

# RESINE ESPANDENTI PER MURI DI SOSTEGNO IN PIENA SICUREZZA

**IL CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO CON RESINE ESPANDENTI MEDIANTE IL SISTEMA DI INIEZIONE URETEK MULTIPOINT® PER UN VIADOTTO NEL DIPARTIMENTO FRANCESE DELL'ALTA LOIRA**

**S**i presenta qui un esempio di incremento della coesione efficace del terreno alla base di una strada di fondovalle a tergo di alcuni muri di sostegno e in corrispondenza delle spalle di due ponti in muratura, al fine di garantire la sicurezza durante il passaggio sulla carreggiata di un convoglio eccezionale per il trasporto di un cavalcavia ferroviario prefabbricato di peso complessivo pari 5.000 kN. La Società SNCF Réseau - Agence Projets Alpes Auvergne - Pôle Direction d'Operations, responsabile della manutenzione della linea ferroviaria 720 tra Aurillac e Arvant, ha infatti incaricato l'Impresa BTPS Atlantique dell'esecuzione del progetto di smontaggio e sostituzione di un vecchio cavalcavia ferroviario che sovrappassava la strada di fondovalle RD 909, detta Rue des Gorges de l'Alagnon, nei pressi di Chambezon (43) in Francia. La soluzione progettuale doveva limitare il tempo di chiusura della linea ferroviaria e della sottostante RD 909 lo stretto necessario per permettere lo smontaggio del cavalcavia esi-

stente in acciaio e la successiva messa in opera di un nuovo manufatto in calcestruzzo prefabbricato.

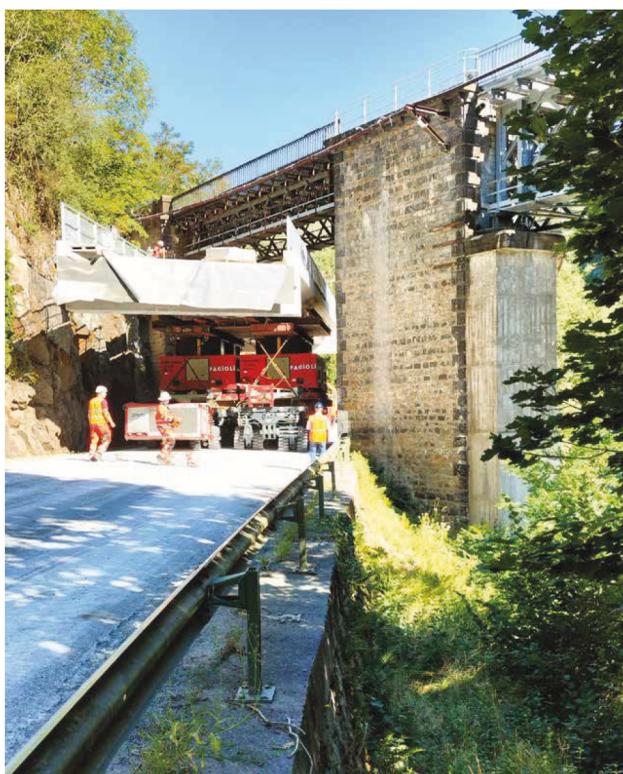
L'Impresa italiana Fagioli è stata incaricata del trasporto e del sollevamento del cavalcavia a 13 m di altezza.

Il nuovo manufatto in calcestruzzo è stato realizzato prospiciente il campo base su un'area lungo la strada di fondovalle che dista circa 1 km dal viadotto esistente. Successivamente, il prodotto è stato trasportato lungo la RD 909 dal punto di prefabbricazione alla linea ferroviaria per mezzo di un treno tipo SPMT del peso complessivo di 500 t.

