



Giornata di Lavoro sulle attività di:
“Verifica sismica delle arginature in sponda destra
del fiume Po da Boretto (RE) a Ro (FE)”

Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Parma, 11 Aprile 2012



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Convenzione di ricerca tra:

Autorità di Bacino del fiume Po



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

e

Dipartimento Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali
ALMA MATER STUDIORUM • Università di Bologna



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Oggetto della Convenzione:

“VERIFICHE SISMICHE DEGLI ARGINI IN SPONDA
DESTRA DEL FIUME PO NEL TRATTO COMPRESO TRA
RO (FE) E BORETTO (RE)”
Attività 11a – **Verifiche di stabilità in condizioni statiche**

DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Attività previste dal progetto generale:

1. Raccolta dei dati disponibili e organizzazione di una banca dati GIS;
2. Analisi dei dati disponibili;
3. Carta delle pendenze;
4. Carta della subsidenza;
5. Carta preliminare delle aree suscettibili di effetti locali in caso di evento sismico;
6. Analisi della pericolosità sismica di base;
7. Indagini; → **In corso di integrazione**
8. Aggiornamento della banca dati e del quadro conoscitivo; realizzazione della cartografia geomatica di base;
9. Carta dei fattori di amplificazione;
10. Stima dell'occorrenza di fenomeni di liquefazione;
11. Verifiche di stabilità di tratti di argine in condizioni statiche e dinamiche, a loro volta suddivise in:
 - 11a. ~~Verifiche di stabilità di tratti di argine in condizioni statiche;~~
 - 11b. Verifiche di stabilità di tratti di argine in condizioni dinamiche (sismiche e post-sismiche);
12. Carta di microzonazione sismica;
13. Rapporto finale e proposta di interventi per la messa in sicurezza dei tratti di argine a maggiore rischio.

Database

UniBo



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Green-Duwamish River, King County , Seattle, WA

Mississippi River, USA



Winfield-Pin Oak breach (USACE St. Louis District 2008).



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Attività svolte ad oggi insieme ad **Unifi**, ed in collaborazione con gli altri gruppi di ricerca:

- **Raccolta ed integrazione** della documentazione tecnica esistente
 - Scelta delle **sezioni di verifica**

Attività in progress.....

- **Modello geotecnico** delle sezioni
- Metodologia di analisi delle singole sezioni
 - Verifiche di stabilità
- Modalità di estensione dei risultati all'intero tratto di argine in esame

UniBo



Unifi



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Area d'indagine: circa 90 km di argini – 107 sezioni





Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Area d'indagine: 5 macroaree nella regione Emilia-Romagna



DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Database: DOCUMENTAZIONE TECNICA ESISTENTE

Rapporto

“MODELLO GEOLOGICO PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI SISMICHE DELL'ARGINE DESTRO DEL PO TRA BORETTO (RE) E RO (FE)”
(Redazione coordinata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna)

Allegati

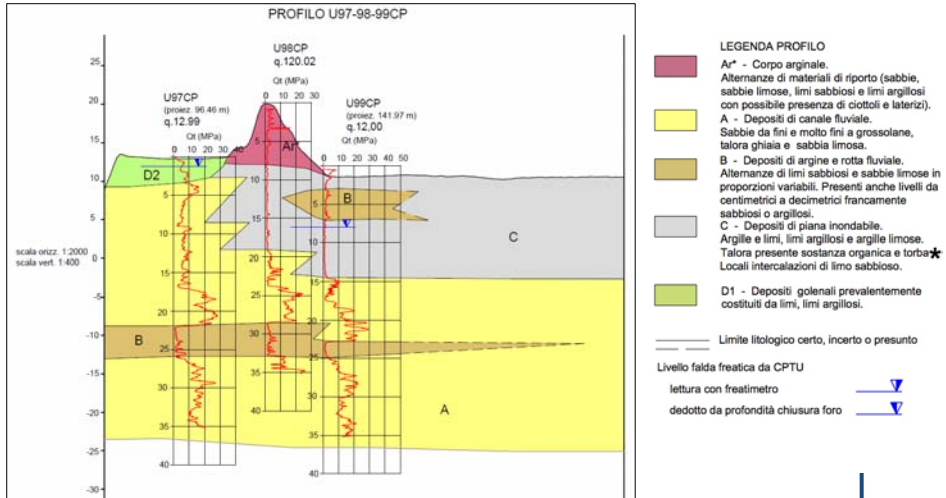
- dati pregressi e carta geologica esistente (Allegato 1 e 2); → *Comprese le rotture storiche*
- nuove indagini (Allegati 3, 4, 5 e 6) → *299 CPTU, 90 Sondaggi, Geofisiche: DH, CH, MASW, REMI, Prove di laboratorio, etc..*
- descrizione dettagliata stratigrafia ed interpretazione tramite modello geologico (Allegato 7). → *Sezioni stratigrafiche*

DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Scelta delle sezioni di verifica: geometria + stratigrafia + CPTU



DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

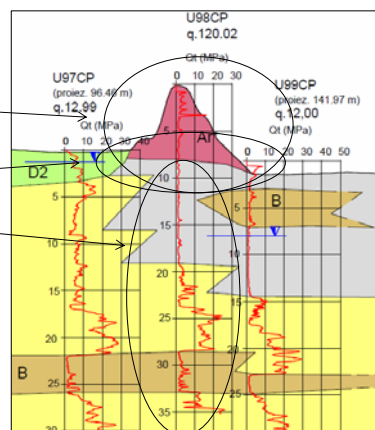
Criteri di scelta delle sezioni di verifica

RAPPRESENTATIVITA'

- ✓ Geometria (altezza banche)
- ✓ Presenza eventuale di diaframmi
- ✓ Geotecnica (terreno al piede del rilevato)
- ✓ Input sismici

UNIFORME DISTRIBUZIONE SUL TERRITORIO - circa una ogni 5 km

PRESENZA DI CRITICITA' PREGRESSE



46 SEZIONI

DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Esempio di scelta delle sezioni di verifica per la macroarea 1: Guastalla

| n° SEZIONE | codifica PROVA | punto significativo rappresentativo | presenza diaframma | n° banche | altezza fiume | altezza lato campagna | lato golena | lato campagna | scelte | Sezioni di verifica |
|------------|---|-------------------------------------|--------------------|-----------|---------------|-----------------------|-------------|---------------|--------|---------------------|
| 001_GU | U1-23BR_5x-A3vert.pdf | P13 | SI | 1 | 5.50 | 6.50 | B/D1 | B/C | | |
| 002_GU | U4-56BR_accor_5x-A3vert.pdf | P10 | NO | 1 | 4.00 | 6.00 | B/D2 | B/C | X | 002_GU |
| 003_GU | S1-2-3-4_perp_accor_5x-A3-orizzontale.pdf | P13 | SI | 2 | 12 | 5.50 | B/D | B/C | X | 003_GU |
| 004_GU | U7-89BR_trasv_5x-A3.pdf | P13 | SI | 1 | 2.50 | 5.50 | B/D2 | B/C | | |
| 005_GU | U13-14-15BR_5x-A3vert.pdf | P5 | NO | 2 | 2.50 | 7.50 | B/D1 | B/C | | |
| 006_GU | U16-17-18-BR_5x-A3-orizz.pdf | P5 | SI | 1 | 6.00 | 8.50 | C/D1 | C | X | 006_GU |
| 007_GU | U17-S7-S6-S8BR_5x-A3-orizzontale.pdf | P5 | | | | | | | | |
| 008_GU | U19-2021GS-PSAL_5x-A4tot.pdf | P5 | NO | 2 | 7.00 | 7.50 | B/D2 | B/C | X | 008_GU |
| 009_GU | U22-23-24GL_5x-A4.pdf | P10 | NO | 2 | 7.50 | 7.50 | B/D1 | B/C | | |
| 010_GU | U25-26-27GL_A3vert.pdf | P10 | NO | 2 | 7.00 | 7.50 | B/D1 | B/C | X | 010_GU |
| 011_GU | S8-9-11GL_5x-A3-orizz.pdf | P13 | SI | 2 | 6.00 | 6.00 | B/D1 | B | | |
| 012_GU | U31-32-33GL_5x-A3vert.pdf | P13 | NO | 2 | 7.00 | 6.50 | B/D1 | B | X | 012_GU |
| 013_GU | S14-U35GL_5x-A3-orizzontale.pdf | P10 | | | | | | | | |
| 014_GU | U34-35-36GL_5x-A3vert.pdf | P10 | NO | 1 | 6.00 | 7.00 | C/D1 | C | | |
| 015_GU | U38-S16GS_5x-A3vert.pdf | P10 | | | | | | | | |
| 016_GU | U39-S16GS_5x-A3-orizz.pdf | P10 | | | | | | | | |
| 017_GU | S15-16GS_5x-A4.pdf | P10 | NO | 1 | 5.50 | 5.50 | B/D | B | X | 017_GU |
| 018_GU | U40-41-42GS_5x-A3vert.pdf | P10 | NO | 1 | 5.50 | 5.50 | B/D1 | B/C | | |
| 019_GU | S18-19-20GS_5x-A3-orizz.pdf | P11 | NO | 1 | 6.00 | 4.00 | B/C/D1 | B | X | 019_GU |
| 020_GU | U46-47-48GS_5x-A3vert.pdf | P11 | SI | 1 | 7.00 | 6.50 | B/C/D1 | B/C | | |
| 021_GU | U49-50-51GS_5x-A3vert.pdf | P12 | NO | 3 | 6.50 | 7.00 | C/D1 | C/A | X | 021_GU |
| 022_GU | S24GS_Tagliata5x-A4.pdf | P13 | NO | 2 | 7.50 | 7.50 | B/D1 | B | X | 022_GU |
| 023_GU | U52-53-54GS_5x-A3vert.pdf | P13 | NO | 2 | 7.50 | 8.50 | C/D1 | C | | |

DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Esempio di scelta delle sezioni di verifica per la macroarea 1: Guastalla

| Ad ogni colore sismico | Caratteristiche geometriche | | | Unita' litologiche al piede dell'argine | | scelte | Sezioni di verifica |
|------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------|---|-------------|--------|---------------------|
| | presenza diaframma | n° banche | altezza lato fiume | altezza lato campagna | lato golena | | |
| SI | 1 | 5.50 | 6.50 | B/D1 | B/C | | |
| NO | 1 | 4.00 | 6.00 | B/D2 | B/C | X | 002_GU |
| SI | 2 | 12 | 5.50 | B/D | B/C | X | 003_GU |
| SI | 1 | 2.50 | 5.50 | B/D2 | B/C | | |
| NO | 2 | 2.50 | 7.50 | B/D1 | B/C | | |
| SI | 1 | 6.00 | 8.50 | C/D1 | C | X | 006_GU |
| | | | | | | | |
| NO | 2 | 7.00 | 7.50 | B/D2 | B/C | X | 008_GU |
| NO | 2 | 7.50 | 7.50 | B/D1 | B/C | | |
| NO | 2 | 7.50 | 7.50 | B/D1 | B/C | X | 010_GU |
| NO | 2 | 7.50 | 7.50 | B/D1 | B/C | | |

DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Raccolta ed integrazione della documentazione tecnica

Indagini integrative: 32 prove CPTU e 20 SCPTU con relative dissipazioni;
10 piezometri per la misura delle pressioni neutre nel corpo arginale; 26
Sondaggi con prelievo di campioni per prove di **laboratorio** (concentrate nel
corpo arginale) e prove **geofisiche**;*prove ancora in corso*

