

LA CENTINA TUBOLARE: MASSIMIZZAZIONE DELL’EFFICIENZA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE - APPROFONDIMENTI ED EVOLUZIONI

Carla L. Zenti - Elas Geotecnica S.r.l. GRUPPO INDUSTRIALE MACCAFERRI Pietro
Lunardi – Studio Lunardi – Milano
Andrea Bellocchio – Rocksoil Spa – Milano

1. INTRODUZIONE

Nel campo della progettazione e costruzione delle opere in sotterraneo, l'approccio capace di coniugare esperienze passate con idee innovative, ha da sempre caratterizzato i percorsi virtuosi delle opere che hanno fatto da traino alla crescita e lo sviluppo di *know how* del settore imprenditoriale che si occupa di gallerie. Attualmente tutti gli ambiti dell'ingegneria civile sono sempre più attenti agli aspetti legati alla sicurezza e uno degli obiettivi di chi si occupa di ricerca e sviluppo è la continua ricerca di innovazioni tecnologiche che consentano di accrescere la sicurezza degli operatori del settore, siano essi progettisti, costruttori o maestranze. La ricerca continua di un maggior grado di sicurezza, sia in fase di scavo che di esercizio dell'opera, ha trovato l'Italia sempre ai vertici delle più importanti innovazioni tecnologiche. Il Committente ed il Costruttore hanno, ognuno per le proprie competenze, il dovere di garantire la massima qualità dell'opera, sia in termini di sicurezza statica che di durabilità nel tempo e la minimizzazione dei tempi e costi di esecuzione della stessa; in sostanza l'ottimizzazione di questi aspetti rende una struttura sotterranea maggiormente "efficiente", volendo dare al termine *efficienza* un'accezione di carattere generale che racchiuda quanto sopra.

In questo articolo sono brevemente riassunti i risultati di due diversi "campi prova" volti ad analizzare diversi aspetti legati all'*efficienza*. L'intento è quello di fornire riscontro su come l'innovazione tecnologica possa concretamente aumentare il livello di *efficienza* sia in fase di progettazione che di esecuzione. Gli approfondimenti sull'impiego della centina tubolare hanno dimostrato l'efficienza statica della soluzione, il comportamento a sezione mista in cui calcestruzzo e acciaio collaborano attivamente. Le maggiori prestazioni meccaniche del riempimento e una struttura che rispetta pienamente le prescrizioni progettuali, incrementa il livello di sicurezza entro il quale opera il progettista; inoltre, riferendosi alle fasi operative di cantiere la maggiore rigidità del profilato fuori dal piano incrementa la maneggevolezza in fase di montaggio; conseguenza diretta è la diminuzione del tempo d'installazione e l'aumento del livello di sicurezza degli operatori al fronte, il tutto con un incremento della produttività nella realizzazione del rivestimento di prima fase.

L'esperienza in galleria insegna che una delle fasi realizzative più critica, dal punto di vista della sicurezza, rimane la posa e l'unione fra loro dei profilati metallici; infatti, durante questa fase è necessaria la presenza di lavoratori al di sotto del fronte di scavo. Come noto gli incidenti, purtroppo anche mortali in tunnel, spesso avvengono proprio durante questa fase.

Come accennato la ricerca della massima *efficienza* ha coinvolto, in questi ultimi anni, diversi specialisti del settore; ognuno per le proprie competenze (strutturali, tecnologiche, operative) ha dato, e sta dando, il contributo volto al raggiungimento della realizzazione della centina semi-automatica, per l'installazione della quale non è più necessaria la presenza dell'operatore al fronte. Sono attualmente in atto ulteriori miglie ed in questo studio verranno presentati i primi risultati concreti raggiunti.

Le indubbie maggiori prestazioni statiche di una centina tubolare, il miglior comportamento dello spritz beton confinato all'interno del tubo unite alle innovazioni di aggancio e messa in opera della centina, rendono il prodotto di sicuro interesse nell'ambito del tunnelling.

2. APPROFONDIMENTI

Le precedenti applicazioni, avevano evidenziato vantaggi che spaziavano dall'ambito tecnico, a quello operativo, con ricadute sia in termini d'incremento di sicurezza degli operatori al fronte sia in termini di costo, generando economie importanti (Lunardi et al., 2013).

Un profilo chiuso anulare, fornisce una risposta omogenea in tutte le direzioni. Basta pensare alle condizioni di contatto non uniformi che si possono produrre, tra l'ala di un profilato aperto e il terreno, durante la fase di avanzamento dello scavo di una galleria, dove raramente è riscontrabile uno stato piano di deformazione, per realizzare quanto tale caratteristica sia fondamentale. Sostituendo il profilo tradizionale aperto con uno circolare cavo, si ottiene una diversa e più efficiente distribuzione del metallo e quindi una sezione resistente più equilibrata, capace di farsi carico sia delle sollecitazioni assiali sia di quelle eccentriche, indipendentemente dalla loro direzione. Grazie al comportamento a sezione mista, la centina tubolare sfrutta completamente sia l'inerzia del profilo tubolare in acciaio che quella del riempimento.

