

Monitoraggio delle acque sotterranee in aree industriali

Estratto dal Convegno “Caratterizzazione e quantificazione del trasporto solido su piccoli bacini alpini”, Milano, 22/10/2003

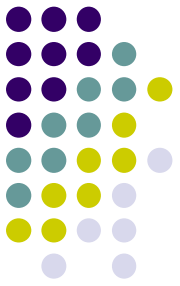
Presentazione a cura di V. Francani, P. Gattinoni, L. Scesi

Presentazione divisa in quattro parti

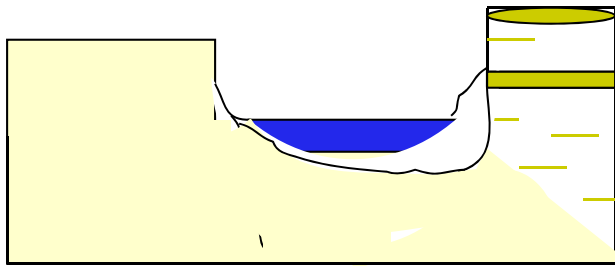
PARTE II

www.engeology.eu

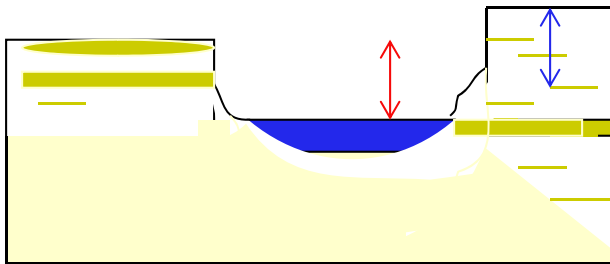
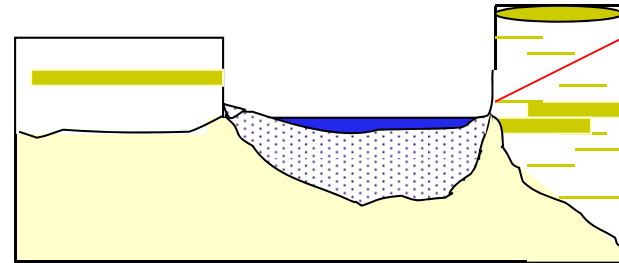
Condizioni geologiche che forzano l'erosione delle sponde



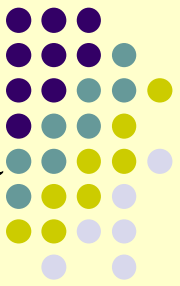
Asimmetria della litologia delle rive:
a destra sedimenti erodibili, a
sinistra roccia, substrato roccioso



A destra sedimenti interessati da
frane, con livelli
argillosi, substrato in roccia



A destra sedimenti permeabili, con rilevante
variazione del grado di saturazione, a
sinistra sedimenti poco permeabili.



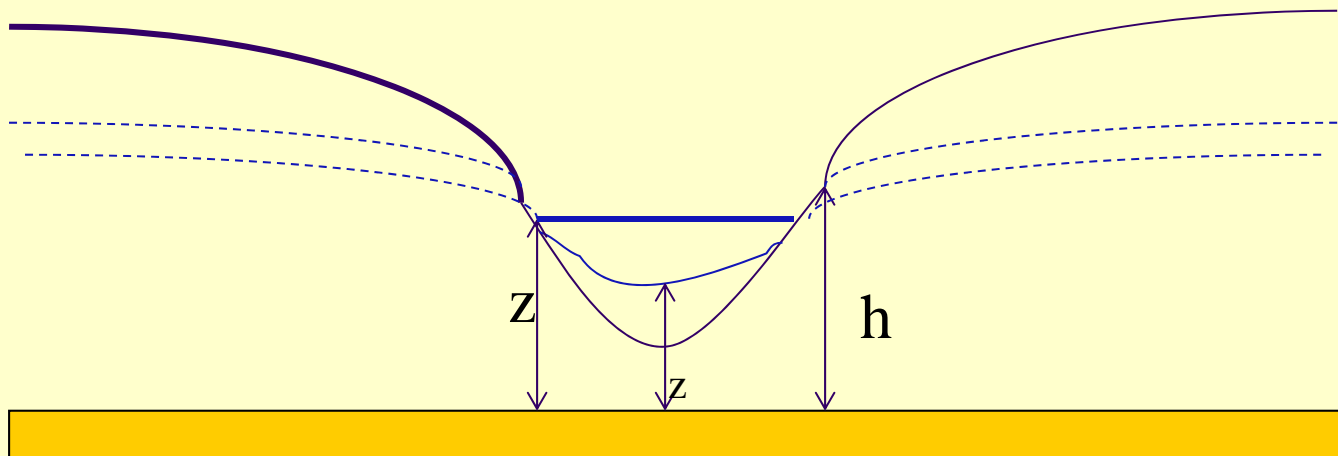
Calcolo del volume d'acqua scambiato fra fiume e falda

