

L'intervento sulla S.P. 58 "Val di Scalve"

Consolidamento del sottofondo stradale con resine poliuretaniche espandenti della S.P. 58 in Val di Scalve (BG): un approccio geotecnico integrato per ripristinare la portanza dei sottofondi stradali e prolungare la vita utile delle pavimentazioni

Una delle sfide prioritarie per la gestione del patrimonio infrastrutturale italiano è quella di garantire l'efficienza e la sicurezza della rete stradale. Se l'attenzione dei media e dei piani di investimento si concentra spesso sulle grandi arterie autostradali, la vera ossatura capillare del Paese è costituita dalla rete delle strade provinciali. Con oltre 130.000 chilometri gestiti, la rete viaria provinciale costituisce l'80% delle strade extraurbane del Paese. Tuttavia, anni di sotto-investimenti e l'incidenza sempre maggiore di tratti a rischio idrogeologico hanno generato un importante deficit manutentivo.

Quando si parla di degrado stradale, la tendenza comune è quella di limitarsi all'analisi degli strati

superficiali usurati - ormaie, cavillature, buche e deformazioni dell'asfalto - intervenendo con risanamenti del manto d'usura che spesso si rivelano semplici palliativi temporanei. La realtà è spesso più complessa: l'ammaloramento visibile in superficie è quasi sempre il sintomo di un dissesto che affonda le sue radici più in basso.

Problemi di saturazione idrica, dilavamento dei fini, deficit di portanza e cedimenti differenziali nelle fondazioni della sovrastruttura - sia che l'opera si sviluppi in rilevato, sia che corra a mezza costa - compromettono la capacità portante del sistema terra-pavimentazione. Senza un intervento al di sotto della quota di fondazione, il rifacimento degli strati superficiali è destinato a falli-

Ing. Mauro Lagalante
Business Development
Manager di Uretek Italia

Ing. Simone Pavan
Technical Department
di Uretek Group

Area intervento
S.P. 58 Val Di Scalve.





re in poco tempo sotto i cicli di carico del traffico se non si adottano le giuste contromisure. Questo aspetto sta diventando sempre più importante in un contesto in cui si aggiunge negli ultimi tempi una nuova incognita: il forte aumento del prezzo del bitume, collegato alla complessa situazione geopolitica internazionale.

In questo scenario di necessaria ottimizzazione delle risorse e di efficienza tecnica, Urettek sfrutta la propria competenza nel consolidamento dei terreni di fondazione mediante l'utilizzo di resine espandenti. Questo approccio innovativo, rapido e a basso impatto sulla circolazione stradale, consente di stabilizzare e migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione, nel volume di terreno interessato dai carichi derivanti dalla circolazione. Di seguito viene analizzato il caso studio relativo all'intervento di manutenzione condotto lungo diversi tratti della SP 58, in Val di Scalve (BG).

