



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO  
PARMA

**Giornata di Lavoro sulle attività di:**

**“Verifica sismica  
delle arginature in sponda destra  
del fiume Po da Boretto (RE) a Ro (FE)”**

**Parma, 11 aprile 2012**

**S.I.S.M.A.Po**

Stabilità all'Input Sismico dei Manufatti Arginali di Po

**S.I.S.M.A.Po**

Stabilità all'Input Sismico dei Manufatti Arginali di Po

## Verifiche di stabilità in condizioni statiche e dinamiche delle arginature

### Parte II



**Prof. Ing. Claudia Madaia**

**Prof. Ing. Giovanni Vannucchi**

**Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze**

## Programma generale delle verifiche

1. Raccolta 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
8. Aggiornamento della banca dati e del quadro conoscitivo; realizzazione della cartografia geotematica di base
9. Carta dei fattori di amplificazione
10. Stima dell'occorrenza di fenomeni di liquefazione

**11a. Verifiche di stabilità di tratti di argine in condizioni statiche**

**11b. Verifiche di stabilità di tratti di argine in condizioni 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

**UniFI**



## Relazione tra le diverse attività





## Condizioni esaminate

Le verifiche di stabilità sulle sezioni prescelte saranno effettuate con riferimento alle 3 condizioni:

- a) **PRESISMICHE:** condizioni statiche
- b) **SISMICHE:** condizioni dinamiche
- c) **POST SISMICHE:** condizioni statiche, modificando eventualmente la resistenza al taglio dei terreni per tener conto degli effetti conseguenti all'azione sismica

VERIFICHE SISMICHE

VERIFICHE STATICHE

MODELLO GEOTECNICO

caratteristiche litostratigrafiche e geometriche

proprietà fisiche e parametri meccanici in condizioni statiche e **dinamiche/cicliche** delle unità litostratigrafiche

condizioni idrauliche

METODO DI ANALISI (matematico/numerico)

- **approssimazione** (metodo di analisi)
- **variabilità ed incertezza** (modello geotecnico e azione sismica)

AZIONE SISMICA (pericolosità locale)

**RISULTATI APPROSSIMATI E AFFETTI DA INCERTEZZA**

## Modello geotecnico - Condizioni idrauliche

Per ciascuna sezione esaminata saranno considerate le seguenti condizioni idrauliche:

- a) STAZIONARIE** (acqua al livello ipotizzato per un tempo sufficientemente lungo)

Le analisi in tali condizioni dovranno essere svolte considerando differenti livelli d'acqua nel fiume

- b) TRANSITORIE** (con rapida variazione del livello d'acqua)

Innalzamento improvviso → effetto stabilizzante

Abbassamento improvviso tra due livelli → l'analisi dovrà essere effettuata tenendo conto della probabilità del verificarsi di tale condizione

## Metodi all'equilibrio limite

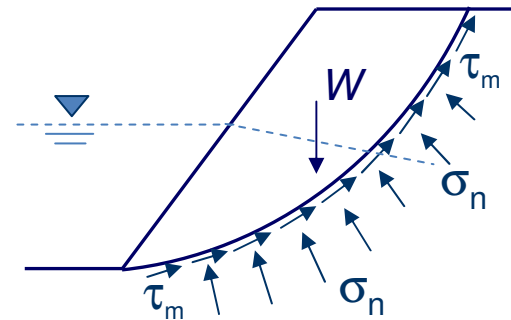
Le condizioni di stabilità sono valutate in termini di **FATTORE DI SICUREZZA**:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

$\tau_f$ : resistenza al taglio ( $=c' + \sigma_n' \tan\phi'$ )

