

Convegno

**Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli**
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

**Costruzione nuova sede della scuola di Ingegneria ed Architettura
dell'Università degli Studi di Bologna in Cesena , area ex
zuccherificio. Stabilizzazione a calce/cemento dei piani di imposta
dei fabbricati di progetto.**

AREA DI INTERVENTO : 150,00 x 120,00 = 18000,00 m²

**CESENA - AREA EX ZUCCHERIFICIO
UNITA' DI INTERVENTO 5**



**PROGETTO PER LA NUOVA SEDE DELLE
FACOLTA' DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

COMITENTE

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA
POLO SCIENTIFICO-DIDATTICO DI CESENA**

PROGETTO DEFINITIVO ARCHITETTONICO SENSO D'INFORMAZIONE EMBLEMA PERMANENTE EMBLEMA

GREGOTTI ASSOCIATI INTERNATIONAL

RESPONSABILE LAVORO DEL PROGETTO

ing. ANDREA BRASCHI

PROGETTO DEFINITIVO

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

PROGETTO DEFINITIVO ARCHITETTONICO

arch. CRISTINA TARTARI

PROGETTO DEFINITIVO STRUTTURE

arch. STEFANO ZACCHINI

PROGETTO DEFINITIVO SPUNTI EMBLEMA

per. ind. ROBERTO RICCI

PROGETTO DEFINITIVO SPUNTI EMBLEMA

per. ind. UBER DEMOLA

COORDINATORE DELLA SICUREZZA

arch. ANDREA RICHETTI

COLLABORATORI

gen. CRISTINA BRASCHI

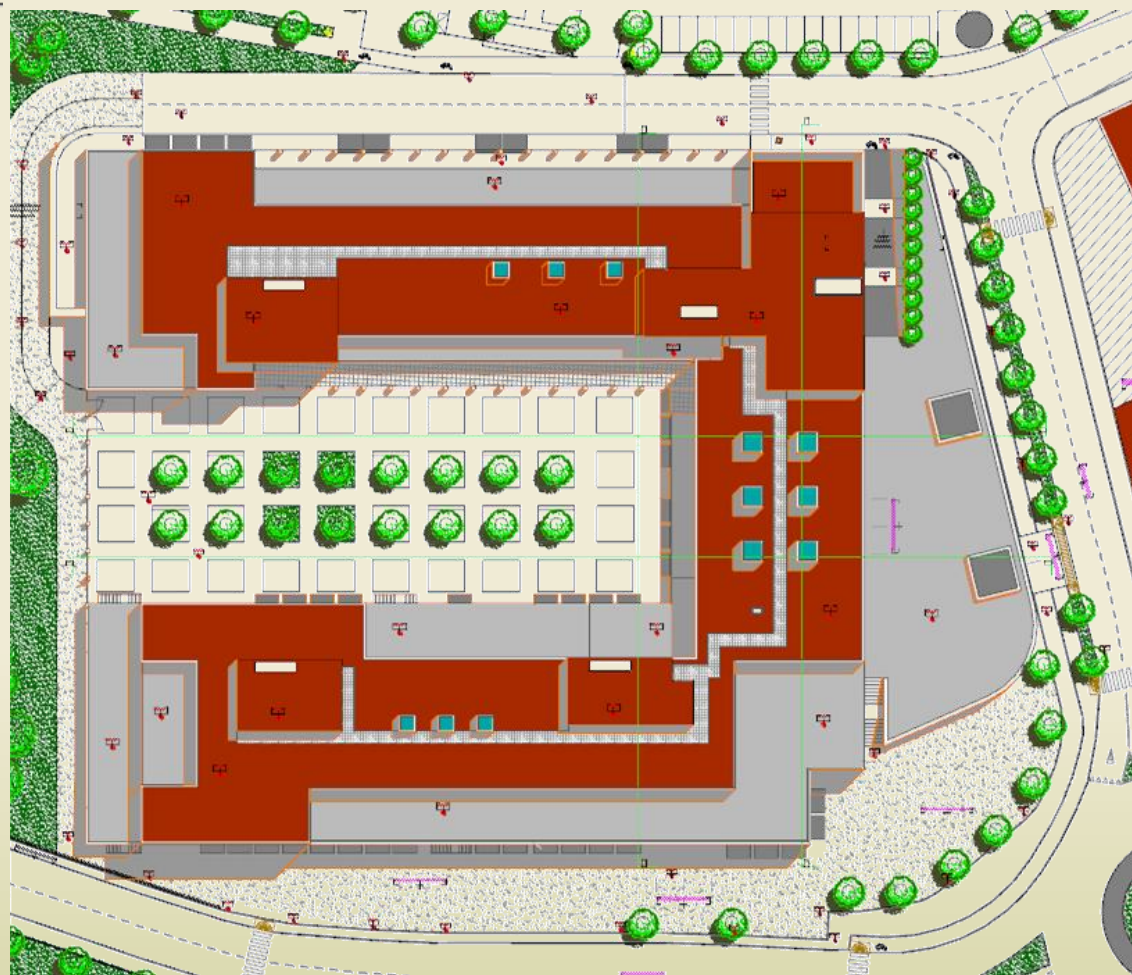
ing. ANDREA BRASCHI

ing. FRANCESCO GONDI

gen. LUDOVICO GONDI

ing. ANDREA RICHETTI

SPUNTI PROGETTI ED
TUTTI SPUNTI



INERTIA 2015

4° Salone sul Recupero dei Rifiuti Inerti



Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

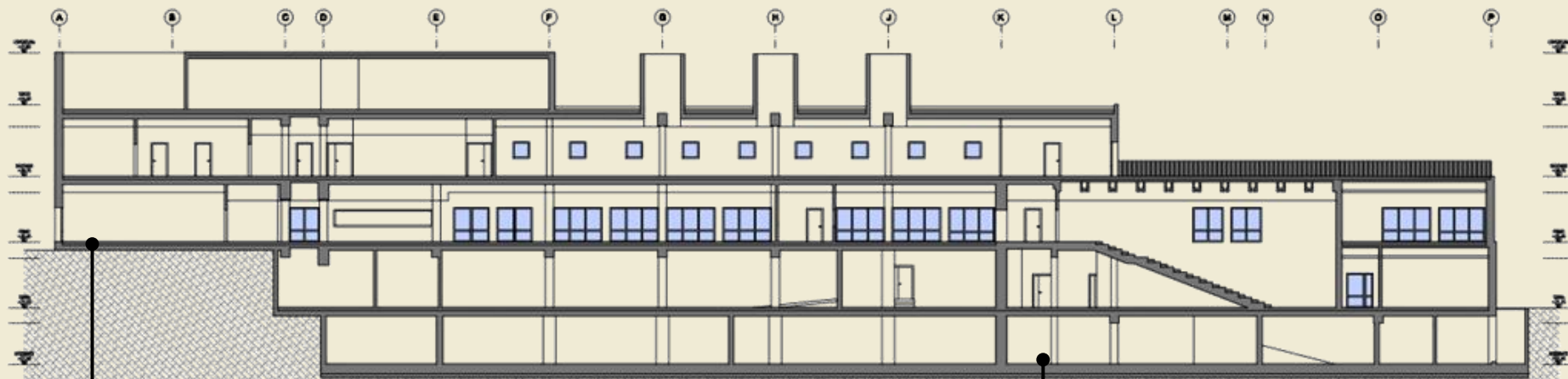


Dott. Ing. Mirco Mischiatti

e-mail: m.mischiatti@mischiatti-ingegneria.com

INERTIA 2015

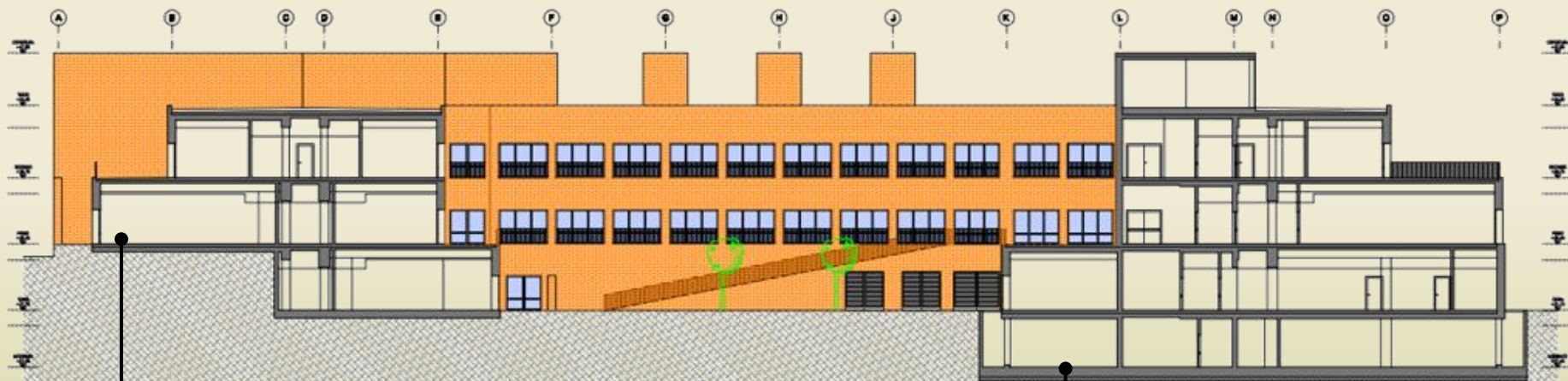
4° Salone sul Recupero dei Rifiuti Inerti



