

La stabilizzazione dei terreni con calce

NAPOLI 18 aprile 2012

La nuova specifica tecnica di RFI per il trattamento a calce dei terreni Applicazioni ferroviarie

Vittorio MISANO

Istituto Sperimentale

La specifica tecnica di RFI

- Terra trattata con calce
- DEFINIZIONE
- Miscela composta da terra, calce viva o idrata ed acqua, in quantità e rapporti tali da modificare le caratteristiche fisico-meccaniche della terra, al fine di ottenere una miscela idonea per la formazione di strati di terreno che, dopo il costipamento, risultino di adeguata resistenza meccanica, nonchè stabili all'azione dell'acqua e del gelo

La specifica tecnica di RFI

Miglioramento della terra trattata con calce

DEFINIZIONE

- Trattamento con contenuto di calce pari al CIC (consumo iniziale di calce) per il miglioramento immediato delle caratteristiche geotecniche della terra stessa, quali la riduzione del contenuto d'acqua, l'incremento della capacità portante, l'aumento dell'umidità ottima di costipamento e la riduzione dell'indice di plasticità. Il miglioramento delle caratteristiche fisiche della miscela non è garantito come durevole nel tempo

La specifica tecnica di RFI

Stabilizzazione della terra trattata con calce

DEFINIZIONE

- Trattamento con contenuto di calce superiore al CIC (consumo iniziale di calce) tale da conferire alla terra oltre alle caratteristiche indicate nel miglioramento anche una stabilità ed irreversibilità alle azioni dell'acqua e del gelo e quindi una durabilità nel tempo.

La specifica tecnica di RFI

Miglioramento della terra

a breve termine si ottiene :

- Riduzione del contenuto d'acqua
- Incremento della capacità portante
- Riduzione della plasticità

Stabilizzazione delle terre

a medio e lungo termine si ottiene :

- Modifica delle caratteristiche fisico-meccaniche
- Riduzione della sensibilità all'acqua ed al gelo

La specifica tecnica di RFI

Caratteristiche delle terre

Il trattamento dei terreni con calce è possibile per tutti i terreni argillosi, più o meno limosi, non dotati all'origine delle caratteristiche meccaniche e prestazionali richieste per la realizzazione di opere in terra.

Limite di accettabilità:

- Granulometria contenuta nel fuso (CNR B.U. n.36)
- Indice di plasticità: > 10%
- Contenuto di sostanze organiche < 2%
- Contenuto di solfati e solfuri < 0,25 %

La specifica tecnica di RFI

Caratteristiche della calce

I tipi di calce impiegabili nella stabilizzazione dei terreni sono le calce da costruzione :

- CL 90
- CL 80

I requisiti fisici, granulometrici e chimici sono indicati nella norma UNI EN 459-1

La specifica tecnica di RFI

Caratteristiche chimiche della calce (es. Calce viva CL 90)

- CO₂ <4%
- CaO +MgO >90 %
- MgO < 5%
- SO₃ <2%
- Reattività all'acqua > 60° entro 25'

La specifica tecnica di RFI

Progetto del trattamento delle terre con calce

Il progetto della stabilizzazione a calce di una terra viene sviluppato secondo le seguenti tre fasi:

- Definizione dei volumi e delle caratteristiche del terreno da trattare e le % di calce da utilizzare per il trattamento
- Determinazione dei parametri di riferimento del terreno e scelta delle miscele
- Realizzazione del campo prova

La specifica tecnica di RFI

Identificazione della terra da trattare

- Composizione granulometrica
- Indici di plasticità
- Contenuto d'acqua naturale
- Contenuto in solfati e solfuri
- Contenuto in sostanze organiche
- Caratteristiche di costipamento
- Indice CBR
- Indice CBR immediato (IPI)

La specifica tecnica di RFI

Studio delle miscele sperimentali

Scopo dello studio delle miscele sperimentali è quello di determinare il quantitativo minimo di calce necessario ad ottenere il miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti.

Nel caso della stabilizzazione vengono eseguite 3 miscele preparate aumentando dello 0,5 % ciascuna il contenuto di calce partendo dal valore del CIC (% di calce minima in grado di elevare il Ph della miscela al valore di 12,4).

Il valore % della calce da impiegare non dovrà mai essere inferiore al 2% del peso del secco del terreno.