$\tau_m$ : sforzo di taglio mobilitato

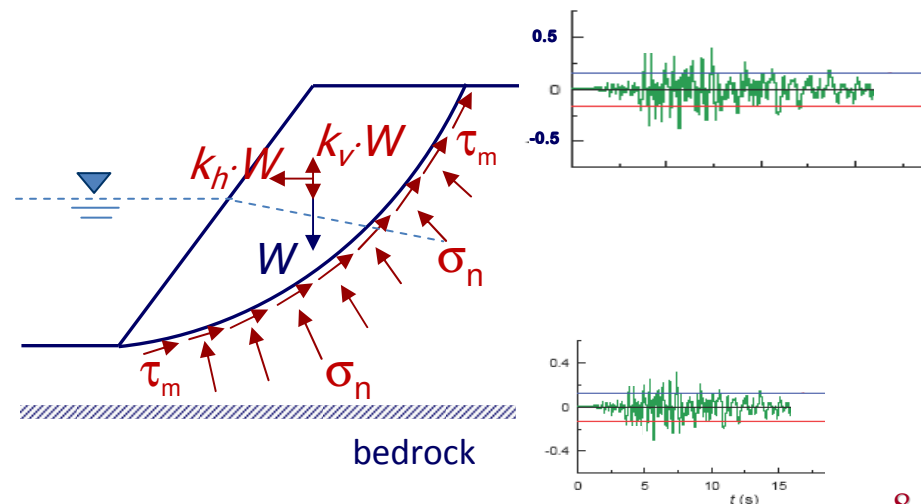
### CONDIZIONI STATICHE



### CONDIZIONI SISMICHE

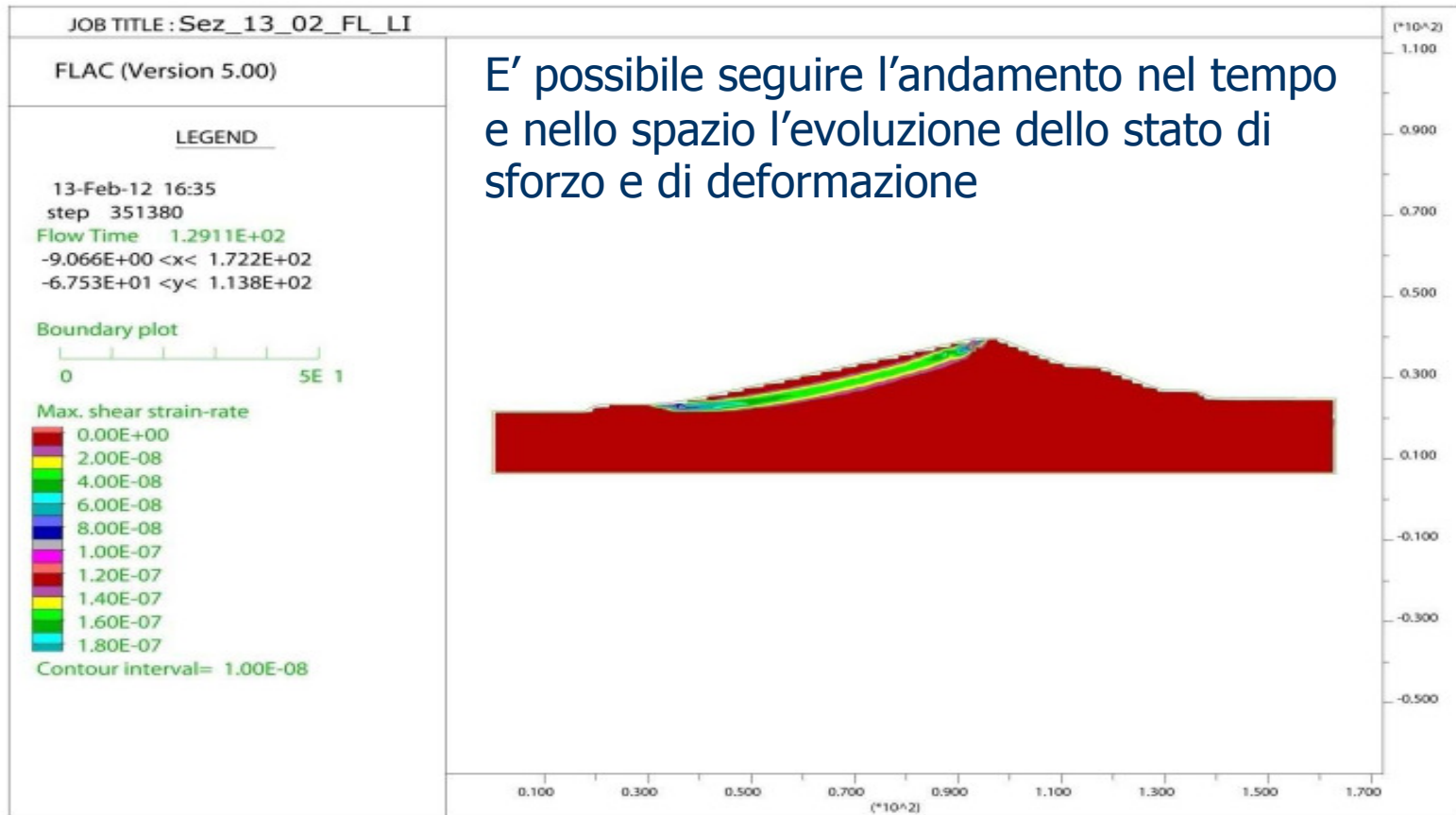
- aggravio delle condizioni di carico (forze di inerzia → coefficiente sismico)
- riduzione della resistenza al taglio (aumento di  $\Delta u$  e degradazione di  $c'$  e  $\phi'$ )

