

# L'impermeabilizzazione di giunti in gallerie sottofalda

**Diletta TRALDI**

Specification Engineer – Basf, Treviso

**Mauro DEL FRANCESE**

Direttore Tecnico S.C.F. S.r.l. – Roma

## 1. Introduzione

Durante la realizzazione di un'opera in sotterraneo l'inatteso ingresso d'acqua, nonostante l'eventuale presenza di una preventiva impermeabilizzazione, o le condizioni scadenti dell'ammasso incassante potrebbero determinare un considerevole incremento di costi e produrre notevoli ritardi o addirittura inficiare la buona riuscita dell'opera. Per ovviare a tali inconvenienti si tende a impiegare dei metodi efficaci e veloci che possano restituire all'opera la funzionalità richiesta in breve tempo. Per questo motivo si fa sempre più uso della tecnologia delle iniezioni in galleria.

L'iniezione, cioè l'introduzione a una certa pressione di una miscela all'interno di un ammasso roccioso o di una struttura in calcestruzzo mira, a seconda della natura della miscela e in funzione del problema da affrontare, a riempire vuoti, fessure e porosità oppure a consolidare la matrice dell'ammasso incassante.

In genere, tramite l'impiego di resine poliuretaniche (mono e bicomponenti) e acriliche (mono e bicomponenti) si riesce a intervenire con successo nel tamponamento di venute d'acqua e stillicidi. Tramite l'utilizzo di resine organo-minerali (bicomponenti), resistenti al fuoco, si possono affrontare le situazioni più complesse quali il consolidamento e il riempimento di cavità. Infine, microcementi di puro clinker e miscele minerali a base di silice

colloidale sono particolarmente indicati per il trattamento di terreni a grana fine, permettendo una permeazione profonda anche se essi risultano caratterizzati da bassa permeabilità.

Oggi, grazie alla presenza di miscele ecocompatibili, tecnologicamente avanzate, versatili e, quindi, adattabili a ogni tipo di situazione, si sta affermando sempre di più una logica d'intervento che prevede l'impiego delle tecniche di iniezione che costituiscono un concreto aiuto nella realizzazione in sicurezza di opere in sotterraneo e apportano un notevole contributo alla riabilitazione di opere già esistenti.

## 2. La combinazione vincente di resine poliuretaniche e acriliche contro venute d'acqua e stillicidi

Durante la realizzazione di importanti opere spesso si è costretti a confrontarsi e scontrarsi con inaspettate venute d'acqua che tendono a mettere a dura prova la capacità di terminare i lavori nei tempi previsti e in totale sicurezza. In questi casi è determinante che l'applicatore, specializzato e già esperto nell'iniezione di resine, utilizzi quelle più idonee alla risoluzione del problema. Infatti, pur disponendo delle resine giuste si rischia di vanificare l'intervento adottando procedure di applicazione errate. Allo stes-



Fig. 1 – Venute a) resina poliuretaniche espandente idroreattiva; b) resina acrilica non espandente.

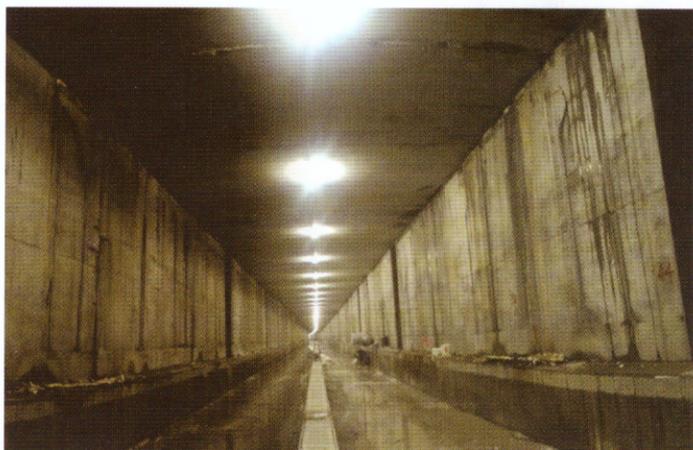


Fig. 2 - Situazione iniziale e giunti trasversali freddi con venute d'acqua.