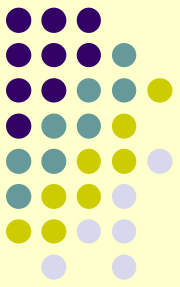
Molte relazioni sono state elaborate per correlare i livelli idrometrici con relazioni semiempiriche. Tra le più semplici, quella di C.E.Wright (1980) che distingue tra settori a falda alimentante (caso a) e settori a falda alimentata del fiume (b).

$$Q = rA (h - Z) \text{ falda alimentante (a)}$$

$$Q = rA / (z - Z) \text{ fiume alimentante (b)}$$

Dove Q è la portata di scambio, rA (m/giorno) il fattore di filtrazione del letto del fiume, dato dal rapporto fra la sua permeabilità e il suo spessore moltiplicato per l'area del settore considerato, h il livello piezometrico della falda (m), z il livello del fondo del fiume. Z il livello idrometrico (m).





Queste condizioni facilitano la formazione di dissesti franosi delle sponde, che sono essenzialmente di tre tipi :

scivolamenti piani e rotazionali semplici

sottoescavazioni

scivolamenti composti.



Conviene quindi suddividere il cirso d'acqua da esaminare in tratti in base alle caratteristiche geologiche riscontrate, verificando per ciascuno di essi il fattore di sicurezza delle sponde

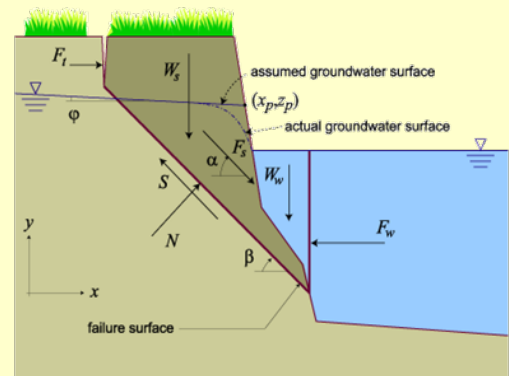
Una delle relazioni più comunemente utilizzate nel caso di scivolamento semplice di un blocco seprato dalla sponda da una frattura di profondità F, è la seguente,:

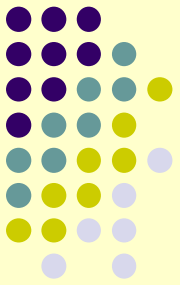
$$FS = \frac{c(H-F)/\text{sen } B + [(w/2)((H^2 - F^2/\text{tg}B) - H'^2 - K'^2/\text{tgi}) - N]\text{cos}B + R\text{cos}\alpha}{[(w/2)(H^2 - F^2/\text{tg}B - H'^2 - F'^2/\text{tgi})\text{sen}B - R\text{sen}\alpha]}$$

H è l'altezza della sponda, H' quella della sponda non erosa, w l'altezza del livello idrometrico, F la profondità della fessura di trazione, F' l'altezza della scarpata verticale, i l'angolo in gradi del profilo della sponda. La pendenza della superficie di rottura è data dall'angolo β. R è la risultante della pressione idrostatica di confinamento per unità di profondità e a l'angolo fra R e la normale alla sup.di rottura in gradi

La lunghezza della linea di rottura è data da

$$S = (H-F)/\text{sen } \beta$$





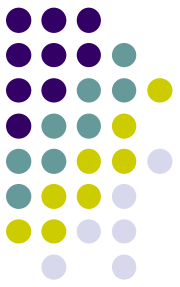
E' inoltre indispensabile esaminare i fattori di indebolimento delle ripe per cause naturali e antropiche.

