

# LIME STABILISED MIXTURE RECOVERY FROM A DEMOLISHED PROVISIONAL EMBANKMENT AND REUSING FOR NEW SUBGRADES ALONG THE HIGH-SPEED RAILWAY MILAN-NAPLES

A. CANZIANI, L. CARIBONI, U. PRESSATO  
Unicalce Group, Italy  
dir@unicalce.it

P. TOSORATTI, N. URSI  
Impresa Pizzarotti SpA, Italy  
public@pizzarotti.it

## ABSTRACT

Pizzarotti company is constructing the 40 km railway section: Campogalliano – Modena – Bologna. More than 800.000 m<sup>3</sup> of plastic soils have been recovered from excavations of viaducts foundations. Once stabilised with lime the soils have been reused to make embankments. One of them, 60.000 m<sup>3</sup> big, was made in July 2003 to allow the launching of 700 t beams of a viaduct using a 300 t launching crane. This embankment was demolished in autumn 2004 and the recovered stabilised mixture was reused to construct other permanent embankments. The recovered material still contained about 0,6% of free lime intentionally overdosed to reduce the high excess of moisture and its plasticity. IPI, saturated CBR and swelling values were measured again, and they resulted improved compared to the ones of the mixtures worked in 2003. The material demolished in blocks was pulverised passing the 25 mm sieve. It was then compacted at 98% of normal Proctor density, without adding other lime or water. About 2.000 m<sup>3</sup>/day of mixture have been recovered and worked in normal condition, according to Italferr technical specifications for the soils stabilised with lime.

## KEY WORDS

HIGH SPEED RAILWAY / LIME TREATMENT / PLASTIC SOIL RECOVERY / OMEGA PROFILE BEAMS / EMBANKMENT DEMOLITION / EMBANKMENT CONSTRUCTION.

## 1. INTRODUCTION

Italy is developing and updating its own high speed-high capacity railway especially on the North-South and East-West lines. The new line Milan-Naples is the longest railway under construction, it's 719 km long. Since 1995 lime has been largely used on Rome-Naples (245 km) railway line to construct embankments recovering plastic soils digged from yards. Lime treatments have been also widely used for the other two lines under construction: the Bologna-Florence (79 km) and the Milan-Bologna (182 km). Since 1978 the Florence-Rome (254 km) line has already been a high-speed railway, and now it is undergoing updating. "Treno Alta Velocità (TAV)", concessionaire of "Rete Ferroviaria Italiana (RFI)", is the Italian Railways Group Project Company that manages and develops the Italian railway net. TAV assigned the Milan-Naples railway line construction to three different General Contractors for the above mentioned lines. The northern track section of the line between Milan and Bologna was assigned to Cepav Uno, the Bologna-Florence line to Cavet and the Rome-Naples line to Iricav Uno. Italferr is the RFI engineering company charged by TAV to evaluate and approve all the technical-engineering papers designed by the contractors performing the works. In particular, Italferr supervised several earthwork

trials with lime proposed and performed by the General Contractors to evaluate and optimise the different steps of soil stabilisation technique. Italferr is also the first Italian public company that released a detailed technical specification for soil stabilisation in 1998. Italferr was supported by Unicalce Group, the Italian leader lime producer, that since the beginning of the nineties has been efficiently promoting soil stabilisation in its country.

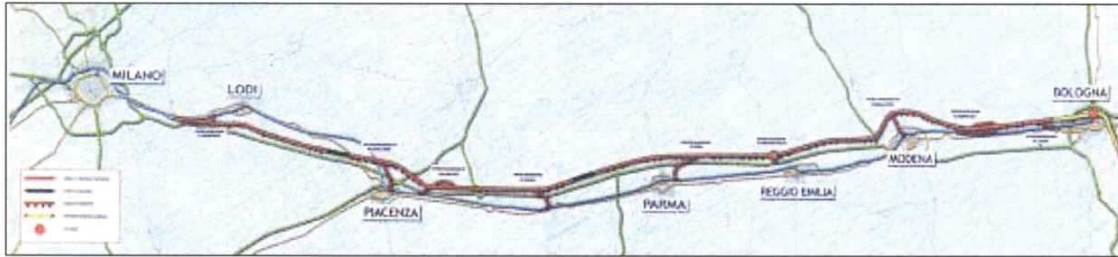


Figure 1 - Track Section between Milan and Bologna

Nowadays three companies (and two ENI Group engineering companies involved in the whole project) compose Cepav Uno Consortium. Pizzarotti & C. company, one of the three Cepav Uno partners, is also member of the Modena Scarl sub-contractor (Pizzarotti + Snamprogetti) that is constructing the Modena–Bologna line, a 42 km long track. From 1995 to 1999 Pizzarotti performed successfully lime stabilisation works in Italy for another important public project, that is the 42 km Ferrara–Suzzara railway line (General Contractor: Consortium Fescof). The profitable co-operation between Pizzarotti Company and Unicalce Group developed for this great work and it is still going on into the Milan–Bologna high-speed railway construction.

## 2. THE MODENA - BOLOGNA SUB TRACK SECTION

### 2.1. The territory and the work

Until the half of nineties the technical specifications for embankments construction fixed that the plastic soils had always to be removed in Italy and substituted with non-plastic soils taken from quarries, or recovered from the yards if available. From several years the cost of soils for engineering works has been very high in the whole Emilia Romagna region, about twice higher than the prices of the other regions in north Italy. This is due to the evident proper soil lack because of the flat configuration of the land and because of the increasing environment protection restraints. In this frame Modena Scarl Consortium is constructing the 40 km main railway line between Modena and Bologna. Modena Scarl is also building 8 km of a secondary railway line between Modena and Mantova. Among these works there is the 22 km long “Modena Viaducts System”, an important work that bypasses Modena city in the north. This viaduct was designed to minimise the interference of the line with existing viability and territory. The viaduct is under construction using 755 omega shaped precast and prestressed beams (max span 31,5 m) produced in the yard directly by Pizzarotti company. The viaduct also includes 9 omega shaped cast in situ beams (max span 56 m). All the works performed by Modena Scarl include several embankments for a total length of 25 km, which need about 2,5 million cubic metres of soils and aggregates to be realised. The total need of soils, including the aggregates for making concrete, is about 5 million m<sup>3</sup>, this amount overcomes the excavation limits fixed for that territory. Already during the developed project by Cepav Uno Consortium, the recovery of plastic soils treated by lime was therefore an important aim to reach. The present report shows a case of recycling of clay soil stabilised with lime, which was used to construct a provisional embankment, called RIB X. This embankment was a useful part



of the “Modena Viaducts System”. After 15 months the same lime treated soil was reused for other two embankments construction.