La specifica tecnica di RFI

Studio delle miscele sperimentali

- Composizione granulometrica
- Indici di plasticità
- Contenuto d'acqua
- Caratteristiche di costipamento
- Indice CBR imbibito
- Indice CBR immediato (IPI)

Limiti di accettazione delle miscele terra calce

CBR a 7 gg (3+4 imb.) >20 per strati piano di posa

> 50 per strati corpo rilevato

< 1 % rigonfiamento lineare

Indice portanza immediato > 10 (IPI)

La specifica tecnica di RFI

Studio delle miscele sperimentali

Prove di laboratorio su miscele terra /calce

- CBR dopo 28 gg di maturazione con imbibizione ultimi 4 gg
- Costipamento proctor modificato determinazione di W_{opt} e γ
- Compressione semplice a 7 gg di maturazione $d/h = 1/2$ su provini con diverso grado di $W\%$: W_{opt} - $W_{opt+2\%}$ - $W_{opt-2\%}$
- Compressione semplice a 28 gg di maturazione $d/h = 1/2$ su provini con diverso grado di $W\%$: W_{opt} - $W_{opt+2\%}$ - $W_{opt-2\%}$

La specifica tecnica di RFI

Realizzazione del campo prova

Il campo prova ha lo scopo di verificare su scala reale quanto desunto dallo studio della miscela scelta e di definire metodo e modalità di compattazione

Si esegue il campo prova per volumi di terre da trattare > di 30.000 mc o piani di posa > di 15.000 mq.

I mezzi utilizzati dovranno essere i medesimi di quelli destinati alla realizzazione dell'opera.

Il pulvimixer dovrà avere una capacità di trattare spessori di 50 cm

Sugli strati finiti devono essere eseguiti i seguenti controlli :

- Md con piastra da 30 cm ai tempi: T=0 – T= 24 h – T= 7 gg – T= 28 gg solo sull'ultimo strato
- Densità in sito e W% al tempo T=0

La specifica tecnica di RFI

Controlli in corso d'opera

CONTROLLI IN CORSO D'OPERA		
Tipo di controllo	Frequenza	Requisito
Controlli sui materiali		
Requisiti della calce	ogni 1000 tonnellate	
Verifica delle caratteristiche del terreno in cumulo, per realizzazione del corpo del rilevato	Ogni 4.000 mc	
Misura del contenuto d'acqua della terra prima dell'aggiunta di calce	Giornaliera	
Verifica della quantità di calce in fase di stesa	Giornaliera	quantità (%) scelta dopo sperimentazione sul campo prova
Controllo omogeneità granulometrica dei terreni dopo l'aggiunta di calce e la miscelazione	Ogni 1.000 mq	100 % pass al setaccio da 31,5 mm 70 % passante al setaccio 5,6 mm
Verifica del contenuto d'acqua della miscela prima della compattazione	Giornaliera	compreso tra +2 ÷ -2% Wopt

La specifica tecnica di RFI

Controlli Finali

Ogni 2000 mq dovrà essere verificato che:

- **Il modulo di deformazione misurato con piastra da 30 cm sia > 20 Mpa per il piano di posa del rilevato (intervallo dicarico (0,02-0,15 MPa) e**
- **>40 Mpa per il corpo del rilevato (intervallo di carico 0,15-0,25 MPa)**
- **Il grado di costipamento >95 % della densità AASHTO modificato**
- **Lo spessore dello strato sia di 30 cm**

Bologna – Milano

Il trattamento a calce
dei terreni della linea
AV Bologna - Milano

Bologna – Milano

Caratteristiche dei terreni

• Limite liquido	44
• Indice plastico	23.5
• USCS	CL
• CIC (contenuto iniziale calce)	2
• W_{opt} %	17.3
□ $\gamma_{d,max}$	16.64
• IBI (indice di portanza iniziale)	10
• CBR	3
• Rigonfiamento %	2,3

