



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**



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

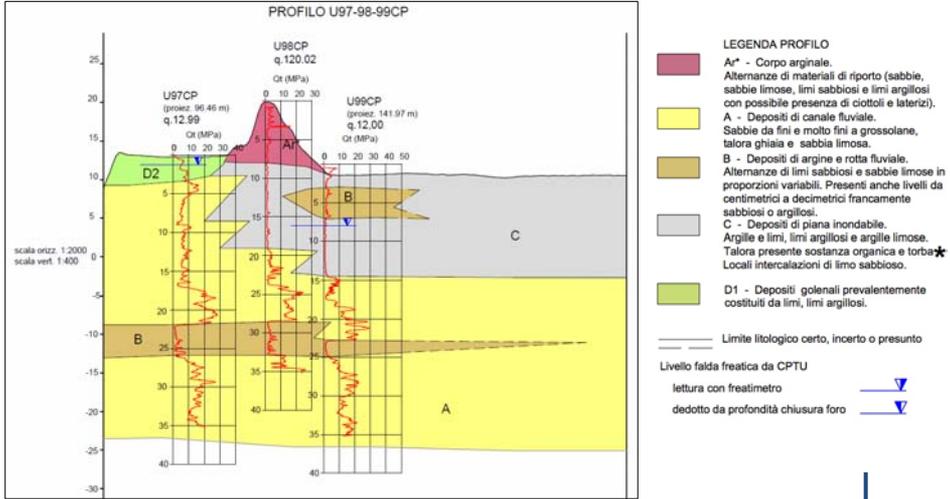
- dati pregressi e carta geologica esistente (Allegato 1 e 2); → *Comprese le rotture storiche*
- nuove indagini (Allegati 3, 4, 5 e 6) → *299 CPTU, 90 Sondaggi, Geofisiche: DH, CH, MASW, REMI, Prove di laboratorio, etc..*
- descrizione dettagliata stratigrafia ed interpretazione tramite modello geologico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



Verifiche di stabilità in condizioni statiche

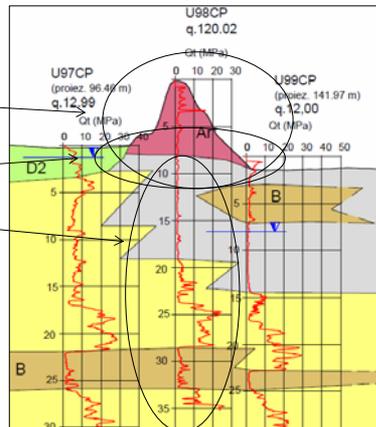
Criteri di scelta delle sezioni di verifica

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**



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	U7-89R_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		



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		



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*

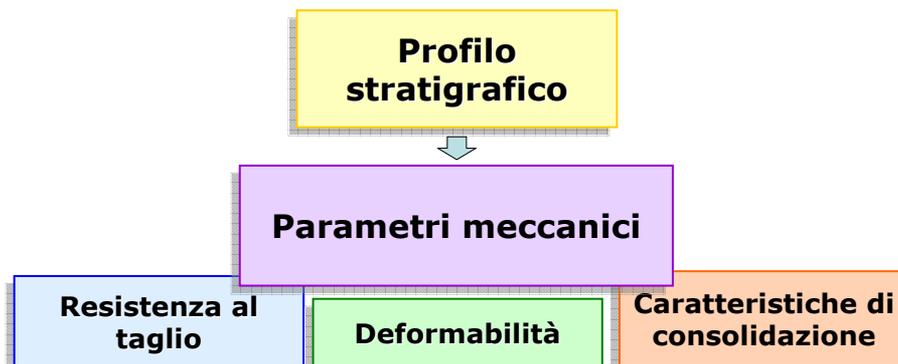


DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



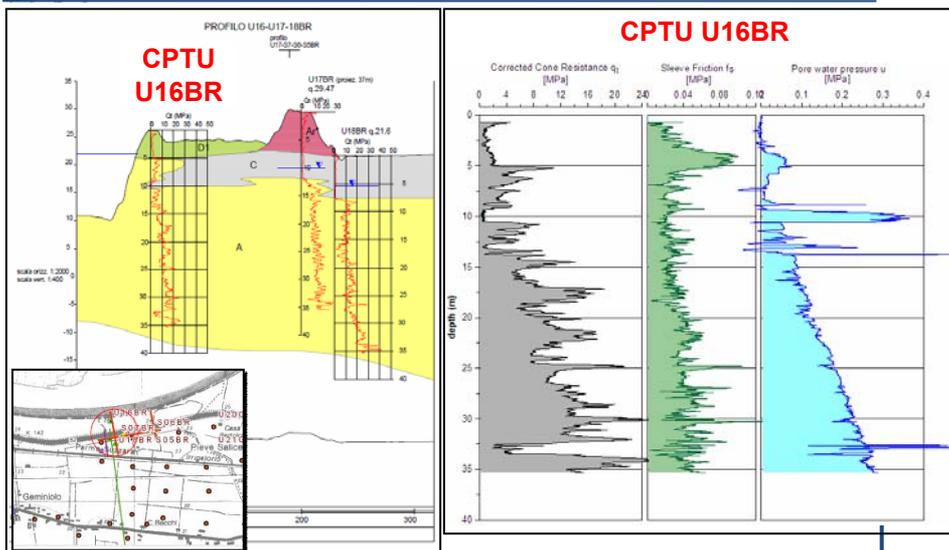
Verifiche di stabilità in condizioni statiche

