

SEMINARIO TECNICO



*DISSESTI FONDALI INDOTTI DAL RITIRO DEI TERRENI COESIVI
STUDIO E CONTROLLO DEI FENOMENI PER LA RIDUZIONE*

29 settembre 2016

Perugia Park Hotel – Via A. Volta, 1

Ponte San Giovanni (PG)

Problematiche di ritiro dei terreni argillosi: metodi di studio e di prevenzione

C. MEISINA

Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente

Università degli Studi di Pavia

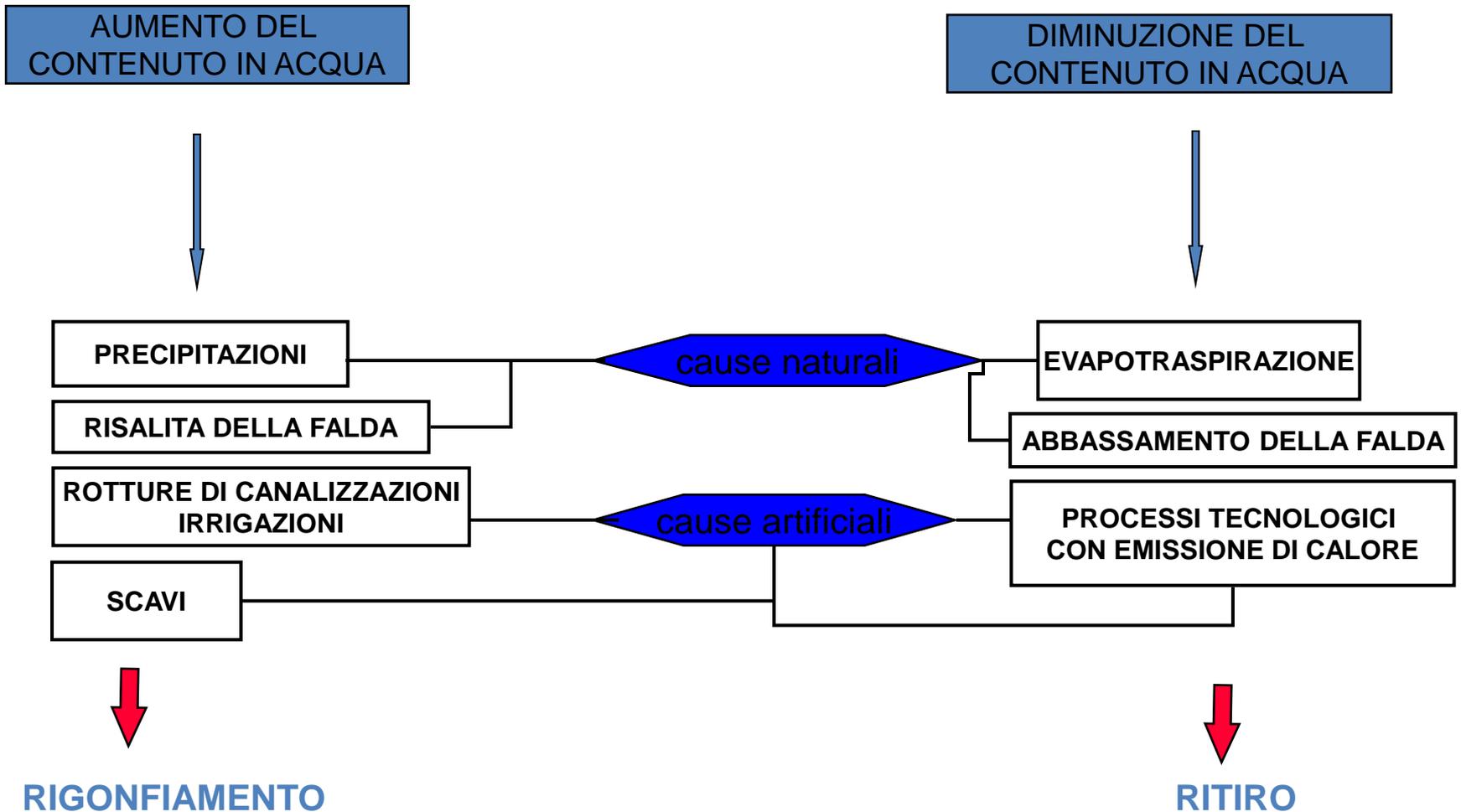
Claudia.meisina@unipv.it