Inquadramento

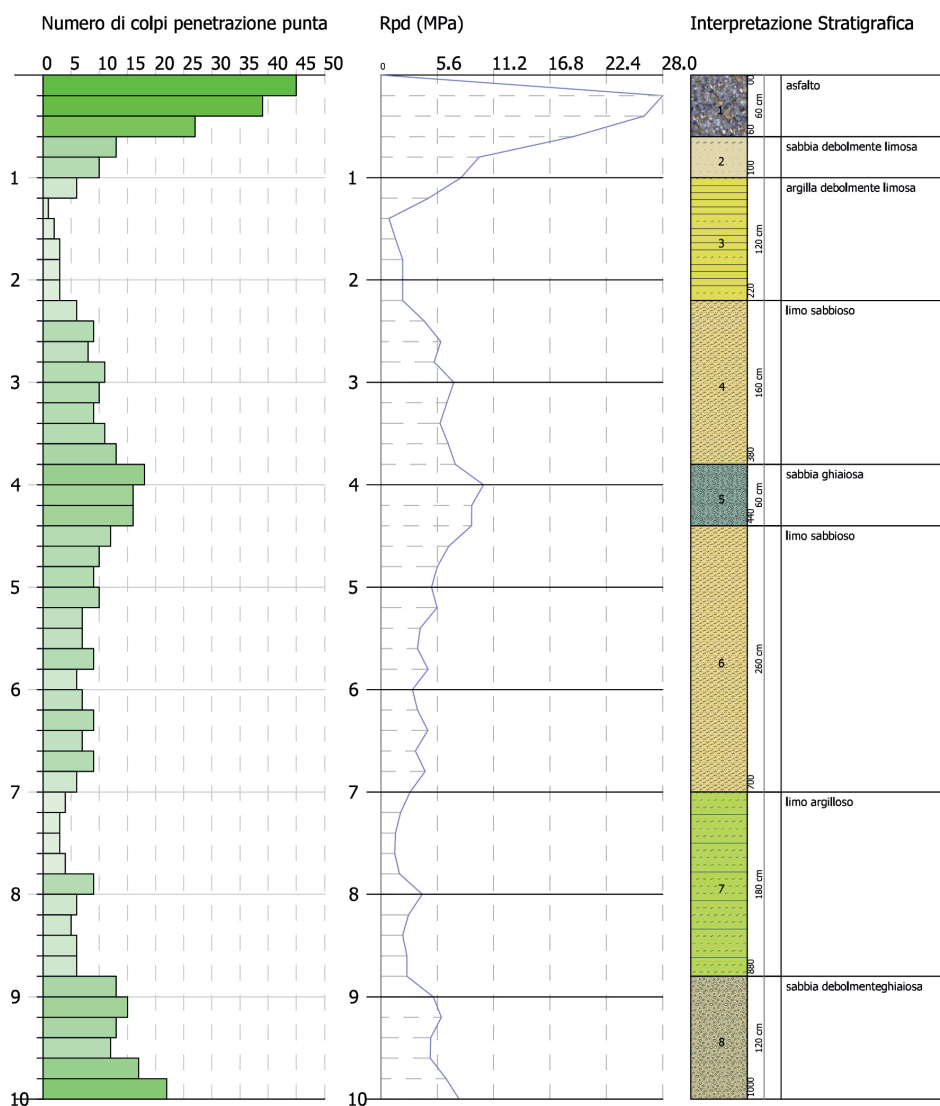
La Strada Provinciale 58 (SP 58) della Val di Scalve, in provincia di Bergamo, collega i comuni montani di Colere e Vilminore di Scalve ad un'altitudine media di circa 1.000 m s.l.m.

L'infrastruttura costituisce un'arteria fondamentale sia per la mobilità locale di residenti e lavoratori, sia per i flussi turistici diretti verso le stazioni sciistiche e i percorsi escursionistici del comprensorio. La sezione stradale è caratterizzata da una carreggiata a due corsie (una per senso di marcia), sviluppata prevalentemente a mezza costa con una larghezza complessiva di circa sei metri; la sede è priva di banchine ed è delimitata da versanti rocciosi a monte e scarpate a valle.

Il sopralluogo in situ, condotto congiuntamente ai tecnici della Provincia di Bergamo, ha evidenziato sensibili fenomeni di ammaloramento in corrispondenza di alcuni tratti situati nei comuni di Colere e di Vilminore di Scalve, con particolare criticità lungo la corsia di valle. La presenza sul manto di usura di ormaie, avvallamenti e fessurazioni longitudinali indicava un chiaro deficit di portanza del sottofondo stradale. Tale indebolimento è stato ascritto principalmente all'azione combinata di infiltrazioni idriche, dilavamento della frazione fine del terreno e cicli di gelo-disgelo delle acque interstiziali, a cui si è sommato il progressivo incremento dei carichi veicolari legato allo sviluppo turistico della zona e la vetustà del manto bituminoso, fattori che nel loro insieme incidono sensibilmente sulla sicurezza ed efficienza della circolazione.