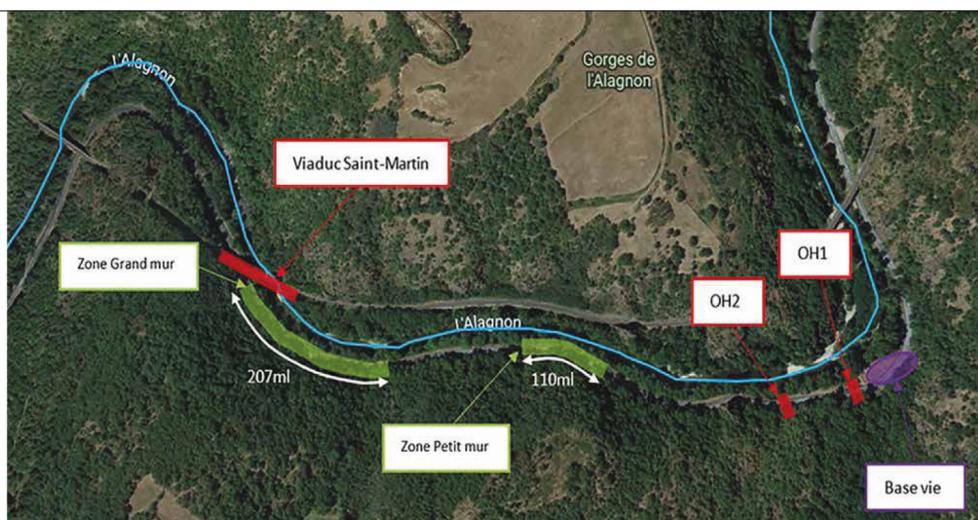
L'intero percorso è stato percorso in circa 4 ore.

Lungo il percorso, la strada presenta due tratti sorretti da muri di contenimento in pietra (tratti evidenziati in verde nella planimetria). Il primo si trova a circa 350 m circa dall'area di prefabbricazione e si sviluppa su un tratto di 110 m; il secondo si trova a 620 m dallo stesso e si sviluppa per 207 m.

I muri di sostegno lungo i due tratti di strada hanno altezza va-



1. Il passaggio del nuovo manufatto in calcestruzzo su terreno stradale rinforzato attraverso iniezioni di resina espandente



2. Il tratto di strada rinforzata

riabile tra 1,20 m e 4,50 m e in parte si trovano fondati in prossimità del corso d'acqua di fondovalle.

Inoltre, sullo stesso tratto, la strada attraversa due opere idrauliche ad arco realizzate con blocchi di pietra che consentono il deflusso dell'acqua proveniente dalle pendici del monte.

In vista dell'incremento delle azioni orizzontali sulle opere di contenimento dovuto ai sovraccarichi generati al passaggio del convoglio, la Società BTPS Atlantique ha eseguito delle verifiche tecniche preliminari dalle quali è emersa la necessità di intervenire con opere di rinforzo preventivo sia dei muri di contenimento che delle spalle dei ponti ad arco.

### L'INTERVENTO DI URETEK

L'appalto per l'esecuzione delle opere è stato affidato a Urettek® che ha proposto di rinforzare il terreno alla base della RD 909 al fine di ridurre le spinte orizzontali evitando qualsiasi opera strutturale sui manufatti di contenimento esistenti.

Diversamente da quanto prescritto in fase preliminare, non si è quindi intervenuti aumentando la resistenza strutturale delle

nervature metalliche.

L'opera di rinforzo del terreno è stata completata in 17 giorni, dal 5 al 23 Luglio 2022, e ha visto l'impiego di tre squadre di intervento. Durante il corso dei lavori, la circolazione sulla strada è stata garantita in regime alternato.

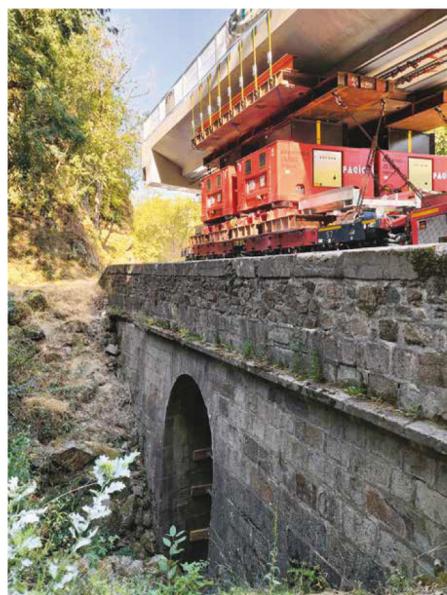
Il trasporto del nuovo cavalcavia è avvenuto la mattina del 1° Agosto dalle ore 9.00 alle 12.00. Ogni squadra operativa era costituita da cinque persone ed era dotata di un camion atelier completamente autonomo e attrezzato con quanto necessario ad eseguire l'opera. Il cantiere è stato organizzato portando al finito dapprima la corsia di monte e successivamente quella di valle in modo da limitare gli spostamenti della segnaletica stradale.