INDICE

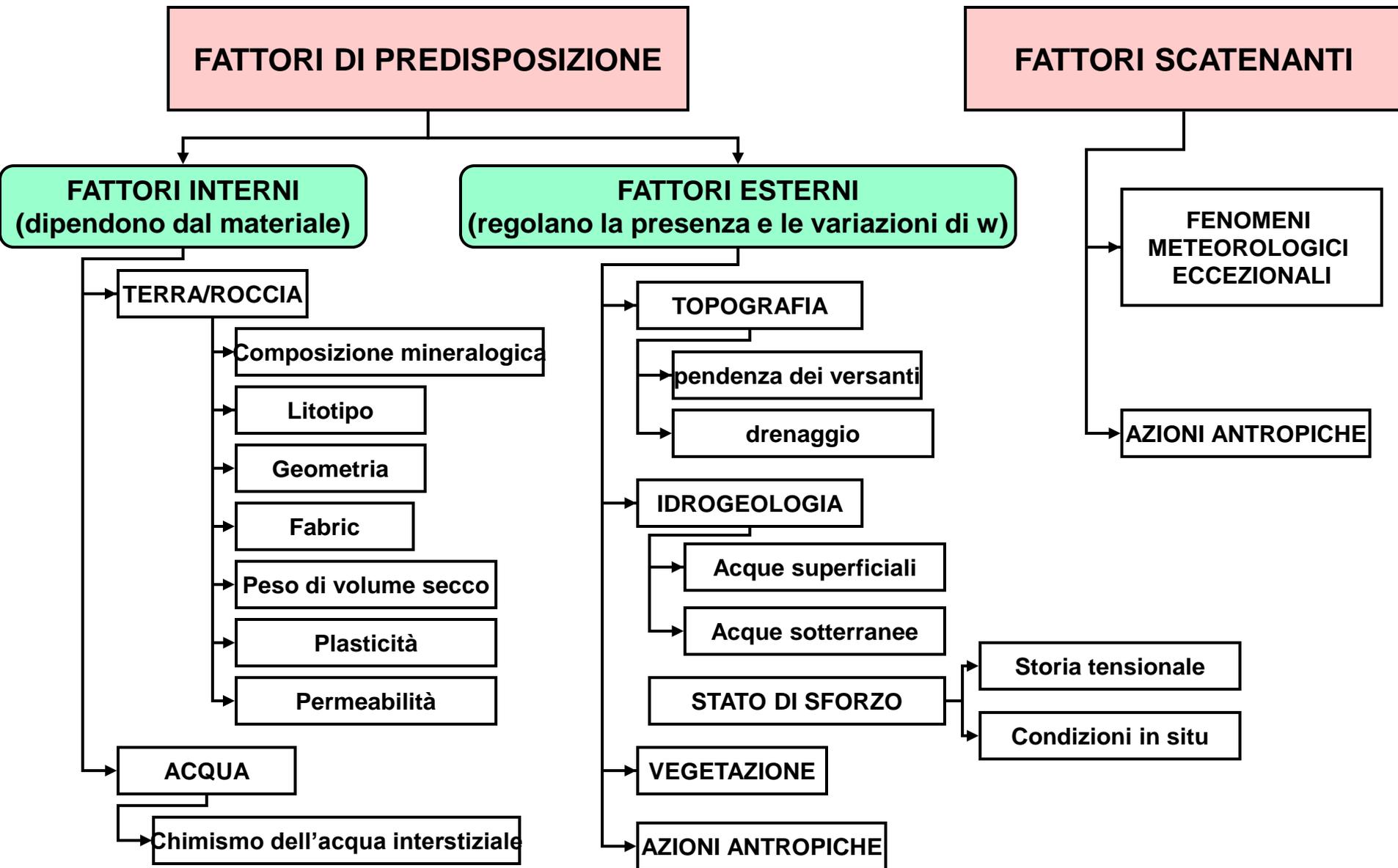
1. Fattori e meccanismi del fenomeno di ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi: nuove conoscenze
2. Effetti sul costruito
3. Metodi di indagini per nuove costruzioni
 - Rilievi in sito
 - Prove in sito
 - Prove di laboratorio
 - Identificazione qualitativa
 - Identificazione quantitativa
4. Studio del ritiro-rigonfiamento nell'ambito della pianificazione del territorio: valutazione della pericolosità

