



ESPERIENZE ITALIANE NEL RICUPERO DI TERRE LIMO-ARGILLOSE TRATTATE CON CALCE PER LE INFRASTRUTTURE VIARIE

Luigi Cariboni

Marketing – Ricerca & Sviluppo
Responsabile Tecnologie Applicative e Laboratorio Centrale
UNICALCE SpA – Via Tonio da Belleo, 30 – 23900 LECCO
Tel: +39 0341.2571 - Fax: +39.0341.257282
E-mail: lcariboni@unicalce.it

Angelo Canziani

Marketing – Ricerca & Sviluppo
Product Manager – Stabilizzazione Terre
UNICALCE SpA – Via Tonio da Belleo, 30 – 23900 LECCO
Tel: +39 0341.2571 - Fax: +39.0341.257282
E-mail: acanziani@unicalce.it

Umberto Pressato

Marketing – Ricerca & Sviluppo
Responsabile Tecnico Commerciale – Stabilizzazione Terre
UNICALCE SpA – Via Tonio da Belleo, 30 – 23900 LECCO
Tel: +39 0341.2571 - Fax: +39.0341.257282
E-mail: upressato@unicalce.it

ESPERIENZE ITALIANE NEL RICUPERO DI TERRE LIMO-ARGILLOSE TRATTATE CON CALCE PER LE INFRASTRUTTURE VIARIE

1. INTRODUZIONE

Nella costruzione dei rilevati stradali, date le limitazioni imposte dai piani delle attività estrattive che si traducono in una insufficiente disponibilità di inerti a costi crescenti, è sempre più necessario utilizzare le terre disponibili in cantiere da sterri e scavi di gallerie, anche quando le caratteristiche in origine non sono conformi alle prescrizioni tradizionali.

Il traffico veicolare pesante sulle strade pubbliche, in relazione agli approvvigionamenti dalle cave e allo smaltimento delle terre di risulta ritenute inadatte, è un pesante fattore ambientale che invita a trovare soluzioni alternative più consone con l'ambiente.

2. LA SITUAZIONE IN ITALIA

Già alla fine degli anni '60 si era capita in Italia la validità della tecnica dei trattamenti delle terre con calce, tantoché nel 1973 era disponibile il Bollettino Ufficiale del C.N.R. n. 36: "Stabilizzazione delle terre con calce", edito anche sulla base di alcune esperienze ferroviarie e stradali precedentemente attuate.

Dopo un significativo lavoro sperimentale all'inizio degli anni '80 sulla S.S. 413 "Romana" presso Soliera, MO l'uso della calce nelle costruzioni viarie fu sorprendentemente dimenticato.

Negli anni '93-'95 il Gruppo Unicalce, incoraggiato da Amministrazioni, Progettisti e Geologi convinti della validità dell'idea, iniziò una pianificata azione di sensibilizzazione che ricostituì le basi delle lavorazioni con la calce in Italia.

Diverse Amministrazioni predisponivano Capitolati e Specifiche tecniche, mentre le Imprese iniziavano ad acquistare le macchine per le specifiche lavorazioni. Intensivamente dalla metà degli anni '90, applicando le stesse tecnologie consolidate all'estero da decenni, le terre plastiche limo-argillose, stabilizzate con modesti quantitativi di calce aerea, sono così diventate la migliore soluzione tecnica, economica e ambientale dei problemi indicati.

Importanti progetti per la costruzione di strade, ferrovie, aeroporti e interporti, nei quali i movimenti terra sono una voce importante del conto economico, sono stati attuati e numerosi altri sono programmati o in corso in diverse aree geografiche italiane.

Nel prospetto 1 seguente presentiamo un elenco parziale delle primarie Amministrazioni e dei più significativi lavori nei quali sono state impiegate terre limo-argillose trattate con la calce.

Ente	Capitolato Tecnico Anno di emissione	Principali lavori
ITALFERR SpA	1998	Linea ferroviaria alta velocità Milano – Napoli
ANAS Compartimento dell'Emilia Romagna	1996	Complanare di Modena; S.Giovanni in Persiceto
Ministero dei Trasporti	1997	Linea Ferroviaria in Concessione Ferrara – Suzzara

Provincia di Ferrara	1998	Variante di Formignana; Tangenziale di Copparo; Tangenziale est di Ferrara
S.A.B. Società Aeroporto di Bologna	1998	Ampliamento pista di rullaggio
Provincia di Reggio Emilia	1998	Tangenziale di Cavriago; S.P. Quattrocastelle; Variante di Arceto.
Provincia di Parma	1999	Allargamento S.P. di Montechiarugolo
Provincia di Mantova	1999	S.P. Asolana, variante di Asola S.P. 8, variante di Medole
Provincia di Pesaro e Urbino	2000	Piazzali sede operativa ASPES Azienda Servizi Pesarese
F.B.P., Soc.gestione ferrovie in concessione FE-BO-Portomaggiore	1999	Tratta ferroviaria Dogato di Ostellato – Portomaggiore