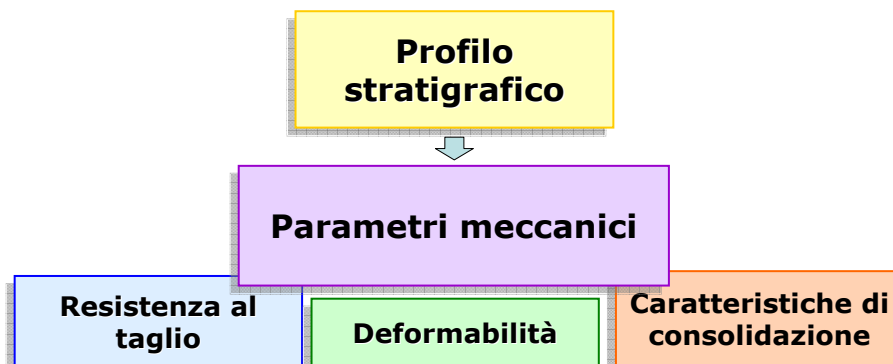


DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



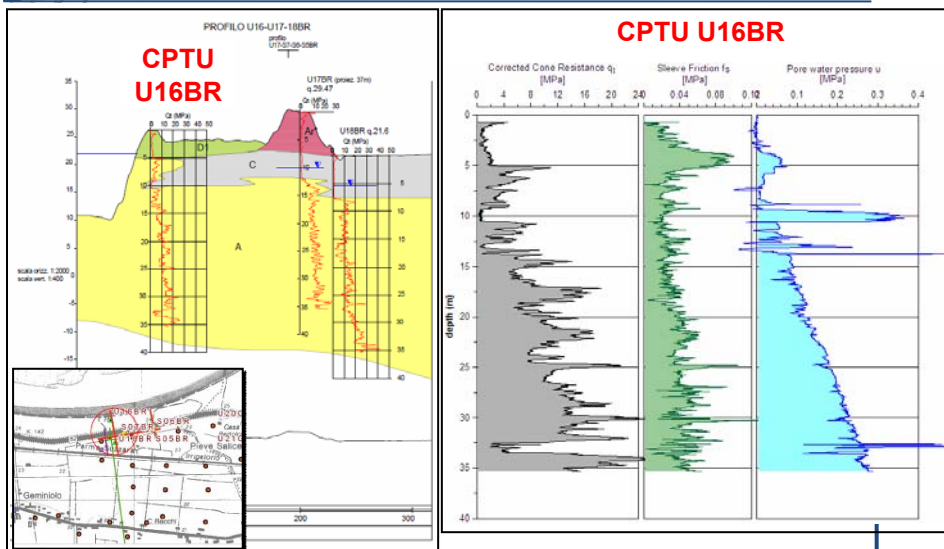
Verifiche di stabilità in condizioni statiche

- Definizione del modello geotecnico basata principalmente sull'interpretazione delle prove con piezocono (CPTU)



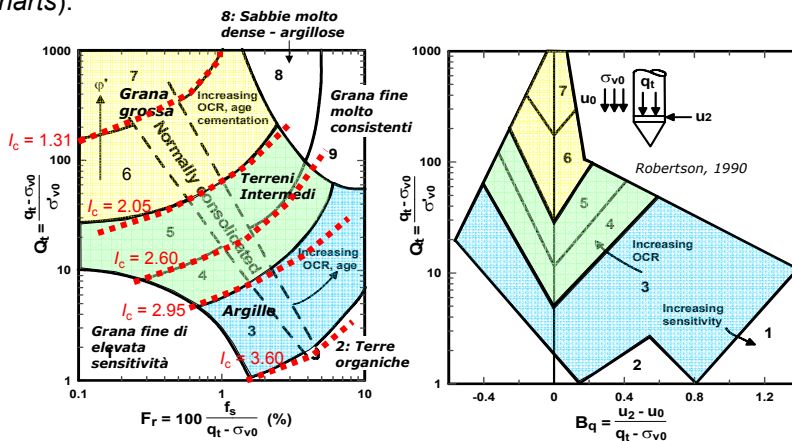
DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Verifiche di stabilità in condizioni statiche

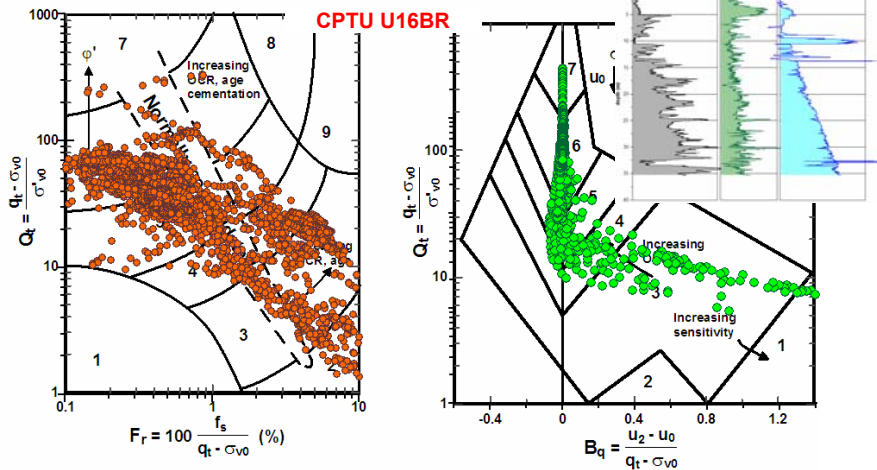


Verifiche di stabilità in condizioni statiche

- Il profilo stratigrafico viene ricostruito ricorrendo a **Carte di Classificazione**, indicatori del “comportamento meccanico del terreno” (*Soil Behaviour Type Charts*).



