

Tecnologia calcestruzzo proiettato su terreno congelato: “Sottoattraversamento fiume Isarco”

Draft 6 del 25-01-2021 pm

A cura di Pietro Massinari (Product Manager Tunneling - CHRYSO Italia)

Premessa

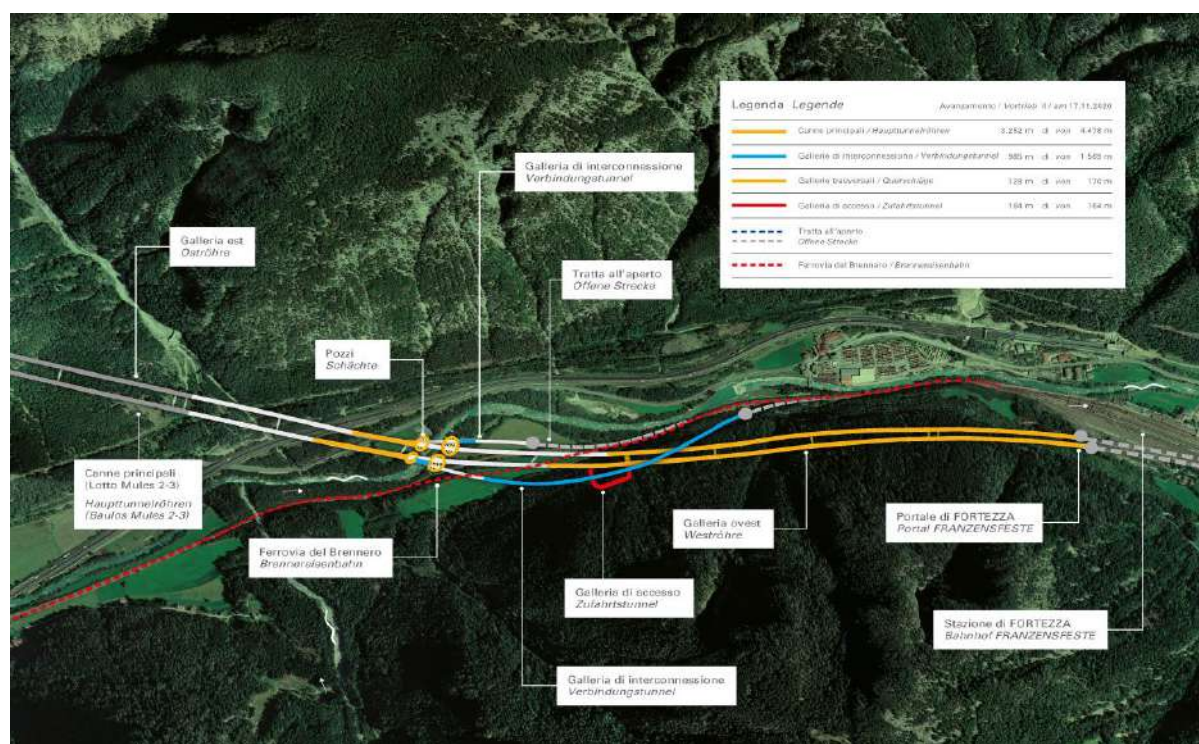
La Galleria di base del Brennero è costituita di vari lotti sia nel territorio italiano che in quello austriaco, il Lotto “Sottoattraversamento Isarco “ è quello che si posiziona più a sud dell’intera opera, è stato affidato a ottobre del 2014 al consorzio RTI Isarco s.c.a.r.l. composto da Webuild S.p.A. (già Salini-Impregilo), Strabag AG, Strabag S.p.A., Consorzio Integra e Collini Lavori S.p.A. Le opere di questo lotto collegheranno la Galleria di Base con la linea ferroviaria classica del Brennero e la stazione di Fortezza.