### LA GEOLOGIA DEL SITO

La stratigrafia del sito è stata ricavata dai risultati dell'indagine geotecnica e da una successiva campagna di perforazioni a distruzione. Alla base del pacchetto stradale, di spessore variabile da 50 a 70 cm, è stata rinvenuta la presenza di un



3. Un dettaglio tratto della carreggiata rinforzata



4. Il rinforzo sui muri di contenimento e sulle spalle dei ponti ad arco



5. L'intervento Urettek® ha garantito una circolazione sulla strada in regime alternato

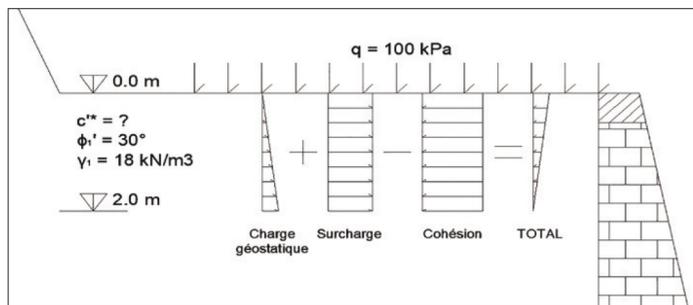
livello di terreno sciolto di spessore medio pari a 2,00/2,50 m formato da materiale debolmente coeso. Successivamente, a partire da 2,50/3,00 m circa da p.c., vi è la presenza di blocchi di roccia di medio/grandi dimensioni incastrati tra loro in una matrice coesiva più o meno omogenea.

LIVELLO	TIPO DI TERRENO	SPESSORE MEDIO DELLO STRATO [m]	C' [kPa]	φ' [°]
1	Terreno granulare	0,0-2,0	0	30
2	Blocchi di roccia incastrati tra loro in matrice coesiva	2,0-4,5	5	42

6. Il modello geotecnico di riferimento

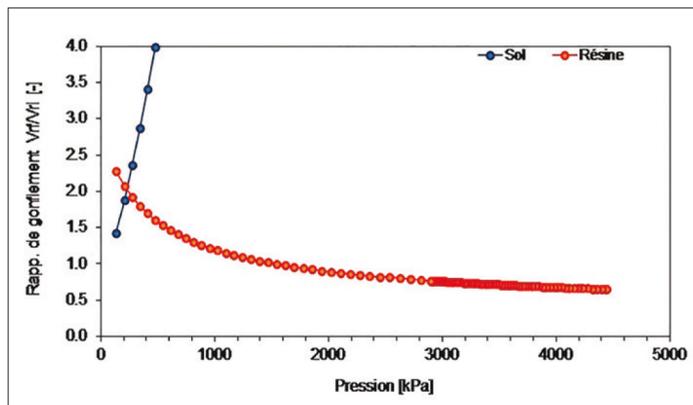
### GLI OBIETTIVI DELL'INTERVENTO

Il valore target di coesione efficace del primo strato è stato individuato imponendo nulla la spinta orizzontale del terreno fino alla profondità di 2,00 m da p.c. in condizioni di sovraccarico massimo.



7. La pressione orizzontale netta sulla muratura nell'intervallo 0,00/-2,00 m a seguito del trattamento del terreno

La sezione di riferimento dell'opera di contenimento ha un'altezza pari a m 4,50 e sostiene uno strato di terreno sciolto di spessore pari a 2,00 m seguito da un substrato costituito da blocchi incastrati in matrice coesiva.



8. Il punto di equilibrio tra la pressione di rigonfiamento della resina e la pressione di confinamento del terreno

Il sovraccarico generato dal convoglio è stato stimato in 100 kPa. La coesione target rappresenta pertanto il valore di coesione efficace del primo strato di terreno per il quale la spinta orizzontale generata dal passaggio del convoglio rimane nulla sull'altezza critica  $H_c = 2,0$  m.