$Q_{PAV}=35,45 \text{ m}$

$Q_{PAV}=27,45 \text{ m}$

SEZIONE D-D



$Q_{PAV}=35,45 \text{ m}$

$Q_{PAV}=27,45 \text{ m}$

SEZIONE C-C

INERTIA 2015

4° Salone sul Recupero dei Rifiuti Inerti



Fasi di scavo prima della stabilizzazione del rilevato

Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

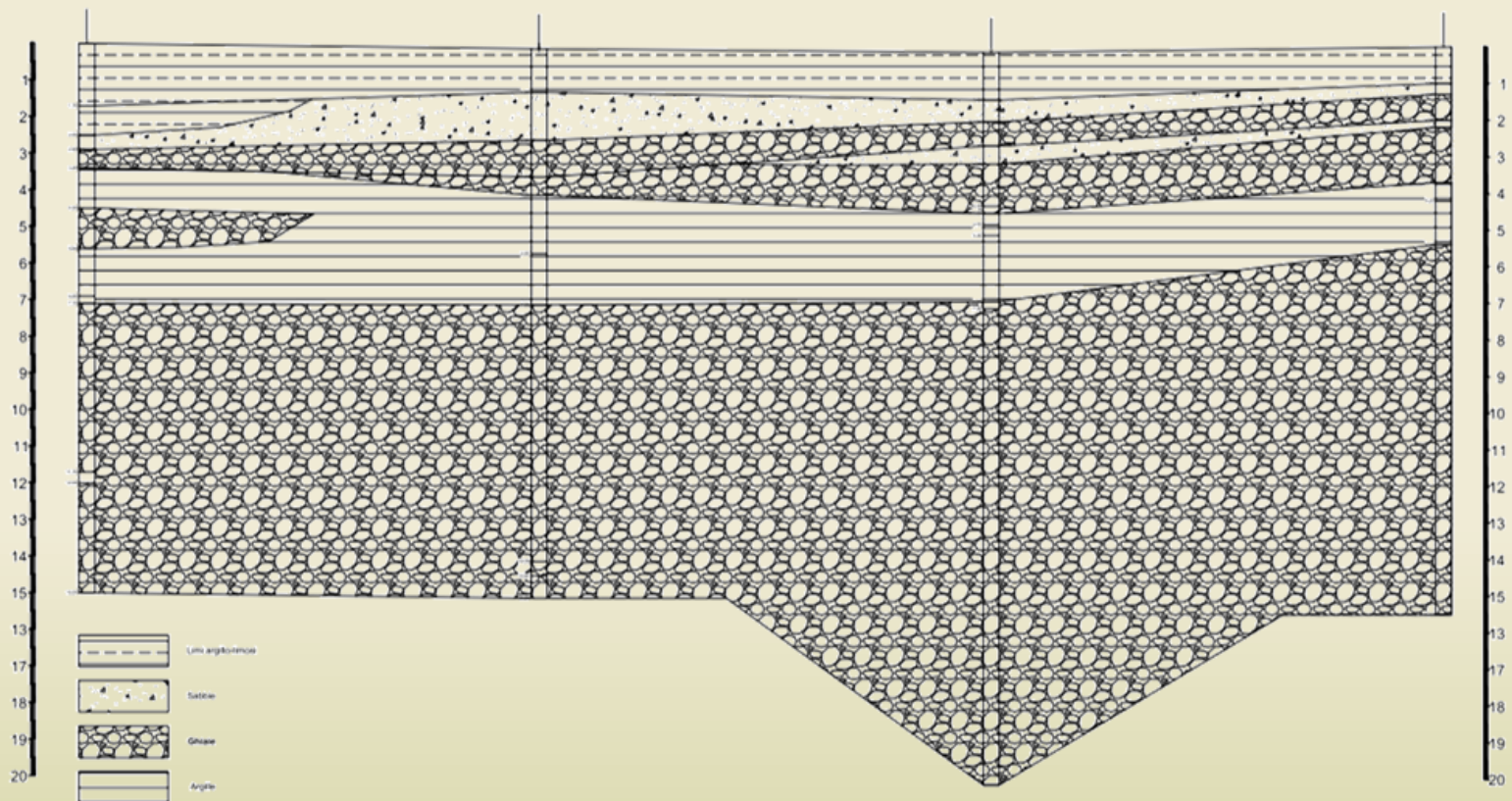
SEZIONE GEOLOGICA

S3/2014

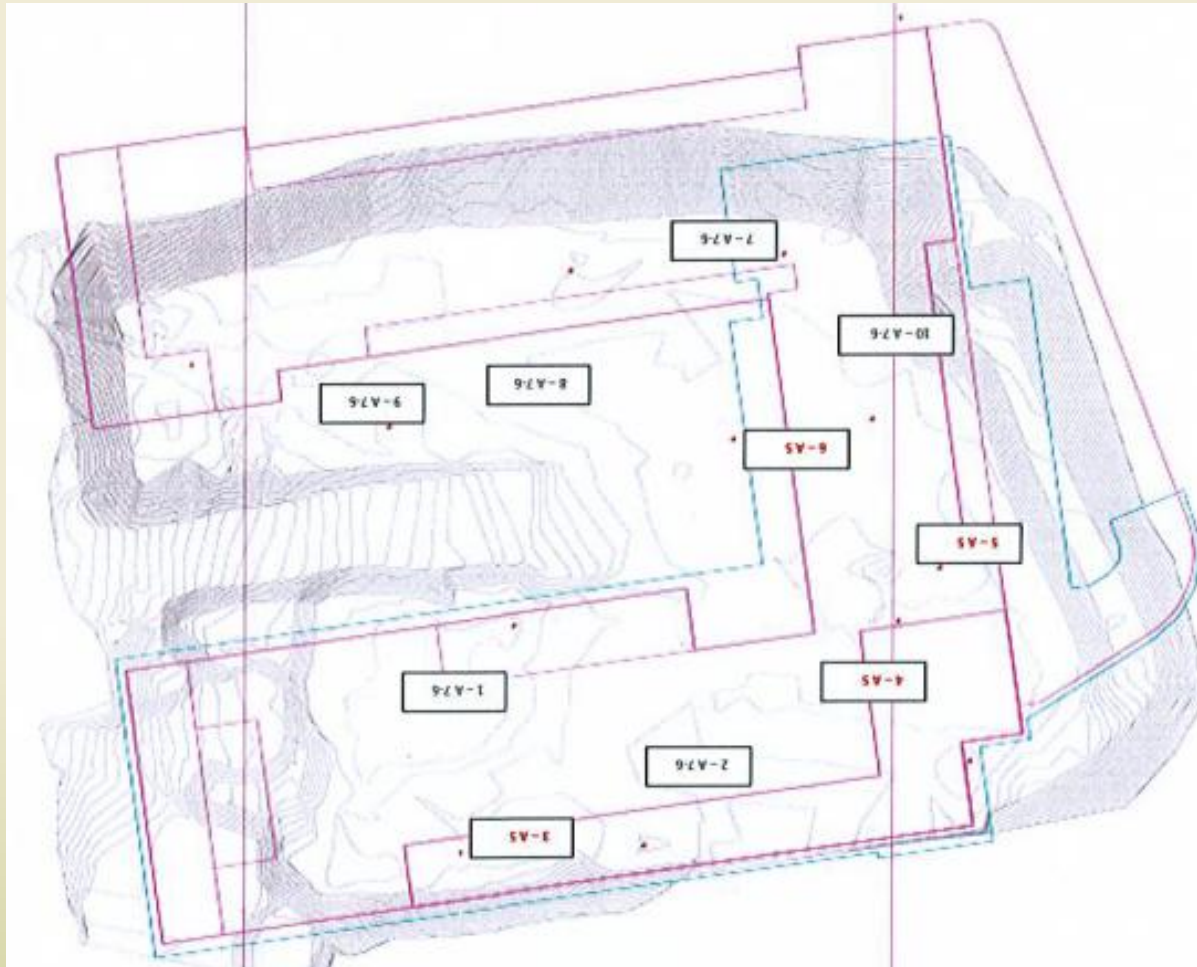
S2/2014

S1/2014

PZ1/2014



Sono stati prelevati n° 10 campioni di terreno nel fondo vasca e n°8 campioni del materiale scavato e accantonato momentaneamente in cantiere.



Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

Sui dieci campioni prelevati in sito sono state eseguite prove di classificazione ex UNI 10006 comprensive di limiti di consistenza , analisi granulometrica e contenuto di sostanza organica.