so modo un applicatore esperto non potrà mai raggiungere l'obiettivo prefissato se è costretto ad impiegare un prodotto inidoneo. Di seguito si descrive un caso reale, emblematico di un metodo di intervento ormai ben sperimentato, effettuato dalla S.C.F. s.r.l. utilizzando resine BASF. Il metodo mostra come trattare i giunti di gallerie sottofalda in presenza di venute d'acqua e infiltrazioni diffuse, mediante l'iniezione di resine poliuretatiche e resine acriliche.

## 2.1. Problematica riscontrata e soluzione adottata

Spesso, in gallerie costruite sottofalda, seppur in presenza di un'impermeabilizzazione preventiva, è necessario intervenire puntualmente per risolvere definitivamente problemi di venute d'acqua e stitilicidi. Soprattutto in gallerie artificiali, in presenza di giunti freddi (senza aderenza), con waterstop all'interno, si rende necessario un intervento integrativo con resine poliuretatiche idroreattive e resine acriliche per la rifinitura delle sigillature.

In genere, nelle gallerie artificiali sottofalda, le aree con problemi di percolazione più o meno forte, tradizionalmente trattate sono le seguenti:

- giunti trasversali in soletta superiore (Figura 2)
- giunti longitudinali in parete tra soletta superiore e piedritti (Figura 3)

In genere, la scelta tipologica delle resine da adottare è prevista già in fase progettuale e la loro efficacia è poi testata con l'esecuzione di un campo prove. In tale occasione si ha modo di riscontrare l'adeguato funzionamento dei prodotti individuati per la risoluzione permanente del problema di impermeabilizzazione.

L'intervento riguardante la chiusura dell'acqua percolante dai giunti trasversali prevede dapprima l'iniezione di una resina poliuretatica monocomponente, espandente e idroreattiva (MEYCO MP 355 1K DW) e, successivamente, l'introduzione di una resina acrilica monocomponente (MEYCO MP 308) a finitura.

Nel caso di giunti particolarmente sottili e fessure poco aperte, come tipicamente si presentano i giunti longitudinali, si opta sovente per una resina poliuretatica monocomponente e meno espandente prima (MEYCO MP 350), per poi rifinire l'intervento sempre tramite l'impiego di una resina acrilica (MEYCO MP 308).



Fig. 3 - Situazione iniziale giunti longitudinali prima dell'intervento di iniezione.

La resina poliuretatica meno espandente è caratterizzata da una viscosità e da una reattività inferiori alle resine poliuretatiche ad elevata espansione, questo permette ad essa di infiltrarsi anche nelle fessure più sottili, inferiori a 0,05 mm, e sigillare perfettamente il giunto espandendo a contatto con l'acqua.

Di solito, per ottimizzare i costi si interviene in primo luogo con il riempimento delle fessure tramite una resina poliuretatica monocomponente più o meno espandente e, successivamente, si rifinisce l'intervento con l'iniezione di una resina acrilica. La resina poliuretatica, più o meno espandente, viene scelta in funzione dell'apertura delle fessure e viene utilizzata per intasare il vuoto presente tra le strutture in calcestruzzo. La conseguente resina acrilica, capace di permeare, vista la sua bassa viscosità, nelle zo-



Fig. 4 - Cassaforma impiegata per la sigillatura dei giunti trasversali e l'iniezione.



Fig. 5 - Situazione di un giunto pre-intervento, con cassaforma già inserita.

ne eventualmente non raggiunte dalla prima passata e in tutte le microporosità presenti sulla superficie delle resine poliuretatiche già reagite, crea una cortina totalmente impermeabile e permanente nel tempo.

