

Sintesi della Relazione Generale presentata al XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica

Interventi geotecnici di carattere strutturale: *tecnologie e scelte progettuali*

Alessandro Mandolini

Seconda Università degli Studi di Napoli, Dipartimento di Ingegneria Civile

Vittorio Manassero

Icotekne S.p.A.

“Nessuna tecnologia è nemmeno lontanamente complicata quanto una singola cellula.”

Nell'intraprendere il percorso di studio e riflessione che avrebbe portato alla stesura della Relazione Generale al XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica (Mandolini e Manassero, 2011), gli Autori hanno incontrato questa sibillina affermazione di Arthur B. W. (2009), eminente ingegnere e economista da anni impegnato in attività di ricerca finalizzata ad una profonda comprensione su “cosa è la tecnologia e come si evolve”.

Va da sé che una affermazione del genere ha provocato una iniziale crisi di sconforto, principalmente dovuta alla convinzione che si sarebbe comunque fornito un contributo ad un qualcosa di molto più semplice di un organismo monocellulare!

Al di là del significato che si preferisce dare al termine tecnologia (Conoscenza? Scienza Applicata? Tecnica? Pratica?), le diverse definizioni riportate in numerosi testi condividono, seppur con parole diverse, lo scopo principale della tecnologia: “mezzo” per soddisfare uno scopo. Questo “mezzo” può essere un metodo, un processo, una apparecchiatura (o un insieme di). Può essere semplice o complicato (si pensi a un chiodo o a un raggio laser per eseguire un foro), materiale o immateriale (un computer o un algoritmo di ordinamento di dati).

Mentre da un punto di vista logico metodi e processi possono essere aggregati, in quanto trasformano qualcosa tramite una serie di stadi o passi (da ora in poi li indicheremo quindi unicamente come processi), una apparecchiatura appare un “mezzo” a sé stante. E invece non è così.

Se si pensa alla tecnologia come qualcosa che incarna una sequenza di operazioni (un *software*), queste necessitano di una apparecchiatura fisica per essere eseguite (un *hardware*). Se per una data tecnologia enfatizziamo l'aspetto software vedremo un processo e un metodo, se poniamo l'accento sull'hardware vedremo un apparecchio fisico.

Tutto quanto sinora discusso riguarda la definizione di tecnologia e la sua principale finalità (soddisfare uno scopo). Ma cosa deve intendersi per innovazione tecnologica? E in cosa differisce, se differisce, dall'evoluzione tecnologica?

Se ci si riferisce al concetto di *dominio tecnologico*, ovvero di gruppi di singole tecnologie che naturalmente funzionano bene insieme, per *evoluzione tecnologica* può intendersi un miglioramento e/o un perfezionamento di un qualcosa all'interno del suo stesso dominio (sviluppo verticale). Classico esempio è quello del computer, che esiste oramai da decenni, ma non v'è dubbio alcuno che i calcolatori più moderni sono migliaia e migliaia di volte più prestazionali dei loro antesignani, rappresentandone una evoluzione grazie alla progressiva sostituzione di componenti e materiali. Ne consegue che per *innovazione tecnologica* debba intendersi un qualcosa che deriva da un processo trasversale che connette almeno due domini tecnologici, determinando un repentino cambiamento in almeno uno dei due. Un classico esempio in campi diversi dall'Ingegneria è quello della Diagnostica Medica, giunto a livelli prima inimmaginabili grazie al contributo dell'Elettronica e dell'Informatica.

Ovviamente, non mancano esempi anche nell'Ingegneria Geotecnica. Tra questi, si ritengono assolutamente meritevoli di menzione l'avvento di tecniche di scavo meccanizzato delle gallerie grazie al contributo anche della Meccanica, la possibilità di utilizzo delle opere interrato (fondazioni superficiali o profonde, parcheggi, gallerie, ecc.) quali elementi per lo scambio termico con il sottosuolo, grazie al contributo della Termodinamica.

Sia che si parli di evoluzione, sia che si parli di innovazione, in ogni caso si dà luogo a soluzioni migliori delle precedenti, ma con la sostanziale differenza che l'innovazione tecnologica determina qualcosa di veramente nuovo, che si distingue nettamente dalle tecnologie preesistenti in quanto sfrutta un principio nuovo o radicalmente diverso da quello fino a quel momento utilizzato per rispondere a una o più esigenze manifestate dal mercato.