Indagini e prove penetrometriche

Per validare le ipotesi formulate in fase preliminare si è proceduto con la caratterizzazione geotecnica del sito, supportata da una campagna di



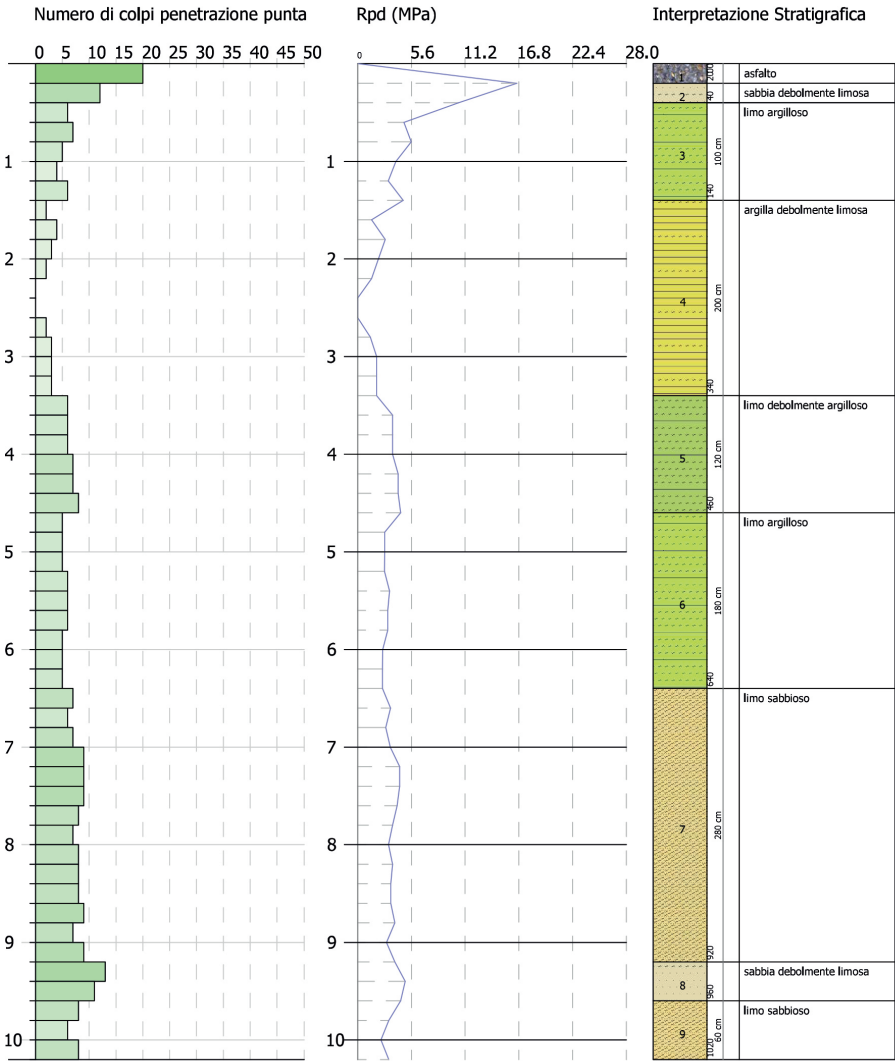
indagini geognostiche mirate. Queste hanno fornito un quadro chiaro e coerente lungo i diversi tratti della SP58, maggiormente interessati dagli ammaloramenti.

Dalla comparazione dei profili di resistenza dinamica alla punta (Rpd) e delle stratigrafie emerge un denominatore comune: al di sotto della pavimentazione e del primo strato superficiale (fino a - 0,5 metri), il terreno presenta condizioni paragonabili, risultando composto prevalentemente da argille debolmente limose e limi argillosi che si estendono in profondità (fino a circa 2,80 - 3 metri, spingendosi in alcuni punti oltre i 5 metri). In questa fascia, la resistenza penetrometrica crolla sistematicamente a valori minimi (1-4 colpi, con Rpd spesso inferiore a 2-3 MPa), rivelando la presenza di un sottofondo scarsamente addensato, plastico e affetto da deficit di portanza. Tale debolezza, aggravata dalle infiltrazioni d'acqua e dall'azione del traffico veicolare, rappresenta la causa primaria dei cedimenti e dei dissesti riscontrati in superficie.