Tra le prime citiamo :

1. Fenomeni carsici nei calcari
2. Progressiva alterazione di rocce deboli
3. Circolazione idrica lungo le discontinuità e nelle zone di frattura
4. Erosione sotterranea (piping)

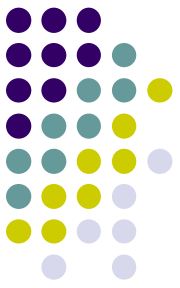
L'evoluzione di queste forme di progressivo indebolimento delle sponde corrisponde a uno schema che differisce solo nei dettagli; a titolo di esempio osserviamo i fenomeni di erosione sotterranea (piping).

OBIETTIVO



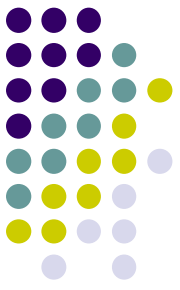
- Identificare le modalità di generazione dell'instabilità e valutare gli effetti dei diversi fattori innescanti
- Individuare le zone soggette al fenomeno
- Definire in maniera quantitativa le soglie d'innescio (idrologiche e idrogeologiche)
- Stimare la quantità di materiale solido che arriva in alveo
- Delimitare le zone interessate da esondazioni e alluvionamenti

Condizioni geologiche per l'innescò del piping



- Caratteristiche granulometriche (Berry, 1970; Soleilhavoup e Cailleux, 1979; Gerrard, 1981; Higgins, 1984; Kenney, 1985),
- morfologia (Jones, 1997; Garcia-Ruiz, 1997),
- caratteristiche pedologiche (Martin-Penela, 1984; Higgins e Schorner, 1997) e climatiche (Bryan e Jones, 1997),
- il moto di filtrazione dell'acqua deve raggiungere un gradiente critico (Zaslavsky e Kassiff, 1965).

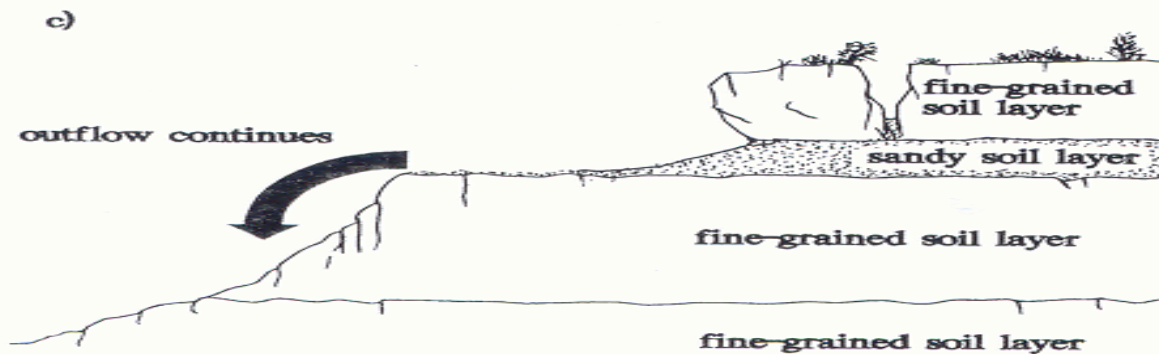
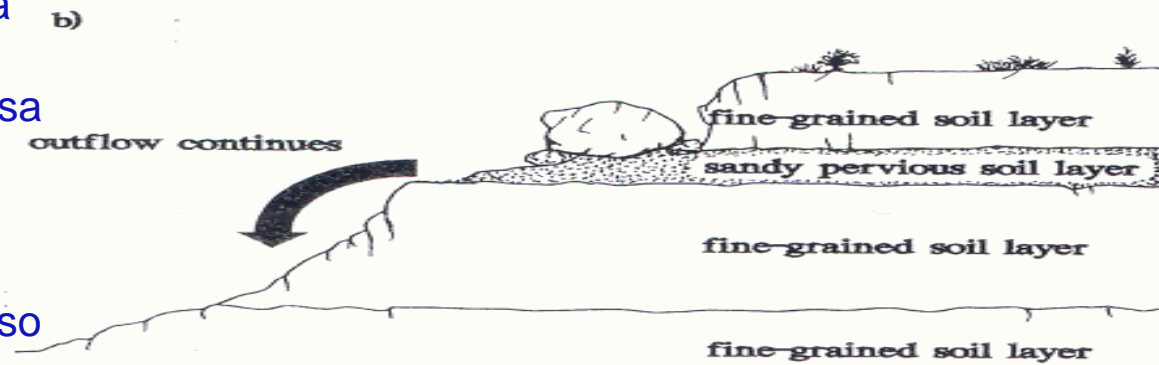
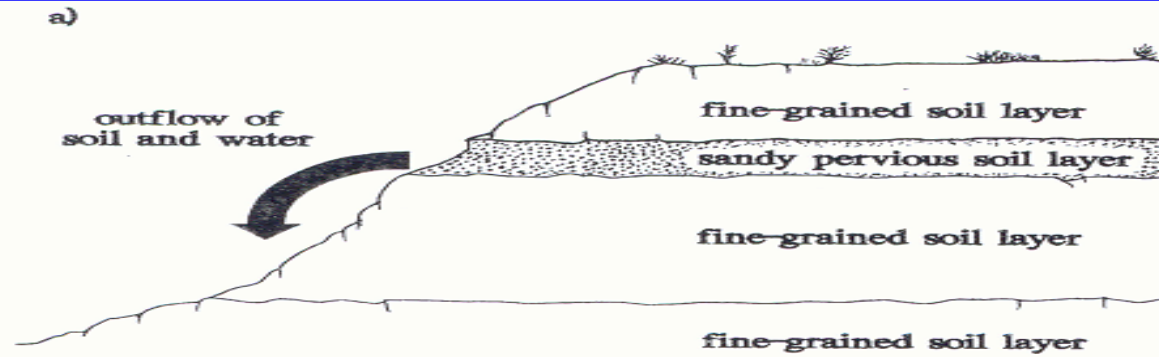
In particolare, il piping si innesca quando...