Verifiche di stabilità in condizioni statiche



È possibile in questo modo individuare delle unità stratigrafiche omogenee caratterizzate dagli stessi valori dei parametri meccanici

Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Parametri meccanici

Alcune correlazioni di letteratura utili per l'interpretazione:

○ **Angolo di resistenza al taglio, ϕ'**

$$\phi' = 17.6 + 11 \cdot \log\left(\frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}\right) \quad \tan \phi' = \frac{1}{2.68} \cdot \left[\log\left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}}\right) + 0.29 \right]$$

Kulhawy & Mayne, 1990

Robertson & Campanella, 1983

○ **Modulo confinato, M**

$$M = 8.25 \cdot (q_t - \sigma_{v0})$$

$$M = 4q_c$$

Kulhawy & Mayne, 1990

Lunne & Christophersen, 1983

○ **Modulo di elasticità trasversale, G_0**

$$G_0 = 1634 \cdot (q_c)^{0.250} (\sigma'_{v0})^{0.375} \quad \text{Rix \& Stokoe, 1991}$$

$$G_0 = 2.8(q_c)^{1.40} \quad \text{Bouckovalas, 1989}$$

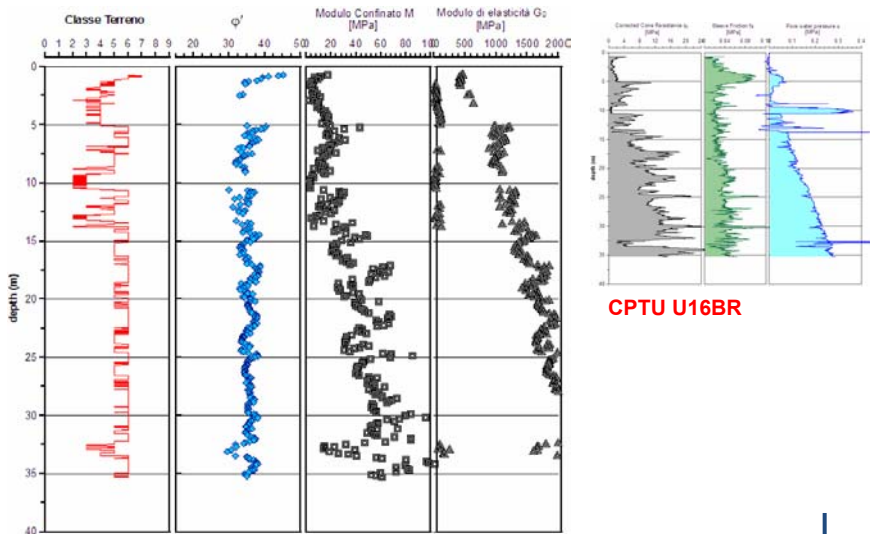
$$G_0 = 50(q_t - \sigma_{v0}) \quad \text{Watabe et al., 2004}$$

○ **Coefficiente di consolidazione, C_h**

~ Metodo di Houlsby & Teh, 1999
~ Metodo di Burris & Mayne, 1998



Verifiche di stabilità in condizioni statiche



DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Modello geotecnico

delle sezioni

- caratteristiche morfologiche, geologiche e strutturali del sito

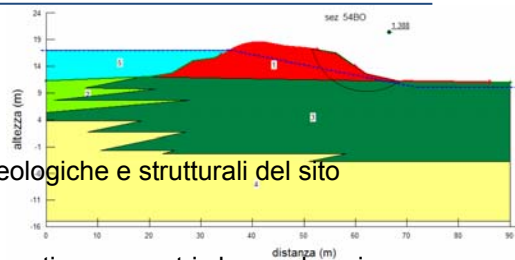
➔ Sezioni

- proprietà fisiche dei terreni presenti e parametri che ne descrivono il comportamento meccanico

➔ Caratterizzazione da prove in sito e laboratorio

- andamento delle pressioni interstiziali ed eventuali moti di filtrazione presenti.

➔ Piezometri, dissipazioni, etc.,,



DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Guido Gottardi

guido.gottardi2@unibo.it

Laura Tonni

laura.tonni@unibo.it

Michela Marchi

michela.marchi@unibo.it

DICAM - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali
www.dicam.unibo.it