## 2.2. The lime stabilisation choice

The geo-technical research along the 40 km track of the main line confirmed that the digged soils were mainly clayey, as illustrated by plasticity index (PI) values in figure 2.

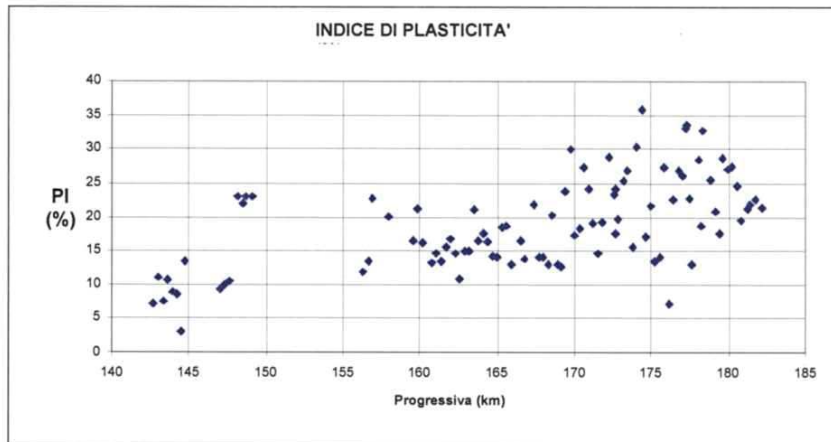


Figure 2 – plasticity Index along the Modena–Bologna tract

To realise the different works included in the project, little less than a million cubic metres of soil were digged from the foundation of “Modena Viaducts System”:

- Footing : 350.000 m<sup>3</sup>
- Bored piles and diaphragm walls: 400.000 m<sup>3</sup>
- drilled piles: 70.000 m<sup>3</sup>

These soils were reused after treatment with lime. The 400.000 m<sup>3</sup> of soils from the bored piles, were reused only for minor works. The other 420.000 m<sup>3</sup> were instead reused for embankments on the high-speed railway, according to Italferr prescriptions.

## 3. THE PROVISIONAL EMBANKMENT

The embankment RIB X was built to the progressive 151+200 km of the main line, treating with lime the digged soils of the footings. This provisional embankment was used for the transit of a special 300 t launching crane which transported the 755 omega shape precast beams, 700 t each, forming the “Modena Viaducts System”. The provisional embankment, maked between May and June 2003, lived for 15 months until September 2004, when its demolition started. Already during the preliminary project the material obtained from the embankment demolition was expected to be used again for other works. Moreover it was wished to minimise the recovery costs, without any other binder additions. The lime stabilised mixture was study to have a good margin of engineering characteristics and able to face all kinds of weather and work ravages during its lifetime.



Figure 3 – The special launching crane transporting an omega beam to the viaduct.

### 3.1. Mixture design

Table 1 shows results of the lime soil mixture design:

Table1 – average characteristics of the soil used for the provisional embankment RIBX.

granulometry		LL (%)	PI (%)	$\gamma$ dry (kN/m <sup>3</sup> )	Wopt. (%)	USCS	IPI (%)	CBR 4 days soak. (%)	Linear swelling (%)
< 0,075 (mm)	< 0,42 (mm)								
97,6 %	100 %	44	23	16,64	17,3	CL	10	3	2,32

It was evident that the soil is a medium plastic soil, with low value of soaked CBR. In table 2 there are the laboratory results of mixtures with 2% and 3% quicklime. A third mixture with 2,5% quicklime gave intermediate results. The lime was CL90 type in according of EN 459-1 norm. More than 90% of the lime passed through a 0,090 mm sieve.

Table 2 – characteristics of the soil - lime mixtures (CL90 type)

Lime content (%)	LL (%)	PI (%)	Wopt (%)	$\gamma$ dry (daN/m <sup>3</sup> )	IPI Wopt (%)	CBR (28+4) days (%)	Linear Swelling (%)	7 day Compress. Strenght (daN/cm <sup>2</sup> )	28 day Compress. Strenght (daN/cm <sup>2</sup> )
CaO 2%	48	18	20,7	1.587	27	62	0,5	4,71	8,84
CaO 3%	49	19	23,8	1.511	33	68	0,3	5,95	9,42

This 3% CaO mixture showed the best characteristics. The study was completed with the tests indicated in table 3 on the mixture with 3% of CaO. The 3% dosing of CaO was also considered able to assure that a certain quantity of free lime would be still present in the mixture during its following recycling.

Table 3 – mean results of edometric and shear tests.

Shear Strength		Edometric test	
Cohesion $c'$ (kPa)	Friction angle ( $^\circ$ )	Pressure (daN/cm <sup>2</sup> )	Edometrico module (Mpa)
26,48	35,48	0,125 – 0,250	8,16
		0,250 – 0,500	12,23
		0,500 – 1,00	16,27
		1,00 – 2,00	14,97

Actually, on the base of the whole gathered information, the mixture with 3% of CaO was chosen because it ensured the above-mentioned aims.

### 3.2. The shape of the embankment and its construction

The provisional embankment RIB X volume was little more than 60.000 m<sup>3</sup>. The linear dimensions were: base 50,0 m; width at the top 24,00 m; maximum height 8,0 m; length about 200 m. Figure 5 shows an embankment section in correspondence of its incorporated piers.