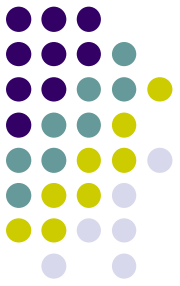
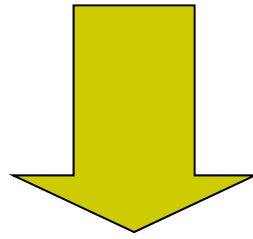
- esiste una superficie libera attraverso cui il flusso può fuoriuscire trasportando via il materiale rimosso;
- è presente una sorgente d'acqua, anche non costante, che induce un flusso concentrato tale da generare un gradiente sufficiente a rimuovere le particelle fini di terreno;
- esistono delle intercalazioni di materiale più fine a bassa permeabilità che rallentano il flusso verticale e inducono un flusso orizzontale negli strati più permeabili.

Hagerty, 1991

Ad esempio...



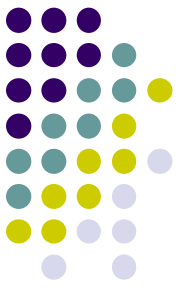
- Lo strato sabbioso drenante si trova tra due strati di materiale a bassa permeabilità
- L'asportazione delle particelle provoca il collasso dello strato soprastante



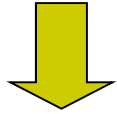
Le zone maggiormente esposte ai fenomeni di erosione sotterranea si localizzano all'interno dei materiali alluvionali, in particolare in corrispondenza di sponde fluviali e terrazzi morenici.

In tali zone, infatti, il gradiente idraulico della falda, già naturalmente elevato, può subire periodici incrementi a causa dell'innalzamento piezometrico indotto dall'infiltrazione delle acque meteoriche nelle zone di alimentazione. In questo fenomeno gioca un ruolo fondamentale la diversa permeabilità dei depositi, data dalla tipica suddivisione in strati dei terreni alluvionali.

Evoluzione del fenomeno



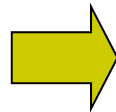
L'acqua meteorica si infiltra e percola organizzandosi progressivamente in un **sistema di drenaggio sotterraneo**, fino ad incontrare dei livelli a maggiore permeabilità



L'acqua di falda filtra lungo **direzioni preferenziali a maggiore conducibilità idraulica**



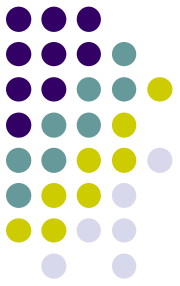
In corrispondenza della scarpata hanno origine delle **sorgenti**



L'asportazione del materiale fine determina un **ulteriore incremento della permeabilità**

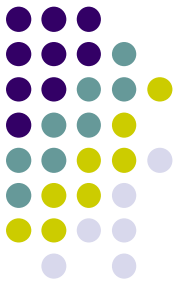


Raggiunto il gradiente critico si innescano **fenomeni di piping localizzati proprio lungo gli allineamenti a maggiore permeabilità**



Il fenomeno evolve in modo graduale, con un **processo di erosione regressiva** a partire dalla zona di sorgente, che determina un progressivo allargamento della condotta ed un suo approfondimento verso l'interno del terrazzo; l'evolversi del fenomeno porta alla formazione di una fascia di debolezza che coinvolge porzioni di terreno sempre più ampie, fino a giungere al collasso della scarpata.