Miscele preparate

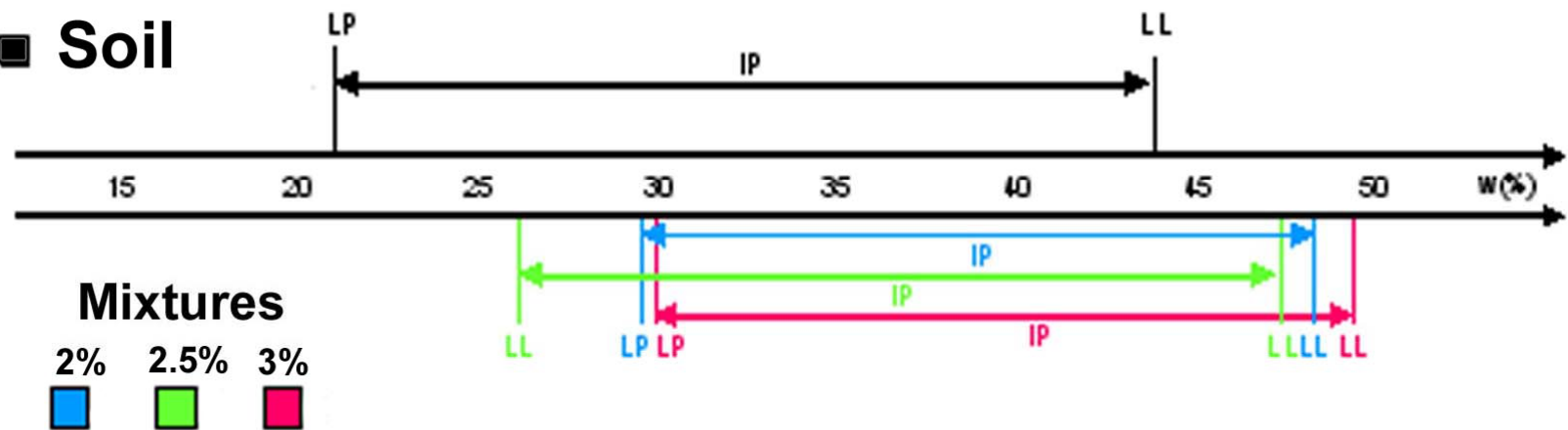
Miscela "A" = terreno + calce 2 % (CIC)

Miscela "B" = terreno + calce 2,5 % (CIC+ 0,5)

Miscela "C" = terreno + calce 3 % (CIC+ 1)

In accordo con la Specifica tecnica di RFI, le tre miscele avevano IPI>10 ed un rigonfiamento <1%

■ Soil



Variation dei limiti di atterberg e del campo plastico per effetto del trattamento con calce

