



CENTINA TUBOLARE AUTOMATICA

Innovazione per la sicurezza ed economie di progetto

PREFAZIONE

Il 26 marzo 2007 un tragico evento mi scosse profondamente: un operaio minatore era deceduto mentre prestava la sua attività lavorativa durante i lavori di realizzazione della Galleria Base, opera facente parte del progetto di adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello, nel tratto La Quercia – Aglio, dell'Autostrada A1 Milano – Napoli, la cosiddetta Variante di Valico. Il lavoratore si trovava a ridosso del fronte di scavo all'imbocco di Bologna, in carreggiata sud, mentre nel corso delle operazioni di controllo del posizionamento della centina, si verificò il distacco di una lente di materiale che gli fu, purtroppo, fatale. All'epoca del tragico evento continuavo a chiedere a me stesso come fosse possibile che, nel ventesimo secolo, mentre le più avanzate tecnologie ci permettevano di conquistare lo spazio, ancora si dovesse assistere a tali gravissimi infortuni sul lavoro. Era evidente che si trattava di esaminare la dinamica degli incidenti per definire soluzioni tecnologiche diverse ed efficaci da utilizzare nello scavo, tenendo conto delle caratteristiche geomorfologiche degli ammassi da attraversare. Così nacque l'idea di studiare una soluzione tecnologicamente avanzata

che annullasse i rischi associati alle attività prossime al fronte di scavo, evitando l'esposizione del personale in prossimità del fronte stesso. Cercai, quindi, di stimolare la condivisione di tale obiettivo con le imprese impegnate nei lavori di adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello (Variante di Valico) purtroppo però senza grande successo. Invece durante i lavori di ampliamento alla terza corsia dell'Autostrada A14 l'Impresa Ghella, appaltatore dei lavori della tratta Ancona Nord – Ancona Sud (lotto 5), raccolse questa sfida innovativa. Fu elaborato un piano di studi per la messa in opera di un primo sistema di automazione: un primo passo avanti! Con gli opportuni adeguamenti ed i necessari perfezionamenti, correlati alla necessità di ridurre il peso della centina e i sovrascavi, l'obiettivo di incrementare i margini di sicurezza sul lavoro stava diventando una tangibile realtà. Il progetto, disegnato e realizzato, fu presentato e messo a punto con successo nella Galleria Sappanico, il 10 luglio 2013. Il giorno stesso mi recai nella galleria Pale, nell'ambito del Quadrilatero Marche – Umbria, dove si era sperimentata la centina tubolare: lì intuì che si sarebbero potuti integrare i due sistemi. Chiamai l'ing

Cullaciatì dell'impresa Pavimental, che con il geom. Bonomi della Maccaferri, l'ing. Pini della CP Technology, insieme alla preziosa supervisione del Prof. Lunardi della Rocksoil, studiarono le due soluzioni allo scopo di pervenire al risultato finale: la costruzione della "centina tubolare automatica", la centina sicura di ultima generazione. I risultati raggiunti, che verranno illustrati nel documento, rappresentano le soluzioni tecniche più innovative che garantiscono innegabili vantaggi in termini di sicurezza. La loro realizzazione si è declinata attraverso l'impegno, il confronto e le sinergie tra questi professionisti, ai quali, tutti, rivolgo i miei più sinceri ringraziamenti per l'esito della loro opera intellettuale.

Ing. Gennarino Tozzi

Direttore Progetti Infrastrutturali
Atlantia S.p.A.

LA STORIA

In epoca antica

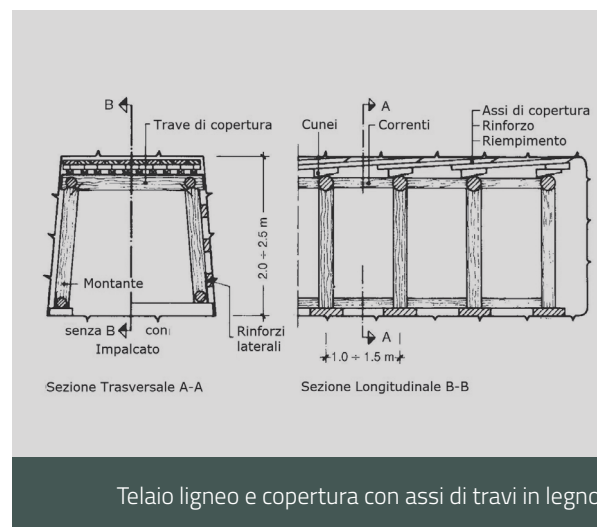
Usare spazi in sotterraneo è una antica abitudine per l'uomo. I nostri antenati hanno utilizzato le grotte come rifugio per proteggersi dalla vita selvaggia e dalla natura, e hanno scavato gallerie per estrarre minerali e materie preziose. Le cavità sotterranee venivano usate anche come santuari, tombe o per lo stoccaggio di merci.



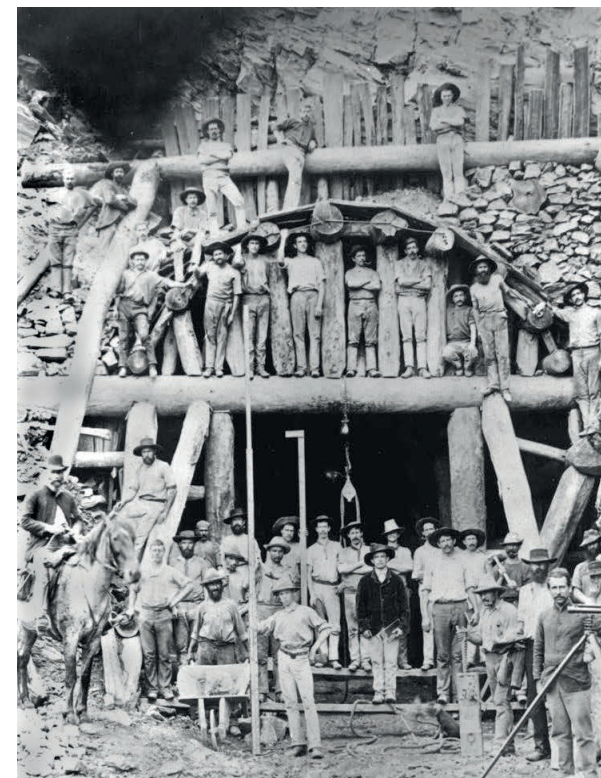
Miniera d'argento Ikuno Ginza, Asago, Giappone (attiva dal 1592)

1850: dalle miniere alle infrastrutture

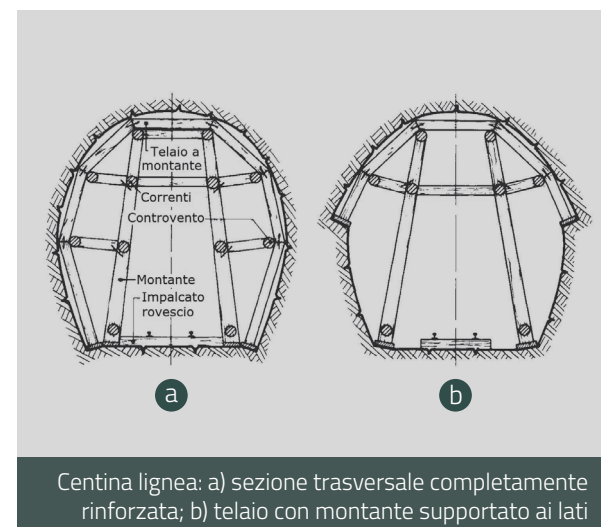
Se si escludono alcune mirabili gallerie stradali realizzate nell'antichità, in particolare in epoca romana, le prime gallerie come infrastrutture sono state applicate a metà del XIX secolo nel settore ferroviario. A questo scopo, l'ingegneria civile ha inizialmente adottato le tecnologie già utilizzate per gli scavi di tipo minerario, come ad esempio i telai in materiale ligneo per contenere le pareti di scavo, adattandole successivamente per scavi di gallerie aventi dimensioni nettamente maggiori rispetto a quelle minerarie.



Telaio ligneo e copertura con assi di travi in legno



Galleria Cairns, ferrovia del Kuranda, Australia (1890)



Centina lignea: a) sezione trasversale completamente rinforzata; b) telaio con montante supportato ai lati



Prolungamento della Linea Piccadilly, Londra, Inghilterra (1920)

L'era industriale

Per quanto riguarda la stabilizzazione dello scavo, le evoluzioni più importanti hanno riguardato l'introduzione delle centine metalliche e dei rivestimenti in acciaio. Dopo il 1920, l'acciaio viene usato sempre più spesso grazie alla facilità d'installazione e alla più elevata durabilità rispetto al legno. Inoltre, l'introduzione dell'acciaio permetterà di ridurre la sezione di scavo della galleria con il rinforzo inglobato nel rivestimento finale costituito da calcestruzzo gettato in opera.

L'epoca moderna: evoluzione della progettazione, delle tecnologie e dei materiali

Nel 1911 viene brevettato il calcestruzzo proiettato per via secca, ma bisognerà attendere fino agli anni '50 per la nascita dell'applicazione per via umida. A partire dal 1970 si sono registrati notevoli progressi nel settore dell'ingegneria del sotterraneo. Esempi ne sono l'introduzione di chiodi e ancoraggi. Fondamentali i progressi legati allo scavo meccanizzato senza inoltre dimenticare l'importanza dell'introduzione di tecnologie per il miglioramento ed il consolidamento del terreno.



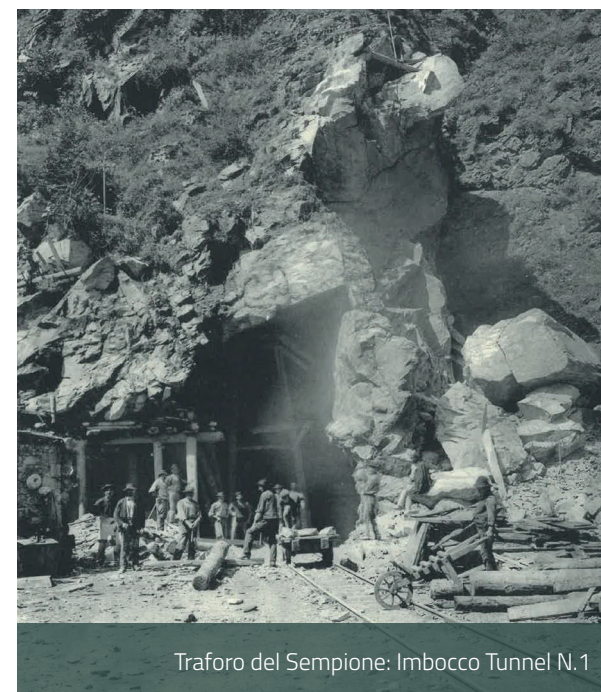
Galleria "Tartaiguille" (argille montmorillonitiche): nucleo-fronte rinforzato con armature di vetroresina ed esecuzione del tampone di fondo mediante calcestruzzo proiettato (1997)

LE CENTINE

Dal legno all'acciaio: la galleria del Sempione

Nel Medioevo le gallerie erano destinate principalmente all'ambito minerario e a quello dell'ingegneria militare, ma le crescenti esigenze di trasporto nell'Europa del XVII secolo stimolano l'opportunità di applicarle in nuovi ambiti. La prima galleria costruita con scopi trasportistici fu quella di Malpas, nota anche come la galleria del Canal du Midi in Francia, realizzata tra il 1666 ed il 1681 per aprire al transito un canale navigabile che divenne il primo collegamento tra l'Atlantico e il Mediterraneo. Altra opera importante, realizzata in Inghilterra nel 1761, fu il Bridgewater Canal Tunnel, costruito per trasportare il carbone dalla miniera di Worsley a Manchester. Molti altri canali navigabili richiesero la realizzazione di gallerie tra il XVIII secolo e l'inizio del XIX sia in Europa che in Nord America. Queste vie d'acqua caddero però in disuso con l'invenzione del motore a vapore e la conseguente introduzione delle vie ferrate intorno al 1830, le quali diedero grande impulso all'ingegneria del sottosuolo. Impressionanti gallerie ferroviarie furono scavate attraverso la Alpi, la prima delle quali, il traforo del Fréjus, richiese 14 anni (1857-71) per il completamento dei suoi 12,3 km di lunghezza attraverso il Monte Ceniso. Ad esso presto seguirono