Assegnando al terreno del primo livello la coesione target di cui all'equazione (coesione efficace target)

$$c^{**} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{K_a} \cdot (q + \gamma_1 \cdot H_c) = 39 \text{ kPa} \quad (1)$$

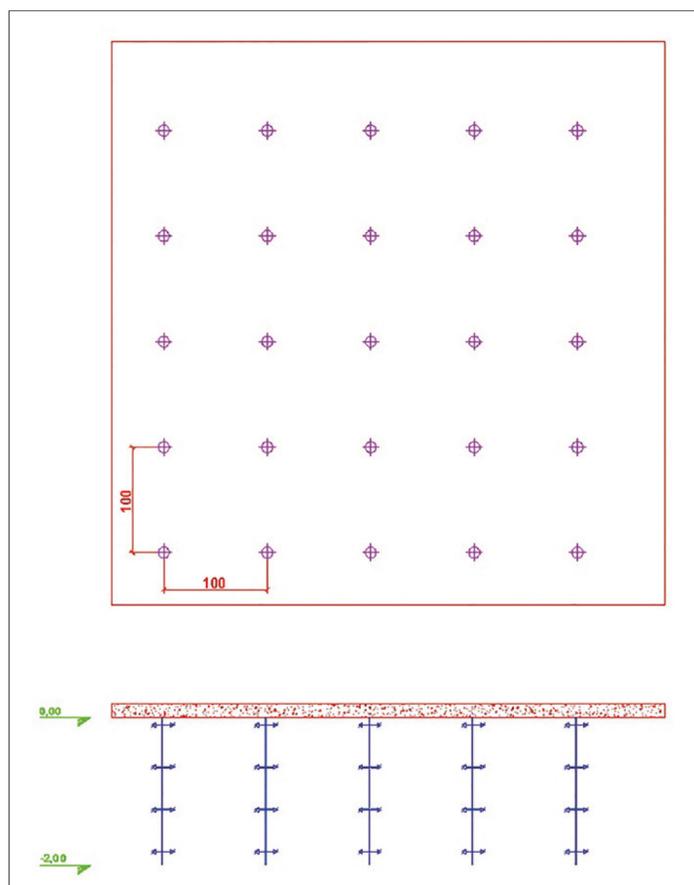
veniva garantita la stabilità dell'opera di contenimento anche in presenza di sovraccarico eccezionale.

Il progetto ha previsto pertanto il consolidamento del solo livello di terreno presente tra le quote -0,70 e -2,5 m circa da p.c..

### IL DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO

Il sistema di iniezione, il tipo di resina espandente e la maglia di trattamento necessari per l'ottenimento della coesione target sono stati valutati attraverso un modello di calcolo sviluppato con Urettek SIMS 2.0.

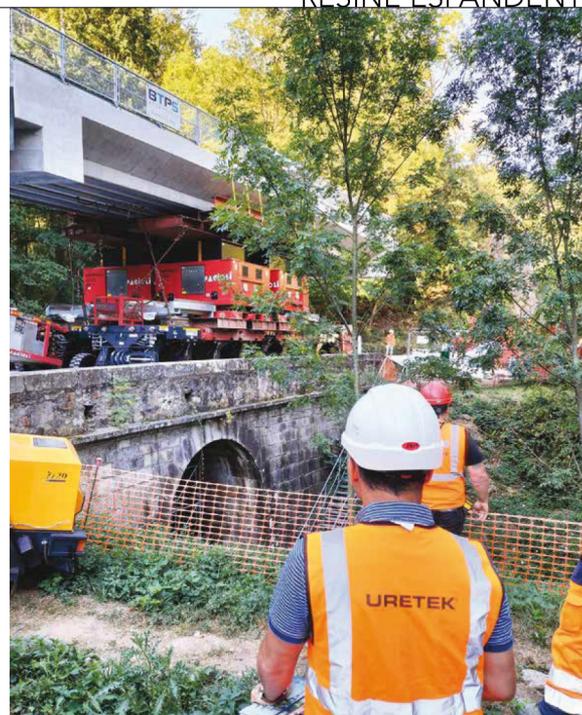
Il software di calcolo è basato sulla teoria dell'espansione di una cavità cilindrica e permette di valutare sulla singola verticale di iniezione l'equilibrio tra il grado di espansione del materiale iniettato e lo stato di tensione del terreno circostante [1]. La coesione efficace del terreno trattato è determinata successivamente attraverso la quantità di resina necessaria a raggiungere detto equilibrio e il suo grado di espansione post-