$$\tau_f = c' + [(\sigma_n + \Delta\sigma_n) - (u + \Delta u)] \cdot \tan\phi'$$





## Metodi alle differenze finite

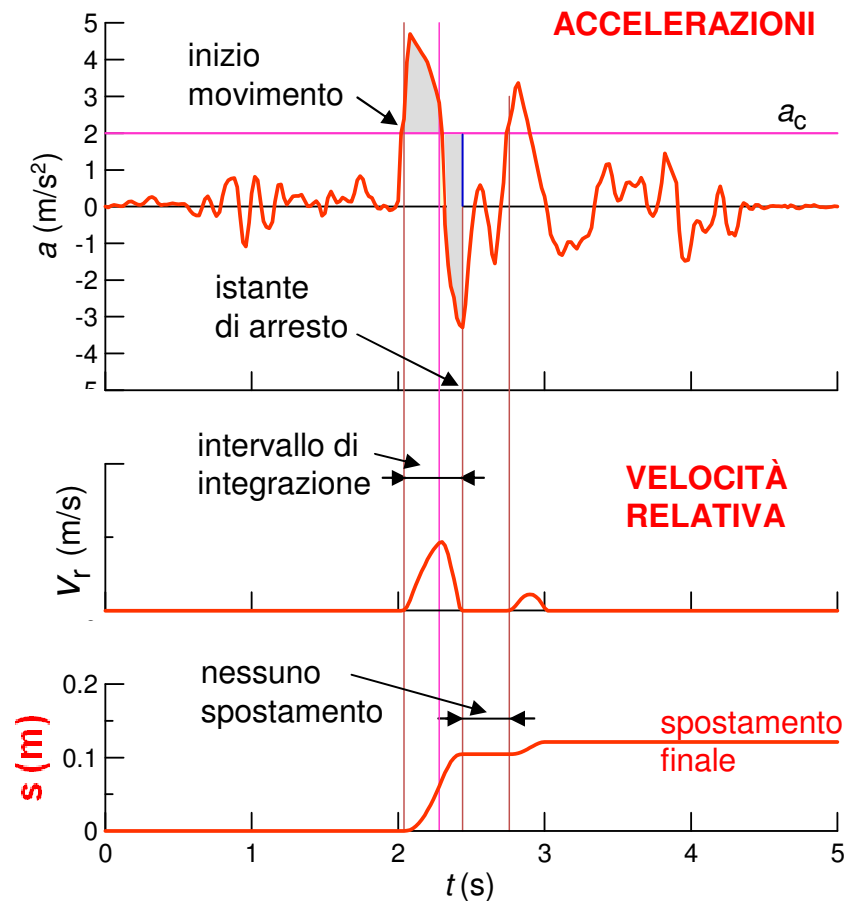
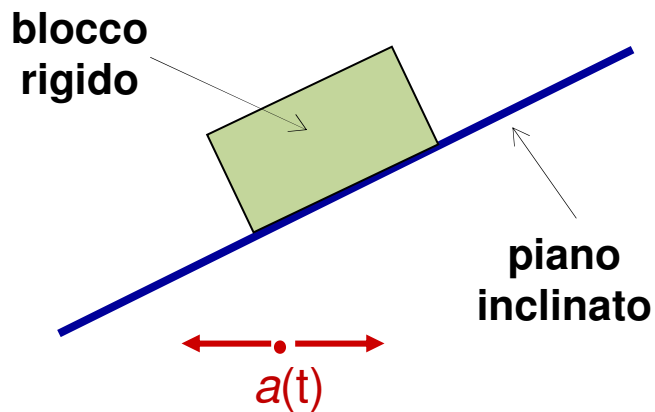
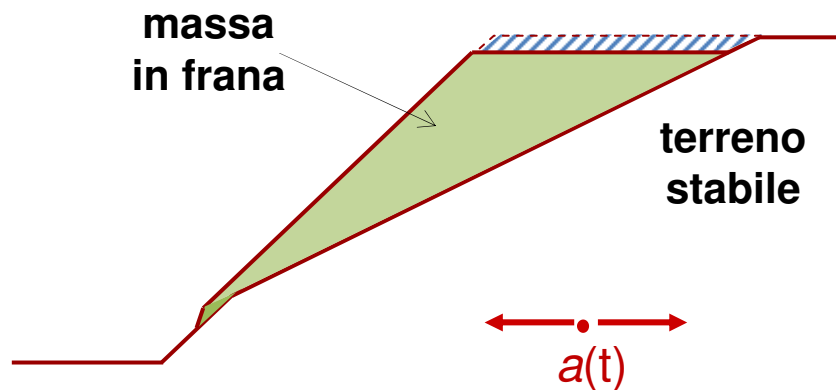