Tabella 1 – Principali Enti che hanno emesso una specifica tecnica e attuato lavori

Dai primi campi prova di Cadeo, PC e di Carpi, MO (condotti rispettivamente con la supervisione di ITALFERR '95 e di ANAS, Centro Sperimentale di Cesano, '97) a oggi sono ormai più di 100 i lavori nei quali è stata utilizzata la calce da parte di circa 50 imprese per costruire piani di posa e corpi di rilevati; attualmente ben 22 importanti imprese si sono attrezzate in proprio acquistando macchine spandicalce, pulvimixer e sili mobili di cantiere; alla stragrande maggioranza delle imprese che hanno eseguito i lavori con la calce il Gruppo Unicalce ha fornito consulenza tecnica e supporto operativo, anche con la messa a disposizione di propri spandicalce e sili mobili di cantiere.

Attualmente il parco macchine esistente in Italia, specificatamente dedicato alle lavorazioni con calce, è composto di almeno 28 pulvimixer, 25 spandicalce e 16 sili mobili da cantiere.

Diverse imprese già dal '96 hanno lavorato sulle tratte dell'Alta Velocità ferroviaria Roma-Napoli e Bologna-Firenze; intensivamente dalla primavera del 2001 sulla tratta Milano-Bologna primarie imprese, tutte attrezzate in proprio con macchine di recente acquisto, stanno procedendo alle cantierizzazioni, e hanno avviato in alcuni lotti le opere principali conformemente alle prescrizioni di Italferr.

3. ASPETTI TECNICI DEI TRATTAMENTI CON CALCE

La calce aerea può essere impiegata in una delle due forme seguenti: calce viva macinata, CaO, ossido di calcio, oppure calce idrata in polvere, Ca(OH)₂, idrossido di calcio.

I vantaggi della calce aerea, impiegata nella costruzione di rilevati e loro piani di posa per il trattamento delle terre limo argillose sono i seguenti:

3.1 Effetti a breve termine

- Evidente essiccazione delle terre troppo umide.
- Notevole diminuzione dell'indice di plasticità della terra (IP=LL-LP) grazie al sensibile aumento del limite plastico già per aggiunta dell'1-2% in peso di calce rispetto al peso secco della terra trattata; la miscela terra-calce mantiene perciò

lo stato solido pur con umidità sensibilmente più elevata rispetto a quella che rende plastica la terra tal quale.

- Spiccato aumento della lavorabilità della terra miscelata con la calce, anche perché le curve di costipamento risultano più aperte; si possono realizzare, ad esempio, strati costipati di terre fini limo-argillose di 30-35 cm di spessore, con densità secche uguali o superiori al 100% della densità massima secca, riferita al costipamento Proctor Standard, quando si lavorano miscele con umidità di costipamento prossime alla loro umidità ottima.
- Conseguimento di elevati valori di portanza immediata.

3.2 Effetti a medio – lungo termine

Con temperature del suolo superiori ai 5°C, la calce aerea, con dosaggi pari al 3% o più secondo i casi, gradualmente solubilizza una parte della silice e dell'allumina delle argille reattive formando composti con proprietà idrauliche simili a quelle che determinano la presa e l'indurimento dei cementi (reazioni di tipo pozzolanico).

Le terre trattate con calce, correttamente costipate, aumentano gradualmente nel tempo la loro resistenza meccanica e diventano sempre meno sensibili agli eventuali danni provocabili dall'acqua e dal gelo; questa resistenza è funzione del grado di indurimento raggiunto prima dell'ingiuria degli agenti aggressivi; tali caratteristiche possono essere sfruttate per esempio per realizzare sottofondazioni in zone soggette a esondazioni, purché siano trattate terre sufficientemente reattive nei termini predetti.

Sfruttando gli effetti citati, e dosando la calce in funzione della natura più o meno argillosa del suolo e del suo eccesso di umidità, valori immediati del modulo di deformazione M_d , misurati al primo ciclo di carico, possono sicuramente attestarsi nell'intorno di 250-300 kg/cm²; valori decisamente superiori, per esempio 400-600 kg/cm² o più, possono ottenersi già dopo alcune settimane dal costipamento, grazie allo sviluppo degli effetti a medio e lungo termine.

4. ESEMPI DI PROGETTI REALIZZATI IN ITALIA

Abbiamo già elencato alcuni significativi lavori stradali, ferroviari, aeroportuali e per la gestione delle merci eseguiti sotto il controllo di primari Enti pubblici.

Tra questi, il maggiore è l'insieme delle tratte ferroviarie dell'Alta Velocità; diversi articoli, alcuni richiamati in bibliografia (1-5) sono già disponibili per questo importante lavoro; riserviamo perciò questa memoria ad altri lavori già conclusi, comunque caratterizzati da interessanti problematiche tecniche risolte con l'uso della calce.

4.1 Linea ferroviaria Ferrara – Suzzara: piani di posa, rilevati e piattaforma

L'esecuzione del progetto ha comportato la costruzione di circa 46 km di nuovi rilevati tra Ferrara e Poggio Rusco; di questi, circa il 70% è stato realizzato, senza interruzione del traffico ferroviario, in affiancamento alla linea esistente.

Si è operato nel contesto geologico dei depositi alluvionali lungo il corso del Po, costituiti in maggioranza di argille, limi e limi sabbiosi, intercalati da sabbie medio – fini e sabbie limose.

Il progetto (6) ha previsto la messa in opera di 924.000 m³ di terre, con un fabbisogno giornaliero del cantiere di circa 5000 m³; il materiale arido tradizionale per la costruzione dei rilevati era invece disponibile solo a non meno di 100 km dal cantiere, oltre Verona, Treviso e Modena; si sarebbe perciò avuto un traffico di circa 400

automezzi/giorno sulla viabilità ordinaria su lunghi tragitti e per molti mesi solo per l'approvvigionamento delle terre.

Le aree golenali del Po in prossimità della linea sono così divenute l'elemento fondante del progetto, basato su un approvvigionamento locale di limi, sabbie e ghiaie sporche, riqualficate con la calce e con il cemento; queste terre sono state prelevate per spessori molto limitati in modo da mantenere quasi inalterato il profilo territoriale.

La movimentazione di queste terre è avvenuta esclusivamente su piste di cantiere, riducendo di molto le interferenze con il traffico veicolare ordinario.

Le terre sul tracciato della linea, per un volume pari a 340.000 m³ e frequentemente di tipo A7-6, sono pure state trattate con la calce per la formazione dei piani di posa dei rilevati; ciò ha consentito di evitare il loro trasporto dal cantiere alle discariche; complessivamente sono perciò state poste in opera circa 840.000 m³ di terre trattate con leganti; i lavori maggiori di stabilizzazione si sono conclusi nel 2000.

Oltre ai vantaggi ambientali, l'uso della calce ha comportato anche notevoli vantaggi economici; una valutazione riferita dal Consorzio FESCOF quantifica in circa 8,26 €/m³ (16.000 £/m³) il costo medio di tutte le lavorazioni con la calce escluso solo l'approvvigionamento delle terre avvenuto a basso costo.

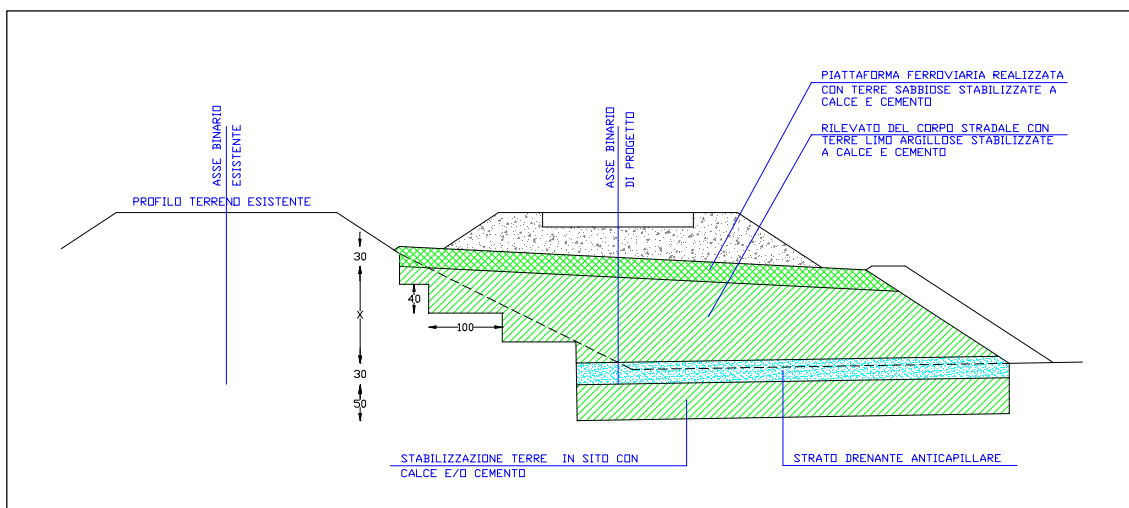


Figura 1 – Linea ferroviaria Ferrara – Suzzara: sezione tipo in affiancamento.

I dati più significativi del lavoro esposto sono riportati nel prospetto 2 seguente:

Committente:	Ministero dei Trasporti e della Navigazione Interna.
Tipo di progetto:	Raddoppio della linea ferroviaria tra Ferrara e Suzzara con 46 km di nuovo binario, di cui il 70% posato in affiancamento alla linea esistente.
Impresa aggiudicataria ed esecutrice:	Consorzio Fescof: raggruppamento temporaneo di imprese tra Pizzarotti SpA, CMB Scarl, Romagnoli SpA, Ansaldo SpA e Parisini SpA.
Attrezzature impiegate:	n. 3 Spandicalce Hamm – Panien, n.2 pulvimixer Bomag Mph 120, n.1 pulvimixer Wirtgen WR2500, n. 8 sili per lo stoccaggio dei leganti, di cui 6 mobili con capacità complessiva di circa 500 m ³ .

Caratteristiche delle terre:	limi A4, ghiaie e sabbie sporche A2-4 per i rilevati e la piattaforma; argille A7-6 per i piani di posa dei rilevati.
Volumi trattati con leganti:	338.000 m ³ per i piani di posa, 393.000 m ³ per i rilevati, 358.000 m ³ per la piattaforma ferroviaria, 85.000 m ³ per argini e strade.
Forniture Unicalce:	calce aerea viva in polvere; n.2 spandicalce Hamm – Panien; n.2 sili mobili.
Produzione giornaliera:	mediamente 5.000 m ³ in strati compattati di 50 cm per i piani di posa e di 30 cm per i rilevati.
Moduli di piastra richiesti:	200 kg/cm ² per i piani di posa, 400 kg/cm ² per i rilevati, 800 kg/cm ² per la piattaforma.
Laboratorio Geotecnico:	Laboratorio interno del Consorzio.
Costo a consuntivo:	mediamente 8,26 /m ³ per le lavorazioni, compresi i leganti, escluso l'approvvigionamento delle terre nelle zone golenali.

Tabella 2 – Linea ferroviaria Ferrara - Suzzara

4.2 Interporto Toscano A. Vespucci, Livorno: piazzali piattaforma logistica.

L'intero progetto dell'Interporto A. Vespucci riguarda un'area di 2.500.000 m²; la costruzione del primo lotto ricorrendo all'uso della calce è iniziata nel 1999; attualmente sono già stati realizzati 4 lotti, utilizzando terre A7-6 stabilizzate con calce viva; il lavoro qui illustrato è stato eseguito nell'estate del 2000.

Un'area di circa 30.000 m² è stata rialzata a quota +1,5 m rispetto al piano campagna, utilizzando circa 50.000 m³ di terre A7-6 provenienti dal disfacimento di un vecchio argine presente all'interno dell'area di cantiere; le lavorazioni sono state eseguite stabilizzando le terre posate sul rilevato in costruzione per ottenere strati finiti con spessore pari a 25 cm.



Figura 2 – Interporto Toscano A. Vespucci: sezioni stato di fatto e di progetto.

La scelta del progettista ha permesso di conseguire due importanti risultati.

Per prima cosa, si è chiuso all'interno dell'area del cantiere il bilancio delle terre dato dagli scavi e dai riporti; in tal modo si è anche azzerato il traffico veicolare esterno al

cantiere; questo avrebbe comportato circa 8.000 trasporti con automezzi pesanti per approvvigionare i circa 40.000 m³ di terre necessarie alla costruzione del rilevato e per conferire a discarica sia i circa 10.000 m³ di quelle che sarebbero derivate dalla bonifica del piano di posa sia i circa 50.000 m³ dell'argine demolito.

E' stato poi evitato l'acquisto degli inerti; in zona i prezzi delle terre adatte alla costruzione di rilevati stradali sono superiori a 20,66 /m³ (40.000 £/m³).

Viceversa il prezzo riconosciuto dal Committente all'Impresa aggiudicataria per l'esecuzione dello strato di bonifica, trattando la terra in sito con il 2% di calce viva è stato di 5,94 /m³ (11.500 £/m³) mentre per l'esecuzione del rilevato in strati di 25 cm, trattando le terre dell'argine dismesso con il 4% di calce viva, è stato riconosciuto il prezzo di 11,88 /m³ (23.000 £/m³) compresa la movimentazione delle terre all'interno del cantiere.

Il lavoro di stabilizzazione con la calce è stato eseguito dall'Impresa Ghigliazza SpA.

Il prospetto 3 seguente riassume i dati più significativi del lavoro esposto.

Committente:	Interporto Toscano Amerigo Vespucci S.p.A.
Tipo di progetto:	Costruzione di piazzali e relativa viabilità di accesso su un'area di circa 30.000 m ² per il deposito e la movimentazione di merci varie.
Impresa aggiudicataria:	Veritti S.a.s. di Pisa.
Impresa esecutrice:	F.lli Ghigliazza S.p.A. di Finale Ligure, SV.
Attrezzature impiegate:	n. 1 Spandicalce Hamm – Panien, n.1 pulvimixer Hamm Raco 250, n. 1 silo mobile per lo stoccaggio della calce di capacità pari a circa 60 m ³ .
Volume delle terre trattate:	circa 50.000 m ³ .
Caratteristiche delle miscele:	Miscela con il 4% di CaO: Wott.=15,9 % (aashto mod.), CBR (Wott) = 130, Rc a 7gg = 11 kg/cm ² .
Forniture Unicalce:	calce aerea viva in polvere.
Produzione giornaliera:	mediamente 4.000 m ² in strati compattati da 25 cm.
Caratteristiche delle terre:	argille A7-6 sia per il piano di posa sia per il rilevato.
Moduli di piastra richiesti:	200 kg/cm ² per il piano di posa, 500 kg/cm ² per il rilevato.
Laboratorio Geotecnico:	Servizi Geotecnici Liguri S.r.l. di Vado Ligure (SV).
Costo riconosciuto del trattamento in subappalto:	mediamente 5,94 /m ³ per il piano di posa, 11,88 /m ³ per il rilevato.
Prezzo degli inerti:	a specifica, in zona, 20,66 /m ³ in opera.

Tabella 3 – Interporto Toscano Amerigo Vespucci di Livorno, dati riassuntivi.

4.3 Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna: ampliamento della via di rullaggio.

Lo svolgimento del progetto riguardante circa 50.000 m² di ampliamento della via di rullaggio dell'Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna, ha comportato la realizzazione di un rilevato di circa 350.000 m³ con altezza variabile da 5,50 a 10,85 m.

Considerata la nota scarsità degli inerti in zona, il progetto si sarebbe potuto realizzare solamente con un forte aggravio di costi se non si fosse operata la riqualificazione con calce di circa 95.000 m³ di limi e argille già presenti nell'area del cantiere e di circa 150.000 m³ di terre A4 provenienti dagli scavi di un cantiere vicino.

Queste terre secondo l'umidità del momento compresa tra il 6 e il 23%, sono state trattate o con calce idrata o con calce viva per ottenere miscele la cui umidità ottima di costipamento è risultata pari al 16%; la quantità di calce dosata è risultata, alla fine dei lavori, mediamente pari al 2% del peso della terra secca impiegata.

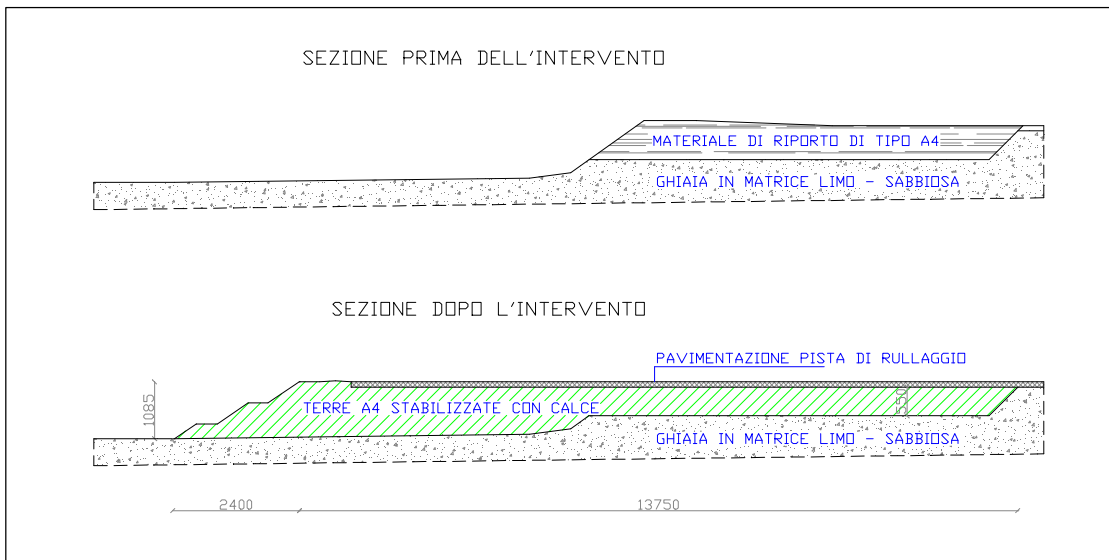


Figura 3 – Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna: sezioni stato di fatto e di progetto.

Il manufatto è stato realizzato per strati successivi di 30 cm di spessore finito; per ogni strato sono stati misurati con piastra da 30 cm moduli Md superiori a 400 kg/cm^2 .

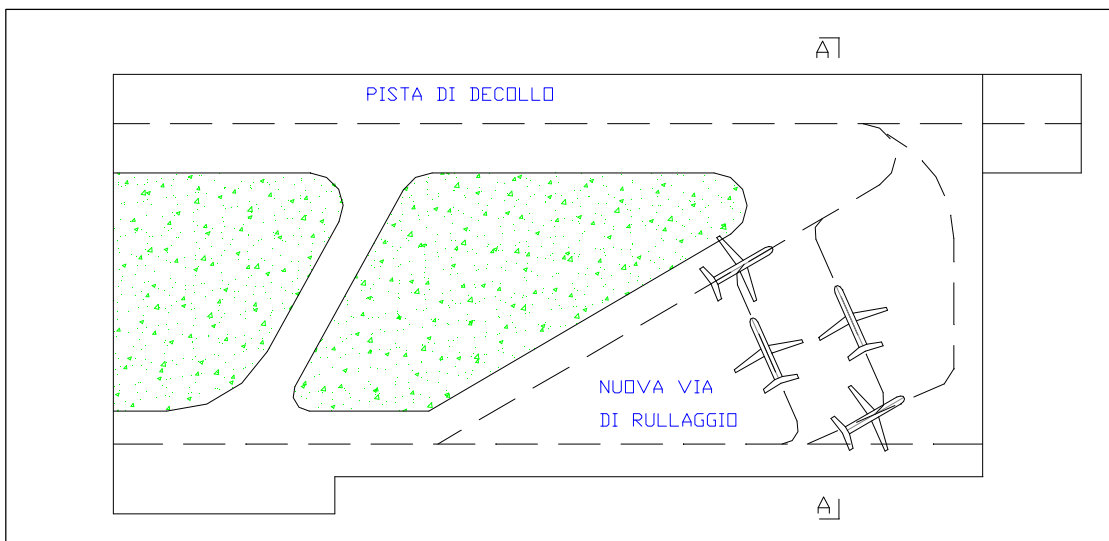


Figura 4 – Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna: planimetria generale di progetto.

Per quanto riguarda il minor impatto ambientale, sulla viabilità esterna al cantiere, è immediato calcolare un risparmio di circa 30.000 viaggi di mezzi pesanti che sarebbero serviti per approvvigionare le terre e smaltire quelle di risulta; per quanto riguarda la salvaguardia del territorio, oltre al risparmio netto di inerti di cava, è rimarchevole il mancato conferimento in discarica dei 150.000 m^3 di terre limose risultanti dal vicino cantiere.

Secondo quanto dichiarato dall'Impresa esecutrice Irti Lavori SpA, sono state raggiunte produttività medie di circa 10.000 m²/giorno; ciò ha permesso di contenere i costi di lavorazione ben al di sotto di quanto sarebbe risultato acquistando "sabbie" in zona, dove i prezzi di queste si aggirano intorno ai 12-16 / m³ e procedendo al conferimento in discarica dei circa 95.000 m³ di terre in sito che sarebbero risultate dalle bonifiche.

Il prospetto 4 seguente riassume i dati più significativi del lavoro esposto.

Committente:	Soc. Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna.
Tipo di progetto:	Ampliamento della via rullaggio per circa 50.000 m ² .
Impresa aggiudicataria ed esecutrice:	Irti Lavori S.p.A. dell'Aquila.
Attrezzature impiegate:	n. 1 Spandicalce a traino Baukra, n.1 pulvimixer Hamm Raco 350, n. 2 sili mobili da 60 m ³ ciascuno.
Volumi trattati con caratteristiche delle terre:	circa 95.000 m ³ di limi e argille del cantiere, più 150.000 m ³ di limi provenienti dal cantiere attiguo. Limi A4 del cantiere: umidità naturale dal 6% al 23%; Wott.=15,7 % (aashto st. T99).
Caratteristiche delle miscele con calce aerea:	Per i limi A4, IPI (Wott) = 36, CBR ^(*) = 21 (con il 2% CaO), CBR ^(*) =32 (con il 3% CaO). ^(*) aashto T99; maturazione di 3+7gg; W = 20,7%
Forniture Unicalce:	calce aerea viva in polvere, calce aerea idrata; n.1 spandicalce a traino Baukra; n.2 sili mobili.
Produzione giornaliera:	mediamente 10.000 m ² in strati compattati da 30 cm.
Moduli di piastra richiesti:	200 kg/cm ² per il piano di posa e per il corpo del rilevato.
Laboratorio Geotecnico:	CGG di Pontecchio Marconi (BO).
Prezzo degli inerti:	materiale a specifica posato in opera 20,66 /m ³ .

Tabella 4 – Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna, dati riassuntivi.

4.4 Strada Provinciale n. 4 Copparo – Migliarino, provincia di Ferrara.

Nella Provincia di Ferrara circa il 50% del territorio si trova sotto il livello del mare e la falda freatica nella zona di Copparo è prossima al piano campagna.

L'Amministrazione Provinciale, tenendo conto di ciò, ha elaborato il progetto della S.P. 4 Copparo – Migliarino scegliendo di riutilizzare le terre esistenti sul tracciato riqualificandole con un trattamento misto calce più cemento.

Sul piano ambientale la scelta protegge un territorio così delicato dai problemi che insorgono con le attività estrattive; sul piano tecnico il trattamento scelto consente di realizzare sottofondazioni insensibili ai possibili danni collegati alle falde affioranti.

L'aggiunta del cemento nella miscela di progetto è giustificata dalla mineralogia delle argille locali per le quali gli effetti di indurimento pozzolanico con la sola calce sono lenti.

Sono state trattate terre in sito di tipo A6 e A7-6, sia per il piano di posa, sia per il rilevato; sono state costituite miscele con il 3% di CaO + 3% di Cemento Ptl 32,5, posate in strati di 30 cm di spessore.

Le prove con piastra da 30 cm eseguite dopo 4 gg. di maturazione hanno indicato valori superiori a 300 kg/cm² per i piani di posa e a 500 kg/cm² per i rilevati.

L'esecuzione dell'opera è stata considerata come un grande campo prova e perciò intensamente monitorata, in vista di altri progetti dove si sarebbero incontrate problematiche tecniche simili..

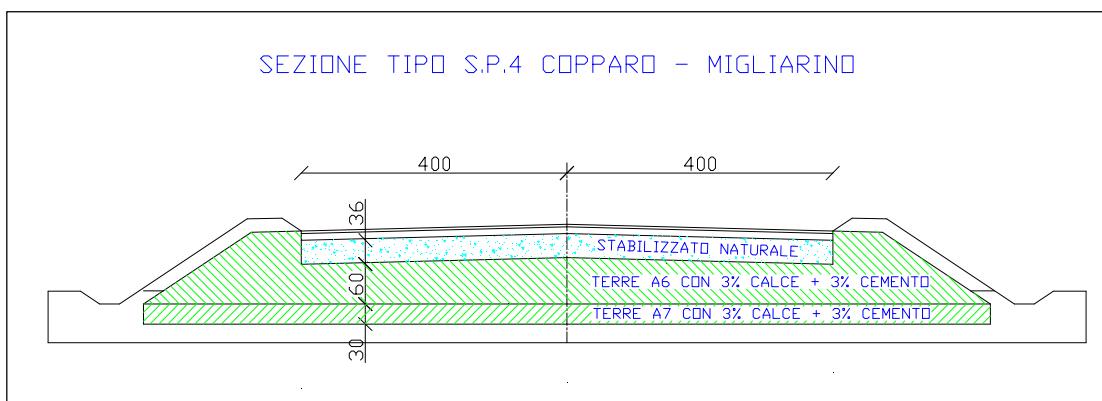


Figura 5 – S.P. 4 circonvallazione di Formignana, sezione tipo del corpo stradale.

La positiva esperienza maturata ha subito indotto la Provincia di Ferrara a utilizzare la stabilizzazione delle terre anche per altre opere nel frattempo già realizzate o ancora in corso di esecuzione, come per esempio la variante alla S.P. 2 nel Comune di Copparo, la nuova tangenziale di Ferrara e alcuni lotti della Strada Statale Cispadana; complessivamente, finora nella provincia di Ferrara sono state stabilizzate circa 150.000 m³ di terre plastiche limo-argillose.

Per questi trattamenti misti di stabilizzazione delle terre la Provincia ha inserito nei capitolati il prezzo di 4,13 €/m² (8.000 £/m²) nel caso dei piani di posa e di 9,81 €/m³ (19.000 £/m³) per i rilevati costruiti con terre presenti in cantiere; il prezzo riconosciuto sale a 13,43 €/m³ (26.000 £/m³) quando si costruiscono rilevati con terre limo-argillose approvvigionate all'esterno; la miscela di riferimento prevede l'utilizzo del 3% di CaO e del 3% di cemento.

Il prospetto 5 seguente riassume i dati principali relativi al lavoro.

Committente:	Amministrazione Provinciale di Ferrara.
Tipo di progetto:	Variante alla S. P. 4 di Formignana.
Impresa aggiudicataria ed esecutrice:	Beozzo Costruzioni S.r.l. di Villa Bartolomea (VR).
Attrezzature impiegate:	n. 1 Spandicalce a traino Baukra, n.1 pulvimixer Bomag Mph 120, n. 1 silo mobile da 60 m ³ .
Caratteristiche delle terre:	Terre plastiche limo-argillose A6 e A7-6.
Volume delle terre trattate:	circa 10.000 m ³ .
Forniture Unicalce:	calce aerea viva in polvere; n.1 spandicalce a traino Baukra;
Produzione giornaliera:	mediamente 2.000 m ² di strati finiti da 30 cm con doppio trattamento, calce + cemento.
Moduli di piastra richiesti:	200 kg/cm ² per il piano di posa, 400 kg/cm ² per il rilevato.
Moduli di piastra ottenuti:	Md > 300 kg/cm ² sul piano di posa, Md > 500 kg/cm ² sugli strati di rilevato dopo 4 giorni dal trattamento.