9. La maglia d'iniezione utilizzata



10. Il passaggio del manufatto sulla zona trattata con iniezioni di resina espandente



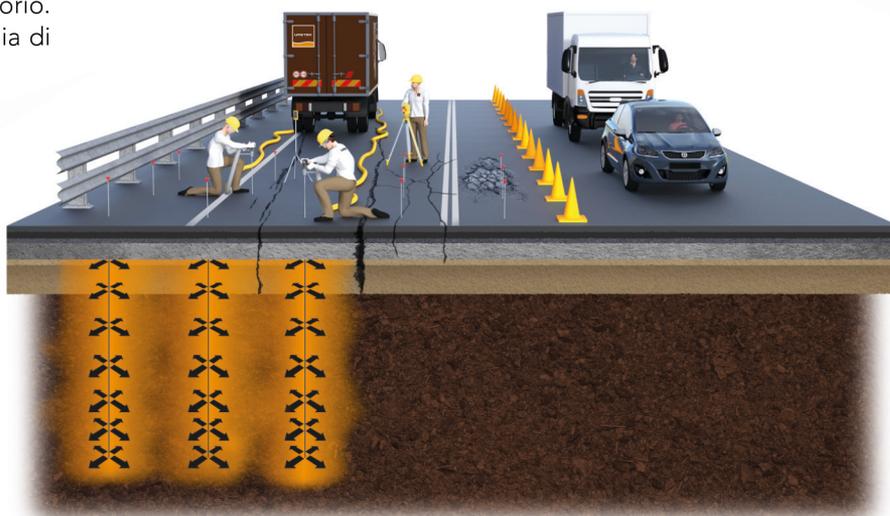
11. Il passaggio del manufatto sul ponte con iniezioni di resina Uretek

iniezione attraverso dei riferimenti di laboratorio. Nel caso in esame è stata definita una maglia di iniezione quadrata di lato 1x1 m, un sistema di iniezione tipo Uretek Multipoint® nell'intervallo -0,70 m/-2,50 m da p.c. e comunque fino al tetto dei blocchi di roccia ed una resina tipo Uretek Geoplus 2443 che permette un'azione efficace nel terreno ed evita sollevamenti indesiderati della superficie stradale. La coesione efficace risultante dal modello attraverso i parametri di iniezione di cui sopra è pari a  $c' = 48$  kPa, superiore al valore target.

## I CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

Nel corso dei lavori di iniezione sono stati eseguiti i seguenti controlli sistematici:

- profondità dello strato da iniettare. Ciascuna perforazione è stata spinta in profondità fino ad intercettare la testa dei blocchi di roccia costituenti il secondo strato. La profondità di trattamento è stata quindi adattata in funzione dei risultati dei sondaggi;
- spostamenti dei muri in fase di iniezione: durante le operazioni di iniezione si è provveduto al monitoraggio degli spostamenti dei muri di contenimento mediante bande estensimetriche e monitoraggio topografico;
- sollevamento della superficie stradale: in corso d'opera si sono eseguite delle livellazioni laser in continuo per prevenire eventuali spostamenti verticali della superficie stradale;
- verifica dell'obiettivo: l'obiettivo dell'intervento è stato definito in contraddittorio con il Committente e associato al



12. Il consolidamento terreno della carreggiata stradale

valore di resistenza penetrometrica  $N_{10} = 17$ . Al procedere dei lavori, lungo la strada sono state eseguite 28 prove penetrometriche dinamiche di controllo che hanno permesso di validare i risultati sull'intero percorso. ■

<sup>(1)</sup> Ingegnere Geotecnico, Technical Manager Uretek Group

## Bibliografia

- [1]. A. Dominijanni, M. Manassero - "Guida alla progettazione", Mc Grow Hill, 2014.