Ai fini della valutazione delle condizioni di stabilità i valori di  $c'$  e  $\tan \varphi'$  vengono ridotti per passi successivi fino a raggiungere la condizione limite

$$(c^{trial} = \frac{1}{F^{trial}} c ; \varphi^{trial} = \arctan(\frac{1}{F^{trial}} \tan \varphi))$$

(il fattore di riduzione è assunto come **FATTORE DI SICUREZZA**)

## Metodi degli spostamenti



La sicurezza è valutata in termini di **SPOSTAMENTO FINALE ACCUMULATO**

## Azione sismica

- Per le analisi pseudostatiche, in accordo con il D.M. 14.01.2008, il coefficiente sismico orizzontale e verticale sono assunti rispettivamente pari a:

$$K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g \quad \text{e} \quad K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

con

$a_{max}$ : accelerazione massima (in g) ottenuta dall'analisi della risposta sismica locale

$\beta_s$ : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima



$a_g$ : accelerazione massima su terreno rigido di riferimento

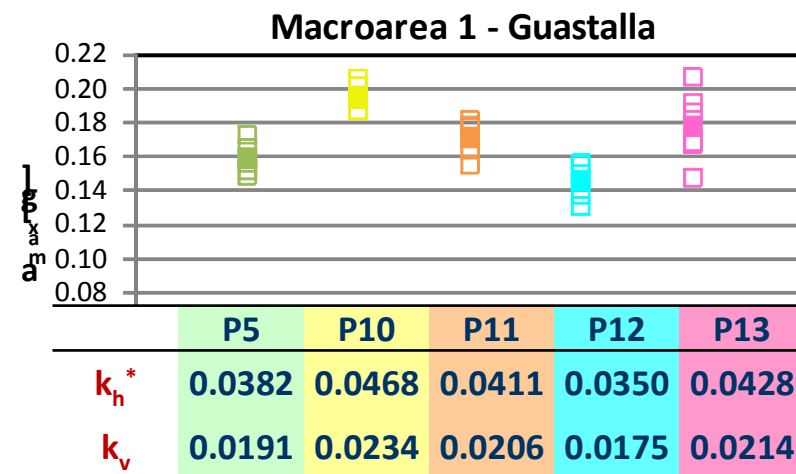
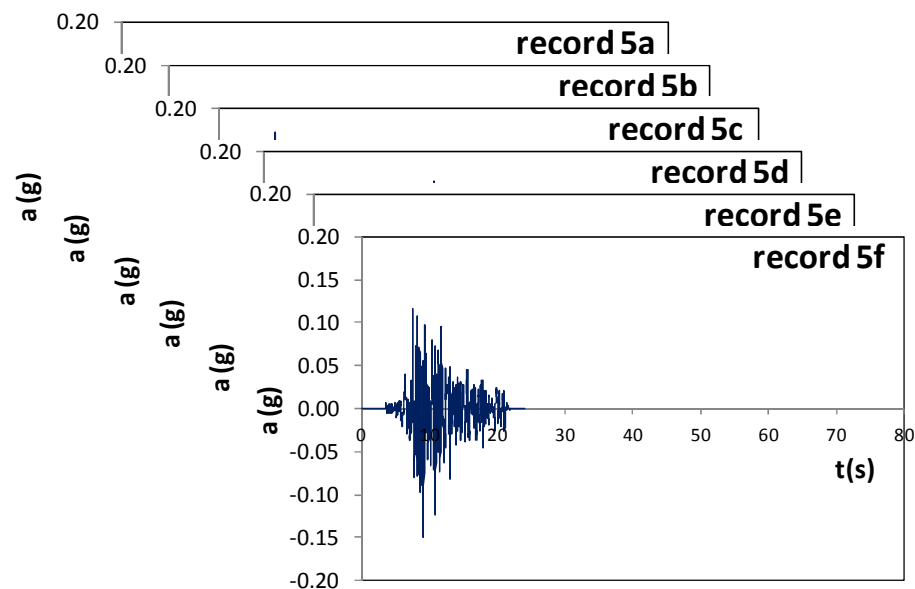
	Categoria di sottosuolo	
	A	B,C,D,E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_g(g) < 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) < 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