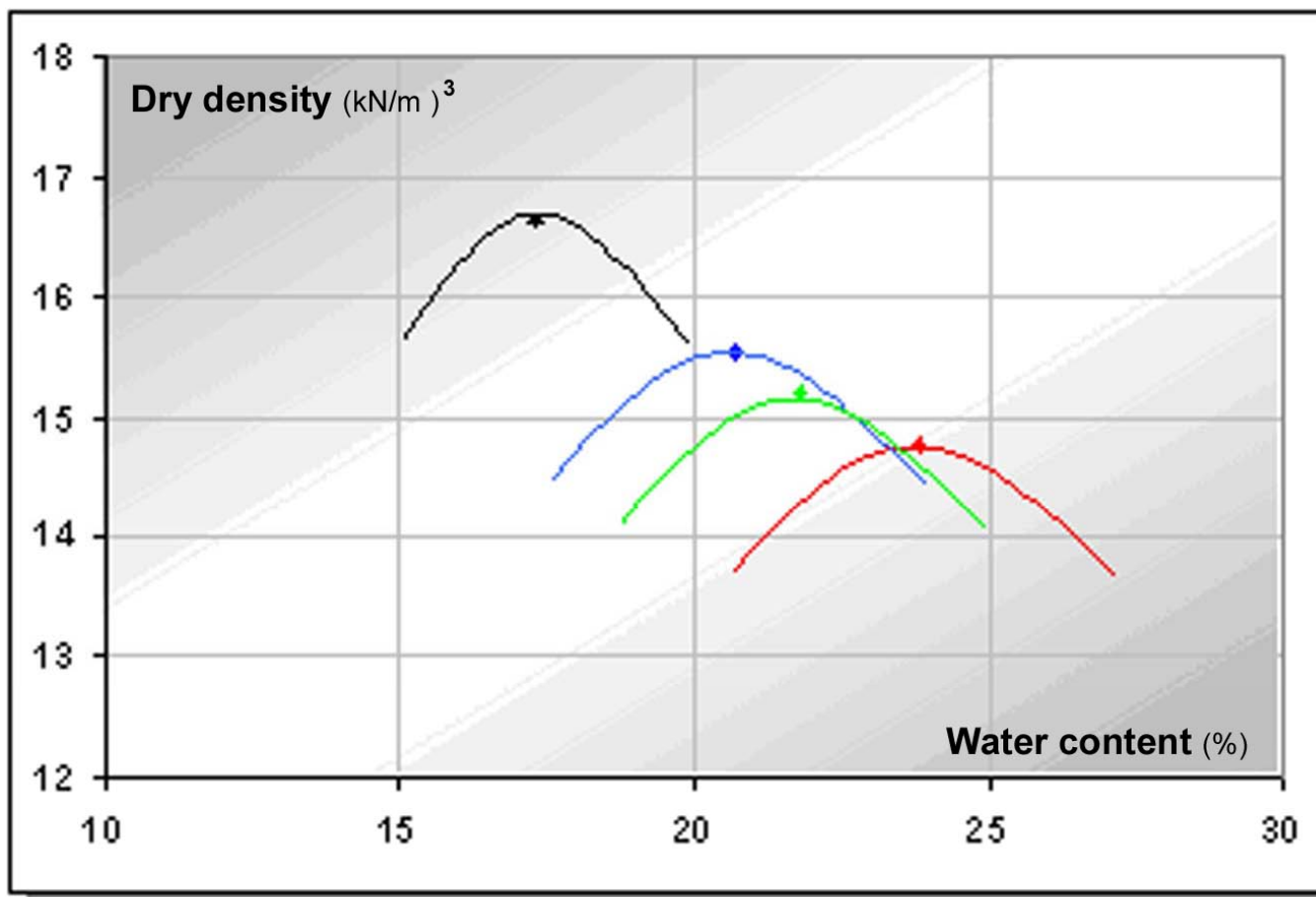
Limiti di Atterberg

	Miscele con calce			
	0	2	2,5	3
LL	44	48,1	47,3	49,4
LP	21	29,9	26,1	30
IP	23	18,2	21,2	19,4

Proctor Test

	Calce %			
	0	2	2,5	3
	W_{ott}	17,3	20,7	21,8
$\gamma_{d\ max}$	16,64	15,54	15,21	14,78