ITER PROCEDURALE PER INDIVIDUAZIONE ZONE A RISCHIO

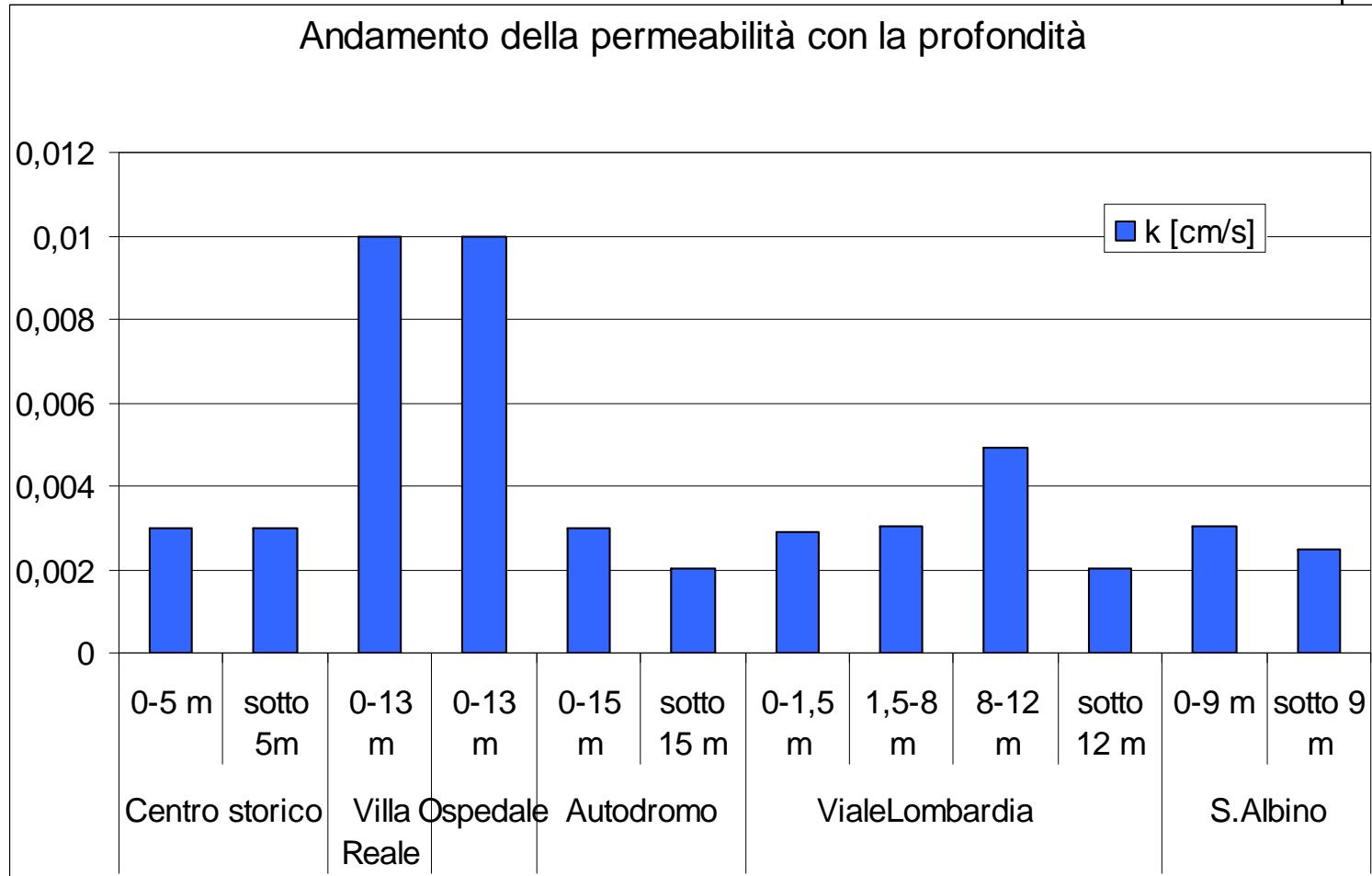
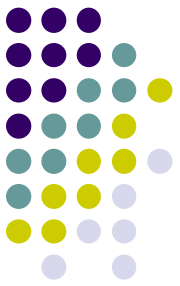