In questa ottica, ci si rende rapidamente conto che negli ultimi anni - se non decenni - ciò che si è principalmente verificato non è classificabile come vera e propria innovazione tecnologica bensì come una significativa evoluzione tecnologica conseguita attraverso miglioramento di processi (*software*) e potenziamento di attrezzature (*hardware*), il tutto nei diversi campi delle opere di fondazione, delle opere di contenimento, delle opere in sotterraneo.

Rimandando al testo integrale della Relazione Generale al XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica (Mandolini e Manassero, 2011) per un'ampia panoramica sulle diverse tecnologie che hanno visto significative evoluzioni negli ultimi anni, nella versione estesa del contributo ci si soffermerà su quelle che si ritiene costituiscano una vera e propria innovazione: VSM e Strutture Termo-Attive.

VSM - VERTICAL SHAFT-SINKING MACHINE

Il VSM è una tecnologia realmente innovativa. Si tratta un metodo meccanizzato, ideato e messo a punto in tempi recenti, per lo scavo e il simultaneo rivestimento di pozzi circolari, con diametro interno finito da 4.50 a 9.00 m.

La tecnologia è stata ideata, e la relativa attrezzatura realizzata, dalla Herrenknecht, nota azienda tedesca leader nella realizzazione delle TBM, e sviluppata dalle imprese che l'hanno applicata in diversi paesi del mondo. La prima applicazione in assoluto risale al 2004, in Kuwait. Attualmente esistono nel mondo 9 attrezzature di questo tipo, che hanno operato in 11 paesi differenti; esse hanno consentito la realizzazione, ad oggi, di 45 pozzi, spinti fino a profondità di 90 m.

L'attrezzatura VSM è caratterizzata da quattro componenti principali: l'unità di scavo, l'unità di sospensione e calaggio, l'unità di trattamento fanghi e relativo circuito, l'unità di comando. Uno schema è riportato in Figura 1.

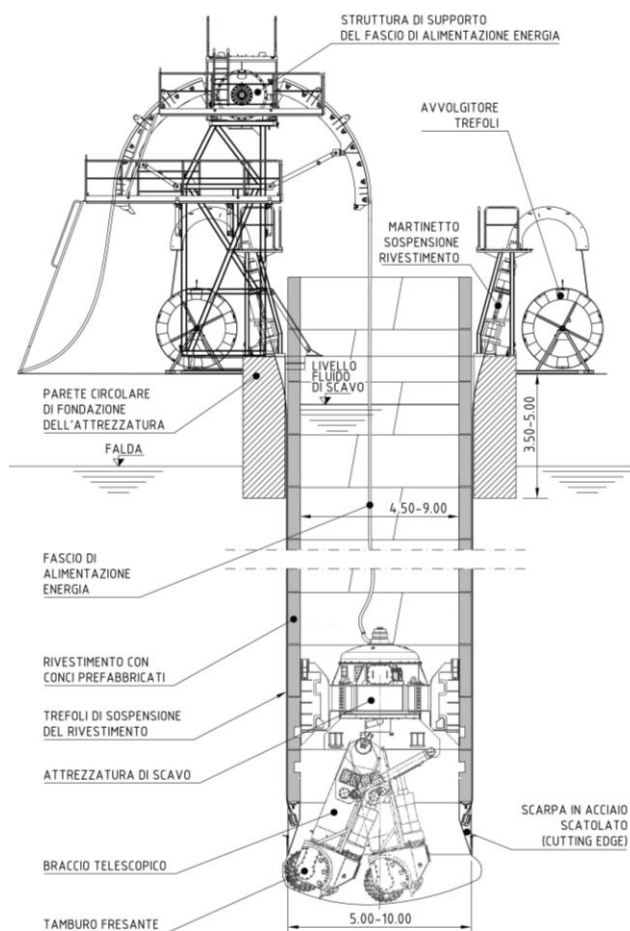


Figura 1. Schema dell'attrezzatura VSM

Per la descrizione dettagliata delle diverse componenti e delle modalità esecutive ci si riferisca a Mandolini e Manassero (2011).