Curve di compattazione del terreno tal quale e delle tre miscele



■ soil

■ 2,0%

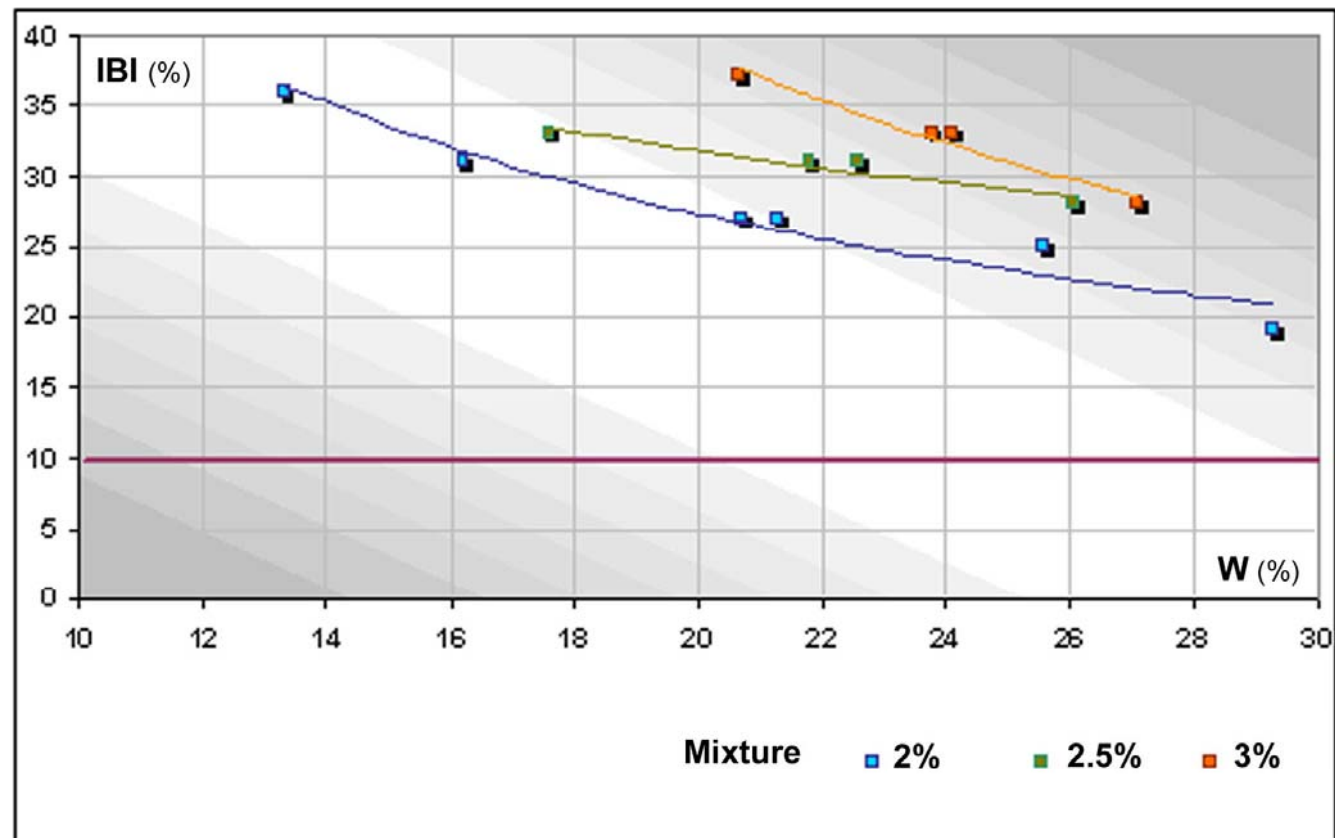
■ 2,5%

■ 3,0%

Variazione del contenuto d'acqua e della densità al variare del dosaggio di calce

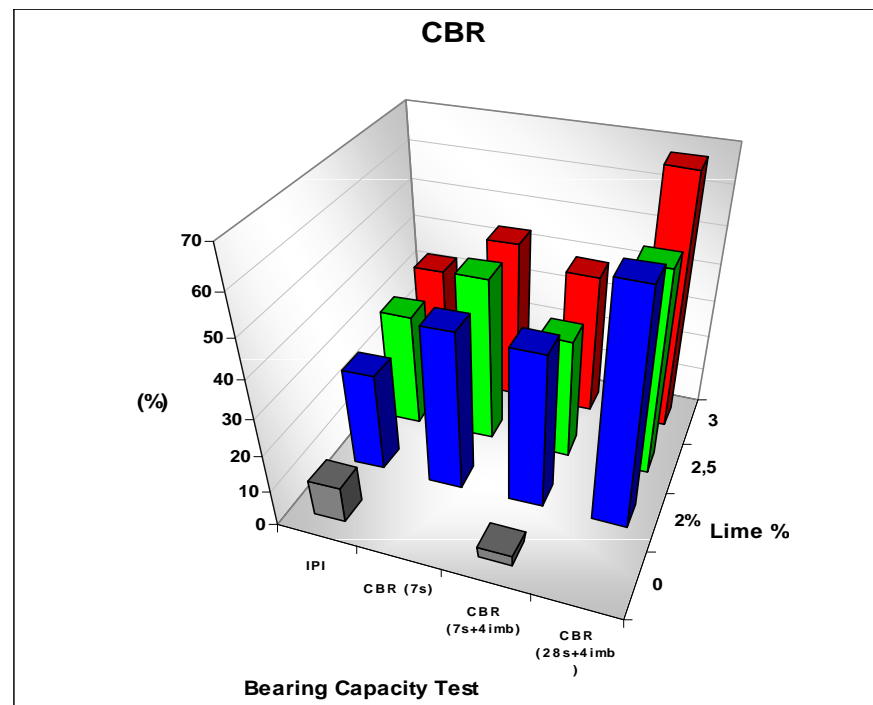
Calce %	0	2	2,5	3
W_{opt} %	17.3	20.7	21.8	23.8
γ_d max	16.64	15.54	15.21	14.78