- Censimento dati sottosuolo
- Organizzazione e gestione dei dati
- Analisi critica dei dati
- Localizzazione delle aree critiche

PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE ZONE SOGGETTE A PIPING

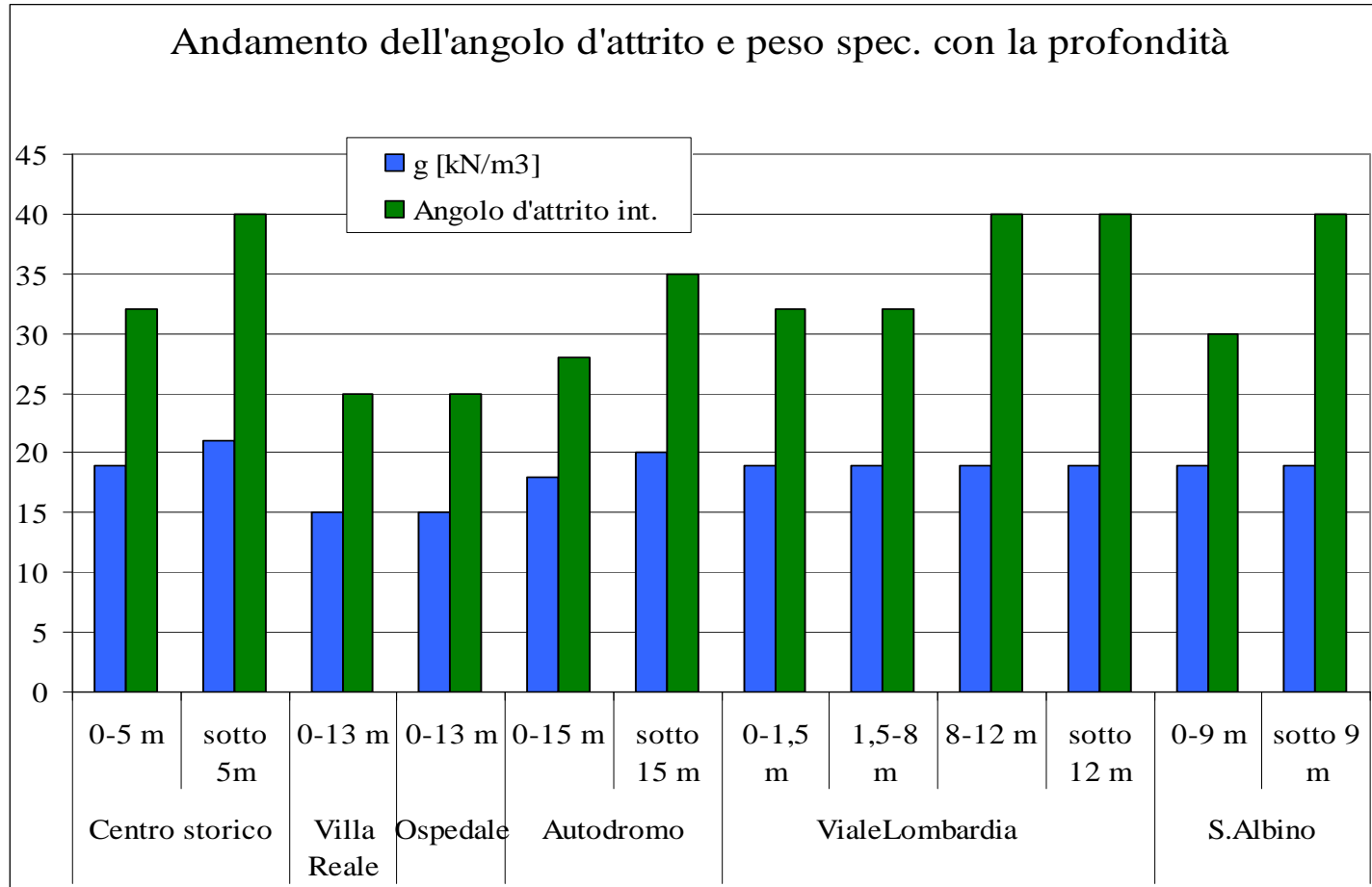
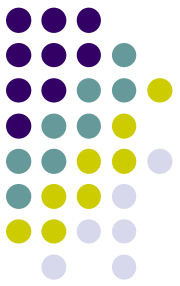
- Alterazione del terreno
- Permeabilità elevata
- Angolo d'attrito basso
- Indice di deformabilità basso