### 2.1.1.1. Dettagli dei singoli interventi di iniezione

#### A) Giunti trasversali in soletta superiore

Per la sigillatura dei giunti trasversali, si impiega una cassaforma predisposta con dei fori da cui si inietta, tramite l'inserimento di cannette di iniezione, in prima passata la resina poliuretatica monocomponente espandente e idroreattiva e, in seconda passata, la resina acrilica monocomponente.

Le fasi di realizzazione sono le seguenti:

- FASE 1: pulizia profonda delle pareti del giunto.
- FASE 2: posa in opera di un profilato in lamiera zincata (Figura 4) con funzione di cassero per le successive fasi di iniezione. Tale profilato è predisposto con dei fori posizionati a distanze studiate ad hoc per ogni singolo intervento (in genere un foro da 1/2" ogni 2m), per l'iniezione della resina poliuretatica idroreattiva espandente, e con packer a vite (ad esempio, ogni 0,5m) per l'iniezione di seconda fase della resina acrilica di rifinitura.
- FASE 3: esecuzione dell'iniezione della resina poliuretatica espandente a bassa pressione. A monte della linea di adduzione è sempre installato un manometro che visualizza la pressione a boccaforo.
- FASE 4: iniezione della resina acrilica attraverso i packer a vite preassemblati sul profilato metallico. Anche in questo caso la pressione a boccaforo viene misurata attraverso un manometro posto a monte della linea di adduzione.

Qui di seguito si riportano alcune immagini esplicative delle tipiche condizioni dei giunti trasversali prima, durante e dopo l'intervento (Figura 5-6-7).

B) Giunti longitudinali in parete tra soletta superiore e piedritti  
Per la sigillatura dei giunti longitudinali, tra piedritto e soletta di



Fig. 6 - Situazione del giunto durante l'intervento di iniezione.

copertura, si impiega dapprima la resina poliuretatica monocomponente poco espandente, vista l'inferiore apertura del giunto longitudinale rispetto al giunto trasversale, e successivamente la resina acrilica monocomponente a finitura.

Si considera sempre un'inclinazione dei fori di circa 45° e una lunghezza pari a  $\frac{3}{4}$  lo spessore della struttura, in modo tale da intercettare il giunto tra parete e soletta ed assicurare il suo totale riempimento (Figura 8). All'interno dei fori sono poi installati dei packer troncoconici in poliammide con valvola di non ritorno.

Durante l'iniezione della resina poliuretatica monocomponente e poco espandente (fattore di espansione pari a 2-3 volte il volume iniziale), è importante che le pressioni misurate a boccaforo si attestino intorno a 2-3 bar per consentire una buona permeazione nelle micro fessure presenti nel giunto. Nella fase successiva d'iniezione della resina acrilica di finitura, attraverso le stesse valvole da cui viene iniettata la poliuretatica, le pressioni a boccaforo saranno



Fig. 7 - Situazione del giunto ad intervento concluso.