Trend dell'indice di portanza iniziale al variare del contenuto d'acqua per le tre miscele



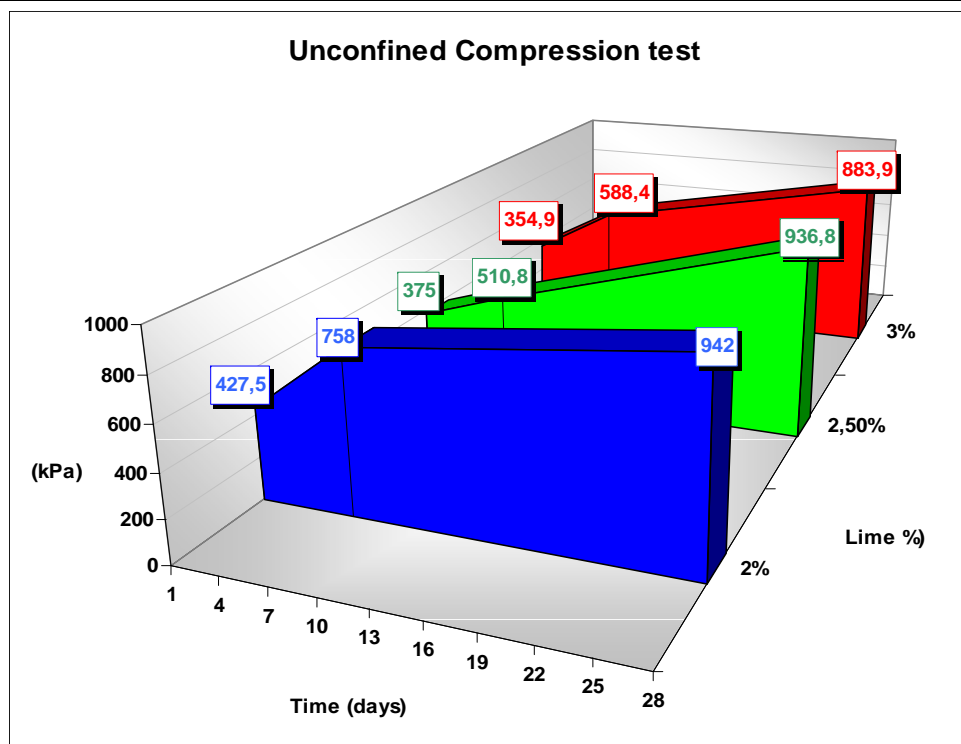
CBR in varie condizioni di maturazione ed imbibizione

Tempo (giorni)	% calce			
	0	2	2,5	3
0	10	27	31	33
7		43	45	44
11 (7 maturazione.+4 imbibizione.)	3	42	33	39
32 (28 maturazione +4 imbibizione)		62	55	68



Evoluzione nel tempo della resistenza a compressione semplice per le tre miscele trattate a calce

Tempo (giorni)	Dosaggio di calce		
	2%	2,50%	3%
1	427,5	375	354,9
7	758	510,8	588,4
28	942	936,8	883,9



Conclusioni

- I risultati delle prove in sito hanno dato esito migliore di quelli evidenziati nello studio preliminare di laboratorio;
- Sono stati trattati oltre 6.000.000 di metri cubi di terreno utilizzando 300.000 tonnellate di calce ;
- La necessita di trattare il terreno con calce in grande scala è stata una innovazione tecnologica per le ferrovie italiane;

Conclusioni

- Dal punto di vista ambientale, il trattamento dei terreni con calce ha permesso di ridurre al minimo il consumo di materiali naturali pregiati attraverso il riutilizzo di terreni che altrimenti sarebbero andati in discarica perché dotati di scadenti caratteristiche meccaniche;
- Per un efficace trattamento è necessario eseguire un attento controllo delle caratteristiche dei materiali prima e dopo la stabilizzazione; lo studio preliminare di laboratorio ed i campi prova delle miscele hanno garantito le caratteristiche richieste.
- La specifica tecnica di RFI adottata per il trattamento dei terreni con calce, ha costituito una guida fondamentale per la Direzione lavori e per la stazione appaltante;



Miscelazione in sito terreno-calce



Compattazione dei terreni dopo miscelazione



Veduta aerea della linea AC Bologna-Milano in costruzione



Grazie per l'attenzione