martelli pneumatici fondo foro a rotopercolazione. Ed infatti nelle prime sperimentazioni non si è fatto altro che porre in orizzontale una normale batteria di perforazione verticale alimentata ad aria.

Naturalmente è stato necessario specializzare, e non poco, sia l'attrezzatura fondo foro che quella fuori dal foro, con il risultato che oggi, grazie all'impegno ed alle capacità di un gruppo di aziende italiane, è disponibile sul mercato una tecnologia per il directional drilling a secco che risponde a requisiti di efficienza, affidabilità, estese capacità operative, e bassissimo impatto ambientale, che hanno candidato il directional drilling a secco a diventare la tecnologia principale per l'installazione di reti di sottoservizi in ambito urbano.

STATO DELL'ARTE DEL DDD

Il directional drilling a secco, che indichiamo più semplicemente con l'acronimo DDD (dry directional drilling) è caratterizzato dall'uso di aria compressa a bassa pressione (<25 bar) quale principale fluido di perforazione - rif. bibl. [8].

L'aria in pressione assolve in questo caso a tre fondamentali funzioni:

- raffreddamento degli utensili fondo foro
- allontanamento del materiale perforato dal fronte di perforazione
- alimentazione di utensili fondo foro attivi (martelli, alesatori percussivi, ecc.)

L'aria in pressione viene prodotta da un opportuno compressore a motore endotermico o in certi casi elettrico, e quindi immessa nella batteria di perforazione che è costituita da aste dotate di ampio passaggio interno - rif. bibl. [7], strumentazione di guida e quindi utensile di perforazione.

Parlando di stato dell'arte del DDD, l'utensile di perforazione è in questo caso un martello pneumatico fondo foro a rotopercolazione opportunamente strutturato.

I martelli pneumatici fondo foro a rotopercolazione consentono di esercitare un'intensa azione di demolizione particolarmente efficace in presenza di materiale roccioso, con produzioni che in perforazione possono raggiungere i 15 m/h anche in materiali molto duri (resistenza alla compressione >200 MPa) come certi calcari molto compatti o talune rocce magmatiche intrusive.

Il loro impiego non è però limitato all'attraversamento di banchi o trovanti rocciosi.

A questo proposi-



fig. 2 - una punta da roccia per DDD.



to è utile osservare che, in questa tipologia di impianti, il sistema di perforazione fondo foro non è costituito unicamente dal martello.

Un'altra componente essenziale è infatti la punta di perforazione, che, a seconda della geometria che presenta, può rendere il sistema adatto a perforare anche terreni misti, con produttività giornaliere piuttosto elevate (fig. 2).

L'impiego del DDD nei terreni misti è resa possibile non soltanto grazie ad un'opportuna conformazione delle punte di perforazione, ma anche grazie all'uso combinato di opportuni additivi che vengono miscelati con l'aria di alimentazione.

Gli additivi principalmente impiegati sono costituiti da miscele di acqua+polimero che in piccole percentuali vengono immesse nel circuito pneumatico di alimentazione della batteria fondo foro.

A titolo esemplificativo, operando con un'alimentazione pneumatica da 17000 litri/min a 12 bar, la quantità di miscela additivata all'aria, varia dai 15 ai 90 litri/ora (il che significa da 0.25 a 1.5 litri/min). Il limite superiore si raggiunge quando è necessario perforare terreni in cui è presente una cospicua frazione argillosa.

La miscela additiva ha lo scopo di attuare un migliore raffreddamento degli utensili, una maggiore lubrificazione del foro ed una migliore evacuazione del materiale perforato.

Sotto quest'ultimo aspetto è utile tuttavia osservare che nei terreni con elevata frazione argillosa, grazie all'azione di rotazione della batteria di aste, parte del materiale asportato dal fronte di perforazione viene costipato contro le pareti del perforo, e solo una piccola parte viene invece allontanata con il fluido di perforazione. Ciò consente di limitare notevolmente la quantità di materiale asportato durante le operazioni di perforazione, a differenza di quanto invece avviene nel wet boring, in cui l'elevato flusso di fango bentonitico tende ad allontanare dal foro tutto il materiale perforato. Ciò si traduce, nel DDD, in una drastica riduzione delle quantità di materiale da conferire in discarica a seguito delle operazioni di perforazione.