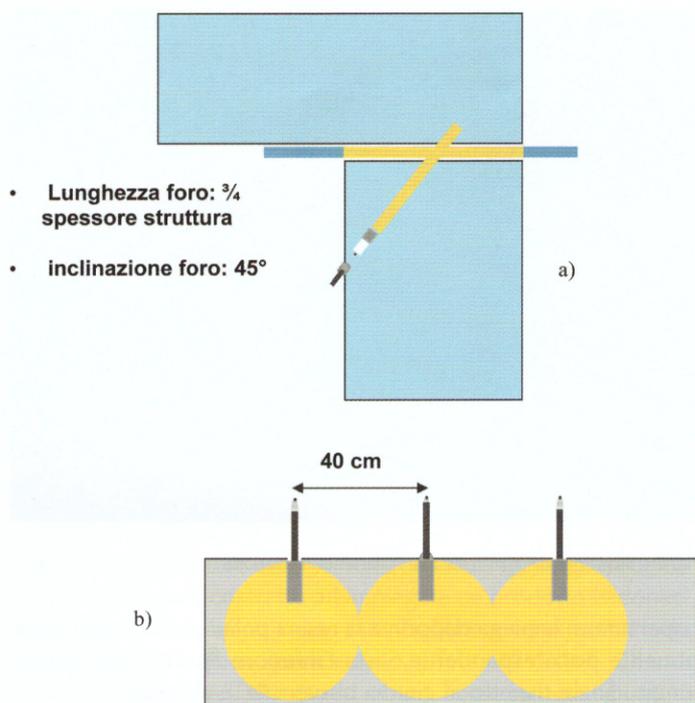


Fig. 8 - a) Sezione trasversale del trattamento del giunto tra parete e soletta superiore; b) sezione longitudinale del giunto tra parete e soletta superiore.

di poco più elevate rispetto a quelle riscontrate durante l'iniezione della prima passata. Quindi, anche in seconda passata si assicura una permeazione della resina acrilica nei vuoti non raggiunti dalla resina poliuretanica e la creazione di una cortina impermeabile e permanente intorno alla resina poliuretanica reagita.

### 2.1.2. Certificati e test sul sistema resina-calcestruzzo

Affinché l'intervento tradizionalmente proposto per la risoluzione di problemi di infiltrazione d'acqua in strutture sottofalda fosse



Fig. 9 - Tipica attrezzatura di iniezione utilizzata per monocomponenti poliuretaniche e acriliche.



Fig. 10 - Situazione di un giunto longitudinale prima e dopo l'intervento di iniezione con resina poliuretanica a bassa espansione e resina acrilica di rifinitura.



Fig. 11 - Campioni cilindrici da iniettare con resine e sottoporre a prova di permeabilità (DIN 18130) prima e dopo cicli di invecchiamento.

accettato e validato si è ritenuto opportuno eseguire alcune prove di laboratorio per testare il comportamento e le caratteristiche delle resine sottoposte a stress termici e meccanici.

In laboratorio, sono stati confezionati una serie di campioni di calcestruzzo cilindrici e cubici (cemento, aggregati e additivo) allo scopo di produrre un numero minimo di campioni su cui eseguire le iniezioni con i prodotti impiegati per sigillare le infiltrazioni di acqua in situ.

I campioni cilindrici, da sottoporre a prove di permeabilità (secondo DIN 18130), avevano un diametro e un'altezza pari a 10cm. Inoltre, sono stati confezionati in numero doppio in modo da poterli sottoporre a test, prima e dopo i cicli di invecchiamento. Una volta completato il periodo di maturazione del calcestruzzo, si sono create meccanicamente delle linee di frattura di spessore millimetrico (per simulare i giunti longitudinali) e centimetrico (per simulare i giunti trasversali) attraverso le quali sono state iniettate le miscele previste impiegando la medesima apparecchiatura utilizzata di solito in situ, come ben testimoniato nelle successive fotografie (Figure 11-12-13).



Fig. 12 - Campioni cilindrici iniettati rispettivamente con resina poliuretanic a elevata espansione MEYCO MP 355 1K DW + resina acrilica MEYCO MP 308 e resina poliuretanic a bassa espansione + resina acrilica MEYCO MP 308.

I campioni cilindrici sono stati sottoposti a prove di permeabilità in cella triassiale utilizzando una pressione di confinamento di 100 kPa e un gradiente idraulico di flusso pari a 30, 50 e 100. Al fine di conoscere la permeabilità del calcestruzzo utilizzato, sono state eseguite appositamente delle prove su campioni non fessurati, riscontrando una permeabilità media di  $1,25 \cdot 10^{-9}$  cm/s.

Il medesimo test è stato eseguito sulle altre due serie di campioni sigillati con le varie resine di iniezione succitate, con i seguenti risultati medi:

- a) CALCESTRUZZO/GIUNTO MILLIMETRICO con poliuretanic a poco espandente + acrilica =  $2,55 \cdot 10^{-9}$  cm/s.
- b) CALCESTRUZZO/GIUNTO CENTIMETRICO con poliuretanic a elevata espansione + acrilica =  $3,89 \cdot 10^{-9}$  cm/s.