Complessivamente saranno realizzati 4,5 km di gallerie principali e 1,2 km di gallerie di interconnessione con la linea ferroviaria esistente. Il termine dei lavori di questo lotto è previsto alla fine del 2022.



La maggior parte dei lavori di questo lotto si svolge nel fondovalle, prevedendo una serie di interventi all'aperto tra cui rientra il consolidamento del terreno propedeutico allo scavo delle gallerie con il metodo tradizionale. Questi interventi di consolidamento del terreno consistono nella tecnica del jet grouting.

Nell'ambito di questo lotto saranno sottoattraversate l'autostrada del Brennero A22, la strada statale SS12, la linea ferroviaria esistente e in particolar modo il fiume Isarco. Per sottoattraversare il fiume sarà utilizzata anche un'altra particolare tecnica di consolidamento del terreno: **il congelamento**.



In seguito al consolidamento del terreno con la tecnica del jet grouting, sono stati scavati 4 pozzi tramite i quali è possibile raggiungere la quota del tracciato della gallerie, ad una profondità di circa 25 metri, da cui sono stati avviati gli scavi in sotterraneo, in direzione nord, sempre con metodo tradizionale.

Lo scavo sotto il fiume Isarco

I preparativi per lo start up dello scavo sotto alveo sono durati mesi.

Il processo di congelamento è altamente complesso - trattasi di una procedura applicata nell'ambito delle opere in sotterraneo, dove il suolo viene congelato artificialmente rendendolo compatto ed impermeabile.

Partendo da uno dei quattro pozzi realizzati nel cantiere del Sottotraversamento dell'Isarco sono stati congelati la falda ed il materiale alluvionale al di sotto dell'alveo del fiume.

Si è proceduto ad iniettare azoto liquido all'interno di un circuito aperto, costituito da "tubazioni di congelamento" o sonde, sotto il fiume. L'azoto con una temperatura di -196°C scorrendo all'interno di queste tubazioni ha sottratto il calore dal suolo circostante.

Di conseguenza, l'acqua all'interno del suolo sotto al fiume si è congelata e la temperatura del suolo è scesa a -35°C .

Per mantenere queste temperature del suolo durante lo scavo, all'interno di un circuito di raffreddamento viene fatta circolare della salamoia (refrigerante).



Mediante tale procedura è stato possibile consolidare il materiale sciolto al di sotto dell'alveo del fiume e successivamente si è potuto avviare i lavori di scavo della prima galleria sotto l'Isarco.

Grazie al metodo del congelamento, è stato possibile evitare di dover spostare il percorso del fiume che attraversa il tracciato della Galleria di base del Brennero e ridurre gli impatti ambientali, in particolare sulla fauna ittica dell'Isarco.

Consolidamento dello scavo

Le gallerie del lotto Isarco, scavate con il metodo tradizionale, sono consolidate tramite l'utilizzo di calcestruzzo proiettato strutturale.

La tecnologia del calcestruzzo proiettato o calcestruzzo spruzzato (chiamato anche gunite, sprayed concrete o spritz beton) consiste nello spruzzo, mediante una lancia ad aria compressa, di una miscela cementizia additivata con prodotti acceleranti di presa, solitamente esenti da alcali (a differenza degli storici additivi a base di silicato di sodio). Questi ultimi consentono l'aggrappo istantaneo del conglomerato nel momento in cui raggiunge la superficie di applicazione garantendo una massa compatta e omogenea.

Il calcestruzzo proiettato è utilizzato nelle opere di ingegneria civile in cui è richiesta la messa in opera di calcestruzzo in assenza di casseforme su strati successivi e quando sono richieste resistenze meccaniche elevate a brevissima scadenza. La tecnologia del calcestruzzo a proiezione originariamente fu ideata come rivestimento provvisorio per il consolidamento e protezione primaria nelle opere sotterranee.

Attualmente viene sempre più considerato anche come rivestimento portante definitivo grazie allo sviluppo della tecnologia dei materiali e delle prestazioni meccaniche che oggi è possibile progettare e successivamente mettere in opera.