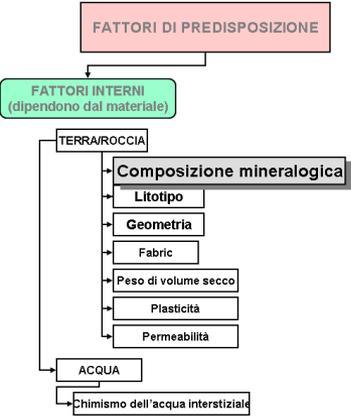
1 . Fattori e meccanismi del fenomeno di ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi : nuove conoscenze

CAUSE DEL RITIRO-RIGONFIAMENTO DEI TERRENI ARGILLOSI



FATTORI DEL RITIRO-RIGONFIAMENTO DEI TERRENI ARGILLOSI

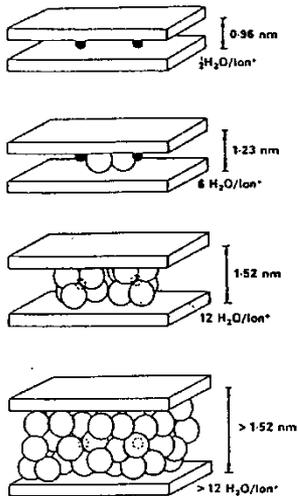




IL FENOMENO DI RITIRO-RIGONFIAMENTO E' SPECIFICO DI CERTI TERRENI ARGILLOSI (terreni costituiti da più del 30% di particelle di dimensioni < 2µm) ED E' PRINCIPALMENTE LEGATO ALLE VARIAZIONI DEL LORO CONTENUTO DI ACQUA

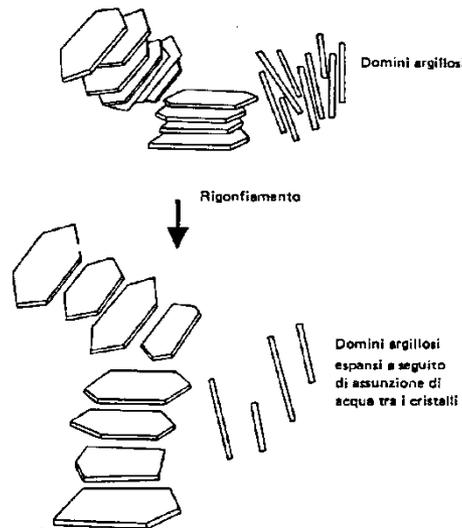
MECCANISMI DEL RITIRO-RIGONFIAMENTO

FISICO-CHIMICI

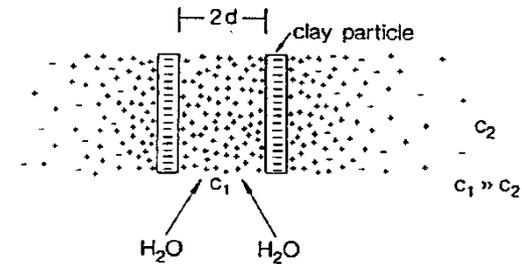


- molecole di acqua
 - cationi interstrato
- (da Madsen, 1989)