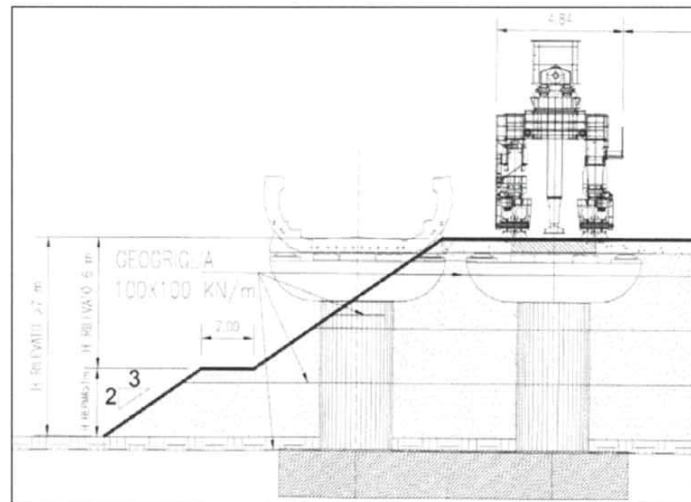


Figure 4 – provisional embankment RIB X: maximum height sections

To oppose the shear stresses induced by the heavy weight of the launching crane, which transported the omega beams, 100x100 kN/m geogrids were inserted horizontally inside the embankment, 2 meters one from the other. The upper layer embankment was completed only by a 0,4 m layer composed by cement-gravel mixture. The soil recovered from the excavations of the footings was transported to the work place, layered uniformly and checked for its moisture that was often between 25% and 27%. On average 1700 m<sup>3</sup>/day of soil-lime mixture were used, with tops of 2000 m<sup>3</sup>/day, corresponding at about 4900 m<sup>2</sup>/day of compacted layers, with tops of 5700 m<sup>2</sup>/day.

### 3.3. The checks during the embankment construction.

The quality control results are shown in table 4. IPI values are referred to the mixture taken after the pulvimixer machine work. The maximum dry density ( $\gamma_d$ ) and the water content (W) are referred to the compacted layers.



Table 4 – Quality controls results for RIB X embankment.

	Pulverized Mixture	Compacted Layer		
	IPI (%)	$\gamma$ dry (daN/m <sup>3</sup> )	W (%)	Md (*) (daN/m <sup>3</sup> )
Nr. of tests	10	10	10	15
Minimum value	21	1.526	22,7	682
Maximum value	26	1.542	23,4	857
Medium value	23,4	1.534	23,0	765
Variation (%)	6,4	0,31	1,04	7,3

(\*) Three days after compaction

Deformation Md modules were measured on the finished layers, using a 30 cm diameter plate in to 1,5-2,5 daN/cm<sup>2</sup> loading range. The results of the tests, taken three days after the final compaction of the layers, agree with the IPI values, and both were generally high.

#### 4. LIME MIXTURE RECYCLING

The provisional embankment RIB X worked for 15 months, the time necessary to launch the omega beams. During its life, especially in winter months, It has never shown heavy permanent deformation or other kind of damages. A tracked 185,4 kW excavator with a 1,4 m<sup>3</sup> bucket was used for the embankment demolition. Daily 400-500 m<sup>3</sup> of mixture in blocks (0,1-0,5 m) were produced. The layers of the embankment were quite resistant. This caused a heavy wear of the bucket teeth that were frequently substituted. Besides this there weren't other important problems. The material, which was banked at the beginning in the same place of the demolition, was after used again to build other two embankments. The first one was an overpass in Campogalliano (MO) and the second one was for a connection railway near the demolition area. Before the reusing, the mixture coming from the demolition was tested again in laboratory. The new results are in table 5:

Table 5 – laboratory characteristics of the recycled mixture

Granulometry			PI (%)	Wopt. (%)	$\gamma$ d (daN/m <sup>3</sup> )	free lime (%)
< 2 (mm)	< 0,4 (mm)	< 0,075 (mm)				
73,3 %	46,8 %	37,8 %	N.P.	23,4	1.509	0,2 - 0,6

The results were very satisfying. So Italferr (the RFI engineering company) allowed to use again the material without any other treatment. The following procedure was adopted to construct the two new embankments. The mixture in blocks was transported on trucks and regularly laied in 30 cm thickness layers with a tracked blade, that in the meantime broke the blocks. A big pulvimixer worked the material so that it could pass through a 25 mm sieve. The moisture controls showed that the crushed mixture was always quite near to the best condition for its final compaction. So, as foreseen, it was no need to add more

quicklime to reduce the water content of the mixture. Samples were taken after the pulvimixer work and before the final compaction. IPI and soaked CBR indexes were measured and the results are presented in the figure 5. The index values of the yard mixtures of the provisional embankment RIB X are compared to the index values of the two permanent embankments.

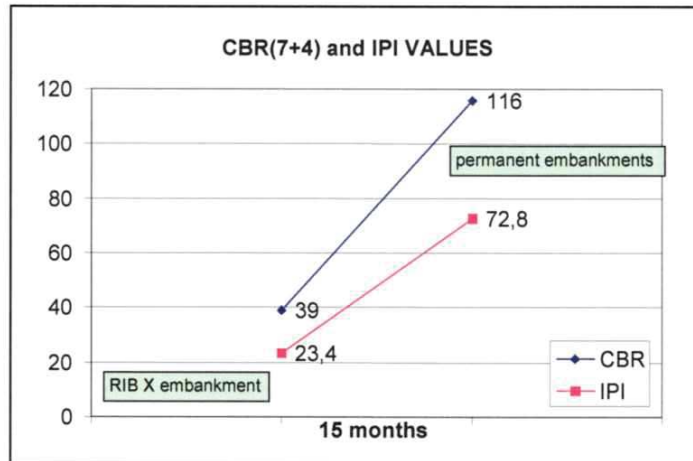


Figure 5 – IPI and CBR values (7+4) for the RIB X and for the two permanent embankments

It's evident that both IPI and CBR characteristics of the material increased three times in 15 months. The two new embankments construction was done in several stages, each team worked the recycled mixture at the rhythm of about 2000 m<sup>3</sup>/day. The final compaction of the layers was done only with a metallic smooth roller in a vibrated way. It was always respected the minimum requirement of the project of 98% of the Proctor Standard maximum density, reaching 102% on average. The Md module values of the two new embankments, measured three days after compaction, increased from 700-810 daN/cm<sup>2</sup> of the RIB X embankment to the actual 1030-1210 daN/cm<sup>2</sup>. The increasing characteristics, observed during the new embankments construction are due to the development of long term chemical reactions between soil and lime which occurred during the 15 months of life of the RIB X embankment.