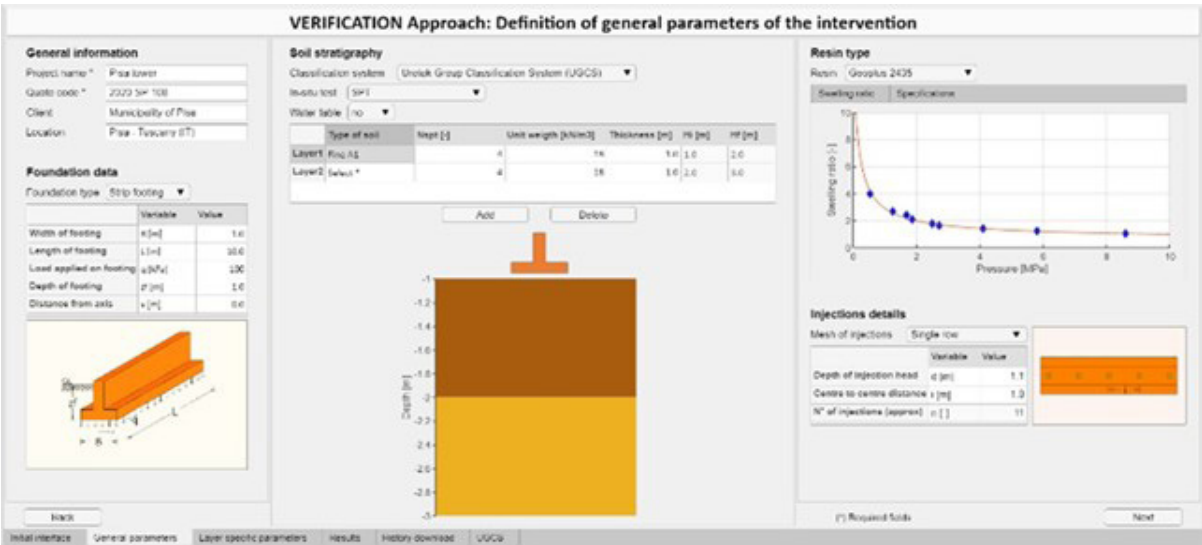
L'esito delle prove ha quindi confermato la necessità di superare i classici interventi di riasfaltatura superficiale, individuando con precisione nel volume di terreno compreso tra 0,50 metri e 2,50 metri il target prioritario per l'iniezione di resina poliuretanica espandente, allo scopo di ripristinare le caratteristiche meccaniche del sottofondo e garantire la durabilità dell'opera.

Progettazione e modalità operative Uretek

La riuscita di un intervento di consolidamento di questo tipo risiede nella capacità di quantificare preventivamente la tipologia e il volume di resina da iniettare. Nel metodo Uretek, la fase previsionale viene affidata al software S.I.M.S. 2.0, sviluppato in stretta collaborazione con il Dipartimento di Geotecnica del Politecnico di Torino.

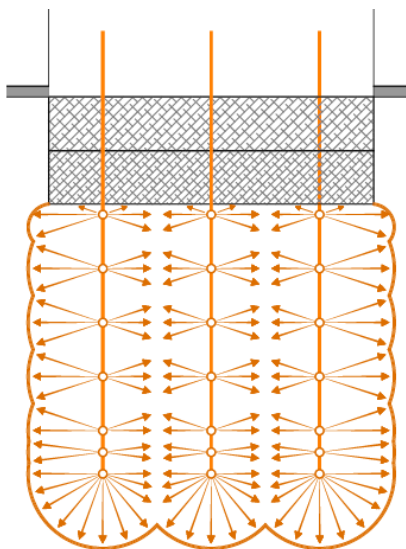


Sfruttando i principi della teoria della cavità espansa e le equazioni di Boussinesq, l'algoritmo elabora la stratigrafia e i parametri geomeccanici di input (quali coesione efficace, angolo di resistenza al taglio) incrociandoli con i dati rilevati in situ dalle prove penetrometriche. Attraverso que-



Software di calcolo
S.I.M.S. 2.0.