Fig. 13 - Campioni cilindrici iniettati e pronti per essere sottoposti a prova di permeabilità DIN 18130.

Su altri due cilindri per ogni serie in prova sono state eseguite prove di invecchiamento che prevedevano l'esecuzione di un ciclo di 12 ore di immersione in acqua potabile a  $+20^\circ\text{C}$  seguito da 12 ore di raffreddamento in aria a  $+0^\circ\text{C}$ . Questo ciclo è stato ripetuto per 24 volte e al termine del test i cilindri sono stati sottoposti a nuove prove di permeabilità che hanno dato il seguente esito:

- a) CALCESTRUZZO/GIUNTO MILLIMETRICO con poliuretanic a poco espandente + acrilica =  $2,55 \cdot 10^{-9}$  cm/s (campione S) e  $2,04 \cdot 10^{-9}$  cm/s (campione Z).
- b) CALCESTRUZZO / GIUNTO CENTIMETRICO con poliuretanic a elevata espansione + acrilica =  $2,16 \cdot 10^{-9}$  cm/s (campione W) e  $3,81 \cdot 10^{-9}$  cm/s (campione Y).

I risultati ottenuti evidenziano che, nonostante i cicli di invecchiamento subiti, i valori di permeabilità delle diverse tipologie di resine testate non risentono in modo apprezzabile delle condizioni ambientali al contorno. La resina, quindi, può essere considerata

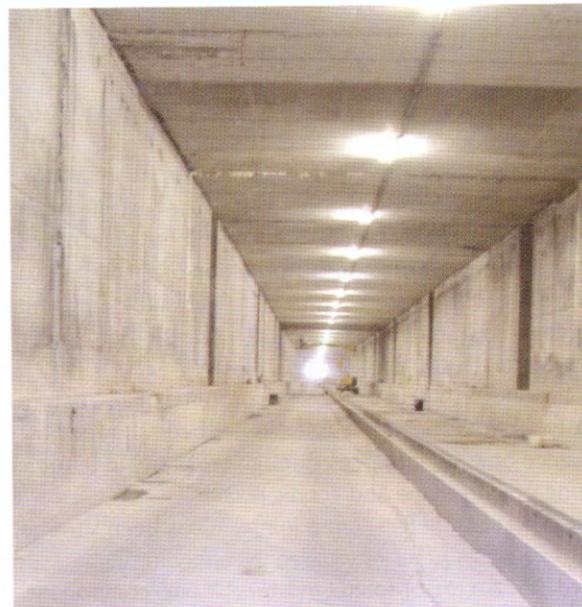
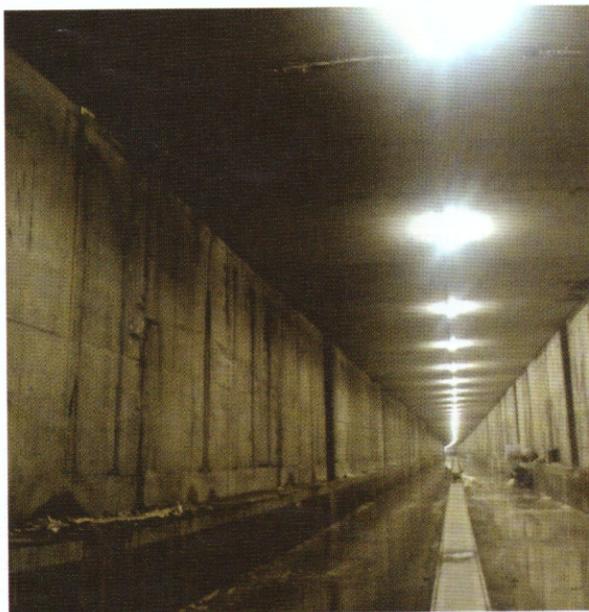


Fig. 14 - Situazione di una galleria artificiale sottofalda prima e dopo l'intervento d'iniezione nei giunti con resine poliuretanic e acriliche in combinazione.

