



Cantieri

## Consolidamento del sottofondo della rete tramviaria di Milano

*Una soluzione, proposta da Uretek, rapida e meno invasiva rispetto ai metodi tradizionali: adatta per risolvere i problemi di cedimento del sottofondo senza interrompere i servizi o causare disagi prolungati alla viabilità urbana*

Negli ultimi anni, alcune zone della rete tramviaria di Milano hanno registrato un aumento nelle oscillazioni e nei movimenti delle rotaie, specialmente sotto l'effetto del traffico e delle condizioni climatiche. L'infiltrazione dell'acqua piovana ha poi contribuito al dilavamento del sottofondo, provo-

cando visibili danni all'asfalto. Per risolvere la problematica, l'intervento tradizionale di manutenzione avrebbe comportato la sostituzione del ballast. L'alternativa a questo processo lungo e costoso, scelta da ATM, è il consolidamento con iniezioni di resine.

**Ing. Mauro Lagalante**  
Business Development  
Manager Uretek Italia

**Materiali&Tecnologie**



**Iniezione della resina e monitoraggio del principio di sollevamento della rotaia.**

### **Le iniezioni di resine per ripristinare la planarità dei binari**

Il consolidamento dei binari tramviari mediante iniezioni di resine rappresenta una soluzione rapida e meno invasiva rispetto ai metodi tradizionali, particolarmente adatta per risolvere i problemi di cedimento del sottofondo senza interrompere i servizi o causare disagi prolungati alla viabilità urbana. Tradizionalmente, per risolvere il problema del cedimento, si sarebbe ricorsi alla rimozione dell'asfalto danneggiato e degli strati sottostanti, con l'obiettivo di raggiungere le traverse e il ballast. In un ambiente come Milano, ad alto traffico e densamente urbanizzato, la gestione di questi lavori sarebbe risultata particolarmente critica. La soluzione individuata

Per risolvere la problematica sulla rete tramviaria milanese è stato previsto l'utilizzo di resine poliuretatiche, che sono in grado di agire senza l'impiego di scavi invasivi. Questo approccio innovati-

vo prevede l'esecuzione di piccoli fori nell'asfalto, in corrispondenza delle traverse, attraverso i quali vengono inserite cannule sottili che arrivano fino al livello del terreno da consolidare. In questo modo, si inietta una resina a bassa pressione che, grazie alla sua natura tissotropica, penetra nel terreno riempiendo cavità e spazi intergranulari, compattando il materiale sciolto. La resina polimerizza rapidamente, stabilizzando il sottofondo e mettendo in sicurezza l'infrastruttura.

In poche ore, il problema è risolto. Uno degli aspetti innovativi di questa soluzione è la sua rapidità. L'intervento può essere completato in poche ore, senza bisogno di bloccare il traffico tramviario per lunghi periodi e riducendo quindi i disagi. Inoltre, l'effetto delle resine è immediato, portando a una riduzione delle vibrazioni e a un miglioramento della stabilità del sottofondo, con conseguenti benefici sia in termini di comfort per i passeggeri che di durata delle infrastrutture.



### Caso Studio: piazza Caneva a Milano

Il consolidamento del sottofondo tramviario è cominciato in piazza Caneva, una zona con gravi segni di degrado nelle strutture. L'intervento ha riguardato 32 traversine lungo un tratto di 11 metri. I lavori sono stati svolti durante le ore notturne per ridurre al minimo le interruzioni del servizio.

Dopo l'intervento, è stato possibile osservare una significativa diminuzione delle vibrazioni, con un abbattimento del 88% rispetto alla situazione precedente. Le rotaie sono risultate, inoltre, perfettamente allineate, con un movimento massimo di soli due millimetri delle traverse. Un miglioramento che ha avuto effetti positivi sia sulla stabilità della struttura sia sull'esperienza di viaggio dei passeggeri, che hanno potuto usufruire di un percorso più silenzioso e confortevole.

### I monitoraggi con laser, calibro ferroviario e velocimetro

Un elemento fondamentale del lavoro è stato il monitoraggio in tempo reale del sollevamento dei binari durante l'iniezione della resina. Attraverso un sistema di monitoraggio laser è stato possibile garantire che i binari si sollevassero in modo uniforme mantenendo i sollevamenti sotto le tolleranze di sicurezza. Al termine dell'intervento, i sollevamenti massimi registrati sono stati di circa due millimetri: un risultato che ha permesso di riportare le rotaie alla quota desiderata senza alterare la geometria del binario. Controlli con calibro ferroviario hanno confermato che lo scartamento era rimasto invariato.

Per valutare l'efficacia del consolidamento, sono stati eseguiti monitoraggi vibrometrici prima e dopo l'intervento. I sensori applicati alle rotaie hanno misurato la velocità delle vibrazioni causate dal passaggio di tram e veicoli. I risultati hanno evidenziato una significativa riduzione delle vibrazioni: sul binario più danneggiato, la velocità di vibrazione è diminuita dell'88%, mentre sul binario



già in buone condizioni si è registrata una riduzione del 25%. Questo miglioramento non solo indica un consolidamento efficace del sottofondo, ma contribuisce anche a ridurre la rumorosità e le sollecitazioni dinamiche, aumentando il comfort per i passeggeri e la durata dell'infrastruttura tramviaria.

**Immagine in alto, il camion attrezzato Uretex.**

**Qui sopra, l'intervento di consolidamento con iniezioni di resine.**

### Una soluzione più sostenibile

Questo approccio non solo riduce i costi e i tempi di intervento, ma contribuisce anche a migliorare la sostenibilità dei lavori di manutenzione delle strade e delle infrastrutture, poiché non richiede scavi e non produce rifiuti.

Inoltre, il consolidamento tramite resine poliuretatiche ha un impatto positivo sulla longevità delle infrastrutture tramviarie. Le rotaie, supportate da un sottofondo stabile, tendono a subire meno danni nel tempo, riducendo la necessità di frequenti interventi di manutenzione e prolungando la vita utile delle rotaie stesse. ■■