**Sistema Multipoint
e distribuzione dei punti
di diffusione della resina.**



sta simulazione, il modello individua la tensione di equilibrio in cui la pressione di espansione della resina pareggia lo stato di confinamento del terreno. Come risultato finale, il software definisce la tipologia e densità della resina poliuretanicale ottimale, il volume di miscela da iniettare, l'interasse della maglia di perforazione e la stima dell'incremento di portanza atteso al termine dei lavori.

Completata la fase di calcolo, l'operatività in cantiere si distingue per un impatto logistico ridotto. L'area di intervento viene inizialmente tracciata definendo una maglia regolare con interasse variabile, fino a circa 150 centimetri. Successivamente, mediante l'impiego di perforatori elettrici a rotopercolazione, si praticano nella pavimentazione stradale fori di piccolo diametro (tipicamente pari a 26 millimetri) che raggiungono le profondità di progetto. L'innovazione tecnologica di questa fase è rappresentata dal sistema brevettato Multipoint. All'interno di ciascun foro viene inserita una cannula in acciaio a fondo cieco dotata di un'articolata serie di micro-fori laterali calibrati (da 12 a 14 forature). Questa particolare geometria, ottimizzata attraverso analisi computazionali agli elementi finiti (FEM) e rigidi test di laboratorio, garantisce l'uscita della resina a una portata rigorosamente costante lungo tutto lo spessore della colonna trattata. Il sistema elimina il rischio di dispersioni incontrollate, assicurando una distribuzione omogenea della resina all'interno del volume di terreno trattato.

L'intervento nel dettaglio

L'intervento di consolidamento ha interessato la corsia di valle della S.P. 58 nel tratto denominato "Valnotte", tra le progressive km 60+300 e km 63+150. In particolare, sono stati individua-

ti cinque tratti maggiormente interessati da fenomeni di degrado, per uno sviluppo complessivo di 607 metri e una larghezza di intervento pari a 2,50 metri.

L'analisi della campagna di prove penetrometriche e le elaborazioni condotte con il software S.I.M.S. 2.0 hanno consentito di definire preliminarmente i parametri operativi per l'ottimizzazione delle iniezioni: è stata adottata una maglia a quinconce con interasse di 1,2 metri e stabilita una profondità di trattamento compresa tra -0,5 metri e -2,5 metri dal piano viabile.

In relazione alla caratterizzazione geotecnica del terreno, costituito da argille debolmente limose e limi argillosi, la resina è stata iniettata a una pressione di sbocco di poco superiore alla pressione di claquage (idrofratturazione). Tale accorgimento ha favorito la diffusione della miscela anche in terreni a bassa permeabilità. La resina impiegata (famiglia Uretek Geoplus) appartiene alla categoria delle resine a rapida espansione, caratterizzate da tempi di reazione inferiori al minuto e classificate, in base alla pressione di rigonfiamento, come mediamente o molto espandenti. Le modalità di reazione e di espansione consentono al materiale di rimanere confinato, garantendo una diffusione omogenea e un'efficace compattazione del terreno trattato.

L'interruzione dell'iniezione è stata subordinata al verificarsi di almeno una delle seguenti condizioni:

- sollevamento del pacchetto stradale;
- raggiungimento della tensione di equilibrio dell'ammasso resina-terreno;
- raggiungimento del volume/quantitativo previsto da progetto.



Il controllo dei sollevamenti è stato eseguito mediante un sistema di monitoraggio laser, composto da un emettitore posto a congrua distanza e da una serie di ricevitori solidali al piano stradale, capaci di registrare gli spostamenti verticali con una precisione di $\pm 0,5$ millimetri.