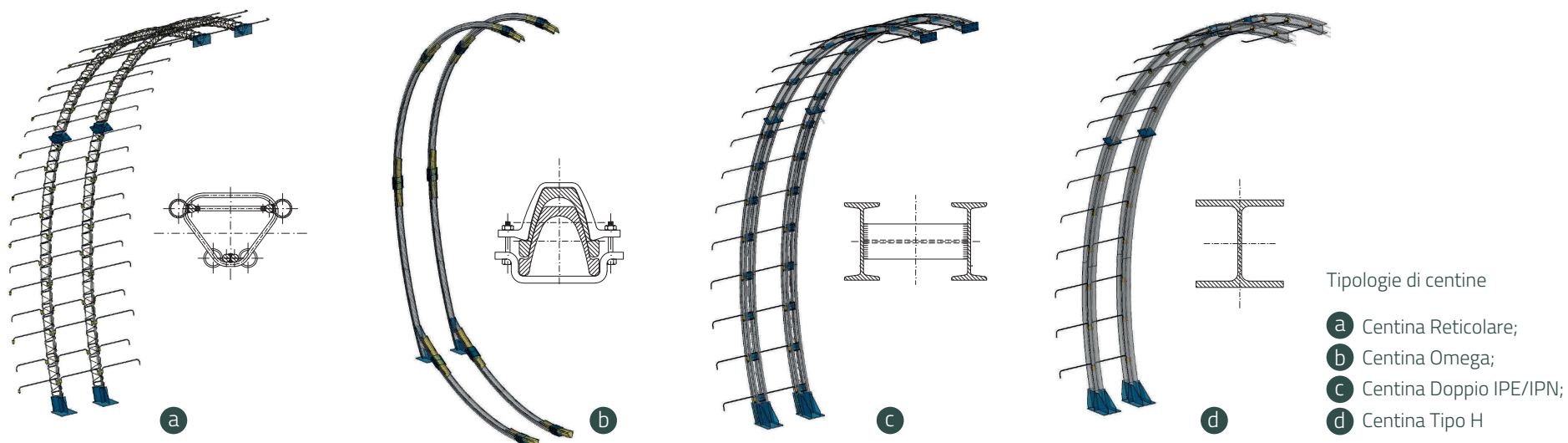
altri importanti trafori ferroviari: come il San Gottardo (1872-82, 14,9 km) e il Sempione (1898-1906, 19,8 km). La galleria del Sempione è stata sino a pochi anni fa la più lunga al mondo. Attraverso l'alta barriera delle Alpi ha il suo punto culminante a soli 705 m sul livello del mare, con coperture medie pari a circa 2000 m. Durante la sua costruzione, sul versante italiano, in corrispondenza della progressiva pk 4 km + 422 m si incontrarono condizioni di ammasso particolarmente spingenti, dovute ad una tasca di scisto calcareo micaceo, per il contenimento delle quali i supporti di legno non risultarono adeguati. Dopo vari esperimenti fu adottato con successo un sistema di supporto che utilizzava telai in ferro. Nonostante il buon risultato, i rinforzi in acciaio furono a lungo utilizzati solo sporadicamente e sempre in abbinamento al legno. Bisognerà attendere sin dopo il 1920 per vederne un più ampio utilizzo, dovuto principalmente al graduale riconoscimento delle maggiori prestazioni meccaniche. Solo a partire dal 1930 i rivestimenti metallici, spesso realizzati in ghisa, iniziano a essere universalmente impiegati nelle gallerie scavate in ammassi deformabili.



Trafo del Sempione: Imbocco Tunnel N.1

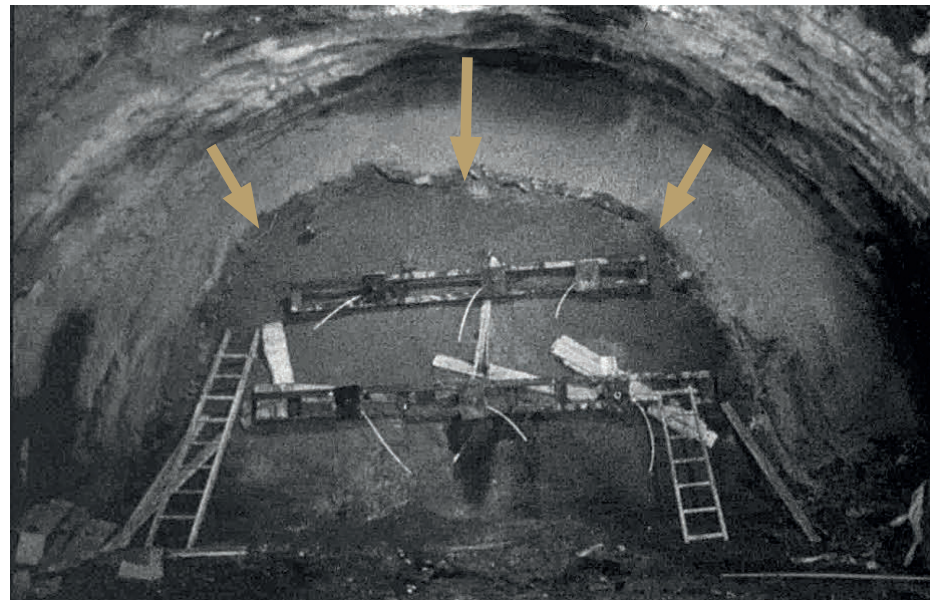


Trafo del Sempione: Cunicolo blindato alla progr. 4866



Rinforzi in acciaio

I più comuni rinforzi ancor oggi sono costituiti da profili aperti ad "I" or "H" in acciaio laminato, calandrati, saldati e bullonati, per ottenere la sagoma ad arco del profilo della galleria. Barre orizzontali collegano rinforzi adiacenti e pannellature in legno o lamiera metalliche. La struttura completata costituita da centine e pannelli è ancora oggi in uso, in particolare nell'industria mineraria. La crescente attenzione su aspetti chiave nella realizzazione delle gallerie, quali: sicurezza, velocità, economia, prestazioni e controllo dei cedimenti superficiali, ha portato ad importanti innovazioni alla fine degli anni '60 e '70 del secolo scorso con una rapida diffusione del calcestruzzo proiettato e dello scavo meccanizzato.



Galleria San Vitale (argille varicolori): il fronte a mezza sezione sostenuto da putrelle e tiranti dopo l'abbandono dell'avanzamento, a seguito di evidenti fenomeni di estrusione del nucleo-fronte e di convergenza del cavo (le frecce indicano lo svergolamento delle centine, conseguente all'eccezionale convergenza del cavo).

Al giorno d'oggi

L'incremento del livello di sicurezza è uno degli obiettivi principali che stimolano l'innovazione e la ricerca all'interno del settore delle costruzioni in sotterraneo. Il controllo dell'interazione terreno-struttura è uno dei processi più critici durante la definizione del progetto di una galleria. Alcune delle decisioni, sia progettuali sia costruttive, che è necessario prendere soprattutto in tema di riduzione delle deformazioni attorno al cavo, possono essere molto critiche, perché tali deformazioni hanno un effetto diretto sia sulla stabilità a breve e lungo termine della galleria sia perché hanno un ruolo importante nell'identificazione del carico di progetto del sistema di rivestimento. I rivestimenti delle gallerie sono sistemi strutturali che differiscono da altre strutture tipiche dell'ingegneria per l'elevato grado di interazione con il terreno circostante, che è un aspetto integrante del loro comportamento, della loro stabilità e della loro capacità portante nei confronti del carico complessivo. Gli sforzi e le deformazioni che si generano nell'ammasso, in conseguenza dello scavo di una galleria, sono da molti analizzati sulla base di schematizzazioni bidimensionali, ma in prossimità

del fronte di scavo, dove si verificano le deformazioni maggiori con conseguente redistribuzione delle sollecitazioni, la terza dimensione assume un ruolo vitale.

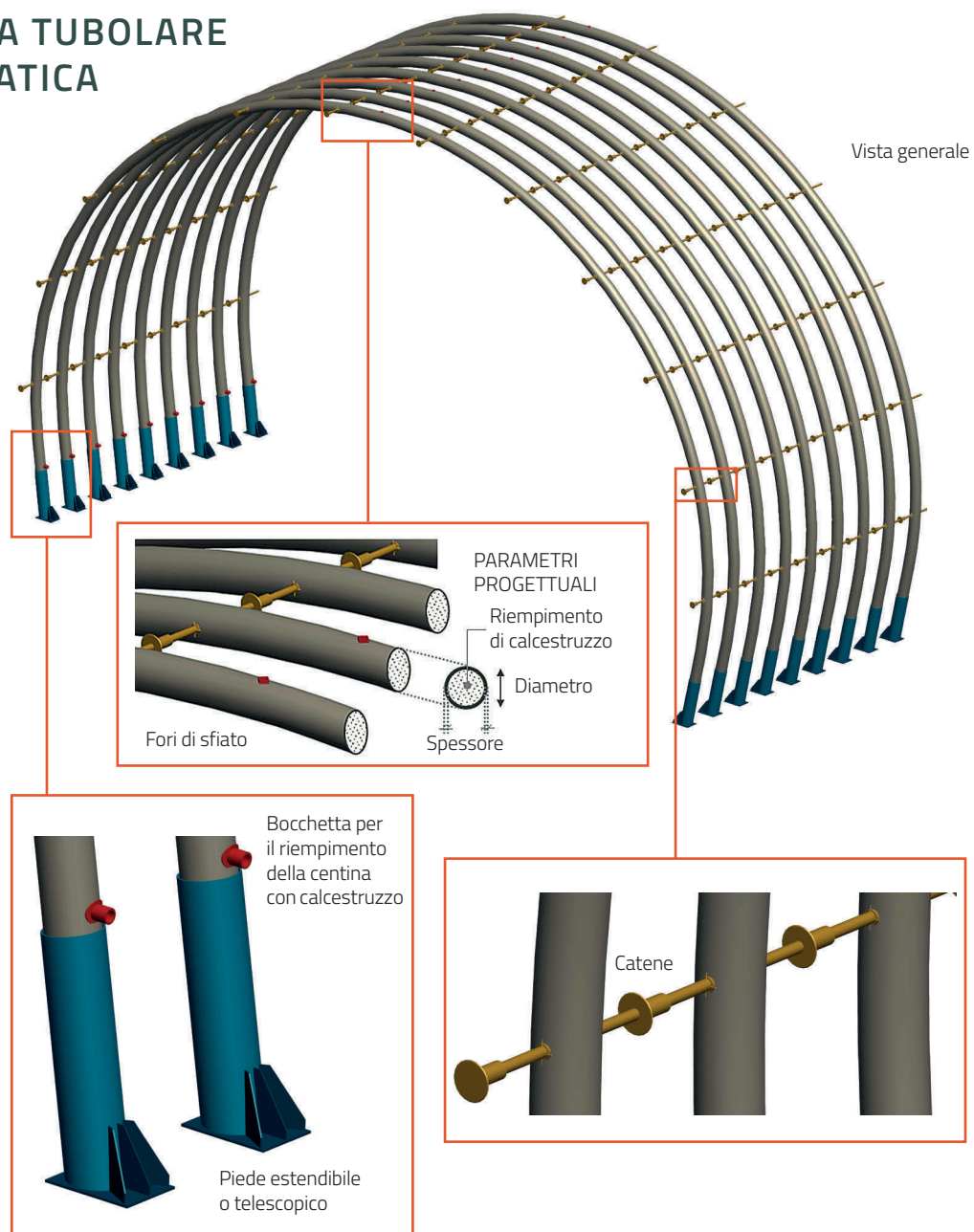
I profili aperti in acciaio (IPE, HE, IPN), tipicamente utilizzati come rinforzo all'interno del rivestimento di prima fase, mostrano una riduzione delle prestazioni strutturali nel caso in cui siano sollecitati da un carico agente in direzione diversa dalla normale applicata in corrispondenza del loro asse centrale. Questo problema può essere risolto utilizzando un profilo a sezione assialsimmetrica, come quello della centina tubolare. Sostituendo il profilo aperto con un profilo circolare chiuso, si ottiene una più efficiente distribuzione geometrica del metallo. Ciò conferisce, alla sezione trasversale resistente, la capacità di farsi carico e controllare azioni sia assiali che eccentriche, agenti lungo qualsiasi direzione. Durante lo scavo di una galleria difficilmente si incontrano condizioni di contatto omogenee tra profilo di scavo e centina. Questo fatto è particolarmente rilevante in tutti quei casi in cui si prevedono condizioni di carico non simmetriche, quali quelle che si verificano nello scavo

di gallerie parietali o all'interno di corpi frana o in ammassi spingenti.