Laboratorio Geotecnico:	Studio Sperimentale Stradale S.r.l. di Fizzonasco (MI).
Prezzo del trattamento in appalto:	4,13 /m ² per i piani di posa; 9,81 /m ³ per il rilevato con terre presenti in sito.

Tabella 5 – SP 4 Circonvallazione di Formignana, dati riassuntivi.

5. CONCLUSIONI

La tecnica dei trattamenti con calce delle terre fini limo-argillose, impiegate per la costruzione dei rilevati e dei loro piani di posa, è stata ampiamente perfezionata e applicata all'estero già negli anni '50.

In Italia, dopo alcuni lavori sperimentali negli anni '60, e altri negli anni '80 quando era ormai da tempo disponibile il bollettino del CNR n. 36: "Stabilizzazione delle terre con calce", sorprendentemente si manifestò un disimpegno verso il riutilizzo delle terre plastiche trattate a favore del consumo di inerti di cava sempre più rari e costosi.

Il Gruppo Unicalce, incoraggiato da Pubbliche Amministrazioni, Geologi e Progettisti, convinti della validità dell'idea, iniziò una pianificata azione di diffusione dell'informazione tecnica per favorire la ripresa delle lavorazioni con calce.

Negli anni compresi tra il '96 e il 2000 ben 10 primari Enti pubblici hanno emesso le loro specifiche tecniche per disciplinare l'uso della calce nella costruzione dei rilevati in lavori anche molto importanti.

Sono ormai più di 100 i progetti attuati, nei quali è stata utilizzata la calce da parte di oltre 50 imprese; di queste già 22 hanno acquistato le macchine e attrezzature specifiche: pulvimixer, spandicalce e sili di cantiere, per svolgere in maniera ottimale le lavorazioni; altre imprese stanno organizzandosi similmente.

Il maggior lavoro in corso, nel quale si sta facendo un uso estensivo della calce, è la costruzione della linea ferroviaria Alta Velocità / Alta Capacità Milano-Napoli. Significativamente, per la tratta Milano-Bologna si utilizzeranno nei prossimi tre anni importanti quantitativi di calce e questa esperienza consacrerà definitivamente anche in Italia il valore tecnico-economico-ambientale del ricupero di terre plastiche limo-argillose.

Questi materiali, non ammessi dalle vecchie specifiche, dovrebbero essere scartati se non fosse possibile modificarne positivamente le caratteristiche limitanti, miscelandoli con quantitativi di calce, frequentemente compresi tra il 2% e il 4% in peso.

Abbiamo presentato in questa memoria quattro significativi esempi di lavori con calce: Linea ferroviaria Ferrara-Suzzara, Interporto toscano A. Vespucci, Pista di rullaggio dell'Aeroporto G. Marconi di Bologna e Strada Provinciale n. 4 Copparo-Migliarino (FE) che dimostrano quanto sia risultata valida la scelta di trattare le terre con la calce.

Importanti risparmi nello sfruttamento degli inerti di cava, fortissima riduzione del traffico veicolare sulle strade pubbliche, eliminazione del conferimento in discarica di terre di risulta, il tutto completato da un bilancio economico sicuramente favorevole, sono indiscutibili risultati che dimostrano, a chi fosse ancora incerto, la validità della stabilizzazione con calce; questa tecnica non dovrebbe lasciare più dubbi, nemmeno riguardo alla durabilità delle opere, giacché le prime applicazioni negli USA, attuate negli anni '40, hanno dimostrato parecchi decenni dopo di godere la salute migliore.

BIBLIOGRAFIA

1. P. Lunardi, A. Focaracci, D. Ricci, A. Valente; Una soluzione costruttiva innovativa per la realizzazione di gallerie naturali senza copertura, Quarry & Construction, n. 05/97
2. L. Cariboni, G. Andolfatto; La calce nelle infrastrutture stradali, Strade & Autostrade, n. 05/97
3. F. Bonomo; Stabilizzazione delle terre con calce sulla Roma-Napoli, Le Strade, n. 09/97.
4. P. Cicini, P.L. Cuppone; Rilevati realizzati con terre trattate a calce: risultati della sperimentazione nell'alta velocità, Atti del XXIII Convegno Nazionale Stradale, Verona 18-21 maggio 1998
5. C. Cherubini, F. Giovinazzo; Esperienze di stabilizzazione per la Milano-Bologna, Le Strade, n. 6/99
6. F. Bonomo; Stabilizzazione sulla Ferrara-Suzzara, Le Strade, n. 11-12/97
7. G. Andrighetti, G. Dugoni, A. Zecchi; Stabilizzazione con calce sulla S.P. Copparo-Migliarino, Le Strade, n. 7-8/98