## 5. CONCLUSIONS

Now lime stabilisation treatments have diffusion in Italy like in the other European countries, where treatments were already developed in the seventies. The success of this technology was mainly developed by the public works. As regard as the High Speed Milan-Naples railway, Pizzarotti Company made an interesting recovery work of plastic soils taken from the excavations of piles and footing of "Modena Viaducts System". These recovered soils were used to construct a provisional embankment called RIB X, which aimed at setting to work the omega shaped precast beams. Plastic soils were treated with 3% quicklime for RIB X embankment, which was used during "Modena Viaduct System" construction. Then after 15 months the same soils were reused successfully for other two new permanent embankments construction. All the laboratory tests on the used soils and mixtures assured that the construction of provisional and permanent embankments happened in the full respect of the technical prescriptions of Italferr specifications. During new embankments construction it was never necessary to correct the moisture of the recovered mixture, which was directly suitable for the final compaction. The full respect of



all work technical prescriptions shows that lime treated plastic soils are a perfect material for construction.



Figure 6 – Section of the railway embankment constructed with the recovered mixture

This material increases its own characteristics with time, it allows to alleviate the great lack of poor and expensive non plastic soils and it can be easily recycled for other works. The use of soils treated with lime favoured the performance of important work, such as the new High-Speed railway Milan-Naples, respecting the requirements of minimum environmental impact.

## REFERENCES

1. BENEDETTO, C. DESTEFANI, M. MARINO, S. SDOGA. (2004) Stabilizzazione a calce in ferrovia–Il caso dell’alta velocità / capacità Modena – Bologna, Quarry & Construction October 2004.
2. R. CHIERICI. (2004) Sistema Viadotti Modena. Una scelta Vincente
3. Quarry & Construction September 2004;
4. FERROVIE DELLO STATO–ITALFERR; R.MARCHISELLA, S.GIAMBARTOLOMEI, P.CICINI A.BUONANNO, T.CASAGRANDE, V.MISANO. (1998) Trattamento delle terre con calce, Specifica Tecnica.
5. M. H. HAVARD LCPC. Soil treatment with lime and/or hydraulic binders
6. IMPRESA PIZZAROTTI & C. (2004) Sistema Viadotti Modena: Le Travi ad Omega.
7. Internal Publication.
8. NATIONAL LIME ASSOCIATION, [www.lime.org](http://www.lime.org);
9. TRENO ALTA VELOCITA’ SpA, [www.tav.it](http://www.tav.it);



# LIME STABILISED MIXTURE RECOVERY FROM A DEMOLISHED PROVISIONAL EMBANKMENT AND REUSING FOR NEW SUBGRADES ALONG THE HIGH-SPEED RAILWAY MILAN-NAPLES

A. Canziani, L. Cariboni, U. Pressato  
Unicalce Group  
[dir@unicalce.it](mailto:dir@unicalce.it)

P. Tosoratti, N. Ursi  
Impresa Pizzarotti SpA  
[public@pizzarotti.it](mailto:public@pizzarotti.it)

## 1. ABSTRACT

Pizzarotti company is constructing the 40 km railway section: Campogalliano – Modena – Bologna. More than 800.000 m<sup>3</sup> of plastic soils have been recovered from excavations of viaducts foundations. Once stabilised with lime the soils have been reused to make embankments. One of them, 60.000 m<sup>3</sup> big, was made in July 2003 to allow the launching of 700 t beams of a viaduct using a 300 t launching crane. This embankment was demolished in autumn 2004 and the recovered stabilised mixture was reused to construct other permanent embankments. The recovered material still contained about 0,6% of free lime intentionally overdosed to reduce the high excess of moisture and its plasticity. IPI, saturated CBR and swelling values were measured again, and they resulted improved compared to the ones of the mixtures worked in 2003. The material demolished in blocks was pulverised passing the 25 mm sieve. It was then compacted at 98% of normal Proctor density, without adding other lime or water.

About 2.000 m<sup>3</sup>/day of mixture have been recovered and worked in normal condition, according to Italferr technical specifications for the soils stabilised with lime.

## 2. KEY WORDS

High Speed/High Capacity Milan-Naples Railway; Lime Treatment; Plastic Soil Recovery; Viaduct; Omega Profile Beams; Embankment Demolition; Embankment Construction.

## 3. GENERALITA'

L'Italia sta sviluppando e ammodernando la propria rete ferroviaria ad Alta Velocità – Alta Capacità sulle direttrici Nord–Sud ed Est–Ovest. La nuova linea Milano–Napoli, con un percorso complessivo di 719 km, è la più lunga tra quelle ora in costruzione. Sulla tratta Roma–Napoli (245 km) dal 1995 si sta facendo largo uso della calce nella costruzione di rilevati ricuperando terre dagli scavi. Le altre due tratte in costruzione sono la Bologna–Firenze (79 km) e la Milano–Bologna (182 km); anche per queste i trattamenti con la calce stanno trovando una estensiva applicazione. La tratta Firenze–Roma (254 km) ha caratteristiche di Alta Velocità già dal 1978, ed è ora oggetto di ammodernamenti. “Treno Alta Velocità” (TAV) concessionaria di “Rete Ferroviaria Italiana” (RFI) è la Project Company del Gruppo Ferrovie dello Stato che gestisce e sviluppa il sistema ferroviario nazionale. TAV ha assegnato la costruzione della linea Milano–Napoli a tre differenti General Contractor: Cepav Uno per la tratta settentrionale della linea, compresa tra Milano e Bologna, Cavet per la Bologna–Firenze e Iricav Uno per la Roma–Napoli. Italferr è la società di ingegneria di RFI incaricata da TAV di supervisionare e approvare tutte le elaborazioni tecnico–ingegneristiche realizzate dalle imprese di costruzione coinvolte

nell'opera. In particolare, Italferr ha sovrinteso e poi approvato diversi campi prova proposti ed eseguiti dai General Contractor per valutare e ottimizzare le lavorazioni con la calce. Italferr è anche la prima società pubblica italiana che nel 1998 ha emesso un dettagliato capitolato per i trattamenti delle terre con la calce. Il Gruppo Unicalce che promuoveva e tuttora promuove in Italia i trattamenti delle terre con la calce ha dato il proprio sostegno a Italferr per tale compito.