- Per le analisi dinamiche (differenze finite, metodo degli spostamenti) sono assunte le storie di accelerazione ottenute dalle analisi della risposta sismica locale in corrispondenza della sezione esaminata

## Azione sismica

### ESEMPIO - Macroarea 1: Guastalla

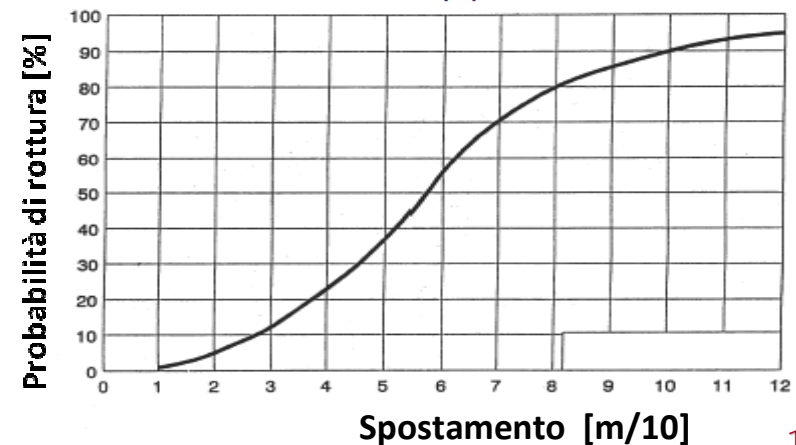
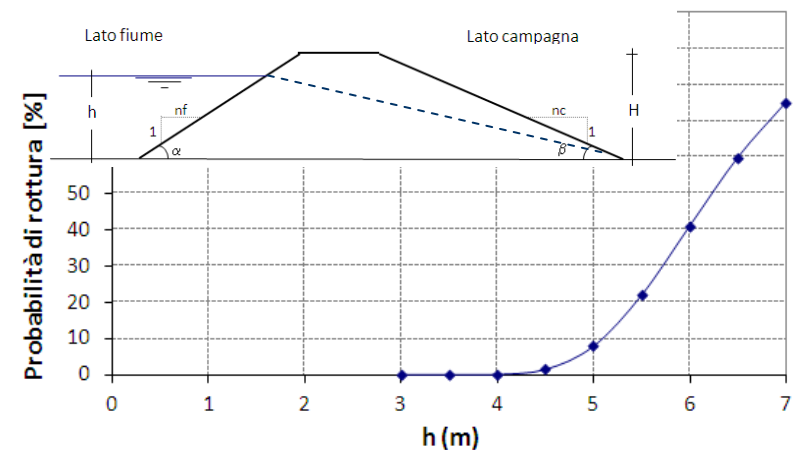
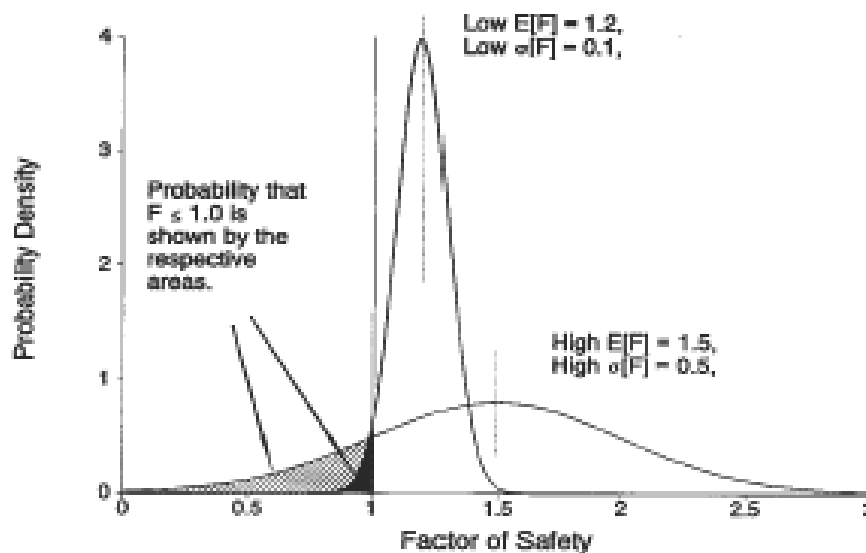
n° SEZIONE	codifica PROVA	profilo sismico rappresentativo
001_GU	U1-2-3BR_5x-A3vert.pdf	P13
002_GU	U4-5-6BR_accor_5x-A3vert.pdf	P10
003_GU	S1-2-3-4_perp_accor_5x-A3-orizzontale.pdf	P13
004_GU	U7-8-9BR_trasv_5x-A3-orizz.pdf	P13
005_GU	U13-14-15BR_5x-A3vert.pdf	P5
006_GU	U16-17-18-BR_5x-A3-orizz.pdf	P5
007_GU	U17-87-86-S5BR_5x-A3-orizzontale.pdf	P5
008_GU	U19-2021GS-PSAL_5x-A4tot.pdf	P5
009_GU	U22-23-24GL_5x-A4.pdf	P10
010_GU	U25-26-27GL-A3vert.pdf	P10
011_GU	S8-9-11GL_5x-A3-orizz.pdf	P13
012_GU	U31-32-33GL_5x-A3vert.pdf	P13
013_GU	S14-U35GL_5x-A3orizzontale.pdf	P10
014_GU	U34-35-36GL_5x-A3vert.pdf	P10
015_GU	U38-S15GS_5x-A3vert.pdf	P10
016_GU	U39-S16GS_5x-A3-orizz.pdf	P10
017_GU	S15-16GS_5x-A4.pdf	P10
018_GU	U40-41-42GS_5x-A3vert.pdf	P10
019_GU	S18-19-20GS_5x-A3-orizz.pdf	P11
020_GU	U46-47-48GS_5x-A3vert.pdf	P11
021_GU	U49-50-51GS_5x-A3vert.pdf	P12
022_GU	S24GS_Tagliata5x-A4.pdf	P13
023_GU	U52-53-54GS_5x-A3vert.pdf	P13