Le prove di laboratorio hanno permesso di classificare i terreni di fondo vasca in due distinte tipologie:

- a) una tipologia costituita da argille plastiche appartenenti al gruppo A 7-6 della Class. UNI 10006 , con indice di plasticità medio $IP > 10$ (campioni 1-2-7-8-9-10);**
- b) una seconda tipologia costituita dai fanghi limosi biancastri poco plastici appartenenti al gruppo A 5 della classificazione ex UNI 10006, con indice di plasticità medio $IP < 10$ (campioni 3-4-5-6).**

Le analisi eseguite sui campioni prelevati in cumulo (n°8) hanno permesso di classificare tali terreni come argille plastiche appartenenti al gruppo A 7-6 della classificazione ex UNI 10006, con indice di plasticità medio $IP > 10$.

Il contenuto di sostanza organica di tutti i campioni, mediamente del 2-2.5 %, rientra nei limiti di accettabilità prescritti dal capitolato.

Dalle prove di classificazione si può affermare che tutte le argille appartenenti al gruppo A 7-6 della classifica ex UNI 10006 aventi indice di plasticità molto elevati (di molto superiore al limite $IP > 10$) sono idonee al trattamento a calce (CaO) come previsto dalla norma CNR B.U. 36 che regola la stabilizzazione a calce.

Per quanto riguarda invece i fanghi biancastri di natura prevalentemente carbonatica poco plastici ($IP < 10$) è consigliabile un trattamento a cemento o calce/cemento.

Sulla base delle prove preliminari di classificazione si è proceduto allo studio delle due diverse tipologie di materiali miscelando fra loro i campioni plastici appartenenti al gruppo A 7-6 e quelli non plastici appartenenti al gruppo A 5.

Mix campioni argillosi gruppo A 7-6

Prove eseguite:

- Determinazione del consumo iniziale di calce CIC sul mix non trattato a CaO (ASTM D 6276)
- Determinazione sul mix non trattato a CaO dei solfati, solfuri e nitrati
- Prova di compattazione Proctor Modificata sul mix trattato al 3% di CaO (CNR B.U.n° 69)
- N° 3 prove di compressione dopo 7 gg di maturazione in ambiente umido sul mix trattato al 3% di CaO (CNR B.U. n°29)
- N° 3 prove CBR dopo 7 gg maturazione in ambiente umido e 4 di saturazione in acqua sul mix trattato al 3% di CaO (CNR B.U. 36)

Il valore medio di CIC (consumo iniziale di calce) eseguito sul mix dei sei campioni è risultato essere 1.8% e i contenuti di solfati , solfuri e nitrati sotto i valori limiti normalmente previsti da capitolato.

I valori di compressione sono risultati essere mediamente 0.893 MPa e quelli di penetrazione CBR di circa 79 % , entrambi conformi ai valori di riferimento previsti dalla norma CNR n°36 per la stabilizzazione dei terreni di sottofondo o strati portanti con calce.

TIPO DI PROVA	STRATI PORTANTI	SOTTOFONDO	BONIFICA
PENETRAZIONE CBR	I CBR > 50 % RIG. < 1 %	I CBR > 20 % RIG. < 2 %	I CBR > 10 % *
PROVA ESEGUITA SU TERRENI COMPATTATI CON ENERGIA RELATIVA ALLA PROVA PROCTOR Mod.	PROVA ESEGUITA DOPO 7 GIORNI DI STAGIONATURA E 4 GIORNI DI IMBIBIZIONE	PROVA ESEGUITA DOPO 2 ORE DI STAGIONATURA SENZA IMBIBIZIONE	
COMPRESSIONE SEMPLICE 7 gg MATURAZIONE	Rc > 5 kg / cm ²	Rc > 3 kg / cm ²	*
COMPRESSIONE SEMPLICE 28 gg MATURAZIONE	Rc > 10 kg / cm ²	Rc > 6 kg / cm ²	*

Mix fanghi carbonatici gruppo A 5

Sono state eseguite le seguenti prove :

- **Prova CBR sul mix non trattato a cemento dopo 4 gg di saturazione in acqua (CNR B.U. 36)**
- **Prova di compattazione Proctor Modificata sul mix trattato al 3% di cemento (CNR B.U.n° 69)**
- **N° 6 prove di compressione dopo 7 gg di maturazione in ambiente umido sul mix trattato al 3% di cemento (CNR B.U. n° 29)**
- **N° 3 prove CBR dopo 7 gg maturazione in ambiente umido e 4 gg di saturazione in acqua sul mix trattato al 3% di cemento (CNR B.U. 36)**

I valori di compressione sono risultati essere mediamente $0.797 \text{ MPa} > 0,50 \text{ MPa}$ e quelli di penetrazione CBR di circa $59\% > 50\%$, entrambi conformi ai valori di riferimento previsti dalla norma CNR n° 36 per la stabilizzazione con calce dei terreni considerati strati portanti. Da segnalare che la prova CBR sui campioni non trattati a cemento ha fornito un valore di Indice CBR 13% (dopo 4 gg saturazione in acqua) soddisfacente da assimilare a valori normalmente ottenibili su terreni limosi poco plastici.