Preme in questa sede evidenziare che il sistema VSM, oltre a permettere una più rapida e sicura realizzazione dei pozzi rispetto alle tecniche convenzionali, consente l'esecuzione dello scavo senza la necessità di impiegare personale all'interno del pozzo e senza deprimere il livello dell'acqua; ciò comporta un considerevole incremento della sicurezza per il personale operante e una significativa riduzione degli effetti indotti sull'ambiente circostante, in particolare quando si opera in ambiente urbano.

L'intera procedura esecutiva è in buona parte simile a quella per lo scavo meccanizzato delle gallerie (TBM): la posa in opera di anelli prefabbricati in c.a. avviene contemporaneamente all'avanzamento dello scavo, eseguito mediante un tamburo fresante che descrive traiettorie programmate grazie alla sua capacità di basculare e di ruotare a 360°.

Recenti esperienze eseguite nel corso della realizzazione di pozzi ventilazione per la metropolitana di Napoli hanno confermato l'assoluto valore della tecnologia: per la costruzione di 9 pozzi con diametro interno utile 4.50 m (diametro di scavo 5.20 m) e profondità di scavo effettivo (al netto del pre-scavo) variabili tra 27 e 37 m (media 33 m) è stato necessario un tempo di esecuzione variabile da un minimo di 8 ad un massimo di 16 giorni lavorativi (media circa 11 giorni), con giornate di 10 ore lavorative e soste nei fine settimana. Ne deriva una velocità media di esecuzione del pozzo, scavato e rivestito, pari a circa 3 m/giorno, ossia 30 cm/ora.

Per quanto agli effetti indotti, tutti i pozzi della metropolitana di Napoli sono stati realizzati in zone intensamente

urbanizzate, in spazi estremamente ristretti e nelle immediate vicinanze di edifici. Per tutti i pozzi, nel corso e successivamente all'esecuzione dei lavori relativi al VSM e a tutte le attività correlate, è stato mantenuto attivo un sistema di monitoraggio topografico e, localmente, geotecnico. I cedimenti misurati sui caposaldi solidarizzati agli edifici prospicienti le aree di lavoro sono risultati trascurabili, con valori massimi dell'ordine di 1 mm, come pure gli spostamenti orizzontali misurati dagli inclinometri installati in corrispondenza di due pozzi.

3 STRUTTURE TERMO-ATTIVE

Nei nostri climi esiste uno spessore di circa 5÷10 m di terreno, delimitato inferiormente da una superficie pressoché parallela al piano campagna, all'interno del quale la temperatura varia in ragione delle escursioni termiche giornaliere e stagionali. Al di sotto di tali profondità, però, la temperatura si mantiene pressoché costante (a seconda dell'area geografica, variabile tra 10 °C e 16 °C) per poi crescere con continuità di circa 3 °C/100 m (gradiente termico). Si individua, quindi, un enorme dominio di sottosuolo che può essere considerato a tutti gli effetti un *serbatoio termico* (e quindi energetico).

È proprio in tale dominio che generalmente si realizzano alcune opere di Ingegneria. Basti pensare a fondazioni, parcheggi, stazioni metropolitane, gallerie: tutti questi manufatti rappresentano potenziali scambiatori di calore.

In altri termini, se si prevede la realizzazione di una palificata quale fondazione di un certo manufatto, indipendentemente dalla nostra volontà si determinerà uno scambio di calore che vedrà, nel tempo, lo stesso palo portarsi alla temperatura del terreno che lo circonda. Ovviamente tale scambio avverrà una sola volta, consentendo il raggiungimento dell'equilibrio termico tra i corpi a contatto (pali e terreno).

Se però si dota il tutto di un sistema in grado di variare la temperatura del manufatto interrato attraverso la circolazione forzata (mediante pompe di calore) di un fluido termovettore - acqua, acqua con anticongelante (glicole) oppure una soluzione salina - ecco che tale scambio avverrà più volte, al limite di continuo.

Tali osservazioni hanno dato impulso ad una nuova branca dell'Ingegneria (Termo-Geotecnica) la quale ha concentrato i propri sforzi sull'ottimizzazione dello sfruttamento della risorsa geotermica a bassa temperatura (T < 40°C) attraverso la realizzazione di sistemi che utilizzano l'inevitabile contatto strutture-terreno per "catturare" energia geotermica da porre al servizio delle strutture di Ingegneria Civile.