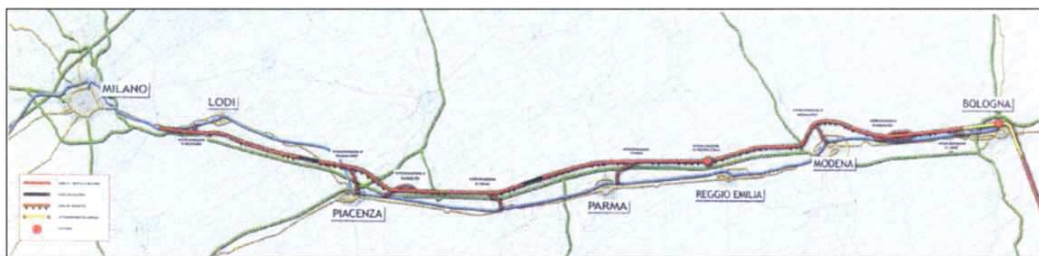


Figure 1 - Track Section Between Milan and Bologna

Il consorzio Cepav Uno attualmente comprende tre imprese di costruzione, oltre a due società del Gruppo Eni operative nella progettazione. L'Impresa Pizzarotti & C. , una delle tre del consorzio Cepav Uno, è anche parte del sub contractor Modena Scarl (Pizzarotti + Snamprogetti) al quale è stata assegnata la costruzione della sub-tratta tra Modena e Bologna, lunga circa 42 km. Pizzarotti, dal 1995 al 1999 aveva già eseguito con successo in Italia molti trattamenti delle terre con la calce, per costruire una precedente importante opera pubblica: la linea ferroviaria Ferrara–Suzzara di 42 km (General Contractor: Consorzio Fescof). La proficua collaborazione tra l'Impresa Pizzarotti e il Gruppo Unicalce si sviluppò già per quella grande opera e sta continuando per la linea ferroviaria ad Alta Velocità Milano–Bologna.

#### 4. LA SUB TRATTA MODENA – BOLOGNA

##### 4.1. Il tracciato e il territorio

Il Consorzio Modena Scarl sta costruendo 40 km di linea principale a doppio binario tra Modena e Bologna; di questi circa 22 km sono costituiti dal "sistema viadotti Modena", importante opera d'arte costruita a nord di Modena per minimizzare le interferenze con la viabilità e il territorio. La presente memoria illustra un caso di riciclo di terre argillose trattate con la calce provenienti da un rilevato provvisorio denominato RIB X facente parte di tale "sistema viadotti Modena". L'opera si compone di 755 travi (lunghezza max 31,5 m) in calcestruzzo precompresso prefabbricate in cantiere dall'Impresa Pizzarotti. Per la loro particolare sagoma i manufatti sono denominati travi a omega. Il viadotto comprende anche 9 impalcati (lunghezza max 56 m) in calcestruzzo precompresso gettato in opera. Modena Scarl sta costruendo anche 8 km di linea secondaria tra Modena e Mantova. L'insieme dei lavori eseguiti da Modena scarl comprende anche circa 25 km di rilevati in terra, la cui costruzione comporta un fabbisogno di circa 2,5 milioni di metri cubi di terre e di aggregati. Il fabbisogno complessivo di materiali ammonta a circa 5 milioni di m<sup>3</sup>, comprendendo gli aggregati per il calcestruzzo; con ciò si supera ampiamente la possibilità estrattiva stabilita per quel territorio. Secondo la tecnica di costruzione dei rilevati e i capitolati esistenti in Italia fino alla metà degli anni '90 le terre limo – argillose dovevano essere sempre asportate e sostituite unicamente con terre non plastiche estratte da cave, o ricuperate all'interno dei cantieri. In tutta la Regione Emilia Romagna il costo delle terre è molto alto, fino ad oltre due volte quello rilevabile nel nord d'Italia, riflettendone la evidente scarsità, giustamente derivata sia dalla conformazione del



territorio pianeggiante sia dai crescenti vincoli di protezione dell'ambiente. Già durante lo sviluppo del progetto a cura di Cepav Uno, il ricupero delle terre plastiche stabilizzabili con la calce era pertanto diventato un obiettivo fondamentale.

#### 4.2. The lime stabilisation choice

L'indagine geotecnica lungo il tracciato di 40 km, confermò che le terre interessate dagli scavi erano di tipo argilloso, come illustrato dai valori del plasticity index (PI) presentati in figura 2.

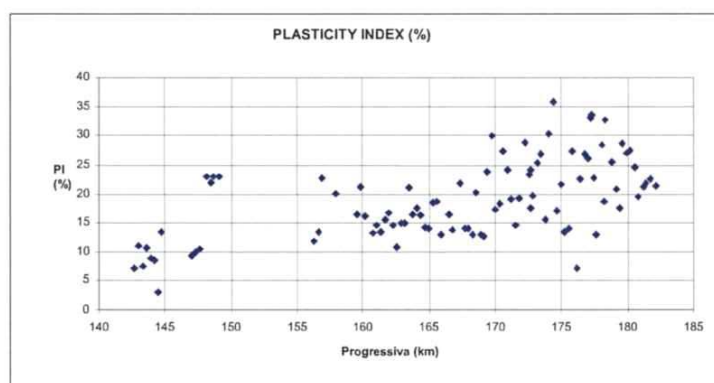


Figure 2 – plasticity Index along the Modena – Bologna tract.