\* calcolato per  $a_{max}$  medio

## Presentazione dei risultati

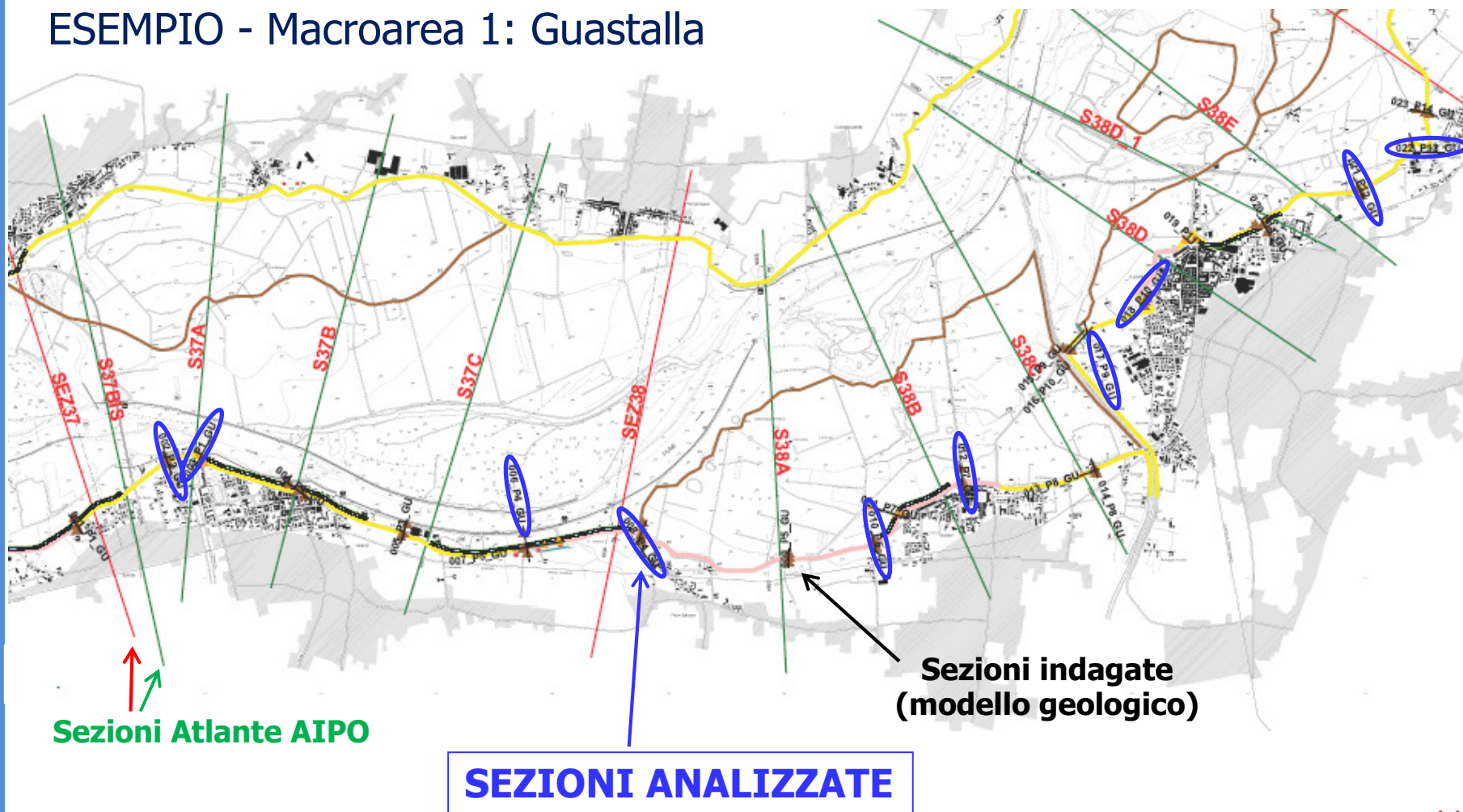
Per ciascuna sezione esaminata i risultati saranno presentati:

- sia con riferimento al parametro considerato per valutare le condizioni di stabilità (fattore di sicurezza o spostamento)
- sia in termini di probabilità di rottura