Sulla base dei buoni valori ottenuti dalle analisi eseguite, si è ritenuto che con il trattamento dei terreni al 3% di CaO (mix terreni appartenenti al gruppo A 7-6) e al 3% di cemento Portland 325 (mix terreni appartenenti al gruppo A5) si possano ottenere risultati soddisfacenti nella realizzazione dei rilevati di progetto.

Bisogna comunque evidenziare che non essendo ben delimitati nel fondo vasca i terreni argillosi (gruppo A 7-6) da quelli limosi carbonatici (gruppo A5) risulta difficile operativamente procedere a un trattamento di consolidazione differenziato delle due tipologie di materiale.

Si consiglia pertanto di procedere a un doppio trattamento (CaO e cemento) su tutto il fondo vasca per facilitare e rendere l'intervento il più omogeneo possibile. Il primo trattamento di con 1.5 % di CaO per togliere plasticità ai terreni argillosi (vedi valore di C.I.C) e un secondo trattamento di consolidamento con il 3% di cemento .

Per quanto riguarda invece la realizzazione dei rilevati fuori terra con terreni prevalentemente argillosi , che a seguito della doppia rimozione hanno subito inevitabile miscelazione con omogeneizzazione dei materiale, si potrà procedere con il trattamento al 3% di CaO precedentemente menzionato.

VANTAGGI DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE

I terreni di natura argillosa e argillo limosa, provenienti da scavi in cantiere, sono in genere destinati alla messa in discarica per la loro scarsa natura meccanica e per la loro scarsa lavorabilità. Per riuscire a riutilizzare questi tipi di terreni per la formazione di rilevati in genere o per riempimenti di trincee, è sufficiente stabilizzarli con calce, calce/cemento.

Così facendo si avranno i seguenti benefici:

- riduzione del contenuto d'acqua;
- cambio di stato delle particelle;
- miglior lavorabilità;
- aumento delle caratteristiche meccaniche;

PRIMA FASE DI INTERVENTO – RILEVATO ALA SUD-OVEST EDIFICIO 29 maggio- 11 giugno 2014



**29/05/2014 Trattamento a calce
Piano di Posa**



**30/05/2014 Trattamento a cemento
Piano di Posa
Convegno**

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

PRIMA FASE DI INTERVENTO – RILEVATO ALA SUD-OVEST EDIFICIO 29 maggio- 11 giugno 2014



stesa della calce



compattazione e livellamento

Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

PRIMA FASE DI INTERVENTO – RILEVATO ALA SUD-OVEST EDIFICIO 29 maggio- 11 giugno 2014



Stesa del terreno per la formazione del rilevato

PRIMA FASE DI INTERVENTO – RILEVATO ALA SUD-OVEST EDIFICIO 29 maggio- 11 giugno 2014



Stesa del terreno per la formazione del rilevato

CONTROLLI IN CORSO D'OPERA (29 maggio - 11 giugno 2014)

Durante la fresatura e miscelazione del terreno con calce e cemento, sono stati prelevati n°2 campioni della miscela terra + 1,5% calce + 3% cemento.

I due campioni prelevati (uno nella zona a prevalente terreno argilloso e uno nella zona dei fanghi biancastri carbonatici) sono stati portati immediatamente in laboratorio per il confezionamento di provini da sottoporre a prova di compressione dopo 7 gg di maturazione e provini CBR da sottoporre a test di penetrazione dopo 7 gg di maturazione + 4 di imbibizione in acqua.

La compressione mediamente di 0.935 MPa per i terreni argillosi e 0.817 MPa per i fanghi carbonatici , soddisfano le prescrizioni di capitolato e della norma di riferimento CNR n° 36. Anche i valori di penetrazione CBR soddisfano le prescrizioni di capitolato e della norma di riferimento CNR n° 36 , risultano essere mediamente 83% per i terreni argillosi e 76% per i fanghi carbonatici.

Controlli di umidità pre-trattamento

Prima di eseguire la stesura del legante venivano prelevati un paio di campioni per il controllo dell'umidità.

Questa procedura va sempre effettuata prima del trattamento a calce o calce/cemento. L'umidità in sito risulta fondamentale per la scelta della percentuale di legante al momento della stesa.

Inoltre dà indicazioni per la scelta dei tempi e le modalità di compattazione.