Per realizzare le diverse opere d'arte previste dal progetto, sono stati scavati poco meno di un milione di metri cubi di terre nell'ambito delle seguenti opere di fondazione del sistema viadotti Modena:

- plinti di fondazione: 350.000 m<sup>3</sup>
- pali trivellati e diaframmi per il sostegno dei nove impalcati gettati in opera: 70.000 m<sup>3</sup>
- pali a elica di sostegno dei plinti: 400.000 m<sup>3</sup>.

Tali terre sono state tutte riutilizzate trattandole con la calce. I 70.000 m<sup>3</sup> di terre derivanti dagli scavi per i pali a elica, sono state reimpiegate solo per opere minori, quali rampe di cavalcavia, rilevati di tratti di raccordo, piste di cantiere e piazzali di lavoro. Gli altri 420.000 m<sup>3</sup> sono invece serviti per la costruzione di rilevati sulla linea ad alta velocità. Complessivamente, i volumi di terre trattate con la calce hanno interamente soddisfatto il fabbisogno per le parti di rilevato realizzabili con miscele stabilizzate con la calce, secondo le prescrizioni di Italferr (sono attualmente esclusi 1,5 m sotto il piano di appoggio della fondazione ferroviaria).

## 5. IL RILEVATO PROVVISORIO

Alla progressiva 151+200 della linea principale, è stato costruito il rilevato RIB X, utilizzando parte delle terre di scavo dei plinti, stabilizzate con calce. Questo rilevato provvisorio è servito per il transito dello speciale carro da 300 tonnellate che ha trasportato in opera le 755 travi a omega prefabbricate, ciascuna pesante 700 tonnellate, del sistema viadotti Modena. Il rilevato, realizzato tra maggio e giugno del 2003, è rimasto in esercizio per 15 mesi fino al settembre 2004, quando è iniziata la sua demolizione. In fase di progetto, si voleva che il materiale risultante dalla demolizione del rilevato provvisorio fosse riutilizzato per altri lavori. Inoltre, si desiderava ridurre al minimo i costi del ricupero stesso evitando ulteriori aggiunte di leganti. Era perciò necessario che il trattamento con la calce desse una miscela con un buoni margini di caratteristiche ingegneristiche, in grado

di fronteggiare ampiamente tutte le ingiurie di tipo meteorologico e di esercizio che riguardassero il rilevato provvisorio durante la sua vita utile.



Figura 3 - Trasporto con il carro speciale di una trave a omega del viadotto Modena.

### 5.1. Lo studio della miscela terra – calce

La tabella 1 riporta i risultati derivati dalla qualifica della terra impiegata in laboratorio per lo studio delle miscele con la calce:

Tabella 1 - caratteristiche medie della terra utilizzata per il rilevato provvisorio RIBX.

Granulometry		LL	PI	$\gamma$ dry	Wopt.	USCS	IPI	CBR (0+4)	Linear Swelling
< 0,075 (mm)	< 0,42 (mm)	(%)	(%)	(daN/m <sup>3</sup> )	(%)		(%)	(%)	(%)
97,6 %	100 %	44	23	1.664	17,3	CL	10	3	2,32

Osserviamo che la terra è risultata mediamente plastica, con valore di CBR saturo scadente. I risultati di laboratorio della qualifica delle miscele con il 2% e il 3% di calce viva sono riportati nella tabella 2. Le caratteristiche chimiche della calce erano conformi al tipo CL90 della norma EN 459-1; il prodotto risultava passante per oltre il 90% al setaccio da 0,090 mm. Una terza miscela con il 2,5% di calce viva aveva fornito risultati intermedi ai precedenti.

Tabella 2 - caratteristiche delle miscele terra – calce (CL90 type).

Lime content (%)	LL (%)	PI (%)	Wopt (%)	$\gamma$ dry (daN/m <sup>3</sup> )	IPI Wopt (%)	CBR (28+4) days (%)	Linear Swelling (%)	7 day Compress. Strenght (daN/cm <sup>2</sup> )	28 day Compress. Strenght (daN/cm <sup>2</sup> )
2	48	18	20,7	1.587	27	62	0,5	4,71	8,84
3	49	19	23,8	1.511	33	68	0,3	5,95	9,42

Lo studio è stato completato con prove edometriche e di taglio diretto della miscela al 3% di CaO che aveva mostrato le caratteristiche più promettenti, e verso la quale ci si stava orientando, pensando all'obiettivo del ricupero della miscela dal rilevato provvisorio RIB X.



Il dosaggio del 3% di CaO era voluto anche per garantire una certa quantità di calce libera nella miscela durante il riutilizzo. La tabella 3 riporta i risultati di tali determinazioni:

Tabella 3 – risultati medi delle prove edometriche e di taglio.

Shear Strength		Prova Edometrica	
Cohesion c' (kPa)	Friction angle (°)	Pressure (daN/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Mpa)
26,48	35,48	0,125 – 0,250	8,16
		0,250 – 0,500	12,23
		0,500 – 1,00	16,27
		1,00 – 2,00	14,97

Sulla base delle informazioni complessivamente raccolte, si è in effetti scelta la miscela al 3% di CaO che garantiva gli obiettivi predetti.

## 5.2. La geometria del rilevato e le modalità costruttive

Il volume del rilevato provvisorio RIB X, era di poco superiore a 60.000 m<sup>3</sup>. Le dimensioni lineari erano: base 50,0 m; larghezza alla sommità 24,00 m; altezza massima 8,0 m; lunghezza 200 m circa. La figura 5 mostra una sezione del rilevato in corrispondenza di piloni in esso inglobati.

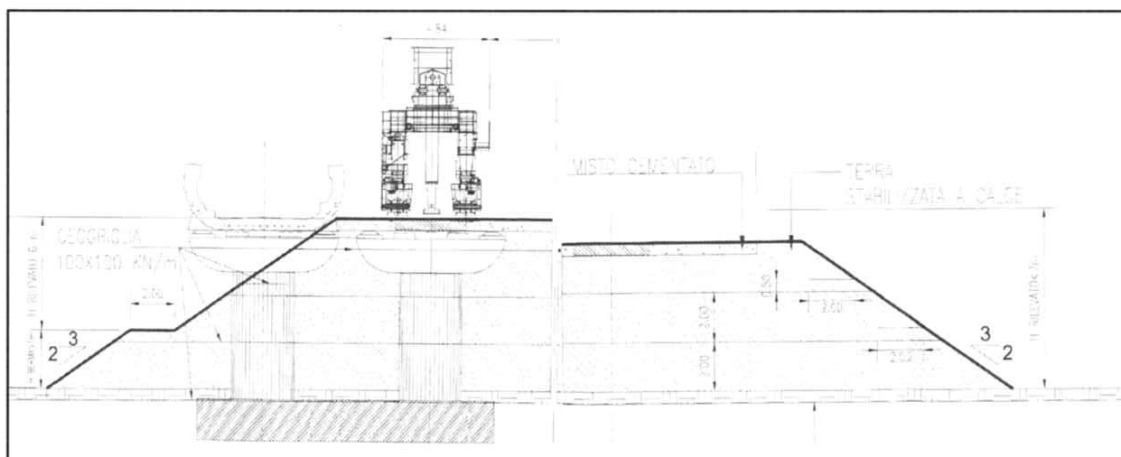


Figura 4 – Sezioni del rilevato provvisorio RIB X: a sinistra l'altezza massima; a destra una sezione precedente

Per contenere gli sforzi di taglio indotti dal forte peso del carro che trasportava le travi a omega, durante la costruzione, nel rilevato sono state inserite orizzontalmente anche geogriglie da 100x100 kN/m, posate su piani distanziati tra loro 2 metri. La sovrastruttura del rilevato era costituita unicamente di 40 cm di misto cementato. La terra recuperata dagli scavi dei plinti di fondazione era trasportata sull'opera, stesa in strati di spessore uniforme e controllata per la sua umidità che risultava frequentemente compresa tra il 25% e il 27%. Mediamente sono stati posti in opera 1700 m<sup>3</sup>/day di miscela terra – calce, con punte di circa 2000 m<sup>3</sup>/day, equivalenti a circa 4900 m<sup>2</sup>/day di strati costipati, con punte di 5700 m<sup>2</sup>/day.

### 5.3. I controlli durante la costruzione del rilevato

I risultati dei controlli di produzione sono riportati nella tabella 4; i valori di IPI sono riferiti alla miscela prelevata dopo il passaggio della macchina pulvimixer; i valori della densità secca massima ( $\gamma$  dry) e del contenuto d'acqua (W) sono riferiti agli strati costipati.

Tabella 4 – Risultato dei controlli durante la costruzione del rilevato RIB X

	Pulverized Mixture	Compacted layer		
	IPI (%)	$\gamma$ dry (daN/m <sup>3</sup> )	W (%)	Modulo di deformazione Md (daN/m <sup>3</sup> ) (*)
Nr. of tests	10	10	10	15
Min value	21	1.526	22,7	682
Max value	26	1.542	23,4	857
Medium value	23,4	1.534	23,0	765
Var. coeff. (%)	6,4	0,31	1,04	7,3

(\*) three days after compaction

Sugli strati finiti sono stati determinati i moduli di deformazione Md, utilizzando una piastra da 30 cm di diametro nell'intervallo di carico 1,5 – 2,5 daN/cm<sup>2</sup>; i risultati delle prove eseguite dopo tre giorni dal costipamento finale degli strati seguono parallelamente nei valori minimi, medi e massimi i valori abbastanza elevati trovati per gli IPI.

## 6. IL RICICLAGGIO DELLE TERRE STABILIZZATE

Il rilevato provvisorio RIB X è rimasto in esercizio per 15 mesi necessari al varo delle travi a omega. Durante la sua vita utile, e in particolare nei mesi invernali, non si sono manifestati problemi di cedimento o ammaloramento. Per la demolizione graduale è stato utilizzato un escavatore cingolato da 250 CV con benna da 1,4 m<sup>3</sup>. Giornalmente si producevano 400 - 500 m<sup>3</sup> di miscela spaccata in blocchi con dimensioni di alcune decine di cm. Gli strati da demolire si rivelavano abbastanza resistenti e ciò ha comportato una marcata usura dei denti della benna che furono frequentemente sostituiti. Non si evidenziarono tuttavia altri problemi rilevanti oltre a questo. Il materiale, inizialmente accumulato nel luogo stesso della demolizione, è stato riutilizzato per costruire altri due rilevati: il primo di un cavalcavia a Campogalliano (MO), il secondo per un raccordo ferroviario adiacente la zona di demolizione. Prima del riutilizzo, la miscela proveniente dalla demolizione è stata ricaratterizzata in laboratorio; i nuovi risultati sono riportati nella tabella 5:

Tabella 5 - caratteristiche di laboratorio della miscela riciclata.

Granulometry			PI (%)	Wopt. (Proct. St) (%)	$\gamma$ dry (Proct. St) (daN/m <sup>3</sup> )	free lime (%)
< 2 (mm)	< 0,4 (mm)	< 0,075 (mm)				
73,3 %	46,8 %	37,8 %	N.P.	23,4	1.509	0,2 - 0,6



I valori trovati sono risultati estremamente soddisfacenti e consentivano il riutilizzo del materiale senza ulteriori trattamenti. Per la realizzazione dei due nuovi rilevati si è adottato lo schema operativo seguente. La miscela in blocchi era trasportata con autocarri verso i luoghi di riutilizzo, dove era scaricata. Mediante una pala cingolata, essa era stesa e ulteriormente spaccata dalla pala stessa che la uniformava nello spessore di circa 30 cm. Una grossa macchina pulvimixer sminuzzava il materiale fino a ridurlo passante al setaccio da 25 mm. I controlli in cantiere del contenuto di umidità indicavano che la miscela sminuzzata era sempre nelle condizioni prossime a quelle ottimali per il suo costipamento finale. Perciò, come si sperava, non è mai stato necessario aggiungere altra calce viva, allo scopo di diminuire il contenuto d'acqua della miscela. Dopo il passaggio del pulvimixer e prima del costipamento finale si prelevavano campioni, con i quali sono stati determinati gli indici IPI e CBR saturo. I risultati sono presentati nella successiva figura 5, nella quale si mettono a confronto i valori degli indici delle miscele di cantiere rispettivamente del rilevato provvisorio RIB X e dei due definitivi.

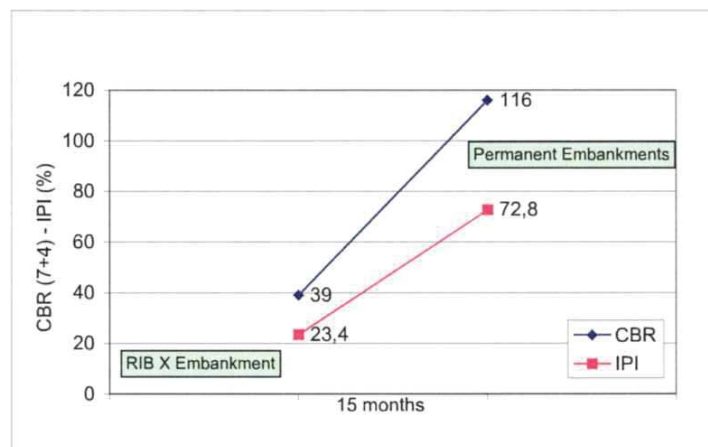


Figura 5 – Valori IPI e CBR (7+4) per il rilevato RIB X e per i due rilevati permanenti

E' evidente che entrambe le caratteristiche di portanza del materiale sono risultate notevolmente incrementate: sia l'IPI sia il CBR saturo sono infatti aumentati di circa 3 volte. La costruzione dei due nuovi rilevati fu eseguita in diverse riprese; ciascuna squadra di lavoro metteva in opera la miscela riciclata al ritmo di circa 2000 m<sup>3</sup>/day. Il costipamento finale degli strati è stato eseguito unicamente con un rullo metallico liscio in condizioni vibranti. E' stato sempre rispettato il requisito minimo di progetto del 98% della densità massima Proctor Standard, raggiungendo mediamente il 102%. Anche i valori di Modulo di Deformazione Md relativi ai diversi strati dei due nuovi rilevati e misurati con la piastra da 30 cm di diametro a tre giorni dalla posa in opera, sono risultati incrementati dai 700-810 daN/cm<sup>2</sup> del rilevato RIB X agli attuali 1030-1210 daN/cm<sup>2</sup>. L'incremento delle caratteristiche meccaniche ottenute con la rilavorazione della miscela terra – calce trova una credibile giustificazione nello sviluppo delle reazioni chimiche a lungo termine tra le argille e la calce intervenute durante i 15 mesi di vita utile del rilevato RIB X.

## 7. CONCLUSIONI

In Italia, i trattamenti di stabilizzazione con la calce delle terre limo – argillose hanno ormai assunto una diffusione comparabile con quella di altri paesi nei quali si erano affermati già negli anni '70. La rimonta di questa tecnologia è stata sostenuta primariamente dai lavori pubblici. Nell'ambito dell'Alta Velocità ferroviaria Milano–Napoli, l'Impresa Pizzarotti ha

svolto un'interessante lavoro di ricupero di terre plastiche ricavate dagli scavi di pali e plinti di fondazione dell'opera d'arte denominata : "Sistema Viadotti Modena".



Figura 6 – Parte del rilevato ferroviario realizzato con la miscela ricuperata.

E' stato inizialmente costruito il rilevato provvisorio RIB X, necessario per la posa in opera di travi a omega del viadotto. Durante i quindici mesi di pesante esercizio del rilevato RIB X sul quale transitava il carrellone per il trasporto delle travi con peso lordo di 1000 tonnellate, non si sono verificati ammaloramenti degli strati trattati con la calce neppure nei mesi invernali. A fine vita il rilevato provvisorio è stato demolito. La demolizione, seppure impegnativa per la robustezza degli strati, è avvenuta a condizioni tecnico – economiche pienamente accettabili. La miscela terra – 3% calce viva ricuperata è stata ritenuta idonea per costruire due nuovi rilevati permanenti. Tutte le qualifiche di laboratorio fatte sulle terre utilizzate e sulle miscele lavorate hanno garantito che la costruzione del rilevato provvisorio prima e dei rilevati permanenti dopo, avvenissero nel pieno rispetto delle prescrizioni tecniche del capitolato di Italferr. Durante la nuova posa in opera non è mai stato necessario correggere l'umidità della miscela ricuperata, risultata ancora adeguata alle nuove fasi di costipamento. Il pieno rispetto di tutte le prescrizioni di lavorazione, attesta che le terre plastiche trattate con la calce sono un ottimo materiale da costruzione, che incrementa nel tempo le proprie caratteristiche e che permette di alleviare la notevole scarsità delle più pregiate terre non plastiche. Le esigenze di minimo impatto ambientale di opere importanti come la nuova linea ferroviaria ad Alta Velocità Milano–Napoli sono favorite dall'uso delle terre trattate con la calce.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Ferrovie dello Stato – Italferr; R.MARCHISELLA, P.CICINI, S.GIAMBARTOLOMEI, A.BUONANNO, T.CASAGRANDE, V.MISANO. Trattamento delle terre con calce, Specifica Tecnica, 1998.

IMPRESA PIZZAROTTI & C. Sistema Viadotti Modena: Le Travi ad Omega. Internal Publication; 2004.

R. CHIERICI, Sistema Viadotti Modena. Una scelta Vincente, 2004. Quarry & Construction September 2004;



A. BENEDETTO, C. DESTEFANI, M. MARINO, S. SDOGA; Stabilizzazione a calce in ferrovia – Il caso dell’alta velocità / capacità Modena – Bologna, Quarry & Construction October 2004.

[www.lime.org](http://www.lime.org);

[www.tav.it](http://www.tav.it);

[www.pizzarotti.it](http://www.pizzarotti.it)