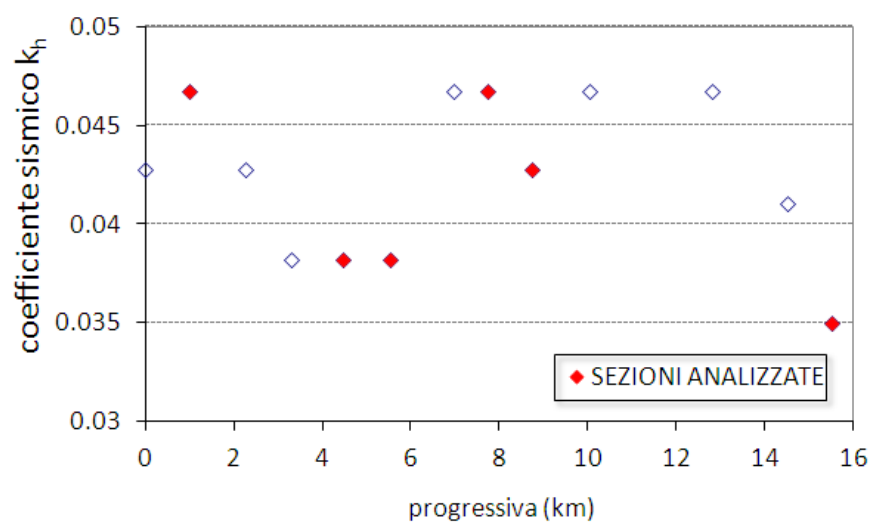
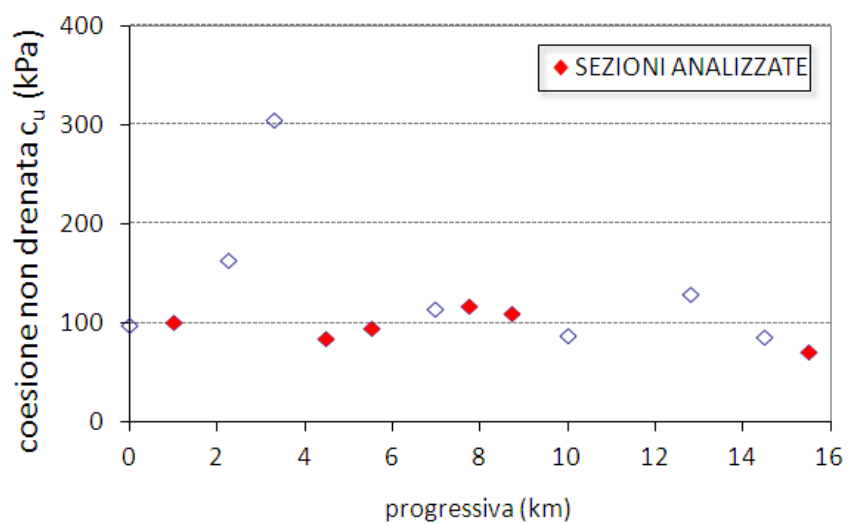
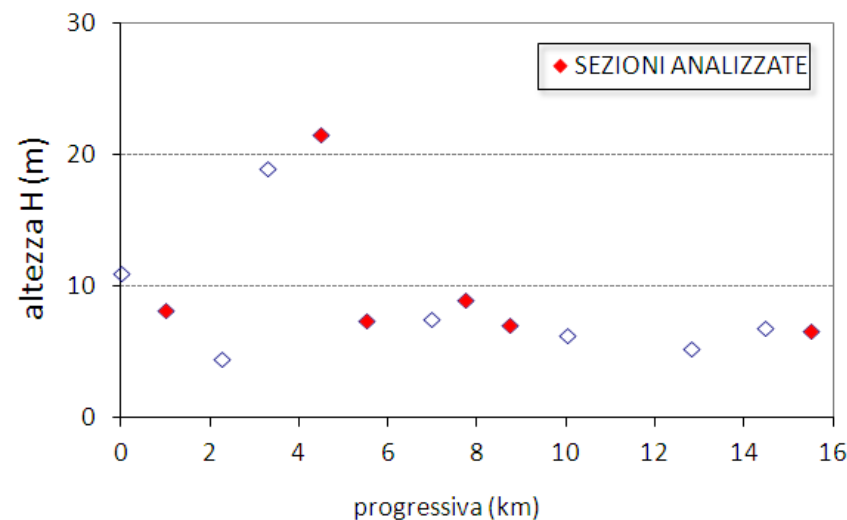
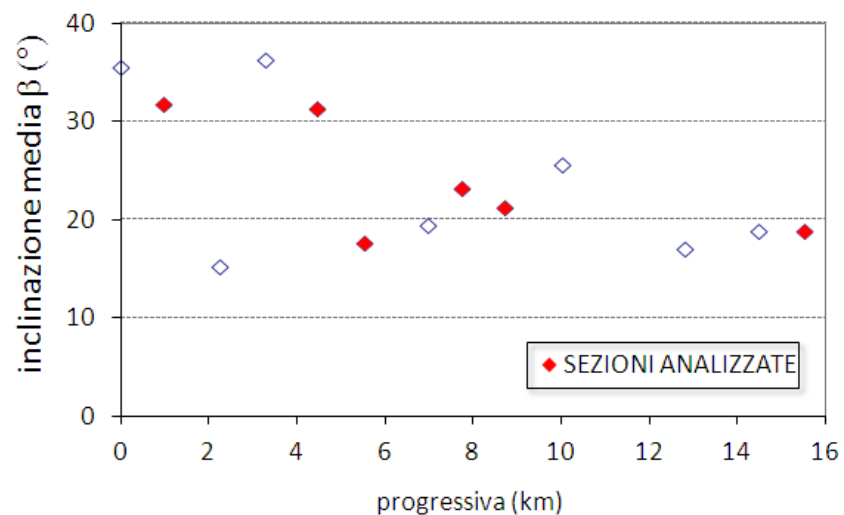


## Come estendere a tratti di argine i risultati ottenuti sulle singole sezioni?

ESEMPIO - Macroarea 1: Guastalla



## ESEMPIO - Macroarea 1: Guastalla - Sezioni indagate con CPT Confronto di alcuni parametri significativi





***Grazie per l'attenzione!***



**Prof. Ing. Claudia Madaia**

**Prof. Ing. Giovanni Vannucchi**

**Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze**