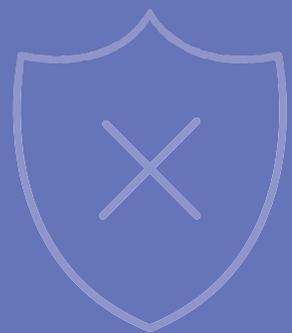




**IL CALCESTRUZZO
SPRUZZATO
("SHOTCRETE")**





Il calcestruzzo spruzzato (“shotcrete o spritz beton”) viene impiegato prevalentemente nelle **costruzioni sotterranee** per la **protezione nell’avanzamento dello scavo in roccia** dall’eventuale caduta di materiale lapideo e per **bloccare le venute di acqua dalle pareti dello scavo**. Il calcestruzzo proiettato, inoltre, è utilizzato anche per la **protezione degli scavi di fondazione, per il consolidamento di pendii e scarpate**, nonché per l’esecuzione dei **lavori di ripristino delle costruzioni in calcestruzzo degradate** allorquando gli spessori di materiale da riportare superano i 60-70 mm. A differenza dei tradizionali calcestruzzi posati entro i casseri e successivamente sottoposti a vibrazione per l’espulsione dell’aria in eccesso finalizzata a incrementare la resistenza meccanica del calcestruzzo, **nel calcestruzzo spruzzato la posa in opera e la compattazione avvengono con una sola operazione**. La **compattazione** per questi conglomerati, infatti, si realizza sfruttando la **velocità dell’impatto del conglomerato contro le pareti del substrato** costituito dal terreno, dalla roccia oppure dalla struttura in calcestruzzo da riparare. Indipendentemente dalla struttura cui il calcestruzzo è destinato, al fine di **evitare che il conglomerato venga dilavato dall’acqua presente sulle pareti dello scavo e con l’obiettivo di ridurre la quantità di materiale che rimbalza (“lo sfrido”)**, questi conglomerati devono **possedere una presa istantanea (“flash set”)** che è ottenuta ricorrendo all’aggiunta nell’impasto di **specifici additivi acceleranti di presa**. La posa in opera del calcestruzzo spruzzato può avvenire con due procedimenti distinti: **per “via secca” oppure “per via umida”**. Nel procedimento per **“via secca”** i soli ingredienti in polvere (**cemento, aggregati, aggiunte minerali**) vengono **trasportati in una tubazione** nella quale, solo in corrispondenza della parte terminale viene aggiunta l’acqua e poi l’additivo accelerante di presa. Nel procedimento per **“via umida”, invece, ad essere trasportato nella tubazione è il calcestruzzo e l’aggiunta dell’additivo liquido accelerante avviene alla “lancia” (o “pistola” in**



inglese “gun” da cui il termine “gunite” che identifica nel gergo di cantiere il calcestruzzo proiettato) attraverso un condotto separato dalla pompa principale che trasporta il conglomerato fluido. In entrambi i sistemi, la proiezione del calcestruzzo contro **le pareti dello scavo è ottenuta immettendo aria compressa nella parte terminale della tubazione**. I calcestruzzi spruzzati messi in opera per “via umida” sono da preferire rispetto a quelli per “via secca” per la riduzione della polverosità durante la proiezione oltre che per una maggiore produttività.



Rispetto ai tradizionali conglomerati, il calcestruzzo spruzzato presenta delle specificità a livello compositivo e prestazionale. La necessità di **ridurre il “rimbalzo” di materiale durante la proiezione**, soprattutto su quelle pareti di roccia ove vi è presenza di acqua, impone che l’impasto sia caratterizzato da un volume di materiale fine maggiore di quello usualmente presente nei calcestruzzi ordinari. Infatti, **aumentando la frazione finissima a scapito di quella lapidea si riduce la perdita di materiale durante la proiezione contro le pareti dello scavo**. In linea di massima, **il dosaggio minimo di cemento non risulta inferiore a 420-450 kg/m³ anche per consentire all’impasto di sviluppare già dopo 6 ore dal getto una resistenza a compressione maggiore di 4 N/mm²**. Generalmente, per la produzione del calcestruzzo proiettato vengono impiegati **aggregati di pezzatura massima non superiore a 8-12 mm**. Inoltre, sempre nell’ottica di migliorare sia le prestazioni meccaniche del calcestruzzo, ma soprattutto per incrementare la coesione dell’impasto e, quindi, sia la resistenza al dilavamento che la minore tendenza al rimbalzo, i calcestruzzi spruzzati sono spesso confezionati ricorrendo all’impiego del **fumo di silice in misura del 5-7% sulla massa del cemento (circa 20-35 kg/m³)**. Infine, per garantire una presa istantanea che favorisca l’adesione alla roccia anche in presenza di consistenti venute di acqua si utilizza un **additivo accelerante di presa**. L’additivo accelerante di presa per “shotcrete” più comune è costituito dal **silicato di sodio generalmente utilizzato in misura variabile tra l’8 e il 15% rispetto alla massa del cemento**; l’aggiunta dell’additivo e il suo dosaggio



vengono regolati, in funzione della reologia del calcestruzzo e delle venute di acqua sulle pareti dello scavo, direttamente dall'operatore addetto alle operazioni di proiezione del conglomerato. A fronte di una **presa istantanea**, favorita dall'accelerazione dei processi di idratazione dei silicati e degli alluminati di calcio del clinker di cemento Portland, l'effetto dell'additivo accelerante alle stagionature successive è quello di **ridurre drasticamente il grado di idratazione del cemento a causa dell'impedimento esercitato dai solidi formati durante il processo di presa che, ricoprendo i granuli di cemento anidri, ne ostacolano il contatto con l'acqua**. Il risultato pratico di questa "ostruzione" è rappresentato da una crescita modesta delle resistenze a compressione nel tempo. Dopo 28 giorni la resistenza meccanica a compressione di impasti additivati con acceleranti di presa a base di silicato sodico evidenziano una penalizzazione di circa il 10-20% rispetto a quella di un analogo betoncino privo di additivo. È da tener presente, inoltre, che nell'applicazione a spruzzo di questi materiali, il grado di compattazione che si realizza nel rivestimento in calcestruzzo a contatto con le pareti dello scavo risulta inferiore rispetto a quello ottenibile se lo stesso conglomerato venisse posto in opera con le tecniche di posa tradizionali e, poi, sottoposto a un'intensa vibrazione. In linea di massima la riduzione della massa volumica che si consegue per lo "shotcrete" in opera è all'incirca del 5-7% rispetto a quella ottenibile dalla completa compattazione del conglomerato (ovviamente privato dell'additivo accelerante). Pertanto, l'abbattimento della resistenza a compressione a seguito di quest'effetto è stimabile all'incirca tra il 36 e il 45%. In definitiva, s'intuisce come sommando l'effetto del blocco dell'idratazione prodotto dall'accelerante a quello derivante dal ridotto grado di compattazione conseguente alla presa istantanea, **i betoncini spruzzati confezionati con additivi a base di silicati di sodio mostrino una penalizzazione della resistenza a compressione di circa il 50% rispetto**



a quella conseguibile da un impasto ben compattato di pari rapporto a/c in assenza di accelerante di presa. Per effetto di questa importante perdita di resistenza meccanica a compressione, i rivestimenti spruzzati realizzati con betoncini additivati con acceleranti di presa a base di silicato di sodio rivestono **nell'ambito della progettazione strutturale della galleria il ruolo di struttura provvisoria**, in quanto nel calcolo delle resistenze alla spinta delle rocce non si tiene conto del contributo da essi offerto. Per questo motivo, negli ultimi anni, la ricerca nel settore degli additivi per "spritz-beton" è stata orientata verso prodotti che fossero in grado di garantire una presa sufficientemente rapida per poter aderire sulle pareti dello scavo senza "sfrido" eccessivo di materiale, ma che, nel contempo, non pregiudicassero il naturale processo di idratazione del cemento in modo che in servizio il conglomerato possedesse resistenze meccaniche sufficienti per poter contribuire alla resistenza dell'intero rivestimento nei confronti della spinta esercitata dal terreno. Allo scopo, oggi sono disponibili **acceleranti di presa denominati *alkali-free*** (privi di alcali), costituiti da solfato di alluminio che consentono (Tabella 1) di confezionare impasti di calcestruzzo di sufficiente tixotropia, da aderire senza sfridi eccessivi alle pareti dello scavo, ma, soprattutto, se utilizzati in combinazione con fumo di silice e additivi superfluidificanti, consentono di ottenere rivestimenti spruzzati che posseggono prestazioni di poco discoste da quelle di un analogo impasto ben compattato e privo di additivo. Infatti, la resistenza in opera misurata su carote di betoncino (confezionato con additivi *alkali-free*) spruzzato contro le pareti della roccia risulta penalizzata di appena il 10% circa rispetto a quella del calcestruzzo privo di accelerante di presa (Tabella 1). Se si tiene conto che la riduzione di massa volumica del betoncino (con additivi *alkali-free*) spruzzato, rispetto all'analogo impasto senza additivo (messo in opera raggiungendo la massima compattazione) è di appena il 3%,



si intuisce come con questi acceleranti di presa *alkali-free*, grazie ad una presa relativamente più lenta rispetto a quella degli impasti con silicati, si riesca ad ottenere una struttura più chiusa caratterizzata da una minore porosità rispetto ai rivestimenti confezionati con silicato di sodio. Inoltre, questi additivi in combinazione con un superfluidificante, non solo non interferiscono negativamente sul processo di idratazione del cemento ma, al contrario, sembra che favoriscano una maggiore dispersione dei granuli di cemento e consentano di aumentare la frazione di cemento idratato tanto da compensare in parte la diminuzione di resistenza attesa sulla base della sola riduzione della massa volumica (Tabella 1).

Tabella 1 - Effetto degli acceleranti di presa sulla resistenza a compressione di calcestruzzi spruzzati (450 kg/m³ di cemento; 20 kg/m³ di fumo di silice; a/c = 0.42)

VARIAZIONI DI UN CALCESTRUZZO ADDITIVATO CON ACCELERANTE DI PRESA VS UNO STANDARD				
ADDITIVI ACCELERANTI	MASSA VOLUMICA	RESISTENZA A COMPRESIONE 28gg	RESISTENZA PER EFFETTO DELLA POROSITÀ	RESISTENZA PER EFFETTO DELL'AZIONE INIBENTE
SILICATO DI SODIO (12% vs massa del cemento)	- 6%	- 55%	- (36÷45) %	- (10÷19) %
SILICATO DI SODIO (8% vs massa del cemento)	- 5%	- 54%	- (30÷38) %	- (16÷24) %
ALKALI-FREE (7% vs massa del cemento)	- 3%	- 10%	- (18÷23) %	+ (8÷13) %

Resta da segnalare, tuttavia, come lo sviluppo delle resistenze a compressione nei primi minuti successivi all'applicazione del rivestimento risulta comunque più elevato negli impasti additivati con il silicato di sodio, ma già dopo 4 ore i valori di resistenza a compressione ottenibili con gli acceleranti a base di solfato di alluminio sono sostanzialmente identici a quelli conseguibili con gli acceleranti di presa tradizionali. Questo da un punto di vista pratico pone delle limitazioni all'impiego dei betoncini spruzzati con gli additivi *alkali-free* allorquando sulle pareti dello scavo sono presenti forti venute di acque che potrebbero dilavare il rivestimento appena proiettato; in questi casi particolari, gli acceleranti tradizionali a base di silicato di sodio si fanno ancora preferire a quelli a base di solfato di alluminio.



via della Vittorina, 60
06024 Gubbio (PG) - Italy
T +39 075 92401
F +39 075 9273965

www.colabeton.it
info@colabeton.it