I sollevamenti registrati costituiscono il principale indicatore dell'efficacia del trattamento. Durante la fase iniziale di espansione, la resina esercita una spinta verso le zone a minore confinamento, agendo prevalentemente in direzione orizzontale e compattando il terreno circostante. Una volta raggiunto l'equilibrio, l'ulteriore espansione genera una pressione verticale che si trasmette alla fondazione stradale, rilevata dai ricevitori sotto forma di spostamento verticale. Durante le operazioni di iniezione sono stati registrati sollevamenti della sovrastruttura fino a un massimo di 4,0 millimetri. L'esito positivo dell'intervento è stato infine validato mediante prove penetrometriche dinamiche comparative (DPM30), che hanno evidenziato l'incremento dei parametri meccanici nei volumi di terreno trattati. Nel dettaglio, a seguito dell'iniezione è stata riscontrata una resistenza media in sito pari a N10_{finale} = 12,8 corrispondente a un incremento superiore al 40% rispetto alle condizioni ante-operam.

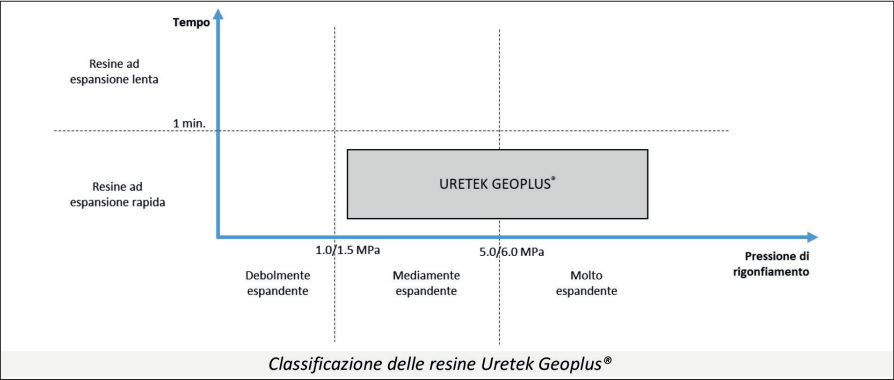
RIEPILOGO PROVE PENETROMETRICHE			
Prova n°	Tratto n°	N ₁₀ medio PRIMA	N ₁₀ medio DOPO
Prova1 (pre) - Prova2 (post)	1	11.2	14.5
Prova3 (pre) - Prova4 (post)	3	9.1	14.4
Prova5 (pre) - Prova6 (post)	4	7.5	11.4
Prova7 (pre) - Prova8 (post)	5	7.1	10.7
MEDIA		8.7	12.8

L'intervento è stato completato con il ripristino del manto di usura della corsia di valle, previa scarifica e successiva stesura del tappeto di usura in corrispondenza dei medesimi tratti oggetto di consolidamento.

Conclusioni

L'intervento condotto lungo la S.P. 58 della Val di Scalve dimostra come la risoluzione dei dissesti stradali richieda un cambio di paradigma: dall'approccio tradizionale basato su semplici e temporanei ripristini superficiali, a una strategia integrata di consolidamento profondo del sottofondo.

L'impiego della tecnologia a iniezione di resine poliuretaniche espandenti si è rivelato riso-



Classificazione Resine Geoplus.



lutivo per trattare terreni a grana fine affetti da deficit di portanza, consentendo di compattare l'ammasso terreno-resina senza ricorrere a scavi invasivi o alla chiusura prolungata dell'arteria. L'efficacia dell'approccio risiede nella rigorosa integrazione tra la fase predittiva (supportata dal software di calcolo Uretek S.I.M.S. 2.0), e dalla fase operativa che sfrutta i vantaggi del sistema di iniezione Multipoint. Come confermato dai test penetrometrici DPM30, l'incremento di oltre il 40% delle proprietà meccaniche del terreno assicura il ripristino della capacità portante e la durabilità della successiva pavimentazione. In un contesto economico e geopolitico caratterizzato dal forte rincaro dei materiali bituminosi e da budget manutentivi ridotti, tale metodologia si impone come una soluzione tecnicamente idonea, economicamente sostenibile e a minimo impatto ambientale per la tutela della rete infrastrutturale del Paese. ■■