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



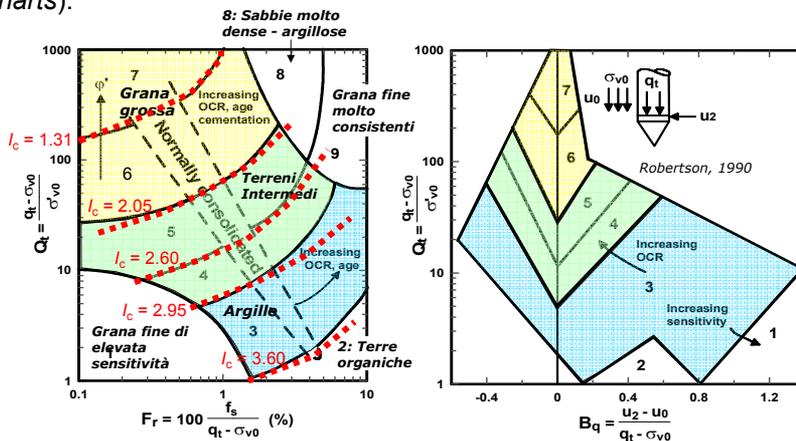
DICAM - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Verifiche di stabilità in condizioni statiche

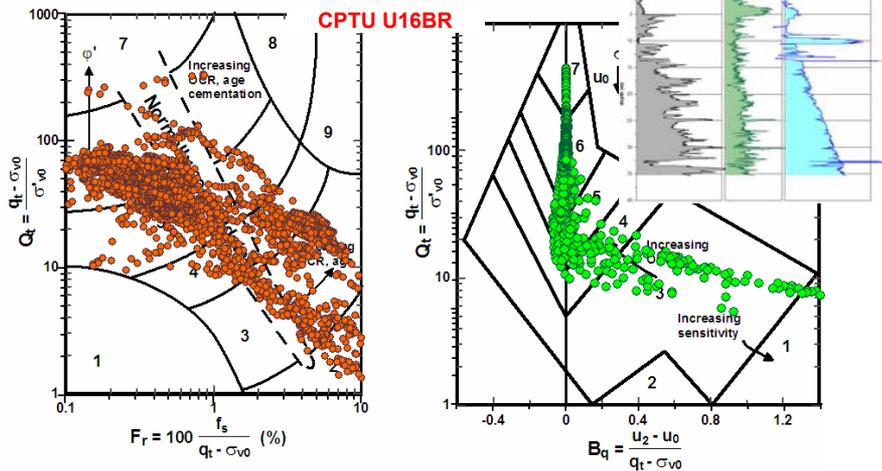


Verifiche di stabilità in condizioni statiche

- 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**

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

$$G_0 = 2,8(q_c)^{1.40} \quad \text{Bouckovalas, 1989}$$

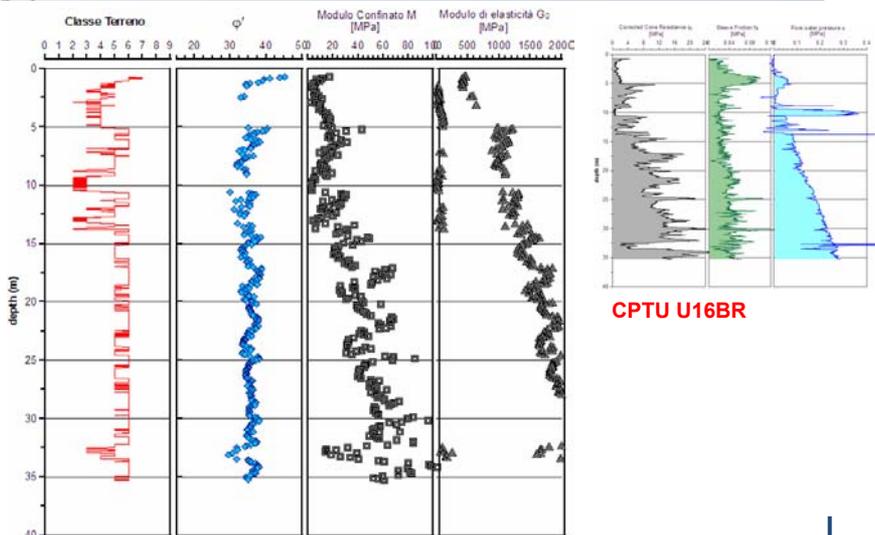
$$G_0 = 50(q_t - \sigma_{v0}) \quad \text{Watabe et al., 2004}$$

○ **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

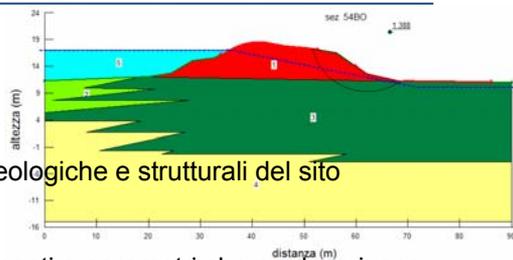
➡ Sezioni

- 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