Per la descrizione dettagliata dei principi e delle tecniche ci si riferisca a Mandolini e Manassero (2011).

Preme in questa sede osservare che negli ultimi 20 anni si è osservato un sempre maggiore utilizzo di questa tecnologia nell'ambito della realizzazione di fondazioni su pali, diaframmi di contenimento di scavi, rivestimenti di gallerie, etc. Per tutti valga quanto riportato nella Figura 2, nella quale è riportato l'andamento delle installazioni di pali geotermici in Austria nel periodo 1984-2004, allorché risultavano oramai realizzati circa 24.000 pali aventi, oltre alla classica funzione strutturale, anche quella di fornire energia alle strutture in elevazione di cui costituivano fondazione. La stima eseguita al 2008 vedeva tale numero praticamente raddoppiato.

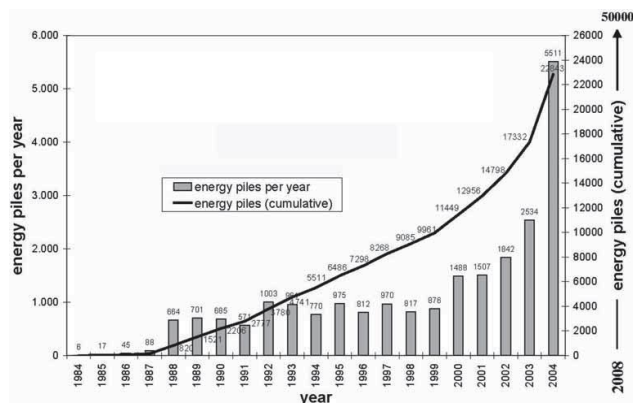


Figura 2. Uso di pali geotermici in Austria

La sempre più ampia diffusione del ricorso a strutture termo-attive è testimoniato dal crescente numero di applicazioni in diverse paesi (ad esempio: Inghilterra, tipicamente edifici per uffici e/o civile abitazione; Germania, tipicamente grattacieli; Svizzera, tipicamente edifici, ma di recente anche stazioni e aeroporti).

Sorprende quindi che l'Italia, da un lato fortemente dipendente da altre tradizionali fonti di energia (su tutte, gas e petrolio), dall'altro prima nazione a sviluppare l'utilizzo delle risorse geotermiche ad alta temperatura per la produzione di energia elettrica, sia così in ritardo su questo tipo di applicazioni.

Attraverso l'induzione di un continuo scambio termico tra i tipici manufatti dell'Ingegneria Civile e il sottosuolo, si possono realizzare opere di vario tipo (edifici, parcheggi, stazioni, etc.) totalmente autosufficienti dal punto di vista del fabbisogno energetico. Se ritenuto necessario e/o opportuno, è possibile adottare accorgimenti per la parte in elevazione (ad es., uso di materiali a bassa dispersione termica sulle parti esposte all'aria) e utilizzare altre fonti rinnovabili per fornire l'energia necessaria al funzionamento delle pompe di calore (ad es., impianti fotovoltaici). L'energia disponibile, se in eccesso, potrebbe essere utilizzata per altri scopi o venduta.

Di certo sono ancora necessari approfondimenti di natura sia teorica sia sperimentale (ad es., interazione termo-

meccanica palo-terreno), per la qual cosa sarebbe quanto mai opportuno pianificare adeguati investimenti, sia per colmare il ritardo oramai accumulato rispetto ad altre nazioni, sia per incentivare iniziative pubbliche e private (progetti pilota).

L'energia geotermica rappresenta una fonte di energia rinnovabile, economica e compatibile dal punto di vista ambientale, rispettando in pieno quanto stabilito da accordi internazionali circa la protezione climatica (Protocollo di Kyoto).

Una vera e propria innovazione tecnologica, al pari di una qualunque evoluzione tecnologica, deve al giorno d'oggi garantire uno sviluppo sostenibile.

“L'umanità ha la possibilità di rendere sostenibile lo sviluppo, cioè di far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere alle loro.”

BIBLIOGRAFIA

Un'ampia bibliografia è riportata nella Relazione Generale:

Mandolini A. e Manassero V., 2011. Interventi geotecnici di carattere strutturale: tecnologie e scelte progettuali. *Atti del XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica, Napoli, 21-23 giugno*, PATRON Ed., Bologna.