Da un punto di vista prettamente operativo, la costanza in tutte le direzioni della rigidità del profilo circolare cavo facilita il trasporto e l'installazione delle centine, riducendo al minimo il rischio degli operatori ed elevando conseguentemente la sicurezza della fase operativa che da sempre è ritenuta tra le più rischiose. I risultati del monitoraggio confermano il comportamento a sezione mista (Eurocodice 4) della centina tubolare riempita di calcestruzzo che si era evidenziato durante la sperimentazione di Laboratorio (Zenti et al., 2012). La centina tubolare riempita di calcestruzzo forma un elemento strutturale composito che si avvantaggia delle eccellenti caratteristiche meccaniche offerte dal calcestruzzo che lavora confinato all'interno della sua struttura d'acciaio, permettendo un'omogenea distribuzione degli sforzi e sviluppando una capacità portante che si traduce in elevata azione di confinamento sulle pareti dello scavo. La malta all'interno del tubo collabora attivamente alla statica dell'opera e garantisce il rispetto delle ipotesi progettuali; l'alternativa di profilati doppi intasati con spritz beton, come noto, non sempre è in grado di garantire questo requisito proprio per difficoltà oggettive nella realizzazione dell'intasamento stesso.

Prima di iniziare la sperimentazione statica della centina tubolare in condizioni spingenti, è stato ritenuto necessario approfondire una serie di aspetti tecnologici ed operativi che sono strettamente legati a garantire le indubbie capacità statiche della soluzione.

Si è voluto meglio indagare il comportamento del riempimento al fine di verificarne la continuità e la resistenza nel tempo. In merito alle fasi esecutive, grazie all'utilizzo di una scheda di rilievo dettagliata è stato possibile monitorare le fasi operative compresi i volumi di calcestruzzo proiettato utilizzato. La conferma della riduzione delle tempistiche di esecuzione di ogni singola fase, ha generato un aumento generalizzato delle produzioni, con conseguenti riduzione di costi diretti ed indiretti.

Il campo prove si è svolto nell'ambito del consorzio COCIV, all'interno di una galleria che rientra nella realizzazione di un collegamento tra la viabilità presente in località Borzoli, nei pressi del campo sportivo comunale, con quella della località Erzelli, dopo aver attraversato la galleria presente dell'autostrada A10. Tale collegamento è previsto mediante la

realizzazione di due gallerie naturali, Lato Borzoli e Lato Erzelli, divise da un tratto intermedio in galleria artificiale: la prima ha una lunghezza di 138.5 m e si sviluppa in unica curva, mentre la seconda, nella quale è stato realizzato il campo prove, è costituita da tre tratti di cui uno rettilineo per una lunghezza complessiva di 809.5m. La sezione stradale tipo è costituita da 2 carreggiate di larghezza 3.50m e due banchine di larghezza 1.25m. Il raggio interno di calotta della galleria è di 6.0m.

La sezione scelta per il campo prove è del tipo B0-s. Il prinvestimento composto da uno strato di 20 cm di betoncino proiettato fibrorinforzato (o, in alternativa, armato con rete elettrosaldata) e centine costituite da due profilati IPN160 S275, passo $p=1,2$ m, controventati tra loro. Si propone la sostituzione del doppio profilo INP 160 con una B.Zero Tondo Φ 193.7mm caratterizzata da uno spessore pari a 6.5mm in acciaio S275 ed uno spessore medio di spritz beton pari a 20cm. Sono stati realizzati 3 tratti di prova con le caratteristiche di seguito indicate:

TRATTO 1: L=24.0m ca., adottando le centine tipo 2 IPN 160, con passo $p=1.20$ m

TRATTO 2: L=24.0m ca., adottando le centine tubolari tipo B.ZERO TONDO, con passo $p=1.20$ m

TRATTO 3: L=24.0 ca., adottando le centine tipo 2 IPN 160, con passo $p=1.20$ m

Quale sistema di controllo e verifica in corso d'opera, all'interno dei complessivi 72m ca. di galleria naturale ascrivibili al campo prova sono state eseguite le attività di monitoraggio sia per quanto concerne il comportamento tenso-deformativo che relativamente alle tempistiche delle fasi operative. Inoltre al fine di valutare l'avvenuto riempimento, sulle centine tubolari sono realizzati dei punti di ispezione, in corrispondenza dei quali è stata valutata, tramite pistola Hilti, la resistenza a compressione maturata dalla miscela a 12 e 24 ore. Con circa le medesime scadenze temporali e con la medesima procedura è stata valutata anche la resistenza a compressione della soluzione tradizionale.

2.1. Risultati dei monitoraggi

Per il test operativo in esame è stata decisa l'installazione in un ammasso di ottime caratteristiche geomeccaniche; l'obiettivo del test è stato valutare l'operatività del sistema e confermare le ipotesi di verifica strutturale. Comunque, gli stati tensionali misurati, seppur bassi, permesso di evidenziare degli aspetti interessanti. La strumentazione installata, il cui schema è sintetizzato in Figura 1, è caratterizzata da due celle di carico, in corrispondenza del piede centina, e da tre coppie di barrette estensimetriche, poste in corrispondenza dei piedritti ed in calotta.

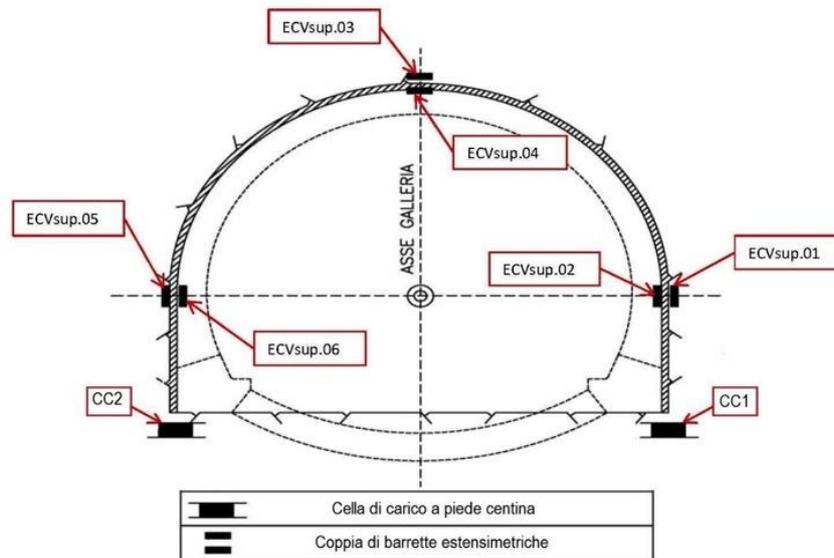


Figura 1– Posizioni degli strumenti relativi al monitoraggio tenso-deformativo

Dal punto di vista operativo l’omogenea rigidezza della centina tubolare permette un agevole movimentazione ed un rapido sollevamento; diretta conseguenza è la maggior precisione nella posa ed il minor tempo di sosta del personale al di sotto della stessa centina. Confrontando i monitoraggi di Figura 2, che diagrammano l’andamento nel tempo del livello di carico e degli sforzi che gravano sulla centina tradizionale, con quelli di Figura 3, relativi alla centina tubolare, è possibile notare che la centina tubolare, a fronte di un carico più elevato e asimmetrico, mostra un livello di sforzi nell’acciaio inferiore. La giustificazione di questo comportamento risiede nel fatto che il riempimento della centina tubolare assorbe parte del carico divenendo parte attiva nella statica strutturale, cosa indubbiamente più complicata da realizzare con la centina tradizionale intasata con spritz beton. La risposta della centina tubolare a carichi asimmetrici evidenzia una migliore distribuzione degli sforzi grazie alla reale collaborazione tra acciaio e calcestruzzo.

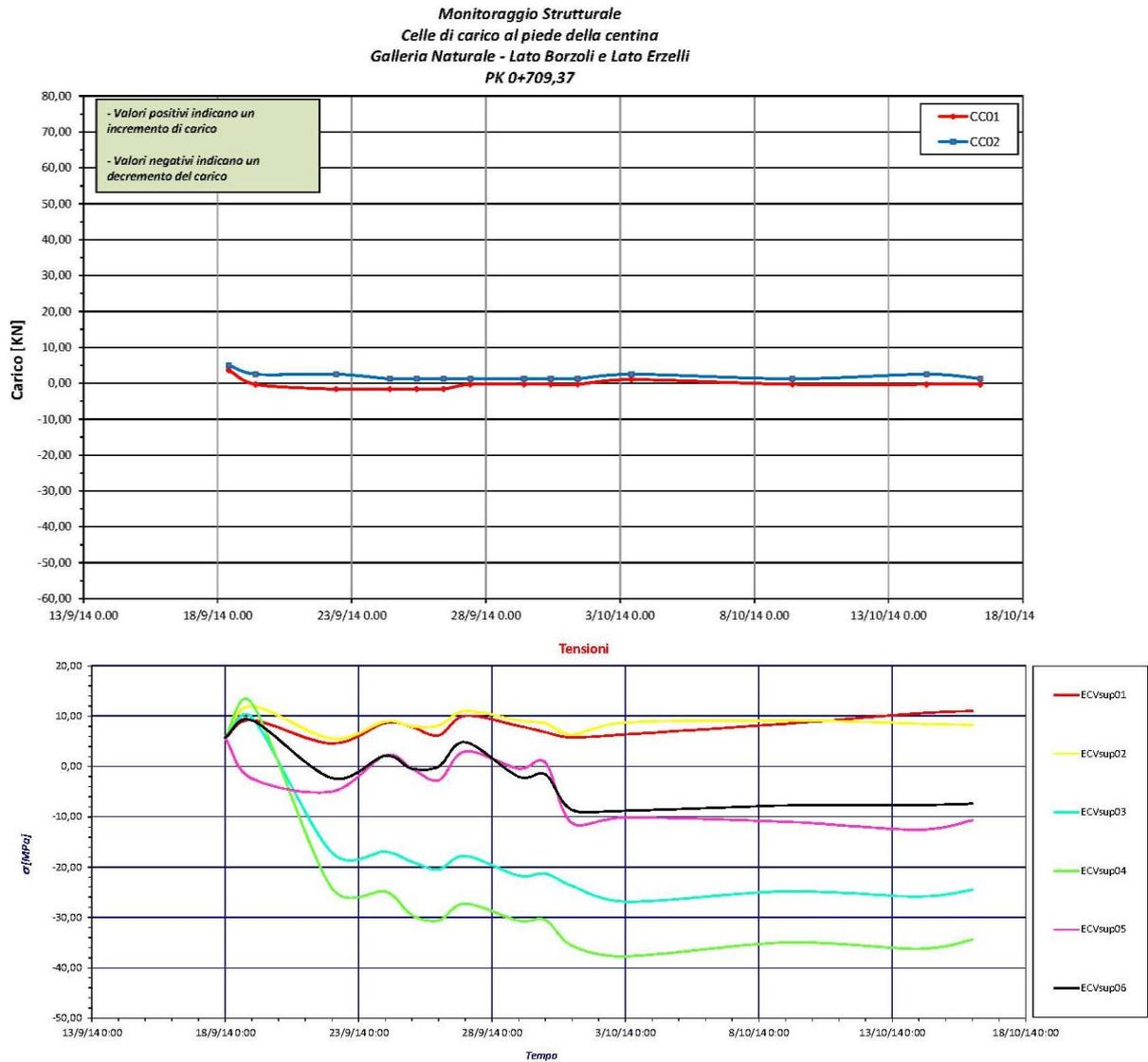


Figura 2 – Stazione di monitoraggio centina 2 INP 160: a) Carichi a piede centina; b) Sforzi;

Il campo prove, oltre aver dimostrato un vantaggio dei tempi di messa in opera, rispetto a quelli impiegati nei casi di centine tradizionali, nel tratto di applicazione della centina tubolare ha evidenziato un incremento delle produzioni che ha permesso di contabilizzare un risparmio di 18 ore durante la posa delle 20 centine, del TRATTO 2 designato per l’installazione delle centine tubolari. I grafici di Figura 4 riassumono le produzioni dei TRATTI 1 e 2. Tale incremento, riferibile sostanzialmente alla maggiore maneggevolezza della centine tubolare, si evidenzia anche dal confronto del monitoraggio delle fasi operative delle due diverse tipologie di centine i cui dati medi sono riassunti nella Tabella 1

Monitoraggio Strutturale
Celle di carico al piede della centina
Galleria Naturale - Lato Borzoli e Lato Erzelli
PK 0+728,57 - centina tubolare

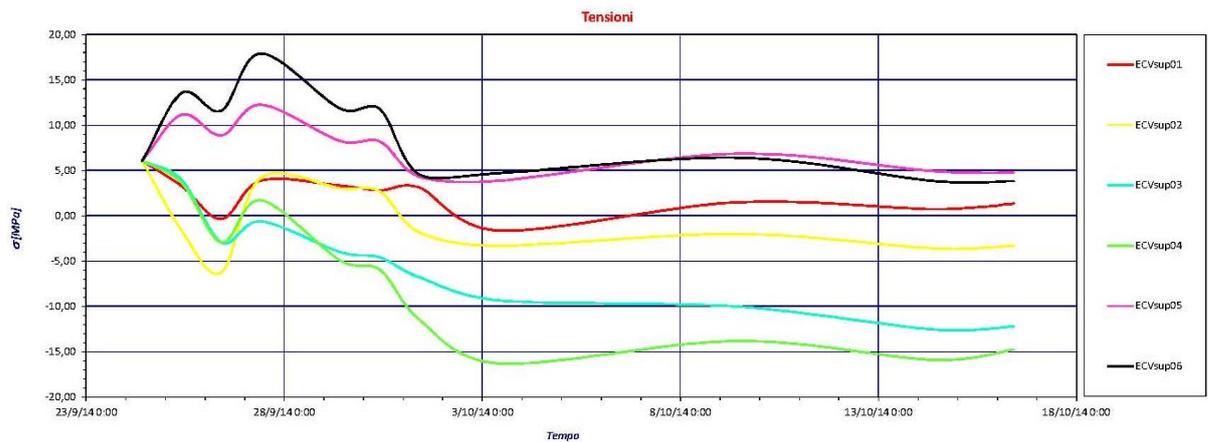
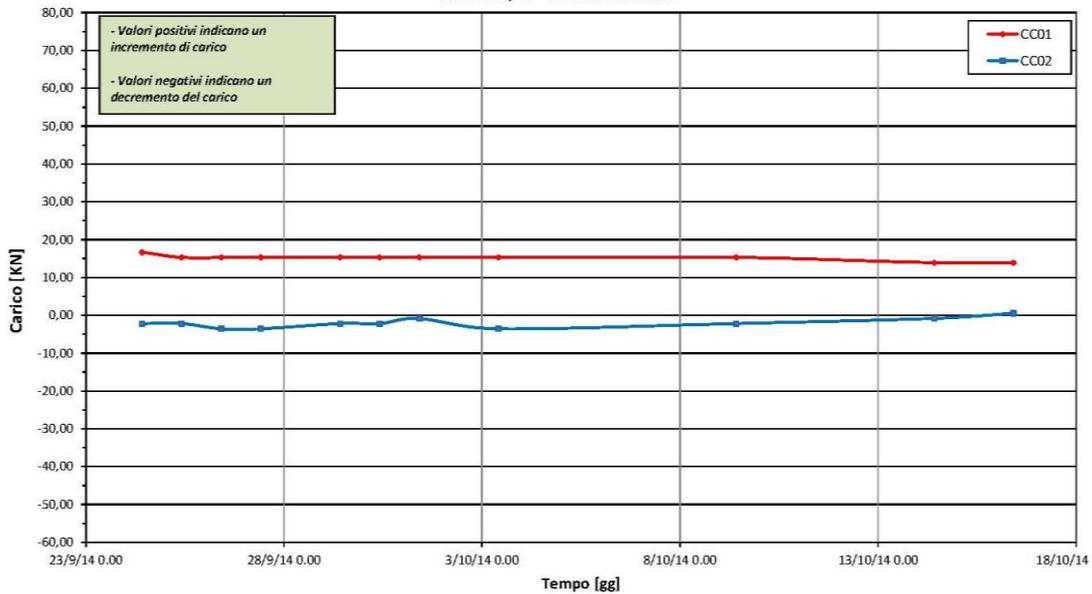
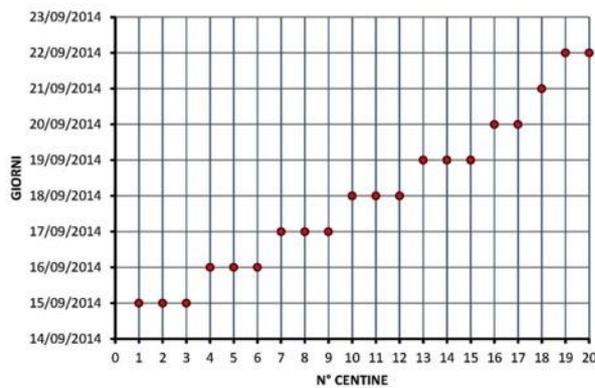


Figura 3 – Stazione di monitoraggio centina tubolare: Φ 193,7sp.6,5mm: a) Carichi a piede centina; b) Sforzi

TRATTO 1 – 2 IPN 160



TRATTO 2 – B.ZeroTondo

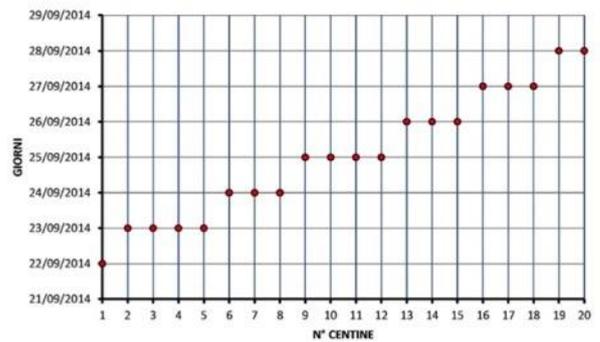


Figura 4. – Produzioni dei primi due tratti del campo prova

Tab.1 – Valori medi delle fasi operative

	2 IPN 160 [min]	B.Zero 193,7 - sp.6,5 [min]	[min]	
Movimentazione	20	10	-10	
Assemblaggio	20	10	-10	
Messa in opera	20	15	-5	
Collegamento catene	20	15	-5	
Riempimento	Profilo	20	2	-18
	Collegamento pompa	-	5	5
Rivestimento	55	50	-5	
TOTALE	155	107	-48	

2.2 Il riempimento e la maturazione in ambiente confinato

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.

La presenza di fori di sfiato appositamente posizionati in estradosso di calotta, assicura il completo riempimento del profilo cavo. Si realizza pertanto un arco di calcestruzzo continuo e privo di vuoti d'aria inglobato dalla centina che determina la certezza di un comportamento a sezione mista, verificato anche mediante prove sperimentali di laboratorio eseguite al Politecnico di Milano (Zenti et. Al, 2012).

Nei profilati classici invece il riempimento è tutt'altro che una certezza per la presenza di zone d'ombra che impediscono il perfetto intasamento nell'intercapedine tra ali e anima della centina singola, e ancor più nell'intercapedine presente tra i profilati doppi.

Il confinamento della malta all'interno del profilato tubolare chiuso determina un aumento di resistenza a compressione del riempimento rispetto al riempimento 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. Le migliori condizioni di maturazione favoriscono un incremento della resistenza del riempimento. 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. La conferma di queste ipotesi è data dalla verifica delle resistenze della malta all'interno ed all'esterno del tubo misurata nel tempo. I risultati sono assolutamente confortanti e stanno indirizzando la ricerca anche in altre direzioni in modo da sfruttare a pieno questi vantaggi.

L'incremento di resistenza è testimoniato dai risultati delle prove di estrazione del chiodo riassunti in Tabella 2 e diagrammati, in Figura 6. Dall'analisi dei dati si evince che alle 12 ore il riempimento del tubo mostra un notevole incremento delle resistenze, superiore al doppio di quello riscontrato in parete e per il riempimento delle centine tradizionali. Tale differenza si attesta sui valori circa raddoppiati anche per le 24 ore.

Si segnala inoltre come venga incrementata la qualità di finitura del rivestimento di prima fase nel caso delle centine tubolari (Figura 8.a) che risulta essere conforme alle specifiche di progetto (Figura 5.a), a differenza delle centine tradizionali (Figura 5.b e Figura 8.b). In riferimento alla soluzione di centina costituita da 2 IPN 160, si precisa che la non corretta

realizzazione del paramento non è dovuta ad una cattiva esecuzione del lavoro, ma bensì alla difficoltà di intasare completamente l'intercapedine tra i due profili; le ali generano zone d'ombra che fisicamente sono difficili da riempire ed inoltre causano uno sfrido consistente. Nel tentativo di intasare completamente il doppio profilato IPN 160 si ha uno sfrido quantificabile in minimo 1,5m³ di shotcrete, nonostante il quale non si ottiene un risultato soddisfacente.

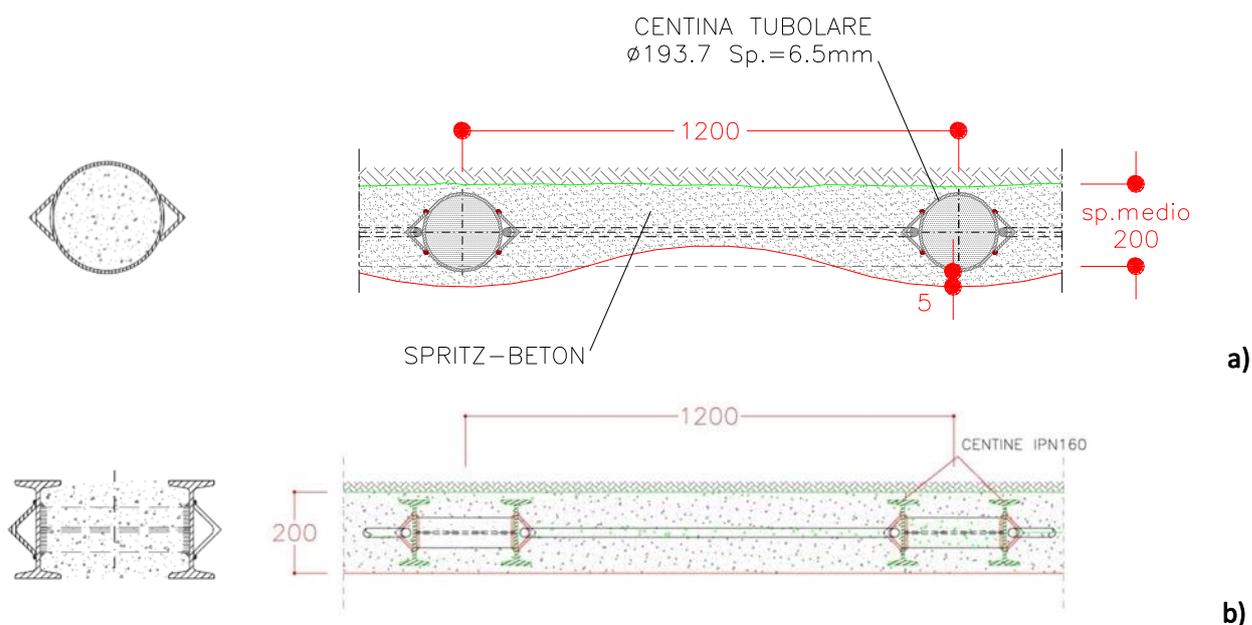
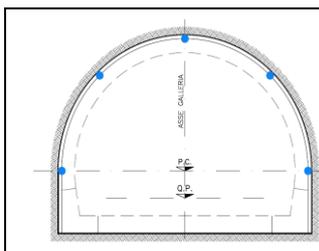


Figura 5. Riempimento delle diverse tipologie di centine e finitura paramento: a) B.Zero Tondo Φ 193,7 sp. 6,5mm ; b) soluzione tradizionale 2 IPN 160

Tabella 2. Risultati dei controlli di resistenza eseguiti a circa 12 e 24 ore sul riempimento della B.Zero Tondo e sulla soluzione tradizionale

	B.Zero Tondo		2 IPN 160	
	26/10/2014 H 5:00	28/09/2014 H 18:00	06/10/2014 H 1:00	08/10/2014 H 17:00
RIEMPIMENTO O PROIEZIONE	26/10/2014 H 5:00	28/09/2014 H 18:00	06/10/2014 H 1:00	08/10/2014 H 17:00
PROVA	26/10/2014 H 16:30	29/09/2014 H 17:30	06/10/2014 H 14:30	09/10/2014 H 18:00
Tempo di Prova [ore]	11:30	23:30	13:30	25:00
Punti di Misura	Resistenza [MPa]	Resistenza [MPa]	Resistenza [MPa]	Resistenza [MPa]
1	18,36	19,08	7,05	11,02
2	15,86	19,23	5,60	10,30
3	16,49	19,08	6,74	11,05
4	15,86	19,15	7,03	10,61
5	17,72	19,15	6,18	11,41
Media	16,86	19,14	6,52	10,88



La qualità di finitura del rivestimento di prima fase non è un fattore puramente estetico, ma ha notevoli ripercussioni statico/funzionali e operativo/tecnologiche. Infatti il perfetto intasamento esterno della centina tubolare con lo spritz permette di:

- 1) trasferire completamente il carico della roccia alla struttura in modo omogeneo ed uniforme su tutto lo sviluppo della centina;
- 2) consente alla centina stessa di collaborare in modo continuo con lo strato di spritz adiacente; peraltro se consideriamo anche la possibilità di profilare “naturalmente ad arco” lo strato di spritz beton fra due centine affiancate abbiamo un effetto tridimensionale di trasferimento dei carichi che tende a far lavorare la struttura in modo ottimale; le forti discontinuità che si realizzano fra spritz e centine tradizionali ad H creano imperfezioni strutturali difficilmente valutabili, i quali effetti negativi sono spesso trascurati dai progettisti.
- 3) 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.

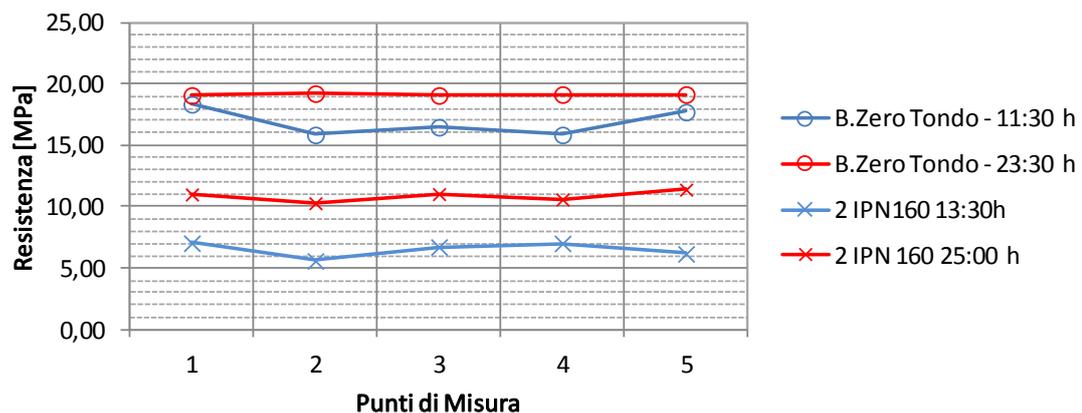


Figura 6. Diagramma comparativo resistenze a circa 12 e 24 ore dal riempimento o proiezione



Figura 7. Chiodo utilizzato per la Misura della resistenza

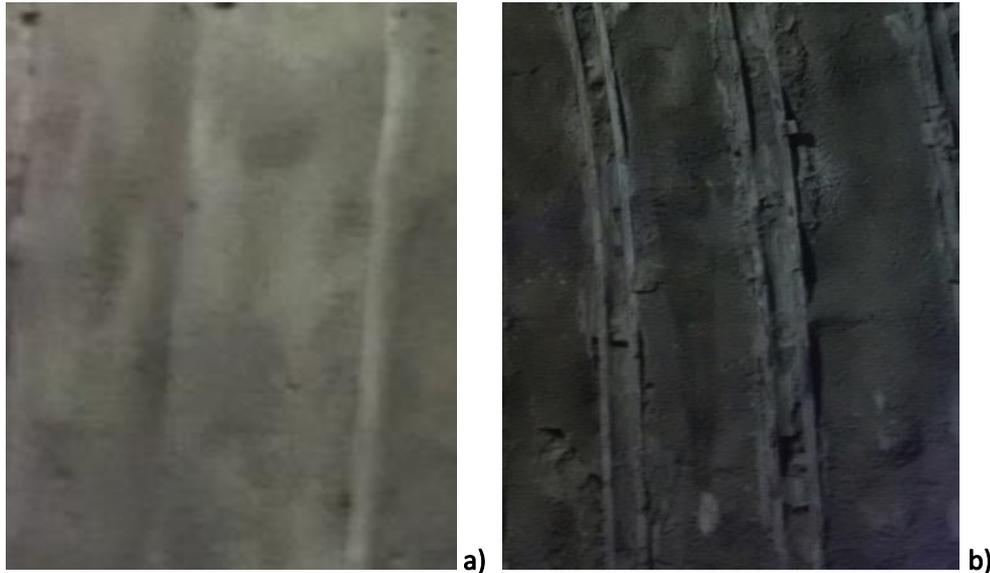


Figura 8. Confronto grado di finitura rivestimento di prima fase: a) B.Zero Tondo Φ 193,7 sp. 6,5mm ;
b) soluzione tradizionale 2 IPN 160

3. EVOLUZIONE

L'utilizzo della centina tubolare ha sicuramente ridotto il livello di rischio della specifica fase, ma l'obiettivo finale è quello di eliminare la fase di rischio. Tale motivazione ci ha spinto allo sviluppo di una centina semi-automatica che elimini la presenza dell'operatore al fronte, e necessiti solo dei manovratori sui due mezzi, addetti alla movimentazione e installazione dell'elemento di rinforzo.

Grazie ad un sistema di giunti meccanici, tutti i componenti arrivano in cantiere pre-assemblati. Mediante il sollevamento con pinza posa centine, l'elemento pre-assemblato si apre e assume la configurazione finale di installazione; gli elementi di collegamento necessari per unire due centine attigue sono n°10 e pre-installati. La centina è posizionata 20cm più vicina al fronte rispetto alla distanza prevista per il sistema tradizionale.

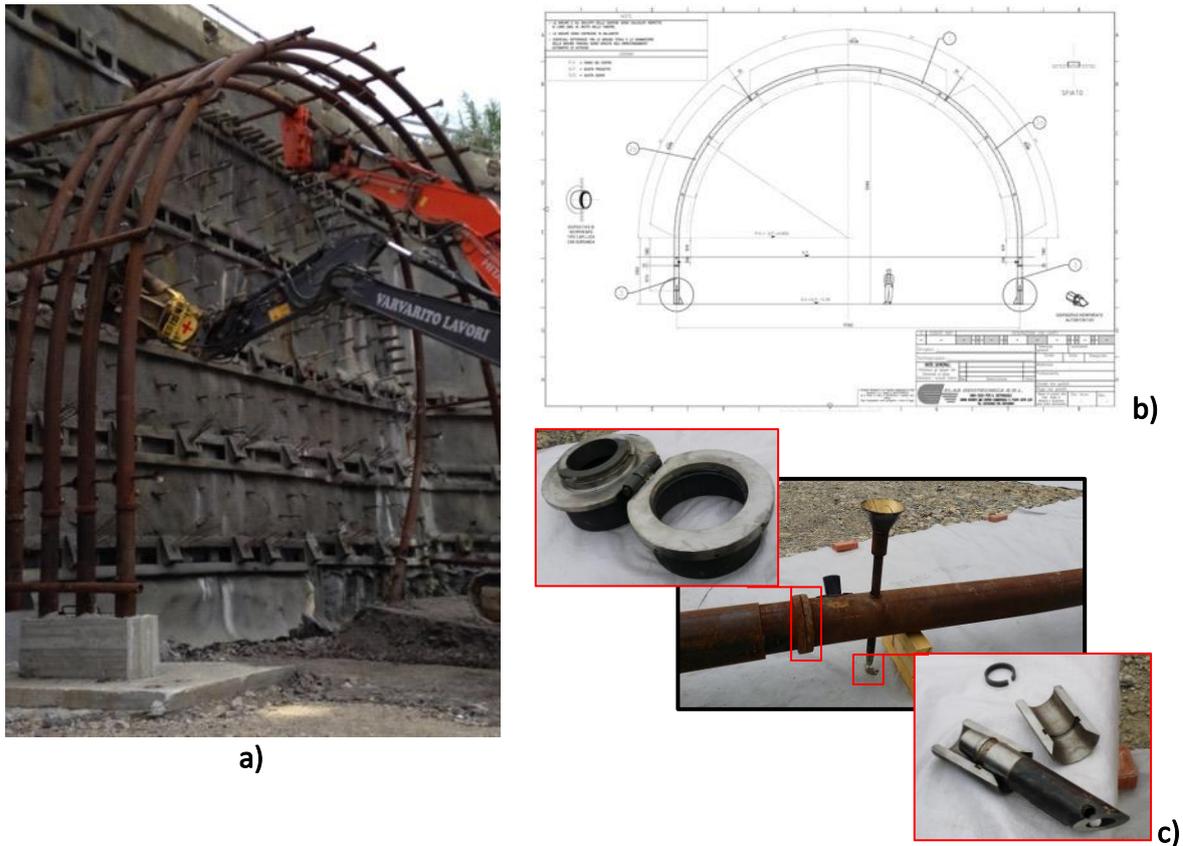


Figura 9. Centina Sicura: a) Installazione; b) Dettaglio Costruttivo; c) Particolare giunto e Catena

Raggiunta la quota di installazione, senza necessità di sovrascavo, è sufficiente una manovra del mezzo in retromarcia perché la centina risulti collegata a quella attigua e resa solidale ad essa grazie alle catene pre-installate e dotate di dispositivo di inserimento e bloccaggio.

4. CONCLUSIONI

I campi prova descritti nel presente articolo hanno ribadito l'efficienza della centina tubolare. La sezione circolare cava è in grado di farsi carico indistintamente di carichi assiali e/o eccentrici applicati lungo qualsiasi direzione, migliorando le prestazioni del sistema di rivestimento. La centina tubolare riempita di calcestruzzo forma un elemento strutturale composito che si avvantaggia delle eccellenti caratteristiche meccaniche offerte dal calcestruzzo che lavora confinato all'interno della sua struttura d'acciaio, permettendo un'omogenea distribuzione degli sforzi e sviluppando un'eccezionale capacità portante che si traduce in elevata azione di confinamento sulle pareti dello scavo. Le maggiori prestazioni meccaniche del riempimento e una struttura che rispetta pienamente le prescrizioni progettuali, incrementa il livello di sicurezza entro il quale opera il progettista. La maggiore rigidità del profilato fuori dal piano incrementa la maneggevolezza in fase di montaggio; conseguenza diretta è la diminuzione del tempo d'installazione e l'aumento del livello di sicurezza degli operatori al fronte, il tutto con un incremento della produttività nella realizzazione del rivestimento di prima fase. La Tabella 3 presenta un quadro riassuntivo e comparativo dei tre sistemi di centine analizzati in cui vengono poste in evidenza le differenze e le peculiarità di ogni singolo sistema, con particolare riferimento alle tempistiche e ai volumi. L'intasamento del profilo accoppiato IPN 160 genera uno sfido

quantificabile in minimo $1,5\text{m}^3$ di shotcrete, mentre per la centina tubolare il riempimento reale è di poco superiore a quello teorico del volume interno del profilo, lo sfrido si riferisce solo alla quantità di miscela la cui fuori-uscita dai fori di sfiato garantisce il completo riempimento dell'elemento di rinforzo. Considerando che il passo di installazione medio di una centina è pari a 1,0 m per una galleria di lunghezza pari 1,0 km, se ne contabilizza un risparmio di ben 1500mc di spritz. Non si tratta di un puro risparmio di materiale, ma si pensi alle economie indotte in riferimento a: ore/uomo, usura mezzi e tutti ciò che rientra nella voce energia.

Tabella 3 – Comparazione diverse tipologie di centine

Tipologia Centina	Peso [kg]	Tempi installazione [minuti]	Shotcrete	
			[minuti]	[mc ³]
Tradizionale 2 IPN 160	1410	60	75	14,2
Tubolare Φ 193,7 sp.6,5	1050	45	57	12,5
Tubolare Automatica Φ 193,7 sp.6,5	1120	10	57	12,5

L'evoluzione della centina tubolare, che ha portato allo sviluppo della soluzione semi-automatica, permette di ridurre la presenza delle maestranze al fronte delegando le attività di installazione a mezzi meccanici.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano la UO Gallerie di Italferr per il supporto tecnico fornito nell'approfondimento dell'analisi delle prestazioni meccaniche delle centine tubolari; CIPA s.p.a. ed in particolare Antonio Di Pietro e tutto il suo staff per la grande professionalità dimostrata durante tutte le fasi d'installazione nella Galleria Borzoli; Atlantia s.p.a. e Pavimental s.p.a per la disponibilità all'esecuzione del campo prove della centina tubolare semi-automatica presso i loro cantieri di barberino del Mugello (FI) e Cristiano Bonomi senza il quale non sarebbe stato possibile mettere insieme tutte le necessarie competenze.

BIBLIOGRAFIA

C.L. Zenti, G. Lunardi, B.Rossi, A. Gallovich (2012), “A new approach in the design of first lining steel rib”, Tunnelling and Underground Space for a Global Society, ENGINEERING INSTITUTE OF THAILAND (EIT) (THA), World Tunnel Congress 2012, Bangkok 21-23 May 2012, Vol. CD & Proceeding book of abstracts, ISBN: 9789747197785.

P. Lunardi, F. Romozzi, A. Simonini, D. Bonadies, C. Avignone, C.L. Zenti (2013). “Progetto “Quadrilatero Marche-Umbria” Applicazione di un nuovo sistema di rivestimento di prima fase costituito da centine tubolari. Gallerie e grandi opere sotterranee n° 107, Luglio-Settembre 2013 pp.67-71.ISSN-0393-1641.

P. Lunardi, F. Romozzi, A. Simonini, D. Bonadies, C. Avignone, C.L. Zenti (2013). “Progetto “Quadrilatero Marche-Umbria” Applicazione di un nuovo sistema di rivestimento di prima fase costituito da centine tubolari. Congresso S.I.G. “Gallerie e spazio sotterraneo nello sviluppo dell'Europa”. Bologna, 17-19 ottobre 2013, p.p.794-805.