Per rispondere a queste problematiche, nel 2009 in Italia è iniziato lo studio della centina tubolare con riempimento in calcestruzzo. La sperimentazione di laboratorio ha evidenziato il peculiare comportamento a sezione mista della sua struttura composita, nel quale si identificano chiaramente la prima fessurazione del calcestruzzo ed il successivo snervamento dell'acciaio. Al contrario, nel caso di centine in acciaio costituite da profili aperti e annegate nel calcestruzzo, ciò che governa il comportamento del sistema è solamente l'acciaio. In maniera analoga alla centina tradizionale, anche quella tubolare risulta costituita da segmenti, in numero variabile da 3 a 5, calandrat per garantire il rispetto della geometria di scavo e resi solidali tra loro mediante giunzioni. La prima particolarità del sistema di rinforzo tubolare risiede proprio nelle piastre di giunzione, che sono cave e che consentono, in fase di riempimento, la formazione di un arco continuo in calcestruzzo, garantendo la piena continuità strutturale dell'elemento composito. La centina viene collegata a quella precedentemente

CENTINA TUBOLARE AUTOMATICA

installata mediante catene di collegamento. I vantaggi del comportamento a sezione mista, della maturazione del riempimento in ambiente ideale e della presenza di un elemento continuo in calcestruzzo sono stati dimostrati dai campi prova in sito. Le centine tubolari hanno evidenziato ridotti stati di sforzo, omogeneamente distribuiti anche in caso di carico asimmetrico. Grazie alla loro elevata rigidezza in tutte le direzioni, sono totalmente esenti dal rischio d'instabilizzazione in fase di posizionamento, tipico dei profili aperti. Ciò garantisce agli operatori al fronte di lavorare con un più elevato livello di sicurezza. L'evoluzione della versione automatica, costituita da piastre di giunzione a chiusura automatica, piede telescopico e catene preinstallate, unitamente allo sviluppo di un posa-centine radiocontrollato a tre bracci hanno permesso di eliminare la necessità della presenza di operatori in prossimità del fronte di scavo, incrementando ulteriormente e significativamente il livello di sicurezza delle maestranze in fase di avanzamento della galleria.

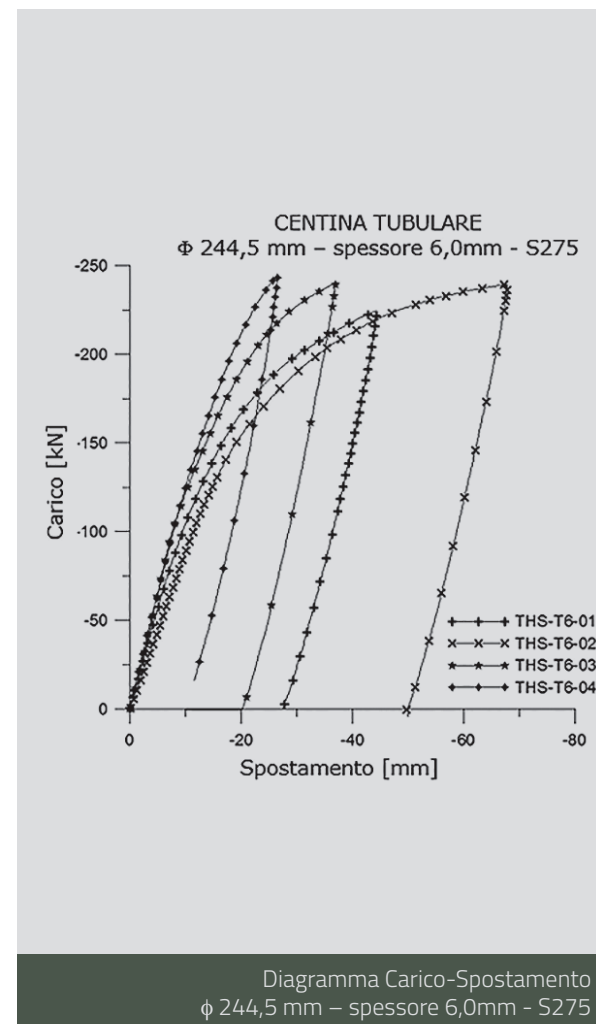


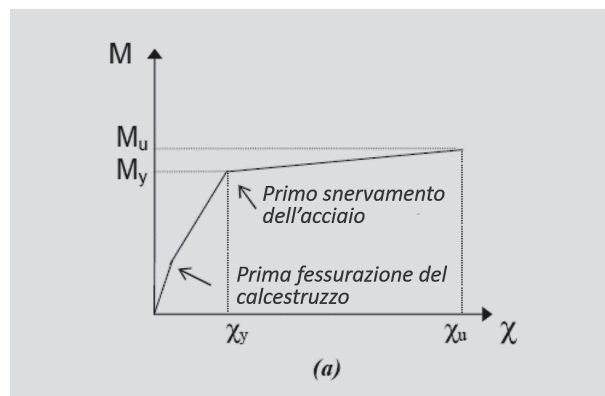
VALIDAZIONE SPERIMENTALE

Prove di laboratorio

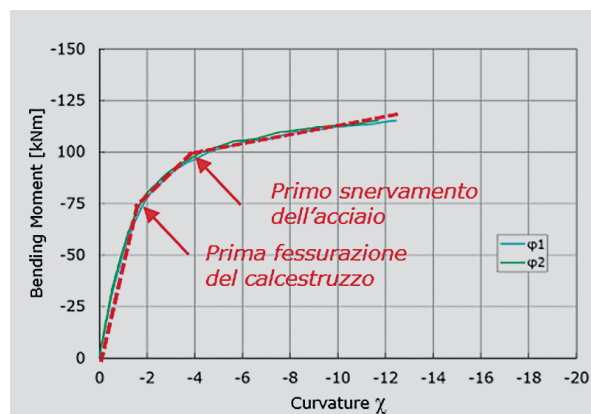
Prove di laboratorio sono state effettuate presso il Politecnico di Milano per confrontare le prestazioni di una centina tradizionale, realizzata mediante due profili IPN 180 (acciaio S275) accoppiati e riempiti con calcestruzzo, e una centina tubolare caratterizzata da un diametro di 244,5 mm (acciaio S275), considerando due spessori diversi (5,0 mm e 6,0 mm), ma comunque riempiti con calcestruzzo. Per ogni tipologia di centina sono stati predisposti 4 campioni, due da testare a 24 ore e due da testare a 48 ore dal riempimento. Il test set-up adottato è quello della prova di flessione su 4 punti, che evidenzia le "migliori caratteristiche" dei profili aperti. Tale metodologia è stata scelta per dimostrare che anche nelle condizioni più favorevoli per la centina tradizionale, quella tubolare può eguagliarne le prestazioni, mentre per altre condizioni di carico ha sempre un comportamento significativamente migliore di quella tradizionale. Si è riscontrato come una piccola eccentricità nel carico causasse facilmente l'instabilizzazione della centina realizzata con profili aperti (semplici o accoppiati), mentre nel caso della centina tubolare la stessa non provocava alcun effetto grazie alla sua assialsimmetria geometrica. Le prove hanno permesso di evidenziare notevoli differenze di comportamento sotto sforzo: la centina tradizionale

è risultata caratterizzata da un comportamento elasto-plastico mentre quella tubolare ha mostrato un comportamento elastico incrudente. Negli ultimi anni, ad esempio nell'ambito della progettazione sismica, si è affermata la tendenza, recepita da diverse normative, dell'accettare che la struttura possa anche superare il campo elastico, consentendo deformazioni in campo plastico. Una corretta analisi deve tener conto di quei fenomeni che contribuiscono a prendere le distanze dal comportamento strutturale elastico, quali la non linearità geometrica (effetti del secondo ordine, caratteristici delle strutture snelle) e le proprietà meccaniche non lineari (modello costitutivo, effetti di fessurazione e viscosità) e, nella fase plastica, di quei fenomeni che si verificano dopo la fessurazione del calcestruzzo o lo snervamento dell'acciaio, che causano una diminuzione della rigidità. Il grafico Carico-Spostamento riportato a lato, che riassume i risultati delle prove eseguite a 24 e 48 ore dal riempimento, evidenzia l'aumento di rigidità, tipico delle centine tubolari, dovuto alla maturazione del calcestruzzo di riempimento. Mentre l'analisi del diagramma Momento-Curvatura, permette di identificare la prima fessurazione del calcestruzzo e il primo snervamento dell'acciaio, evidenziando la perfetta collaborazione tra i due materiali. Risulta quindi confermato il comportamento a sezione mista della struttura composita della centina tubolare.





Idealizzazione della relazione momento-curvatura



Relazione momento-curvatura:
risultato sperimentale



Test set-up centina tubolare

VALIDAZIONE SPERIMENTALE

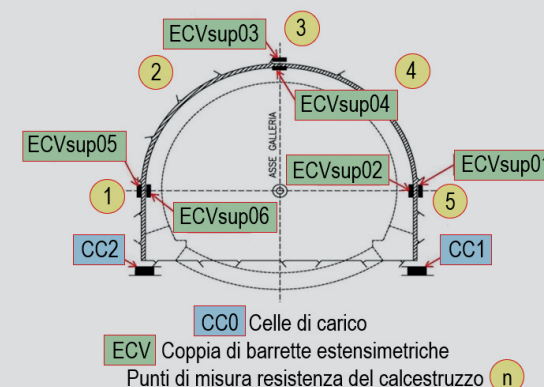
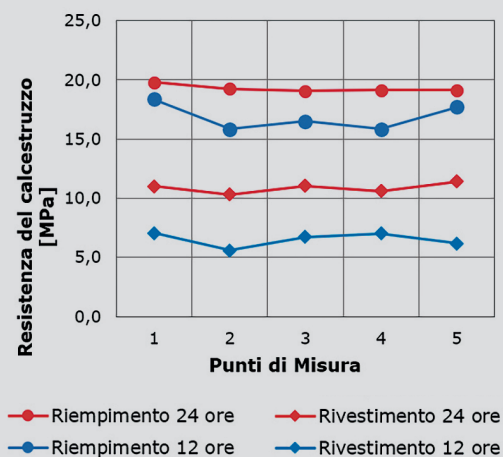
Campi prova in sito

I campi prova in sito sono stati realizzati sia al fine di verificare la compatibilità tra la centina tubolare e le esigenze operative del sotterraneo sia per confermare i risultati delle prove di laboratorio in riferimento all'efficienza statica del sistema strutturale. La centina tubolare è risultata stabile e maneggevole durante le fasi di movimentazione e assemblaggio. Il rischio d'instabilizzazione durante le fasi di installazione è risultato assolutamente trascurabile grazie all'elevata rigidità del profilo. Questo assicura agli operatori un elevato grado di sicurezza. La fase di riempimento è risultata rapida e funzionale al completo intasamento del profilo. Inoltre, all'interno del profilo tubolare si producono le condizioni di maturazione ideali per il calcestruzzo di

riempimento. L'adozione della centina tubolare non comporta variazioni nelle fasi operative necessarie per la realizzazione della galleria e permette di ottenere un miglior grado di finitura del rivestimento di prima fase con un impatto non solo estetico ma anche tecnico. In definitiva, i principali vantaggi statici e funzionali della centina tubolare possono essere così riassunti:

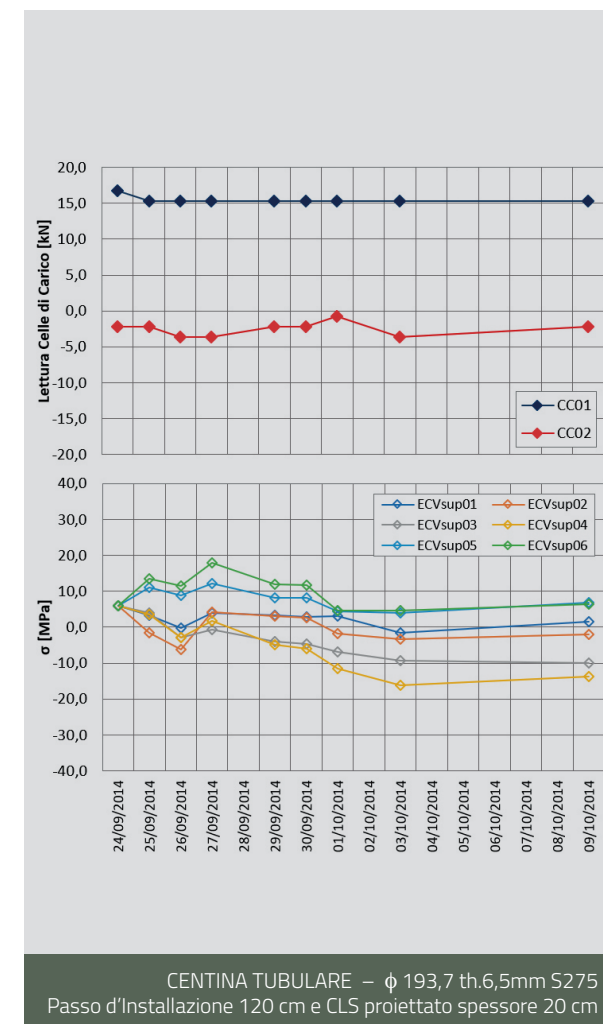
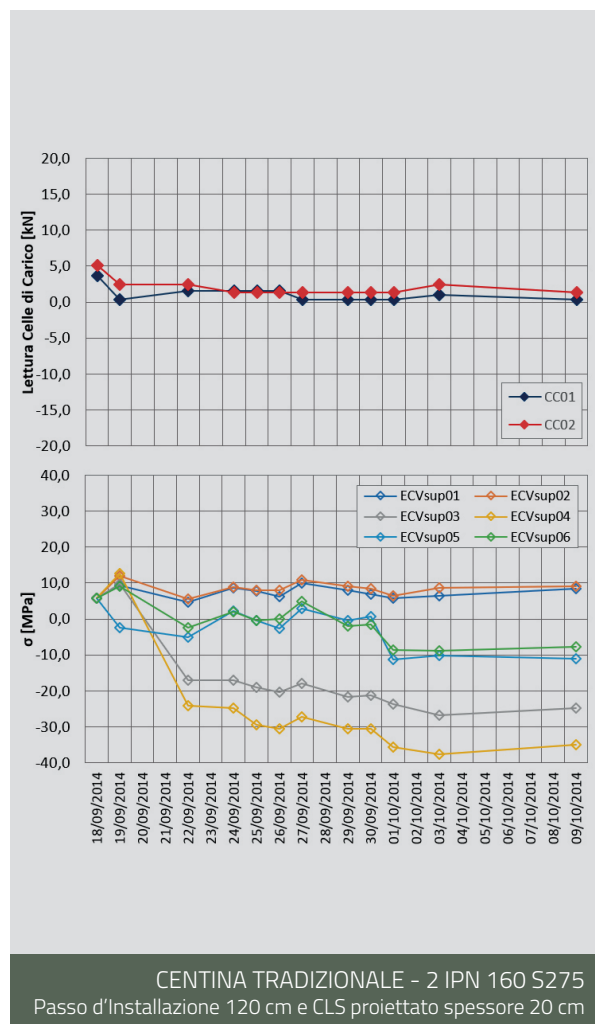
- trasferimento omogeneo del carico dall'ammasso alla struttura di rivestimento;
- rimbalzo minimo durante la fase di proiezione del calcestruzzo per la realizzazione del paramento (minor sfrido);
- membrana di impermeabilizzazione priva di corde molli, necessarie nel caso della centina tradizionale al fine di prevenire il danneggiamento della stessa durante il getto del rivestimento definitivo.

PUNTI DI MISURA	RESISTANZA CLS RIEMPIMENTO interno centine tubolari		RESISTANZA CLS RIVESTIMENTO esterno centine tubolari	
	12 ore [MPa]	24 ore [MPa]	12 ore [MPa]	24 ore [MPa]
1	18,4	19,8	7,1	11,0
2	15,9	19,2	5,6	10,3
3	16,5	19,1	6,7	11,1
4	15,9	19,2	7,0	10,6
5	17,7	19,2	6,2	11,4
VALORE MEDIO	16,9	19,3	6,5	10,9



Se si confrontano i risultati di monitoraggio delle centine tradizionali con quelli delle centine tubolari si evidenzia che, a parità di condizioni:

- il riempimento interno della centina tubolare origina un arco continuo in calcestruzzo, che favorisce una corretta redistribuzione degli sforzi lungo l'intero sistema di rinforzo composto da acciaio e calcestruzzo
- le centine tubolari generalmente mostrano un più basso livello di sforzo



METODOLOGIA DI PROGETTAZIONE

Progettazione della centina tubolare

La pratica corrente nella progettazione del rinforzo delle gallerie e del loro rivestimento tende a variare molto, a seconda dei requisiti di progettazione imposti dal committente o dal paese nel quale si realizza l'opera, della tradizione, della pratica locale e dell'esperienza del progettista. In un tipico progetto di galleria, in cui il rivestimento di prima fase è costituito da elementi di rinforzo in acciaio annegati nel calcestruzzo proiettato, il progettista deve conoscere il possibile contributo di ciascuno di questi elementi per essere in grado dimensionarli singolarmente affinché possano farsi carico dei carichi imposti.

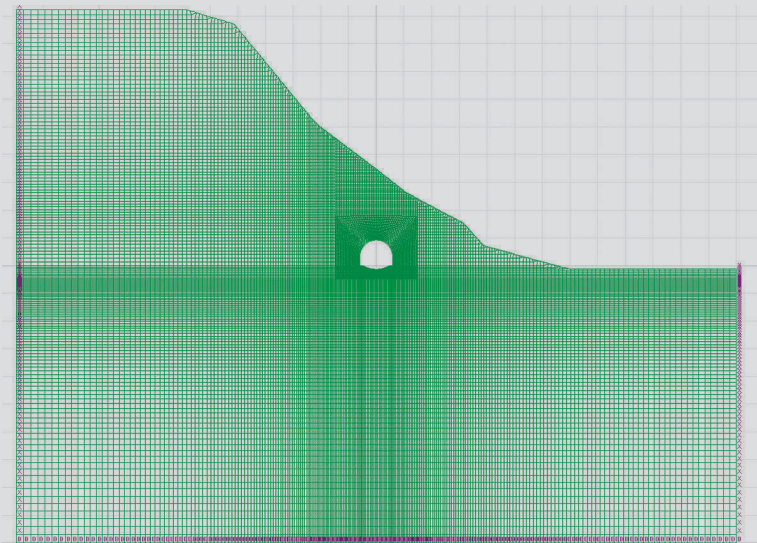
Questi possono essere valutati attraverso analisi numeriche in cui le azioni del rivestimento di prima fase (N, M, T) vengono calcolate, mediante la seguente procedura:

- definizione di una "sezione equivalente" rettangolare di larghezza b , spessore t_{eq} e modulo elastico E_{eq}
- definizione della capacità portante degli elementi in acciaio e del rivestimento in calcestruzzo proiettato
- costruzione di un modello numerico della galleria e applicazione degli elementi del rivestimento di prima fase, definiti tramite la sezione equivalente, lungo il perimetro della galleria
- i momenti flettenti e le azioni assiali vengono distribuiti sugli elementi di rinforzo in acciaio e sul rivestimento in shotcrete

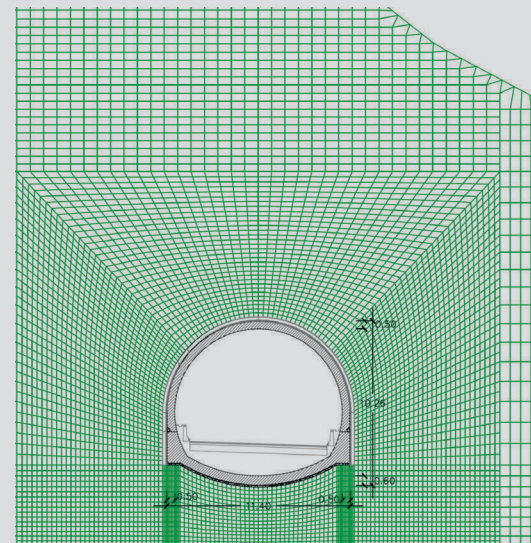
Il guscio in calcestruzzo proiettato tende ad avere spessore costante, il metodo di verifica più efficace consiste nello sviluppo di un diagramma di interazione (N, M) che permette di verificare i valori di momento flettente (M) combinati con i corrispondenti valori di carico assiale (N) rispetto al dominio dei valori ammissibili. Esempi ne sono i grafici riportati nella pagina seguente. Il metodo di calcolo segue le prescrizioni fornite da:

- AFTES Recommendation:
"Conception et dimensionnement du béton projeté utilisé en travaux souterrains".
- EN 1993-1-1:2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

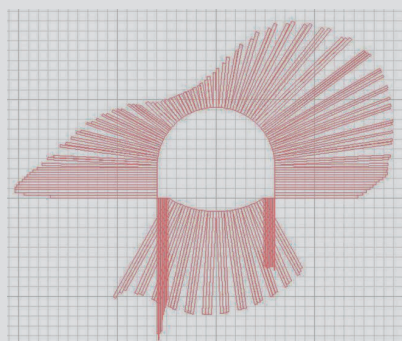
In base a quanto sopra detto, appare chiaro che la centina tubolare segue pedissequamente la metodologia di progettazione della centina tradizionale, fatto salvo considerare la geometria diversa della centina stessa.



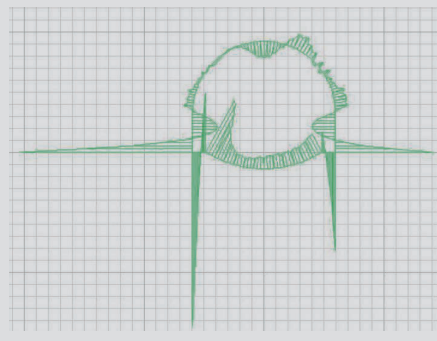
MODELLO DI CALCOLO



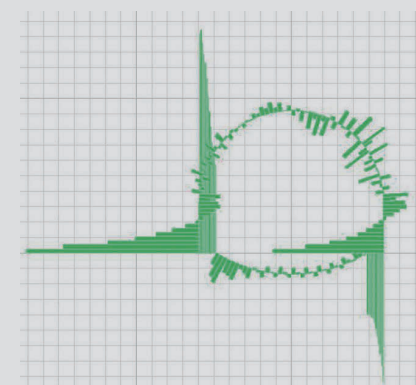
DETTAGLIO



AZIONE ASSIALE [kN]



MOMENTO FLETTENTE [kNm]

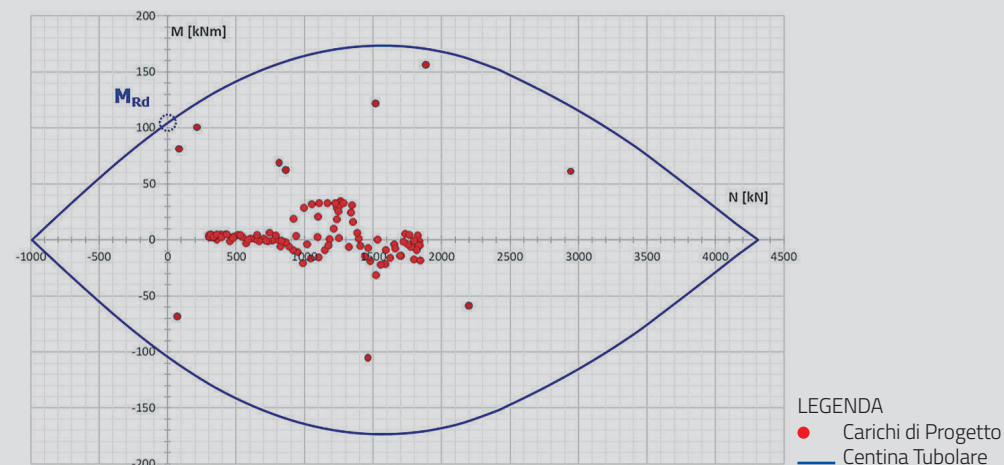


AZIONE DI TAGLIO [kN]

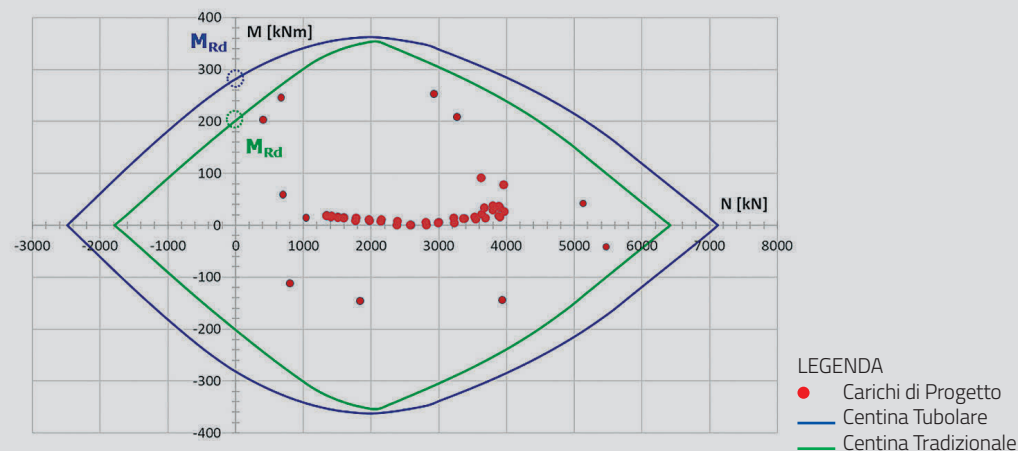
METODOLOGIA DI PROGETTAZIONE

Validazione di una sostituzione

La sostituzione di una centina tradizionale con una centina tubolare viene validata tramite il confronto dei domini di resistenza. Il grafico di esempio riportato a lato evidenzia che il dominio di resistenza della centina tubolare ($\phi 273$ sp. 8 mm in acciaio S275) è esterno e più esteso di quello della centina tradizionale realizzata con profili aperti (2 IPN 220 in acciaio S275). In particolare la centina tubolare consente di assorbire situazioni di carico a maggiore eccentricità. Quindi la sostituzione risulta validata. Naturalmente le centine sono state considerate annegate nello stesso spessore di calcestruzzo proiettato e installate con il medesimo passo. Analizzando nel dettaglio i grafici, si evidenzia inoltre che il momento di progetto M_{Rd} è maggiore nel caso della centina tubolare rispetto a quella tradizionale.



DOMINIO DI RESISTENZA - RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE - SEZIONE TIPO C1 CENTINA TUBOLARE
 $\phi 244,5$ mm sp. 6.0 mm - S275 passo d'installazione 100 cm - calcestruzzo proiettato spessore 25 cm



DOMINIO DI RESISTENZA - RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE - SEZIONE TIPO GA - P5/1
CENTINA TUBOLARE: $\phi 273,0$ mm sp. 8.0 mm - S275 CENTINA TRDIZIONALE: 2 IPN 220 - S275

LE APPLICAZIONI

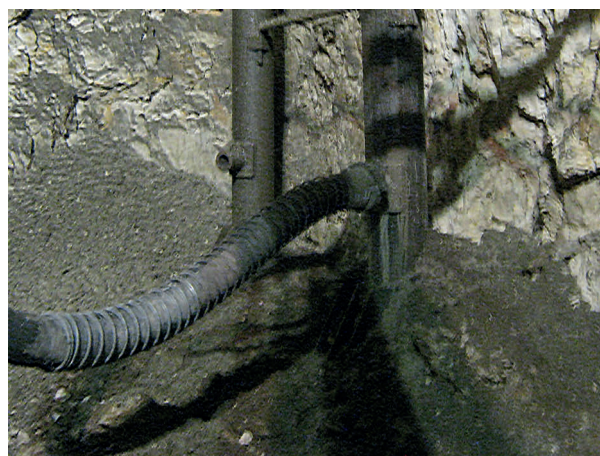
La prima applicazione: la galleria Pale

La galleria Pale, parte del progetto Quadrilatero Marche-Umbria, è stata scavata tra il 2012 ed il 2013 sotto una copertura media di 150 m all'interno di un ammasso roccioso calcareo contraddistinto da buone caratteristiche meccaniche ma con possibile presenza di spinte dissimmetriche. La sezione tipo originariamente applicata era costituita da centine tradizionali, a profilo singolo tipo HEB 140 in acciaio S275, installate con passo 1,50 m e ammorsate in uno spessore di calcestruzzo proiettato pari a 20 cm. L'installazione delle centine era preceduta dalla proiezione di un manto di shotcrete (pre-spritz) pari a 5,0 cm, necessario per l'immediata messa in sicurezza dello scavo.



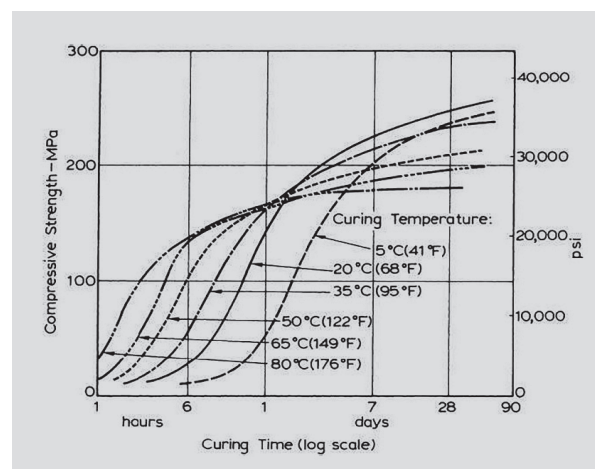
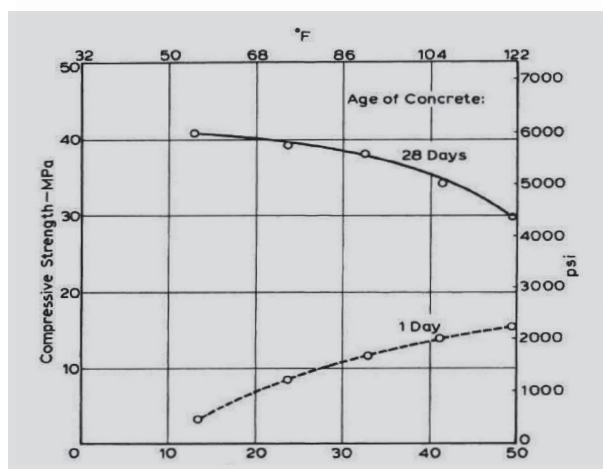
LE APPLICAZIONI

Considerato il comportamento allo scavo dell'ammasso si è ritenuta la situazione ideale per la sperimentazione in sito della centina tubolare. La centina tubolare progettata per la sostituzione del sistema tradizionale è caratterizzata da un diametro pari a 193,7 mm e uno spessore pari a 5 mm, anch'essa in acciaio S275. Dal punto di vista operativo la procedura d'installazione della nuova centina è simile a quella della centina tradizionale, ma risulta più stabile e maneggevole sia in fase di trasporto che di montaggio. Il rischio d'instabilizzazione del profilo durante l'installazione è risultato assente, grazie alla sua elevata rigidità, con notevole beneficio per la sicurezza dei minatori. La fase di riempimento con calcestruzzo si è dimostrata rapida e funzionale a garantire il completo intasamento del profilo. Le restanti fasi operative necessarie per la costruzione della galleria permangono invariate. La centina tubolare ha quindi evidenziato una buona compatibilità con le esigenze operative del sotterraneo e, sulla base delle eccellenti risultanze del campo prova preliminare, è stata poi adottata per stabilizzare lo scavo dell'intera galleria.



Il riempimento

Il riempimento della centina tubolare avviene utilizzando la stessa miscela di spritz-beton impiegata per il riempimento dei profilati classici, con la sola differenza che lo spritz-beton viene pompato all'interno della centina tubolare senza l'aggiunta di accelerante di presa. Il completo riempimento a seguito del pompaggio di spritz all'interno della centina tubolare è assicurato dalla presenza di fori di sfiato, appositamente posizionati in estradosso di calotta. Si viene pertanto a realizzare un arco di calcestruzzo continuo, inglobato nel profilato tubolare d'acciaio che determina la certezza di un comportamento a sezione mista. Il confinamento del calcestruzzo chiuso all'interno del profilato tubolare determina inoltre un aumento di resistenza a compressione del riempimento rispetto a quello del profilato aperto. L'ambiente confinato, garantito dal profilo tubolare, fa sì che la malta subisca una maturazione ad umidità controllata, priva di dispersioni date dall'ambiente esterno. In particolare l'isolamento dall'esterno e la presenza del tubolare in acciaio fa sì che il naturale calore di idratazione, che si sprigiona nelle fase di presa, si diffonda in maniera omogenea lungo tutta la centina e aumenti la naturale temperatura di maturazione (il monitoraggio in corso d'opera eseguito durante i campi prova condotti ha indicato che la temperatura della centina tubolare dopo 24 ore dal riempimento è pari a circa 35°C contro i 20°C misurati all'esterno delle centine tradizionali), con una conseguente accelerazione della presa. Le migliori condizioni di maturazione producono un significativo incremento della resistenza del riempimento. Come si può dedurre dagli usuali abachi che mettono in relazione i valori di resistenza con la temperatura di maturazione, questi nelle prime 6-10 ore risultano doppi rispetto a quelli del calcestruzzo spruzzato in parete.



Influenza della temperatura di maturazione del calcestruzzo sulla resistenza a compressione
Properties of Concrete, A.M. Neville, 1995

L'evoluzione

Al giorno d'oggi i rischi dello scavo di una galleria con metodi tradizionali sono ben noti, e questo dà la possibilità di gestirli. Senza dubbio la fase della messa in opera del rivestimento di prima fase e in particolare delle centine è una delle più pericolose per gli operatori al fronte. L'introduzione della centina tubolare ha ridotto significativamente i rischi in questa fase, ma la vera sfida è quella di rimuovere completamente la presenza dei lavoratori al fronte durante questa specifica fase di lavoro, azzerando quindi totalmente il livello di rischio.

A questo scopo ci si è quindi focalizzati sull'automazione sia dell'elemento strutturale di per se che della sua installazione. Per quanto riguarda la centina e i suoi componenti sono state progettate: piastre di giunzione a chiusura automatica, elementi di collegamento tra centine attigue pre-installati, un piede telescopico per il corretto posizionamento della sua base di appoggio. L'automazione dell'installazione è invece stata garantita grazie allo sviluppo di un posacentine a tre bracci radiocontrollato (EKIP 21-04).

LE APPLICAZIONI

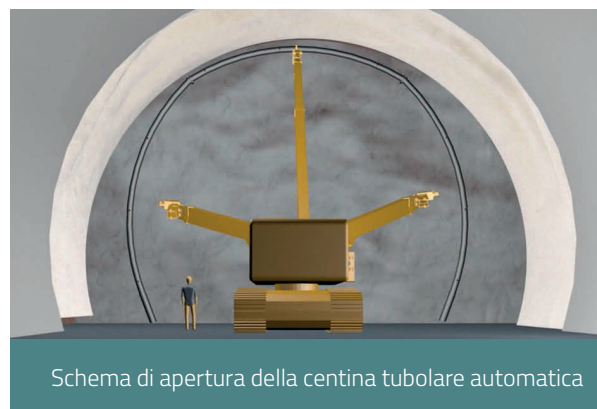
La centina automatica

Analizzando la specifica procedura operativa la centina automatica, assemblata e chiusa viene trasportata al fronte di scavo. Quando l'elemento di rinforzo ha raggiunto la posizione di installazione desiderata, viene sollevato dal braccio centrale del posa-centine EKIP 21-04. Raggiunta la quota desiderata, i bracci laterali della macchina aprono completamente la centina mentre le piastre di giunzione si chiudono automaticamente. Tale operazione precedentemente era svolta manualmente da operatori al fronte, con la centina automatica tale rischio è stato completamente eliminato.

Gli elementi di collegamento (detti catene) sono pre-installati. Il posa-centine dopo aver posizionato la centina, successivamente la spinge verso quella precedentemente installata, rendendola ad essa solidale nel pieno rispetto del passo di installazione. Tale operazione precedentemente era svolta manualmente da operatori al fronte, con la centina automatica tale rischio è stato completamente eliminato.

L'operazione finale è il posizionamento del piede sul piano di posa, garantendo il corretto livellamento della centina. Con la centina tradizionale questa procedura viene eseguita da un operatore che inserisce dei cunei di legno sotto il piede centina. Tale azione, oltre che essere rischiosa per l'operatore, non risulta nemmeno essere una soluzione efficace da un punto di vista tecnico.

La centina automatica è dotata di un piede telescopico allungabile direttamente dai bracci laterali del posa-centine, permettendo il posizionamento della centina col solo utilizzo del radio controllo. In definitiva l'installazione della centina automatica non richiede la presenza dell'operatore per assemblarla, né per posizionarla in corrispondenza del profilo di scavo, né per collegarla a quella precedentemente installata né per posizionarne il piede sul piano di posa. Ciò riduce i pericoli tipici di questa fase di lavoro, quali: investimento dell'operatore causato dall'improvvisa instabilizzazione del profilo d'acciaio, cadute dall'alto, e in generale tutti i rischi dovuti alla scarsa visibilità dell'operatore. Il posa-centine EKIP 21-04 è radiocomandato e l'operatore può azionarlo restando in posizione di sicurezza e questo incrementa notevolmente i livelli di sicurezza al fronte di scavo.



Schema di apertura della centina tubolare automatica



Galleria Boscaccio (calcari marnosi appartenenti alla formazione del Monte Morello)
sollevamento centina tubolare automatica



Galleria Boscaccio (Calcari marnosi appartenenti alla formazione del Monte Morello)
installazione centina tubolare automatica

La galleria Boscaccio

La galleria Boscaccio è situata lungo l'autostrada A1 Milano-Napoli, nella tratta Barberino-Firenze Nord, dove sono attualmente in corso i lavori di allargamento alla terza corsia. L'opera si inserisce in un importante contesto geologico appenninico, compreso tra due importanti geosinclinali, identificate a nord dall'area del Mugello e a sud dall'area Firenze – Valdarno. La sezione geologica della galleria è caratterizzata da sequenze di flysch che attraversano le formazioni del Monte Morello e del Sillano, con una copertura variabile tra 10 e 60 m. Le litologie coinvolte sono costituite da sequenze ritmiche di marne, calcari e argilliti, che possono dar luogo a fenomeni spingenti. L'esperienza dello scavo della galleria Boscaccio (1962 m), per la stabilizzazione della quale sono state adottate le centine tubolari automatiche installate con il posa-centine Ekip 21-04, ha permesso di analizzare nel dettaglio i risparmi conseguibili in termini di tempo e materiali rispetto a quelli di installazione delle centine tradizionali. In particolare l'installazione e il collegamento della centina tubolare automatica, eseguiti mediante il posa-centine Ekip 21-04, hanno consentito un risparmio di 30 minuti a centina rispetto all'installazione e al collegamento del sistema costituito da profili aperti mediante un posa-centine tradizionale.

Le ragioni risiedono principalmente nelle seguenti motivazioni:

- il profilo tubolare è caratterizzato da un'elevata rigidità intrinseca dovuta alla propria geometria e non presenta il rischio d'instabilizzazione (tipico dei profili ad I e H, sia singoli che accoppiati). Ne discende che l'installazione della centina tubolare è più rapida;
- l'installazione ed il collegamento della centina viene realizzato utilizzando il posa-centine stesso (Ekip 21-04), azionato da un solo operatore che movimentata la macchina durante la specifica fase di lavoro, contro i cinque necessari per le centine tradizionali. Restando fissa la presenza dell'esperto al fronte, il quale ha un ruolo di supervisione, la squadra viene quindi rimodulata da 5+1 a 1+1 e i tempi morti dovuti all'avvicinarsi di macchine e operatori sono eliminati.

Nel caso specifico della galleria Boscaccio i 30 minuti, risparmiati per la posa ed il collegamento di ogni centina hanno generato un risparmio, a galleria finita, di quasi 41 giorni lavorativi. Un'altra importante economia è quella legata al calcestruzzo proiettato sia in termini di tempo sia di quantità di materiale. In

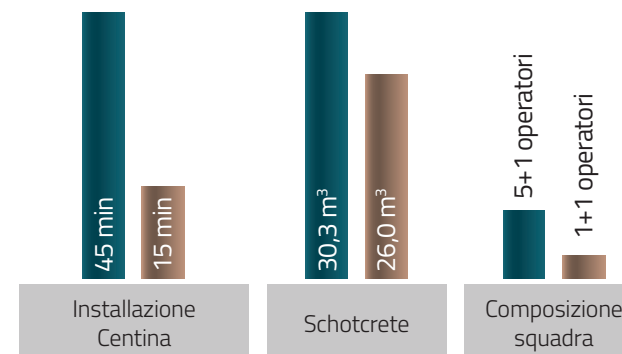
termini di tempo, il riempimento della centina tubolare si è confermato rapido e funzionale, permettendo un risparmio di 17 giorni lavorativi rispetto ai tempi d'intasamento richiesti per le centine tradizionali. In termini di quantità, la procedura di proiezione del calcestruzzo ha evidenziato un importante risparmio dovuto alla riduzione del rimbalzo durante la posa dello shotcrete. Nel caso delle centine tradizionali, infatti, quando un operatore cerca di riempire lo spazio tra le flange dei profili aperti si registra un rimbalzo significativo, che nel caso di quelli singoli è pari a circa il 50% e nel caso di quelli accoppiati ancora maggiore. Un inconveniente simile, con le centine tradizionali, si evidenzia anche durante la proiezione del calcestruzzo per la realizzazione del paramento. Le centine tubolari sono invece risultate esenti da simili problematiche, permettendo di ottenere risparmi importanti. Ad esempio, nella galleria Boscaccio si sono impiegati circa 8.000 metri cubi di materiali in meno, pari al 14% del totale, rispetto alla quantità che si era preventivata per le centine tradizionali. L'adozione della centina tubolare automatica e del posa-centine Ekip 21-04 hanno permesso di conseguire un risparmio temporale totale di 58 giorni lavorativi che, se paragonati alla stima iniziale di un tempo totale di realizzazione della galleria pari a 1000 giorni, significa una riduzione del 6% circa.

OPERATIVITÀ

As Built

TUBOLARE AUTOMATICA

TRADIZIONALE



IL CASO DELLA GALLERIA BOSCACCIO

TEMPI DI INSTALLAZIONE DELLE CENTINE - EKIP 21-04

TIPO DI CENTINA	Movimentazione al fronte scavo	Sollevamento, installazione e collegamento alla centina precedente	Lunghezza Totale Galleria Boscaccio	Passo di installazione	Numero Centine	Tempo Totale
	[minuti]	[minuti]	[m]	[m]	[n°]	[ore]
TRADIZIONALE	=	45,0	1962,0	1,00	1962	1472
TUBOLARE AUTOMATICA	=	15,0	1962,0	1,00	1962	491
Δ tempo risparmiato per ogni centina		-30			Δ Ore	- 981
Riduzione dei tempi di installazione della centina automatica e posa centine EKIP 21-04					40 giorni & 21 ore	

ANALISI CALCESTRUZZO PROIETTATO - VOLUMI E TEMPI DI PROIEZIONE

TIPO DI CENTINA	Consumo medio per campo da 6,0 m	Consumo medio per metro lineare	Lunghezza Totale Galleria Boscaccio	Consumo Totale	Portata Pompa Shotcrete	Tempo Totale
	[m³]	[m³]	[m]	[m³]	[m³/ora]	[ore]
TRADIZIONALE	181,67	30,3	1962,0	59405	20	2970
TUBOLARE AUTOMATICA	153,14	26,0	1962,0	51012	20	2551
			Δ shotcrete m³	-8393	Δ Ore	-420
Riduzione dei tempi di proiezione del calcestruzzo per la centina automatica					17 giorni & 12 ore	

RIDUZIONE DEI TEMPI PER L'INSTALLAZIONE DELLA CENTINA TUBOLARE AUTOMATICA CON POSA CENTINE EKIP 21-04

58 GIORNI & 7 ORE

FASE DI LAVORO INSTALLAZIONE CENTINA - COMPOSIZIONE DELLA SQUADRA

INSTALLAZIONE	CENTINA TRADIZIONALE	TUBOLARE AUTOMATICA CON EKIP 21-04
SQUADRA	5 + 1	1 + 1
installazione & collegamento = tempo totale 15 minuti		

IL POSA-CENTINE

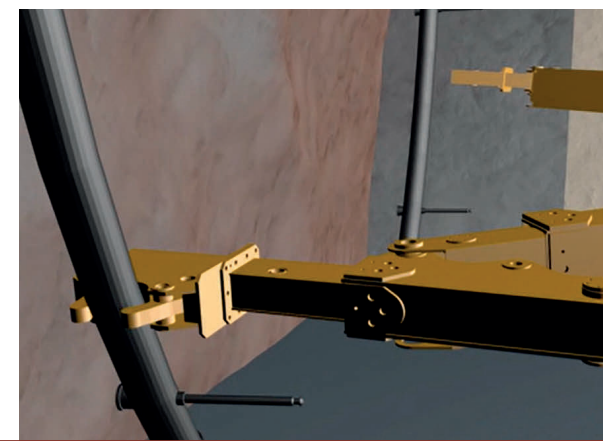
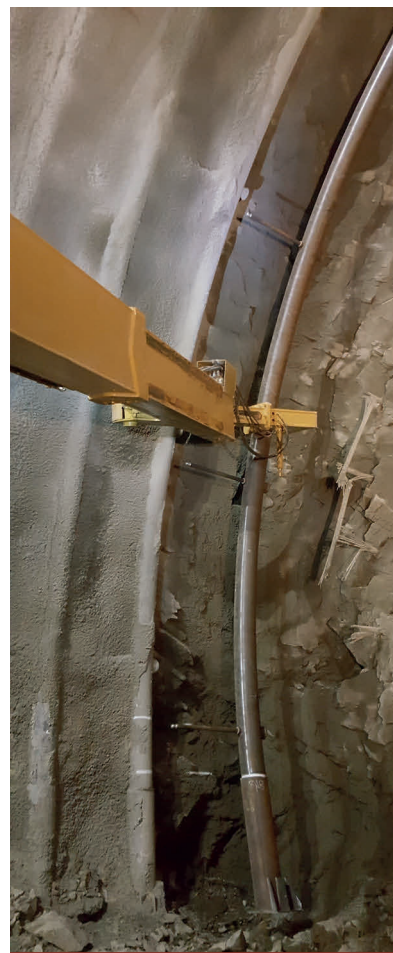
Il robot posa-centine

L'innovazione di prodotto legata alla centina automatica ha avuto il suo naturale completamento in una importante innovazione di processo. E' stato ideato un rivoluzionario robot posa-centine radio comandato, l'EKIP 21-04, che consente di installare la centina automatica nella posizione definitiva operando lontano dal fronte. Mentre il braccio centrale del robot posiziona la centina in asse alla galleria, i bracci laterali ne agganciano i piedritti aprendola e garantendo la chiusura automatica delle piastre di giunzione, che ne consentono il posizionamento in un piano parallelo alla precedente già installata. Il robot posa-centine quindi spinge la centina verso la precedente e, grazie agli elementi di collegamento rigidi preinstallati che sostituiscono le vecchie catene, ne assicura il collegamento.



IL POSA-CENTINE

Un piede telescopico con meccanismo di non ritorno consente la perfetta compensazione nel piano verticale. La procedura, completamente robotizzata, garantisce il collegamento della centina a quella precedente nel pieno rispetto del corretto distanziamento reciproco. Una volta posizionata, la centina viene riempita con calcestruzzo che ne aumenta significativamente la resistenza. Tutte le operazioni sono realizzate dal robot radiocomandato, senza la presenza di operatori al fronte: una vera e propria svolta senza ritorno in termini di sicurezza in galleria. In questo modo viene annullato il maggior rischio associato all'installazione delle centine: quello mortale per l'operatore in caso di disgreggio di materiale dalla calotta o collasso del fronte. Il robot è adatto ad essere utilizzato in sezioni di scavo sia ampie che ridotte, dove il rischio di collisione tra mezzi d'opera è maggiore. Il binomio costituito da centina automatica e robot posa-centine rappresenta una chiave di svolta, non solo in termini di sicurezza, ma anche in termini economici e temporali. Il robot posa-centine, infatti, può essere equipaggiato con un sistema di tracciamento topografico, che consente di ottenere un perfetto posizionamento della centina rispetto alla posizione teorica ideale, fornita al sistema dalla lettura dei dati topografici contenuti in una semplice chiave USB. Risulta così finalmente risolto il problema cruciale relativo ai sotto-spessori di getto.



Galleria Boscaccio (Calcari marnosi appartenenti alla formazione del Monte Morello): apertura centina tubolare automatica



Galleria Boscaccio (Calcari marnosi appartenenti alla formazione del Monte Morello): apertura centina tubolare automatica.

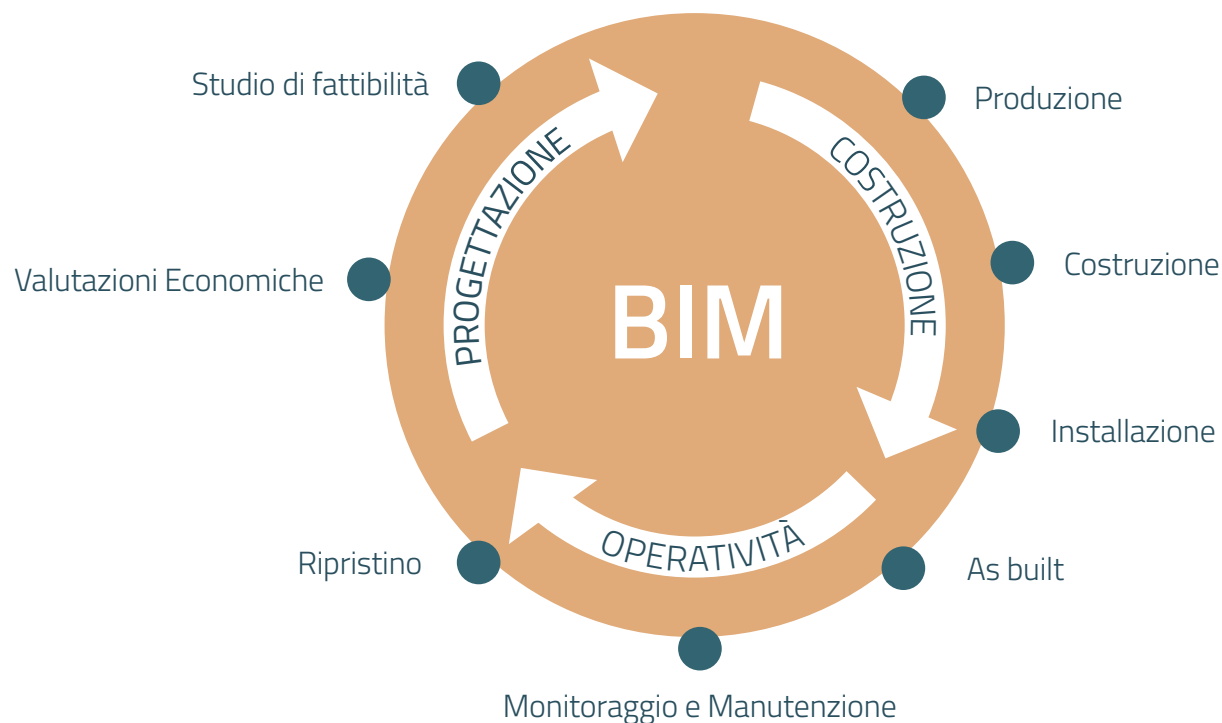
L'INTEGRAZIONE 4.0

Il controllo e la gestione

B.I.M. (Building Information Modeling) e industria 4.0 rappresentano un'importante innovazione nel mondo delle costruzioni e dell'industria.

Il B.I.M. permette di ottimizzare la pianificazione, realizzazione e gestione delle costruzioni tramite l'aiuto di un software, che raccoglie, combina e collega digitalmente tutti i dati rilevanti di un'opera, generandone la costruzione virtuale, visualizzabile in dettaglio anche come un modello geometrico tridimensionale.

Il termine Industria 4.0, dall'altra parte, indica la tendenza all'automazione industriale che integra alcune nuove tecnologie produttive per migliorare le condizioni umane di lavoro e aumentare produttività e qualità degli impianti. Tale quarta rivoluzione industriale ci sta introducendo nei cosiddetti "sistemi ciberfisici", sistemi in grado d'interagire direttamente e dinamicamente con il mondo reale circostante, ovvero, macchine e prodotti che comunicano tra loro, con l'uomo e con l'ambiente.

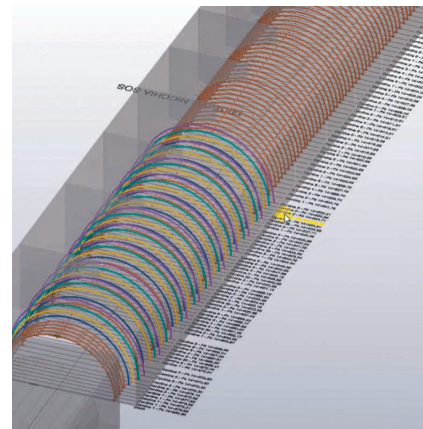




Il robot posa-centine EKIP 21-04 rappresenta la «best practice» di come l'interoperabilità tra industria 4.0 e trasparenza sui processi di gestione delle informazioni possa alimentare il B.I.M., sia durante la costruzione sia durante la fase di manutenzione delle infrastrutture.

EKIP 21-04, infatti, trasmette i dati di produzione al modello B.I.M. digitale, che rappresenta un archivio per le informazioni di output del macchinario (data e posizione, stato avanzamento, etc.). E' evidente il beneficio di una catena produttiva «intelligente» aggiornata in tempo reale.

Il risultato ottenuto conferma come la 4[°] rivoluzione industriale influenzi il mondo delle costruzioni e come una strategia B.I.M. rappresenti un'opportunità unica con un vantaggio elevato in termini di efficienza produttiva.



B.I.M.
Building
Information
Modelling



LA SICUREZZA

La mitigazione del rischio

In relazione alla sicurezza e alla salute sul lavoro, il rischio è la probabilità che una persona possa essere danneggiata o subisca effetti negativi sulla salute se esposta a un pericolo. Questo combina le probabilità di vari eventi possibili e la valutazione del danno corrispondente in un singolo valore. Tuttavia, le occorrenze effettive sono spesso più complesse e in uno scenario reale, con diversi possibili incidenti, il rischio totale è la somma dei rischi per ogni singolo incidente, a condizione che i risultati siano comparabili. Quindi:

$$R = \sum_{\text{tutti i rischi}} (\text{probabilità}) \times (\text{occorrenza})$$

Pertanto, il livello di rischio (R) è classificabile sulla base di:

- (i) potenziale danno o effetto negativo sulla salute che il pericolo può causare
- (ii) numero di volte in cui gli operatori sono esposti
- (iii) numero di operatori esposti

Poiché la questione riguarda la vita umana, è ovvio che l'entità dell'evento o la potenziale perdita in caso d'incidente potrebbero avere conseguenze catastrofiche. Un approccio moderno, come dettato da molte delle principali normative, richiede una mentalità proattiva e la valutazione e la gestione dei rischi, compresi i rischi residui. Di conseguenza, la gestione del rischio include le istruzioni e le contromisure appropriate (tipo, criteri e soglia, tempo di applicazione) per limitare, controllare o meglio rimuovere la probabilità del rischio di esposizione. La posa in opera dei rivestimenti di prima fase per la stabilizzazione degli scavi in sotterraneo è un'attività intrinsecamente pericolosa per gli operatori al fronte, a causa principalmente, ma non limitatamente, dei rischi connessi a cadute dall'alto di oggetti, all'investimento da parte di macchine operatrici, alla movimentazione di oggetti pesanti e in ultimo alla possibile instabilità del fronte stesso o a un suo crollo. In particolare, durante l'installazione delle centine la contromisura più efficace da implementare per limitare i rischi è sicuramente quella di ridurre il numero degli operatori coinvolti, o meglio di eliminare del tutto la loro presenza diminuendo o azzerando, così, la probabilità di occorrenza e il rischio stesso.



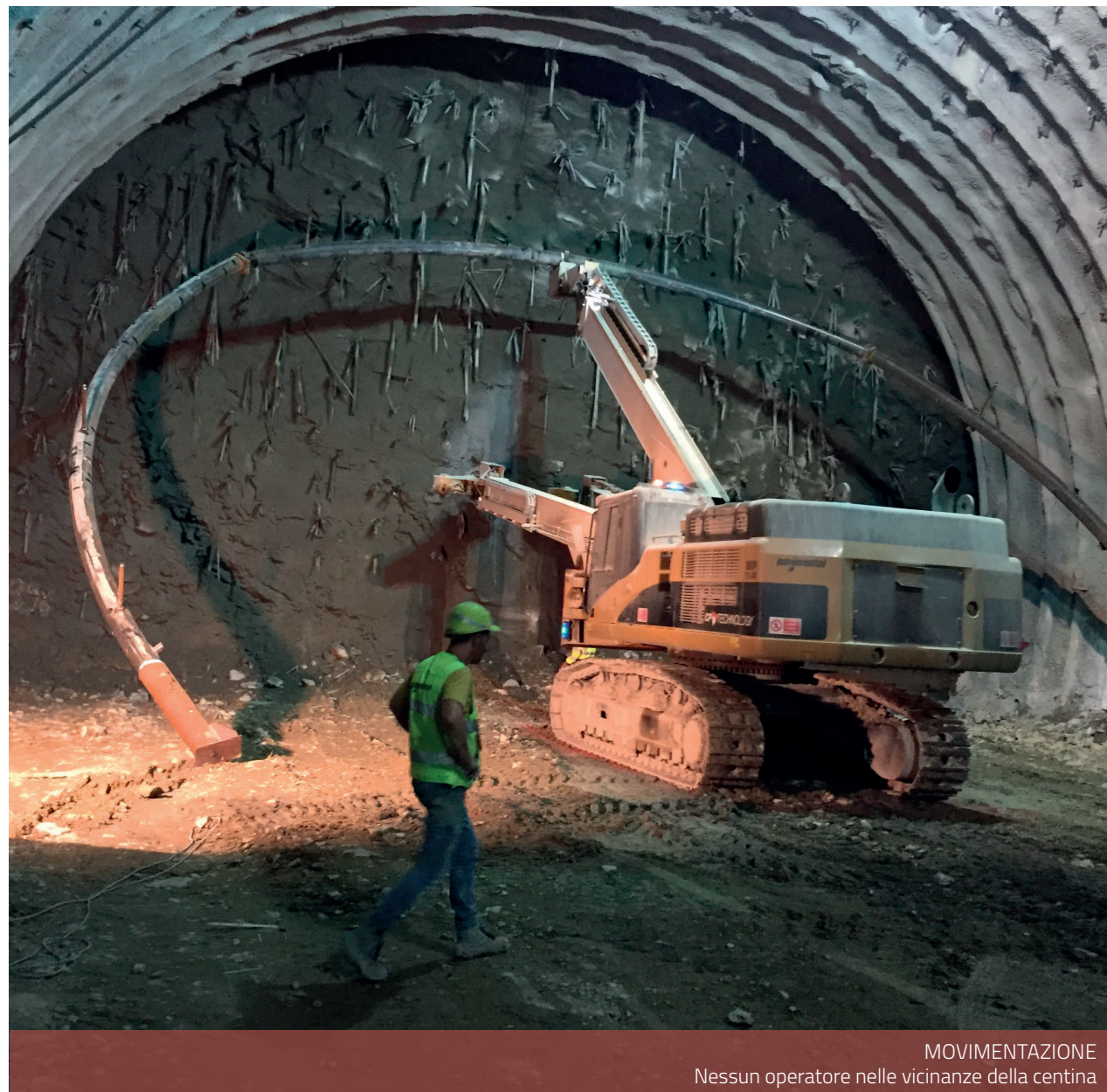
SOLLEVAMENTO
Nessun operatore al fronte



APERTURA E POSIZIONAMENTO PIEDRITTI
Nessun operatore al fronte



INSTALLAZIONE E COLLEGAMENTO
Nessun operatore al fronte



MOVIMENTAZIONE
Nessun operatore nelle vicinanze della centina

LA SICUREZZA

Iniziativa per la sicurezza dell'anno 2015 (ITA-AITES)

La centina tubolare automatica è stata selezionata dall'ITA come uno dei tre progetti finalisti per la categoria "Safety Initiative of the Year" 2015, che ha trovato applicazione nella galleria Boscaccio, precedentemente illustrata. Le motivazioni a supporto della nomina hanno toccato tutti gli aspetti già presenti a livello di normative cogenti. In particolare:

- (i) riduzione del numero di operatori esposti a condizioni di lavoro pericolose mediante "implementazione di un sistema che consenta a tutti gli operatori di agire all'interno di un area sicura"
- (ii) riduzione del tempo di esposizione degli operatori a "condizioni di lavoro potenzialmente pericolose", ad esempio mediante la riduzione dei tempi di installazione
- (iii) riduzione del numero di operatori in azione
- (iv) compatibilità del sistema con gli approcci di scavo tradizionali e con le attrezzature standard presenti nei cantieri.

Il ruolo dell'ITA e panoramica internazionale sulle norme di sicurezza per i lavori in sotterraneo

L'International Tunnelling and Underground Space Association ha svolto un ruolo importante nel promuovere un approccio sistematico alla sicurezza in galleria e nel consolidare la coscienza del tema. L'introduzione del premio per la categoria «Safety initiative of the Year» ha rappresentato il culmine di un processo di sensibilizzazione agli aspetti di sicurezza che ha avuto inizio molto tempo prima. Infatti, già dalla fine degli anni '90 sono stati adottati in Paesi membri capofila, tra i quali l'Italia ed il Regno Unito, regolamenti coerenti e sostanziali in materia di sicurezza sul lavoro, che dettavano i principi ed i criteri applicativi per garantire ambienti di lavoro sicuri durante lo scavo sia meccanizzato che convenzionale. La posa in opera del rivestimento di prima fase e l'esigenza di realizzarlo in completa sicurezza hanno sempre rappresentato una sfida affascinante ma complicata, la cui soluzione deve necessariamente soddisfare numerose variabili. L'Italia [D.LGS 81, Norme Interregionali NIR37 «Sicurezza in fase di scavo» e NIR41 «Lavori a ridosso del fronte»] e il Regno Unito [HSE, «Safety for NATM tunnels» e «Risks to third parties from bored tunnels in soft ground»] hanno identificato come criterio chiave

quello di prevenire o limitare l'accesso degli operatori al fronte di scavo della galleria durante l'installazione dei supporti. Il coordinamento pedissequo delle diverse fasi di lavoro e l'implementazione di sistemi automatici sono la contromisura principale per la riduzione dei rischi, ma risultano efficaci anche in ottica di incremento della velocità di esecuzione delle lavorazioni e del contenimento dei costi di esecuzione.

La soluzione progettuale. Criteri e scelte operative

Come dimostra il riconoscimento dell'ITA, il binomio centina automatica e robot posa-centine pone al centro dell'attenzione la sicurezza degli operatori. Per fare ciò, tutte le fasi, dalla costruzione all'installazione della centina, sono state sottoposte ad un attento riesame e l'intero processo è stato ottimizzato. In particolare, per ridurre il numero di lavoratori, senza compromettere le tempistiche previste dal progetto durante gli scavi d'avanzamento, è stata introdotta la completa automazione della centina e della sua installazione, con la conseguente riprogettazione delle giunzioni, del sistema di controventatura e collegamento, del piede, divenuto telescopico, e infine, della sequenza e delle operazioni di posa in opera.



BOSCACCIO AS BUILT

COMPOSIZIONE DELLA SQUADRA E TEMPI DI LAVORO DEI SINGOLI OPERATORI PER L'INSTALLAZIONE DELLE CENTINE

Composizione Squadra	CENTINA TRADIZIONALE		TUBOLARE AUTOMATICA CON EKIP 21-04	
	[n.]	[min]	[n.]	[min]
Operatore Mezzi	1	45	1	15
Operatore Mezzi	2	45	Lavoratori disponibili per altri impieghi	
Minatore	2	45		
Esperto al fronte	1	45	1	15
Totale Membri Squadra	5+1		1+1	

TEMPI DI INSTALLAZIONE DELLE CENTINE

TIPO DI CENTINA	Movimentazione al fronte scavo [minuti]	Sollevamento, installazione e collegamento alla centina precedente [minuti]	Lunghezza Totale Galleria Boscaccio [m]	Passo di installazione [m]	Numero Centine [n°]	Tempo Totale [ore]
TRADIZIONALE	=	45,0	1962,0	1,00	1962	1472
TUBOLARE AUTOMATICA	=	15,0	1962,0	1,00	1962	491
Δ tempi di installazine singola centina		-30 minuti			Δ Risparmio totale di tempo [ore]	-981

CALCESTRUZZO PROIETTATO: TEMPI E QUANTITA'

TIPO DI CENTINA	Consumo medio campo da 6,0 m [m³]	Consumo medio per metro lineare [m³]	Lunghezza Totale Galleria Boscaccio [m]	Consumo Totale [m³]	Portata Pompa Shotcrete [m³]	Tempo Totale [ore]
TRADIZIONALE	181,67	30,3	1962,0	59405	20	2970
TUBOLARE AUTOMATICA	156,00	26,0	1962,0	51012	20	2551
Δ Volume shotcrete risparmiato sulla lunghezza totale della galleria [m³]			-8393	Δ Totale ore		-420

COMPOSIZIONE DELLA SQUADRA E TEMPI DI LAVORO PER LA PROIEZIONE DEL CALCESTRUZZO

FUNZIONE	CENTINA TRADIZIONALE		TUBOLARE AUTOMATICA CON EKIP 21-04		Δ Tempo
	[n.]	[ore+min]	[n.]	[ore+min]	[min]
LANCISTA	1	1 ora + 30 min	1	1 ora + 18 min	12
ESPERO AL FRONTE	1	1 ora + 30 min	1	1 ora + 18 min	12
Δ tempi di proiezione calcestruzzo		12 minuti			Δ Risparmio totale di tempo - 784

Risparmio Volume Calcestruzzo Proiettato: $8393 \text{ m}^3 \approx 14,1 \%$

Risparmio Tempi di Scavo: 58 giorni e 9 ore

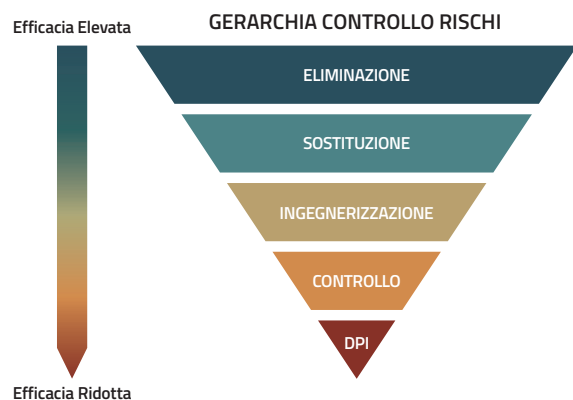
■ **OTTIMIZZAZIONE SQUADRA CASSAFORMA PER GETTO RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

■ **COSTI INDIRETTI RIDOTTI** (Noleggio mezzi in avanzamento, ammortamento attrezzatura

propria di scavo e costruzione, impiegati, assicurazioni, consulenze, sorveglianza)

Inoltre la **qualità di finitura del rivestimento di prima fase** migliora la posa in opera della **membrana di impermeabilizzazione** con evidenti risparmi di materiale di ben **oltre il 20%** del teorico; quando si

posa una membrana su una superficie non omogenea è necessario, per evitare lo strappo della stessa in fase di getto del rivestimento definitivo, aumentarne le "corde molli" con conseguenti aumenti di costo non compensati.



AZIONE	A.DE.CO. - NIR
Rimozione fisica del pericolo	La zona in prossimità del fronte di scavo non è un'area di lavoro
Sostituzione del rischio	Evoluzione tecnologica
Isolamento delle persone dal rischio	Industrializzazione del cantiere
Cambiamento del metodo lavorativo	Formazione degli operatori del sottterraneo (lavoratori e managers)
Dispositivi di protezione individuale	Dispositivi di protezione individuale

La realizzazione del rivestimento di prima fase a tutt'oggi resta una delle fasi di lavoro più rischiose durante la realizzazione di una galleria. La centina automatica e il posa-centine EKIP 21-04 sono soluzioni che consentono l'eliminazione del rischio associato alle fasi specifiche, come dimostra l'analisi degli infortuni occorsi, eseguita durante la costruzione di 52 km di gallerie, riportata a lato.

ANALISI DEL RISCHIO PER TIPOLOGIA DI CENTINE				
FASE DI LAVORO	RISCHIO	Tradizionale	Tubolare automatica + EKIP 21-04	
Sollevamento Centina	Instabilizzazione del profilo che può causare l'investimento degli operatori al fronte	rischio esistente	rischio eliminato	Il profilo tubolare è caratterizzato da un'elevata rigidità intrinseca che elimina il rischio di instabilizzazione
	Investimento degli operatori per la movimentazione dei macchinari necessari all'installazione della centina	rischio esistente	rischio eliminato	La centina viene installata mediante una sola apparecchiatura, movimentata da un unico operatore
Installazione Centina	Cadute dall'alto di gravi che colpiscono l'operatore che staziona in prossimità del fronte	rischio esistente	rischio eliminato	Grazie al posa centine radiocomandato l'operatore movimentata la macchina a distanza di sicurezza dal fronte
	Seppellimento operatori in conseguenza del collasso del fronte	rischio esistente	rischio eliminato	
Posizionamento piede centina	Cadute dall'alto di gravi che colpiscono l'operatore che opera in prossimità del fronte	rischio esistente	rischio eliminato	La centina automatica è dotata di piede telescopico, che viene posizionato tramite i bracci esterni dell'EKIP 21-04
Posa in opera di catene	Gli operatori sul cestello sono esposti al rischio di caduta dall'alto per eventuali movimenti bruschi del braccio sollevatore	rischio esistente	rischio eliminato	Le catene sono preinstallate e predimensionate, nel rispetto dei vincoli sia strutturali che geometrici. Le centine vengono collegate tramite il posa centine EKIP 21-04
	Gli operatori sul cestello sono esposti al rischio di investimento per distacco di materiale dalla calotta o dalle pareti del cavo	rischio esistente	rischio eliminato	

ANALISI DEGLI INFORTUNI		
	"Variante di Valico (VAV) 52 km di scavo di gallerie naturali"	"Galleria Boscaccio 2 km di scavo di gallerie naturali"
Infortuni causati da distacco di materiale dalle pareti o dal fronte di scavo	43	0



Pavimental opera da oltre 40 anni nel settore della costruzione, manutenzione e ammodernamento di strade, autostrade, ponti, viadotti, gallerie aree di servizio ed aeroporti. È leader italiano nello sviluppo di materiali e tecnologie per le pavimentazioni stradali. Nata nel 1970 con il nome COSAT, Costruzioni Stradali Asfalti S.p.A., nel 1983 prende il nome di Pavimental S.p.A.. Oggi l'attività di direzione e coordinamento è esercitata da Atlantia S.p.A., che detiene il 59,4% del capitale sociale. Autostrade per l'Italia S.p.A. e Aeroporti di Roma S.p.A. detengono ciascuna il 20,0% del capitale sociale e Astaldi S.p.A. detiene un'ulteriore quota pari allo 0,6%. La società è azionista di maggioranza del Consorzio Stabile Co.Im.A., Costruzioni Impianti Autostradali S.c.a.r.l., costituito insieme alle società Autostrade Tech S.p.A. e Pavimental Polska Sp.zo.o. Attualmente l'Azienda impiega oltre 1000 dipendenti con un valore della produzione nel 2017 pari a 389,1 milioni di euro.

MACCAFERRI

Fondata nel 1879, Officine Maccaferri è diventata un punto di riferimento a livello mondiale nella progettazione e realizzazione di soluzioni avanzate per il controllo dell'erosione e per le opere di sostegno, ma nel tempo ha saputo innovarsi sviluppando un'esperienza tale da renderla partner affidabile per risolvere problematiche nel campo dell'ingegneria civile ed ambientale e nel mercato delle costruzioni, con un focus specifico nelle opere in sotterraneo. La struttura organizzativa è pensata come globale e locale allo stesso tempo, e organizzata in consociate; questo garantisce una maggiore flessibilità, una presenza capillare e una migliore predisposizione alla continua evoluzione del mercato. Alla presenza europea della casa madre in Italia e delle filiali in Francia, Regno Unito, Russia, Spagna, Portogallo, si aggiunge la copertura nei cinque continenti, con 46 società operative, dall'America Latina, alla Nuova Zelanda, agli USA. Dove non arriva la forza di vendita interna, sono i distributori, presenti in tutti i continenti, a seguire in maniera indiretta i mercati.



Rocksoil dal 1979 fornisce progettazione, consulenza e assistenza tecnica a progetti di ingegneria civile. L'azienda, particolarmente specializzata in meccanica delle rocce e delle terre, geologia e idrogeologia, da sempre è parte attiva nella ricerca e nello sviluppo di nuove tecnologie nell'ambito delle opere in sotterraneo. La Società, guidata fin dall'inizio dal Prof. Ing. Pietro Lunardi, già docente di «Consolidamento dei suoli e delle rocce» presso l'Università di Firenze e poi di «Difesa e Conservazione del Suolo» presso l'università di Parma, è costituita da un team affiatato di specialisti ed esperti, si è subito affermata come leader di settore, proprio grazie allo sviluppo e all'introduzione di tecnologie di avanguardia. La crescita dell'azienda e la crescente importanza dei progetti commissionati ha portato alla trasformazione, nel 1989, in una società per azioni, la Rocksoil S.p.A., con oltre 100 dipendenti e sede operativa a Milano. La sua dimensione si colloca tra la società di consulenza e quella di ingegneria, mantenendo la flessibilità e la responsabilità dei singoli tipica della prima, pur sfruttando i vantaggi dati dall'integrazione specialistica e dall'organizzazione della seconda.



CP Technology è nata per creare soluzioni altamente tecnologiche ed attualmente opera a livello mondiale collaborando con i principali costruttori e concessionari nel mercato delle infrastrutture. L'azienda realizza impianti di prefabbricazione, attrezzature per getti in opera e macchinari per applicazioni speciali. L'unione dell'esperienza trentennale e della propensione all'innovazione hanno generato soluzioni flessibili e brevetti unici al servizio delle esigenze dei Clienti. La Società affianca il committente in tutte le fasi di realizzazione dell'opera: dallo studio in fase di gara, alla progettazione e costruzione del macchinario, fino all'installazione in cantiere. Collaboratori altamente qualificati, esperti nell'uso di programmi di modellazione 3D consentono di sviluppare costantemente prodotti innovativi personali e brevettati. Negli ultimi anni grazie allo sviluppo della divisione software i prodotti di CPT sono interconnessi ed in grado di generare flussi dati utili ai fini dell'analisi commessa e del miglioramento delle performance produttive. Partner di primario livello consentono all'azienda di offrire consulenza ed assistenza a livello mondiale.

Guarda il video "Automatic Tubular Arch Installation"
tramite il seguente QR code



Pavimental S.p.A.

Via Giuseppe Donati, 174
00159 Roma – Italia

T: +(39) 06 43633550

E: mail@pavimental.it
pavimental.it



CP Technology S.r.l.

Via G. Prati,9
20092 Cinisello Balsamo (Milano) – Italia

T: +(39) 02 6172911

E: pini@cptechnology.it
cptechnology.it



Rocksoil S.p.A.

Via Corridoni, 13
20122 Milano - Italia

T: +(39) 02 36631220

E: rocksoilspa@rocksoil.com
rocksoil.com



Officine Maccaferri Italia S.r.l.

Via J.F. Kennedy, 10
40069 Zola Predosa (Bologna) - Italia

T: +(39) 051 643 6000

E: info@it.maccaferri.com
maccaferri.com/it