Cantiere di Cesena, ALMA MATER
29/05/2014 - P1 - Fanghi Carbonatici

CALCOLO UMIDITA' NATURALE

Peso del Campione bagnato + la tara	1058,20	grammi
1° pesata al tempo t+2'	1055,50	grammi
2° pesata al tempo t+4'	1049,00	grammi
3° pesata al tempo t+6'		grammi
4° pesata al tempo t+8'	1031,10	grammi
5° pesata al tempo t+10'		grammi
6° pesata al tempo t+12'	1015,10	grammi
7° pesata al tempo t+14'		grammi
8° pesata al tempo t+16'	995,50	grammi
9° pesata al tempo t+18'		grammi
10° pesata al tempo t+20'		grammi
11° pesata al tempo t+22'	994,60	grammi
12° pesata al tempo t+24°	994,60	grammi
Peso del Campione secco + la tara	994,60	grammi
Peso dell'acqua	63,60	grammi
Tara*	803,10	grammi
Peso secco della parte solida	191,50	grammi
Contenuto in Acqua	33,21	%
Umidità ottimale di riferimento	24,00	%

* la tara è il peso del contenitore utilizzato

Note: ATTENDERE 1:30 h prima di effettuare la compattazione



Prove di carico su piastra statiche e dinamiche



- Prova n° 1 $M_d = 84.1 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 5 gg maturazione
- Prova n° 2 $M_d = 54.5 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 5 gg maturazione
- Prova n° 3 $M_d = 67.2 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 5 gg maturazione
- Prova n° 4 $M_d = 90.9 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 5 gg maturazione
- Prova n° 5 $M_d = 74.4 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione
- Prova n° 6 $M_d = 66.7 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione

(nell'intervallo di carico 0.15-0.25 MPa)



- Evd $66.42 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 5 gg maturazione
- Evd $48.44 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione

(media dei valori su n.60 prove)

Prove di densità in sito

Si sono inoltre eseguite due prove di densità in sito (una in corrispondenza dei terreni argillosi e una in corrispondenza dei fanghi carbonatici).

In corrispondenza delle due prove di densità è stato prelevato anche del materiale per eseguire una prova di compattazione Proctor modificata allo scopo di verificare se il grado di addensamento avesse raggiunto il 95% di quello ottimale di riferimento calcolato con le prove Proctor.

In entrambi i casi è stato raggiunto il valore di riferimento :

Prova n° 1 95.86 % (fanghi carbonatici)

Prova n° 2 95.26 % (terreni argillosi)



SECONDA FASE DI INTERVENTO - COSTRUZIONE RILEVATO ALA EST EDIFICIO

26 settembre - 17 ottobre 2014



Fasi preliminari - Bonifica del Fondo



Trattamento a calce

SECONDA FASE DI INTERVENTO - COSTRUZIONE RILEVATO ALA EST EDIFICIO 26 settembre - 17 ottobre 2014



Trattamento a calce



Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

SECONDA FASE DI INTERVENTO - COSTRUZIONE RILEVATO ALA EST EDIFICIO 26 settembre - 17 ottobre 2014



Trattamento a cemento



CONTROLLI IN CORSO D'OPERA (26 settembre - 17 ottobre 2014)

Prove di laboratorio su campioni prelevati il 29 settembre 2014

Durante la fresatura e miscelazione del terreno con calce e cemento, sono stati prelevati n°2 campioni della miscela terra + 3,0 % calce+ 3% cemento (Piano di posa) prima di procedere alla fase successiva di costruzione del rilevato.

I due campioni prelevati sono stati portati immediatamente in laboratorio per il confezionamento di provini da sottoporre a prova di compressione dopo 7 gg di maturazione e provini CBR da sottoporre a test di penetrazione dopo 7 gg di maturazione + 4 di imbibizione in acqua.

La compressione mediamente ha portato a risultati di 0.81 MPa che soddisfano ampiamente le prescrizioni di capitolato e della norma di riferimento CNR n° 36.

Anche i valori di penetrazione CBR , mediamente 79%, soddisfano le prescrizioni di capitolato e della norma di riferimento CNR n° 36 .

Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

CONTROLLI IN CORSO D'OPERA (26 settembre - 17 ottobre 2014)

Umidità in sito pre-trattamento

Prima di eseguire la stesura del legante venivano prelevati un paio di campioni per il controllo dell'umidità.

Questa procedura va sempre effettuata prima del trattamento a calce o calce/cemento. L'umidità in sito risulta fondamentale per la scelta della percentuale di legante al momento della stesa.

Inoltre dà indicazioni per la scelta dei tempi e le modalità di compattazione.