Permeabilità



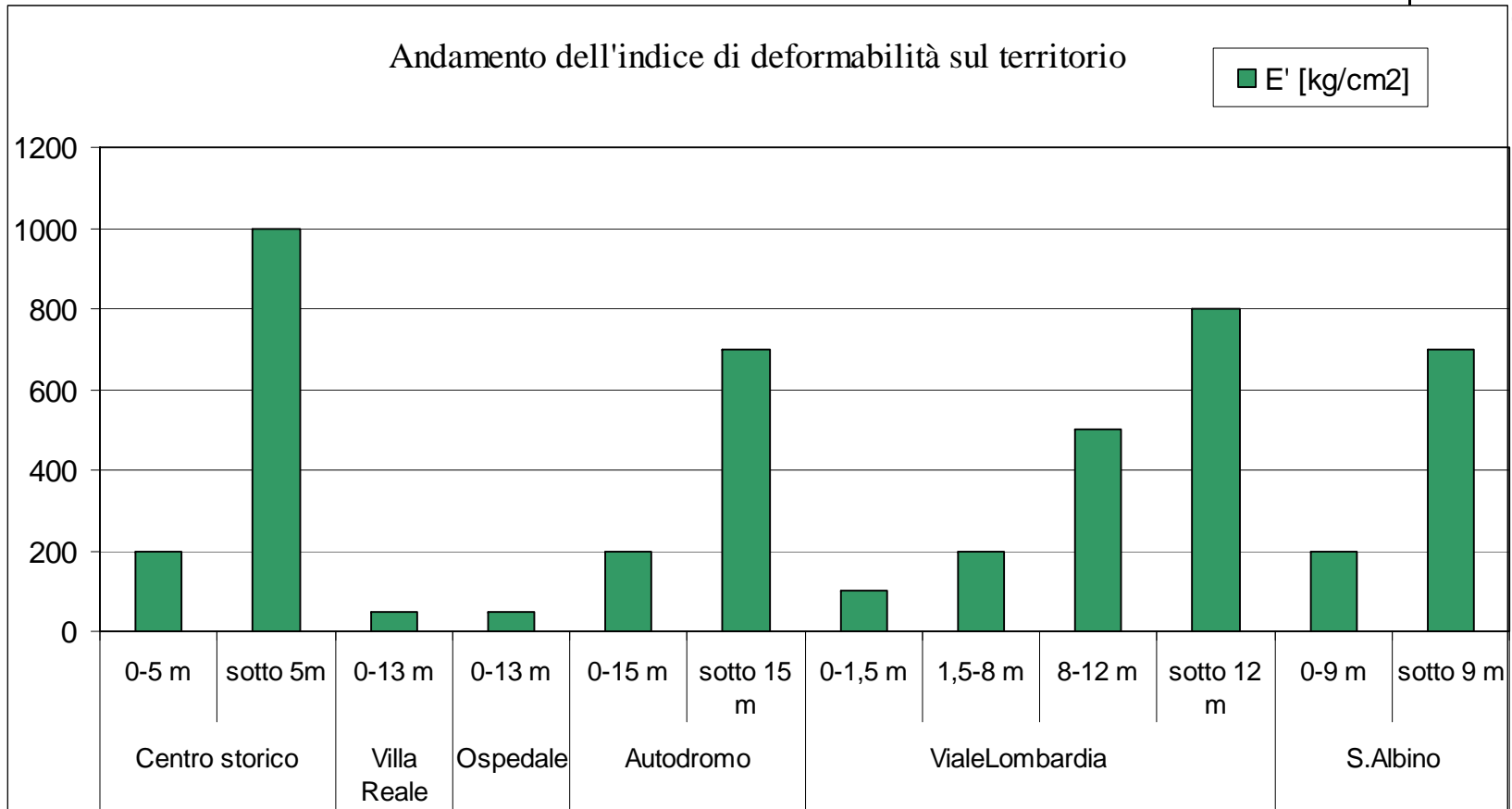
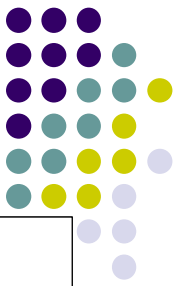
Si ricercano le aree con valori di k più elevati