Mentre il ricorso agli additivi acqua+polimero si rende necessario quando si opera in presenza di suoli con frazioni argillose cospicue, quando si perfora in roccia l'additivo si riduce a semplice acqua nebulizzata (quindi con sola funzione refrigerante).

Le produttività conseguibili con questa tecnica sono significative. Ad esempio con una perforatrice da DDD di capacità medio-piccole (130 kN di tiro, 5500 Nm di coppia) si riescono ad ottenere produzioni giornaliere, in terreno misto (matrice limo-argillosa con elementi lapidei) che nella posa di monotubi da 120 mm possono raggiungere anche i 200 metri/giorno (compresa l'alesatura ed il tiro del cavidotto).

Questo ha permesso, sino ad oggi, di impiegare con successo questi sistemi in situazioni estesamente differenti da un punto di vista litologico.

Il risultato più rimarchevole, sotto quest'aspetto, è costituito dagli oltre 350 km di perforazioni effettuate, con questa tipologia di sistemi da DDD, in molteplici siti dislocati in varie regioni dell'Italia, della Spagna, della Grecia, della Gran Bretagna, della Polonia, della Repubblica Ceca, dell'Austria e del Brasile.

Un'altra caratteristica non secondaria di questo genere di sistemi di perforazione direzionale è costituita dalla possibilità di impiegare, per il sistema di guida che è di tipo walk over radio - rif. bibl. [4], le normali sonde a trasmissione radio disponibili in commercio, con ovvi vantaggi sul piano della reperibilità sul mercato dei componenti e sul costo degli stessi. Ciò è stato possibile grazie alla messa a punto di opportuni porta-sonda che, grazie ad uno speciale sistema di sospensione, consentono di abbattere drasticamente il livello e l'intensità delle vibrazioni che raggiungono lo strumento, che ricordiamo vie-

ne posto immediatamente a monte del martello fondo foro.

Con le sonde a trasmissione radio ad alta profondità dell'ultima generazione ciò consente di guidare la batteria fondo foro, anche a profondità superiori ai 15 metri. Il che estende ulteriormente il range d'impiego di questa tecnologia.

Volendo rimanere entro gli scopi puramente divulgativi di quest'articolo non si ritiene opportuno entrare in taluni dettagli prettamente tecnici che caratterizzano l'attuale tecnologia del DDD, per i quali si rimanda ad altri testi di approfondimento - rif. bibl. [8].

Si ritiene invece interessante evidenziare taluni peculiari vantaggi che derivano dall'impiego del DDD, rispetto ad altre tecniche, comunque valide, di directional drilling.

Innanzitutto nel DDD poiché l'aria non genera alcun problema di approvvigionamento ed inoltre non deve essere né stoccata né tantomeno recuperata, vengono a mancare, rispetto al directional drilling "tradizionale": le buche di recupero, le vasche di miscelazione e le aree di stoccaggio necessarie per i fanghi, con conseguente riduzione delle aree di occupazione nonché della quantità di materie prime impiegate. Ciò si traduce anche, a parità di condizioni litologiche, in un minor costo industriale di produzione per metro di perforazione.

Certamente il principale vantaggio che deriva dall'impiegare l'aria quale fluido di perforazione, e questo è stato già detto, è il bassissimo livello di impatto ambientale che si consegue, se paragonato con quello già piuttosto basso che si associa ad altri metodi di directional drilling in cui si fa uso di fanghi bentonitici.

Non rientra negli scopi di quest'articolo valutare invece le più generali e certamente più rilevanti riduzioni d'impatto ambientale che l'uso del directional drilling consente in generale di conseguire se paragonato ai significativi impatti ambientali che derivano dalle operazioni tradizionali di scavo a cielo aperto. Per queste considerazioni si rimanda alla letteratura specialistica sull'argomento - rif. bibl. [5], [6]. Tornando al confronto tra DDD e directional drilling con fanghi bentonitici, l'impatto ambientale va in questo caso valutato solo rispetto ad alcune componenti ambientali, quali:

- edifici (piani interrati) ed ipogei
- sovrastrutture stradali
- falde acquifere

In ambiente urbano il ricorso all'aria quale fluido di perforazione elimina la possibilità che possa verificarsi l'allagamento di piani scantinati o di ipogei, posti in vicinanza del tracciato di perforazione, e ciò chiarisce il perché, rispetto a questa prima componente ambientale, il DDD risulti più efficace, di altre tecnologie, nella riduzione degli impatti.

I possibili effetti sulle sovrastrutture stradali, che nel caso di perforazioni a bassissima profondità (<1.5 m) con fanghi bentonitici, possono andare, nel semplice rifluimento con venuta a giorno del fango al sollevamento di pezzi di pavimentazione, operando con DDD, non si verificano, anche perché l'aria, una volta esaurita la propria funzione nella perforazione, grazie alla propria natura gassosa e quindi alla elevata comprimibilità, non può dar luogo ad un significativo dislocamento di materiale e quindi al sollevamento delle pavimentazioni.

L'aria, infine, non ha alcun effetto sulla falda in quanto non produce alcun tipo di inquinamento fisico o chimico. Qualora si ricorra all'uso di additivi, va ricordato che questi sono costituiti o da semplice acqua (quindi ancora una volta senza alcun effetto sulla falda) o da polimeri che attualmente devono presentare, per legge, una biodegradabilità minima pari al 95%.

Se restiamo sul piano dei confronti tra tecnologie attualmente disponibili per il directional drilling, uno dei fattori rispetto al quale, dal pun-



to di vista operativo, il DDD emerge maggiormente è la maggiore efficacia operativa al variare delle condizioni del sottosuolo. Questo aspetto, naturalmente, non presenta la stessa rilevanza ovunque.

In certe regioni nord europee, infatti, la natura del sottosuolo è prevalentemente argillosa ed omogenea. In queste regioni è sufficiente il ricorso a tecnologie di directional drilling ad esempio con taglio idromeccanico del terreno; ma è intuitivo che simili tecnologie perdono progressivamente la loro efficienza ed efficacia man mano che aumenta la percentuale di materiale compatto o lapideo contenuta nel terreno.

Con la tecnologia a fanghi ed in particolare con quella a getto in pressione (taglio idromeccanico) anche la presenza di un semplice trovante roccioso può costituire un ostacolo che obbliga allo scavo di una buca per l'eliminazione, dalla superficie, dell'ostacolo stesso. Con l'uso dei mud motors il risultato decisamente migliora, anche se in presenza di ostacoli molto duri (roccia compatta, cemento armato, ecc.) è necessario ricorrere, al fine di mantenere elevate produttività, all'uso di punte speciali dal costo elevato (come ad esempio gli scalpelli di tipo PDC – Polycrystalline Diamond Compact) con un conseguente aumento del costo di produzione dell'installazione, senza di-



fig. 3 - Plaza Francesc Macià - Barcelona (España)- giugno 1999 - Realizzazione di un anello per reti di telecomunicazione attorno alla piazza, mediante DDD - (per gentile concessione della SE S.r.l. - Italia)



fig. 4 - Atene (Grecia) - Febbraio 1999 - Attraversamento stradale in zona urbana mediante DDD - (per gentile concessione della SE S.r.l. - Italia)

menticare che comunque, con i mud motors, è necessario impiegare rilevanti portate di fango bentonitico (da 150 a 2500 litri/min).

In Italia, così come in altre regioni di molte altre nazioni, la natura del sottosuolo non è così favorevole, come in certe aree del nord Europa. Se consideriamo inoltre che nel sottosuolo urbano, specie di città di edificazione non recente, sono presenti "oggetti" naturali e soprattutto artificiali di ogni tipo (come vecchie strutture, materiale lapideo, ecc.), si intuisce il perché il DDD abbia sinora dimostrato, quando sperimentato, una maggiore versatilità ed efficacia d'uso rispetto ad altre tecniche di directional drilling.

Questo costituisce un elemento rilevante, nella scelta tra tecnologie alternative, quando la produttività (metri installati per giorno) e l'economicità rappresentano fattori determinanti per l'intera economia dell'opera da realizzare.

A completamento di questa breve analisi sulla tecnologia del DDD, può risultare utile fornire un'idea di massima su quelle che sono le capacità delle attuali perforatrici da DDD disponibili sul mercato.

Come già detto le perforatrici da DDD erano inizialmente piccole macchine da superficie o da pozzetto con capacità non superiori a 50-60 kN di tiro e 2000-3000 Nm di coppia.

Oggi il range disponibile si è notevolmente ampliato, sino a raggiungere, nelle macchine di maggiori dimensioni oggi in circolazione, valori del tiro superiori a 250 kN e valori di coppia superiori ai 12000 Nm. Ed è utile segnalare a questo proposito che verranno presto introdotte, in questo settore, perforatrici capaci di sviluppare tiri intorno a 500 kN e coppie superiori ai 20000 Nm.

AMBITI APPLICATIVI DEL DDD

Il DDD è una tecnologia No-Dig particolarmente adatta all'installazione di servizi interrati in ambito urbano.

In particolare mediante DDD è possibile procedere all'installazione senza scavo a cielo aperto di cavidotti e condotte interrate (telecomunicazioni, energia elettrica, acqua, gas, fognatura) sia per singoli attraversamenti di incroci stradali e piazze (figg. 3 e 4), sia per la posa in linea di grande estensione, lungo strade o marciapiedi.

Ma alla luce dei più recenti sviluppi di questa tecnologia oggi il DDD può essere impiegato in ambiti differenti, da quello urbano, addirittura aprendo la possibilità di sviluppo per applicazioni innovative.

Specie con le perforatrici di maggiori dimensioni è oggi possibile at-



fig. 5 - Austria, aprile 1999- Attraversamento fluviale per la posa di un gasdotto (lunghezza di tiro 250 m, diametro della condotta DN 160 in PEAD): a) perforatrice da DDD a terra, stazione di partenza; b) controllo direzionale in sub alveo mediante sistema radio di tipo walk over - (per gentile concessione della SE S.r.l. - Italia)

traversare aste fluviali, piazzali ferroviari e/o aeroportuali, grandi strade e aree di svincolo stradale, con i vantaggi tipici della perforazione a secco, potendo quindi perforare anche materiali lapidei ed abbattendo nel contempo ed in misura drastica gli impatti ambientali (figg. 5 e 6).

Le applicazioni innovative alle quali ci si riferisce ricadono nell'am-



bito della decontaminazione suoli e della ricerca d'acqua. In particolare esiste la possibilità di impiegare tecniche di DDD per la realizzazione di pozzi di ventilazione orizzontali (horizontal wells) destinati al soil venting (estrazione di vapori da suoli contaminati da idrocarburi) significativamente più efficaci delle reti di pozzi verticali realizzati per lo stesso scopo, e senza correre il rischio di trovare le opere di presa già intasate in origine a causa del cake formatosi per l'impiego di fanghi bentonitici.

Sempre restando nell'ambito della decontaminazione suoli, lo stesso criterio si può applicare per il drenaggio dei percolati nelle discariche di rifiuti solidi urbani non presidiate, e per l'estrazione del bio gas.

Nella ricerca d'acqua, infine, con tecnica di DDD è possibile realizzare opere di presa a captazione orizzontale, di maggiore efficacia rispetto ai tradizionali pozzi verticali, così come è già avvenuto nel settore petrolifero, senza però rischiare di inquinare la falda con fanghi bentonitici.



fig. 6 - Repubblica Ceca, febbraio 1999 - posa di un acquedotto in PEAD DN300 per una lunghezza di tiro pari a 160 m: a) buca di arrivo, in basso si nota la punta di perforazione da DDD in emersione; b) un momento del tiro della condotta nel foro - (per gentile concessione della SE S.r.l. - Italia).

CONCLUSIONI

Il dry directional drilling sta ormai raggiungendo, da un punto di vista tecnologico, la piena maturità. Questa tecnologia offre enormi vantaggi sul piano dell'efficacia in perforazione, della produttività e dell'abbattimento ulteriore degli impatti ambientali, e rappresenta oggi una delle tecniche No-Dig sicuramente più interessanti.

Si tratta, come in altri casi nel No-Dig, di una tecnologia italiana, ma che in Italia resta confinata, come la gran parte del No-Dig, purtroppo solo ad applicazioni di nicchia, a differenza di quanto accade in molti altri paesi europei ed extraeuropei, Stati Uniti in testa, certamente più avanti rispetto a noi nella ricerca del miglior equilibrio tra economia di spesa ed efficacia degli interventi esecutivi.

Sotto quest'aspetto, solo per citare un dato sintetico, che però risulta estremamente significativo per comprendere il divario che esiste fra l'Italia e gli altri paesi, basti pensare che solo riferendoci al directional drilling (che rappresenta una quota parte del settore aggregato del No-Dig), negli Stati Uniti esiste un parco macchine (perforatrici da directional drilling) costituito da circa 8000 unità. In Europa esistono circa 1500 unità di cui nella sola Germania ne sono al lavoro oltre 500. In Italia questo dato piomba paurosamente ad appena 70 unità, di cui solo una parte è attualmente impegnata in attività esecutive.

Questi numeri non dicono solo che l'Italia è drammaticamente indietro nell'applicazione delle tecnologie No-Dig, ma dicono soprattutto alle imprese Italiane di prestare attenzione a un trasferimento tecnologico in atto, che oltretutto nasce, in molti casi, proprio in Italia, e che presto potrebbe vedere operatori stranieri guadagnare opportunità sul mercato nazionale, non sfruttate dagli operatori Italiani.

Queste tecnologie, compreso il DDD, richiedono non solo investimen-



ti in denaro ed in macchine, ma soprattutto in uomini ed in pratica esecutiva. Occorre infine che a monte di tutto questo si formi una classe di tecnici specialisti in grado di guidare le scelte e l'esecuzione dei lavori perché il tutto possa avvenire nel rigore di una disciplina ingegneristica - rif. bibl. [9].

Ma tutto questo richiede tempo, quello stesso tempo che nel nostro Paese, amministrazioni, aziende di gestione delle reti di servizi, tecnici ed imprese, hanno finora speso ignorando il processo di trasferimento tecnologico che è ormai in atto.

Bibliografia

- [1] AA.VV. - "Controlled directional drilling" - Unit III, Lesson 1 - Third edition - Petroleum Extension Service, University of Texas at Austin - International Association of Drilling contractors - Huston, Texas - U.S.A. - 1984
- [2] Short J.A. Jim - "Introduction to directional and horizontal drilling" - Pennwell Books - Tulsa, Oklahoma - U.S.A. - 1993
- [3] Vescovo C., Lazzarini U. - "Attraversamenti fluviali nella realizzazione dei metanodotti - Nuove Tecnologie" - SNAM Attività Operative - Corso su "Problemi di ingegneria strutturale nel trasporto di energia" - International Centre for Mechanical Sciences - Department of Structural Engineering and Geotechnics - Udine - Aprile 1994
- [4] Chirulli R. - "L'Evoluzione della Tecnologia del Directional Drilling" - Le Strade, Casa Editrice La Fiaccola - Milano - Gennaio 1998
- [5] Chirulli R., Caruso A. - "Un modello di analisi tecnico-economica nel con-

fronto tra directional drilling e scavo a cielo aperto." - Atti del Convegno "Stato dell'Arte e nuove possibilità applicative del Directional Drilling" - Bari - ITALIA - Maggio 1998

[6] Chirulli R., Caruso A. - "Valutazione di impatto ambientale comparativa nel confronto tra directional drilling e scavo a cielo aperto." - Atti del Convegno "Stato dell'Arte e nuove possibilità applicative del Directional Drilling" - Bari - ITALIA - Maggio 1998

[7] Chirulli R., Colli M. - "Aste di perforazione per directional drilling" - Atti del Convegno "Stato dell'Arte e nuove possibilità applicative del Directional Drilling" - Bari - ITALIA - Maggio 1998.

[8] Chirulli R. - "Dry Directional Drilling - Perforazione Orizzontale Controllata con limitato impiego di fluidi di perforazione in fase liquida" - Seminario "Il ruolo della Geologia nelle Tecnologie Trenchless ed aspetti applicativi" - Atti del Seminario - Praoil Oleodotti Italiani S.p.A. - Genova 11 giugno 1999.

[9] Chirulli R. - "Il No-Dig in Italia fra potenzialità e superficialità" - Le Strade, Casa Editrice La Fiaccola - Milano - Settembre 1999.

Note sull'autore

*Renzo Chirulli è ingegnere, ed è amministratore unico e responsabile della ricerca della IT Consulting S.r.l., società di consulenza specializzata nello sviluppo e nelle applicazioni di tecnologie No-Dig.

per informazioni: IT Consulting S.r.l. - Via Amendola 162/1 - 70126 Bari - ITALY
Tel.: +39 080 546 1494 - Fax: +39 080 546 8532

Internet: www.nodig.it - Email: info@nodig.it

Perforazione direzionata in roccia



**Attraversamenti
Stradali**



**Attraversamenti
Fluviali**



**Attraversamenti
Ferroviari**

**In qualunque
Tipo di terreno**



**Tecnologie
Avanzate**

SE S.r.l. Tecnologie Avanzate
Corso Vittorio Emanuele, 93
66026 ORTONA (CH) ITALIA
Tel. e Fax +39 085 9068029 r.a.
E-mail: ffxes@tin.it