Cantiere di Cesena, ALMA MATER

25/09/2014 - Per stabilizzazione del Piano di Posa a Calce + Cemento del
26/09/2014

Corpo D

CALCOLO UMIDITA' NATURALE

Peso del Campione bagnato + la tara	715,93	grammi
1° pesata al tempo t+2'		grammi
2° pesata al tempo t+5'	685,14	grammi
3° pesata al tempo t+6'		grammi
4° pesata al tempo t+8'		grammi
5° pesata al tempo t+10'	681,85	grammi
6° pesata al tempo t+12'		grammi
7° pesata al tempo t+14'		grammi
8° pesata al tempo t+15'	681,60	grammi
9° pesata al tempo t+18'		grammi
10° pesata al tempo t+20'	681,40	grammi
11° pesata al tempo t+22'		grammi
12° pesata al tempo t+25'	681,38	grammi
Peso del Campione secco + la tara	681,38	grammi
Peso dell'acqua	34,55	grammi
Tara*	527,52	grammi
Peso secco della parte solida	153,86	grammi
Contenuto in Acqua	22,46	%
Umidità ottimale di riferimento	13,50	%

* la tara è il peso del contenitore utilizzato

Note: Il 26/09/2014 si stabilizzerà al 3% di Calce + 3% di Cemento



Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015

CONTROLLI IN CORSO D'OPERA (26 settembre - 17 ottobre 2014)

Prove di carico su piastra statiche e dinamiche 30 settembre 2014



- Prova n° 1 $M_d = 65.7 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione
- Prova n° 2 $M_d = 62.9 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione
- Prova n° 3 $M_d = 62.1 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione
- Prova n° 4 $M_d = 64.7 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione
- Prova n° 5 $M_d = 75.0 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione
- Prova n° 6 $M_d = 39.5 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 ora maturazione
(nell'intervallo di carico 0.15-0.25 MPa)



- Evd 73,10 $\text{MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 1 gg maturazione
(media dei valori su n.60 prove)

CONTROLLI IN CORSO D'OPERA (26 settembre - 17 ottobre 2014)

Prove di laboratorio su campioni prelevati il 6-10 ottobre 2014

Durante la fresatura e miscelazione del terreno con calce , sono stati prelevati n°2 campioni (uno in data 06/10/2014 e uno in data 10/10/2014) della miscela terra/calce. I due campioni prelevati nelle due fasi sono stati portati immediatamente in laboratorio per il confezionamento di provini da sottoporre a prova di compressione dopo 7 gg di maturazione e provini CBR da sottoporre a test di penetrazione dopo 7 gg di maturazione + 4 di imbibizione in acqua.

I valori di compressione mediamente di 0.854 MPa (prelievo del 06/10/2014) e 0.854 MPa (prelievo del 10/10/2014) soddisfano ampiamente le prescrizioni di capitolato e della norma di riferimento CNR n° 36.

Anche i valori di penetrazione CBR soddisfano le prescrizioni di capitolato e della norma di riferimento CNR n° 36 , risultano essere mediamente 64% (prelievo del 06/10/2014) e 68% (prelievo del 10/10/2014).

CONTROLLI IN CORSO D'OPERA (26 settembre - 17 ottobre 2014)

Prove di carico su piastra statiche e dinamiche 8-17 ottobre 2014



- Prova n° 1 $M_d = 101.1 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 08/10/2014
- Prova n° 2 $M_d = 61.4 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 08/10/2014
- Prova n° 3 $M_d = 62.9 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 17/10/2014
- Prova n° 4 $M_d = 53.6 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 17/10/2014
- Prova n° 5 $M_d = 48.1 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 17/10/2014
- Prova n° 6 $M_d = 92.8 \text{ MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 17/10/2014

(nell'intervallo di carico 0.15-0.25 MPa)



- Evd medio 75.54 $\text{MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 08/10/2014
- Evd medio 66.07 $\text{MN/m}^2 \text{ (MPa)}$ 17/10/2014

(media dei valori su n.60 prove)

INERTIA 2015

4° Salone sul Recupero dei Rifiuti Inerti



SI RINGRAZIA PER LA BUONA RIUSCITA DEL LAVORO:

D.L. Ing. Enrico Benagli e Geom. Ivan Nisi (Alma Mater Studiorum - Università di Bologna)

Dott. Geol. Mucchi Antonio

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi e Dott. Geol. Sara Bedeschi

Convegno

Esempi Applicativi di Stabilizzazione a Calce e Cemento
Prestazioni, Mix Design, Metodologie Operative e Controlli
Quartiere Fieristico di Ferrara 23 Settembre 2015