Angolo d'attrito e peso specifico



Si ricercano valori bassi di peso specifico ed angolo d'attrito, associabili a strati deboli e poco addensati

Indice di deformabilità

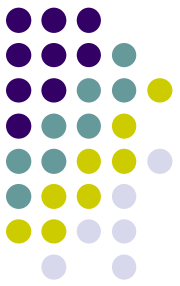


Attraverso l'indice di deformabilità, ricavato ad esempio indirettamente da prove S.P.T., si individuano gli strati deboli e scarsamente addensati

Calcolo del gradiente critico

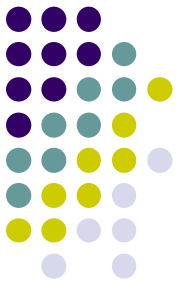
COS'E' G?

FORMULA SEMPLIFICATA DI KASSIFF



$$j_{CR} = \frac{(G - 1) \cdot (1 - n) \cdot \cos \alpha}{a1}$$

Ubicazione	Profondità	γ [kN/m ³]	G	Porosità	j critico
Centro storico	0-5 m	19	1,94	0,37	0,6
	sotto 5m	21	2,14	0,35	0,74
Villa Reale	0-13 m	15	1,53	0,41	0,31
Ospedale	0-13 m	15	1,53	0,41	0,31
Autodromo	0-15 m	18	1,83	0,37	0,53
	sotto 15 m	20	2,04	0,35	0,68
Viale Lombardia	strato 2	19	1,94	0,39	0,57
	strato 3/4	19	1,94	0,36	0,60
S.Albino	strato 2	19	1,94	0,38	0,58
	strato 3	19	1,94	0,35	0,61



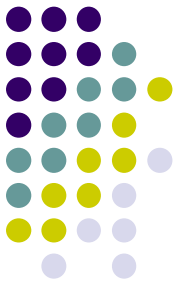
Il georadar

Potenzialità

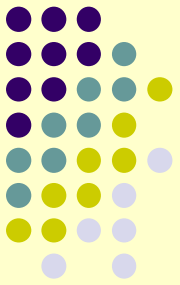
- I risultati dipendono dalle condizioni e dalle proprietà del terreno, dalla profondità a cui si trova l'obiettivo, dalla geometria.
- La profondità di penetrazione raggiungibile è dell'ordine di 20-25 metri in sabbie sature, di pochi metri nelle argille sature
- Fornisce dati lungo sezioni
- Permette di indagare aree di grosse dimensioni
- Basso impatto ambientale

Il georadar

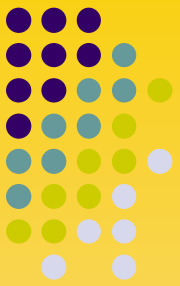
Caso applicativo di Venegono



- È stata utilizzata l'antenna da 500 MHz che garantisce una buona combinazione di penetrazione e risoluzione
- Sono state rilevate 16 sezioni parallele alle isoipse
- L'elaborazione è stata effettuata mediante software sviluppato dal gruppo del prof. Zanzi del DIS



Sono queste le basi per
l'implementazione di modelli di
calcolo dell'entità della
deposizione e dell'erosione, che
portano a identificare le variazioni
di assetto dell'alveo



E' necessario evitare che la distribuzione lungo l'alveo del materiale proveniente da erosione di sponda o da frane avvenute nella parte alta del bacino ostacoli il flusso delle acque di piena.

Sono stati predisposti modelli per questi calcoli (USDA) che si basano sulla legge di conservazione di massa, partendo dalla considerazione che, lungo una sezione longitudinale dell'alveo, le variazioni dell'altezza del fondo dy nel tempo, siano proporzionali a quelle della portata solida con la distanza dalla fonte del detrito, e cioè che :

$$dy / dt = dm/ dx$$

Sulla base di studi idrologici, è possibile calcolare la distribuzione delle velocità della corrente nel corso delle piene. Ad analoghi risultati si può pervenire con studi sedimentologici

Per una data granulometria, è possibile determinare la velocità della corrente per la quale avviene la sedimentazione (es. tramite diagrammi come quello di Hjulstrom oppure applicando le relazioni basate sul valore di T (Shields)).