Chryso Italia è partner del Consorzio fin dall'inizio del cantiere nel 2016, con l'accelerante di presa CHRYSO Jet 910 AF, prodotto scelto per le prestazioni ottenute in fase di proiezione, in termini di sfrido, dosaggio reale, e incidenza sulle prestazioni meccaniche finali.

Ma con il rivestimento delle gallerie trattate con la tecnologia del congelamento, ci si è dovuti confrontare con condizioni applicative totalmente differenti

Condizioni applicative su terreno congelato

Le speciali sonde congelatrici sono posizionate ad un metro all'interno dello scavo, le misurazioni sull'estradosso portano ad una **temperatura di -10 °C**, è in questo punto che deve essere applicato il primo strato di calcestruzzo fibrorinforzato dello spessore di 10 cm.

La seconda fase è quella del posizionamento delle centine, e l'applicazione di calcestruzzo proiettato senza fibre per altri 20 cm di spessore.

In questo caso **la temperatura è di circa -5° C**, quindi le condizioni sono estreme, e devono essere garantite tutte le condizioni di sicurezza e tecniche, in primis la coesione tra il supporto e il calcestruzzo.

Per ottemperare a queste condizioni si è studiato una mix di calcestruzzo proiettato specifica, inoltre la fase di applicazione è stata volutamente accelerata.

Di seguito riportiamo i valori medi misurati durante le varie fasi dell'applicazione del calcestruzzo in galleria:

Valori misurati medi	Mc h
Velocità di proiezione standard	15 - 20
Velocità di proiezione su congelamento	25 - 30

Le miscele di calcestruzzo utilizzate e loro prestazioni a confronto

Le miscele di calcestruzzo, preventivamente qualificate dalla DL, sono specificate nelle tabelle seguenti

Mix cls progettato Standard C25/30 XC3 XF3 F5 d max 8 mm	Tipologia	Kg/mc	Mix cls progettato "pozzi" C25/30 XC3 XF3 F5 d max 8 mm	Tipologia	Kg/mc
Cemento	II ALL 42,5 R	480	Cemento	II ALL 42,5 R	530
Sabbia 0/4	Smarino	1296	Sabbia 0/4	Smarino	1217
Pietrisco 4/8	Smarino	323	Pietrisco 4/8	Smarino	304
Acqua	Pozzo	192	Acqua	Pozzo	215
Additivo Superfluidificante	Acrilico	5,09	Additivo Superfluidificante	Acrilico	7,05
Fibre	Metalliche	30	Fibre	Metalliche	30
Additivo accelerante Alcali Free	CHRYSO Jet 910 AF	30-35 (6,3-7,3 %)	Additivo accelerante Alcali Free	CHRYSO Jet 910 AF	39-45 (7,3-8,5 %)

Le miscele vengono qualificate e controllate, a cadenza settimanale secondo i seguenti parametri:

- Composizione (A/C reale)
- Lavorabilità (spandimento), andamento della consistenza
- % aria inglobata
- Resistenza su provini cubici a 28 giorni

Inoltre per il calcestruzzo proiettato

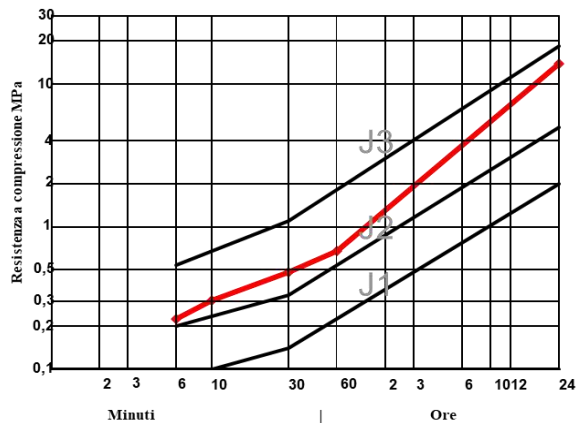
- Dosaggio reale accelerante (% sul dosaggio cemento)
- Stima a resistenza a compressione tramite penetrometro (rispetto Curva J2) fino a 60 ‘
- Resistenza alle brevi (12 ore) tramite metodo Hilti
- Resistenza su cilindri prelevati tramite carotaggi a 2 gg 28gg
- Densità
- Spessore spritz beton
- Energia assorbita su piastra (590 J a 7 gg.) , per quello fibrato

Esempio di verbale controllo in corso d'opera

Controllo dosaggio accelerante, stima della resistenza alle brevi (fino a 60'):

VERBALE DI PRELIEVO:												
14417												
DOSAGGIO ACCELERANTE		7,4 %										
Stima della resistenza a compressione del calcestruzzo proiettato giovane attraverso penetrometro digitale (metodo A)												
Norma di riferimento: UNI EN 14488/2												
Contrassegno provino	Data esecuzione spritz	Tempo trascorso dal getto	Penetrazioni con ago standardizzato UNIEN 14488-2 - Forza applicata [kg]									
			n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6	n° 7	n° 8	n° 9	n° 10
F309H-WFAL (Accelerante JET910 AF-CHRYSO)	30/09/20	6 minuti	148	151	146	151	142	137	146	153	146	138
		Media [N]:		145,8		R stimata (*) [MPa]		0,22				
		10 minuti	189	204	204	190	209	189	189	208	190	191
		Media [N]:		196,3		R stimata (*) [MPa]		0,30				
30 minuti	314	312	303	303	309	324	315	302	328	311		
	Media [N]:		312,2		R stimata (*) [MPa]		0,48					
60 minuti	452	458	426	444	459	432	449	424	436	442		
	Media [N]:		442,2		R stimata (*) [MPa]		0,68					

(*) Stima della Resistenza a compressione in [MPa] - Valori ricavati dalla curva di correlazione riportata nella UNI EN 14488-2



Misurazioni su spritz beton su congelamento

Spessore medio del calcestruzzo proiettato : 30 cm

Temperatura siperficie spritz beton prima del carotaggio : da 0°C a 2,5 ° C



Temperatura fondo carotaggio : da -4°C a -1°C



Conclusioni

Le foto dei carotaggi (vedi i carotaggi) evidenziano la presenza di ghiaccio , nonostante le condizioni estreme di applicazione e maturazione a temperature sotto lo zero, la resistenza meccanica misurata media risulta essere di 36 MPa, contro una media di 39 MPa (i valori si riferiscono alla rottura della carota senza alcuno coefficiente di correlazione).

Il valore ottenuto in condizioni severissime , portano ad una minima riduzione della resistenza a compressione, indicativamente del 8 % (su una media di 10 prelievi).

Valori assolutamente accettabili e ampiamente conformi alle prescrizioni tecniche richieste dal progetto.

Possiamo , quindi, affermare che la tecnologia utilizzata del calcestruzzo proiettato ,con le dovute correzioni e accorgimenti e con l'utilizzo delle corrette materie prime si è rivelata tecnicamente appropriata per la specifica applicazione.

CHRYSO

INNOVATION IS OUR CHEMISTRY

Pietro Massinari

Business Development Manager

Mob : +39 348 5122728

Email : pietro.massinari@chryso.com



CHRYSO ITALIA SRL

Società a Socio Unico soggetta a direzione e coordinamento di CHRYSO PARTICIPATIONS SAS

Capitale sociale € 1.600.000,00 i.v. - Partita IVA 02241170162 - Codice fiscale 00836510495

Iscrizione R.E.A. MI 2569630

20097 San Donato Milanese (MI) Italia - Via Bruno Buozzi, 1 - Tel. +39 02 5276041 - Fax +39 02 5272185

chryso@pec.chrysoitalia.com - www.chryso.com