tendenzialmente inerte, nonostante una fisiologica riduzione delle prestazioni, dovuta a un suo assestamento in risposta agli stress termici subiti. Si rileva, inoltre, che i valori di permeabilità delle resine invecchiate sono rimasti comunque superiori a quelli del solo calcestruzzo non fratturato. Se fossero scesi al di sotto della soglia di impermeabilità del calcestruzzo la zona di iniezione delle resine avrebbe rappresentato un punto di debolezza nel sistema, invece, nel caso esaminato l'intero sistema può definirsi effettivamente impermeabile.

### 3. Conclusioni

L'intervento appena descritto, eseguito dalla S.C.F. srl di Roma è consistito nell'iniezione di resine poliuretaniche e acriliche, della BASF C.C. Italia SpA, finalizzate all'impermeabilizzazione dei giunti longitudinali e trasversali dei conci di una galleria artificiale sottomalda. Gli esiti positivi del trattamento proposto sono emblematici

di quanto sia determinante l'impiego di prodotti di qualità, e adeguati allo scopo da perseguire, e di quanto altrettanto importante sia la gestione della fase di iniezione da parte di personale esperto e specializzato.

I prodotti da iniezione in genere, quali miscele minerali (nanosilice colloidale), resine poliuretaniche, organo-minerali e acriliche, sono da considerarsi delle vere e proprie tecnologie, le quali necessitano di uno studio preliminare approfondito in funzione della problematica da affrontare. In particolare, un aspetto delicato e talvolta trascurato è l'importanza della progettazione di dettaglio dell'intervento, che solitamente prevede lo studio di una definita maglia di iniezione (spaziatura e lunghezza dei fori) e di prescrizioni dettagliate sulla modalità di posa in opera. L'elevata modulabilità di miscele da iniezione, quali quelle descritte nel presente articolo, è un fattore importante, la cui gestione determina spesso la riuscita o meno dell'intervento, ed è anch'esso un elemento fondamentale da considerare nella progettazione dell'intervento completo.

## Summary of:

# The joints waterproofing in tunnels under watertable

**D. TRALDI**

Specifications Engineer – Basf, Treviso

**M. DEL FRANCESE**

Direttore Tecnico S.C.F. S.r.l. – Roma

During the construction of an underground structure if unexpected water ingress occurs, it can affect the success of the work and this often means also significant increases in costs and in production delays. To avoid this is possible to use fast methods to restore the required tunnel functionality in a short time: resins injection. The injection, it means the introduction of a mixture to a certain pressure in fractures inside a rock mass or inside a concrete structure, is typically designed to fill voids, cracks and porosity or to strengthen the matrix of a rock mass.

In this paper the refurbishment of the waterproofing of a structure below the water table has been discussed. It has been showed how to act in presence of water ingresses through cross and longitudinal joints, using polyurethane and acrylic resins.

For joints open few centimeters (cross joints) it has been showed a method with injection of a one-component polyurethane resin with a high volume factor of foam, and then a one-component, non-foaming, acrylic resin to finish the job and to make permanent the sealing.

For joints open few millimeters (longitudinal joints) it has been described a method with injection of a one-component polyurethane resin, with a low foam factor, in combination with a one-component acrylic resin that doesn't foam.

To deeply support the method it was decided to carry out some laboratory trials to test the permeability of the system resin-concrete and we got excellent results, since the permeability of the system, after 24 stress thermal cycles, is never below the permeability of the plain concrete. It means that the weakest point is still the concrete.

Moreover, it's important to underline that the injection technology needs the synergy of an experienced applicator and a good resin. If we have the best resin to solve a problem and its injection hasn't made properly the problem will not be solved at all. On the other hand, if we have an experienced applicator that has to inject the wrong product the same we will not reach the goal. Besides, it's also really important the full design of the injection (e.g. injection patterns and pump pressure) and the full understanding of the resin behavior.