RIGONFIAMENTO INTRACRISTALLINO



RIGONFIAMENTO INTERPARTICELLARE



RIGONFIAMENTO OSMOTICO

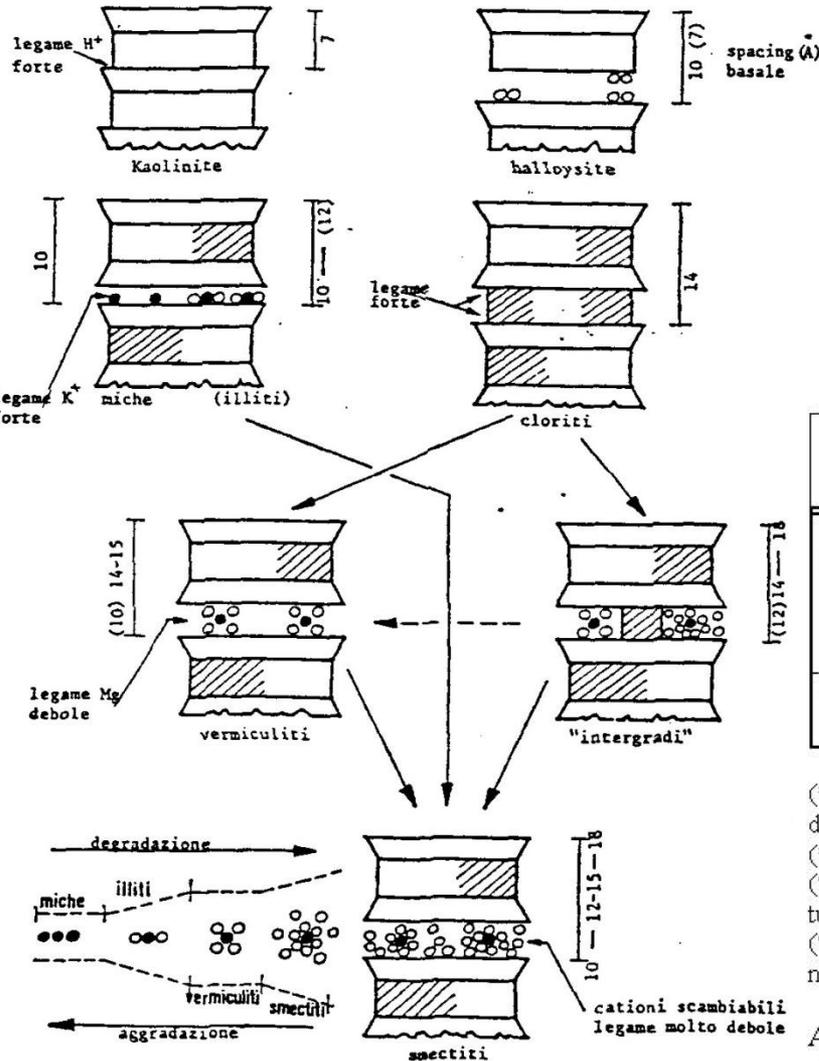
MECCANICI

strato tetraedrico (T) siliceo
(con sostituzioni $Al^{3+} \rightarrow Si^{4+}$)

Mg Al strato ottaedrico (O) gibbsitico (Al) (con sostituzioni Fe, Mn, Ni, Cr, ecc.)
brucitico (Mg)

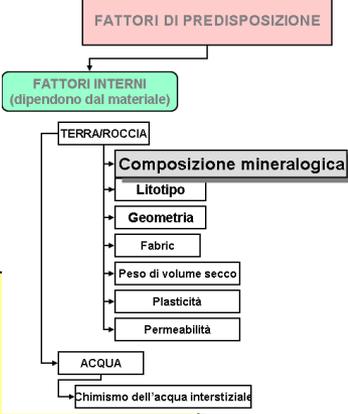
● cationi (K, Mg, Na, Ca, ect.)

○ molecole di acqua



DIVERSE TIPOLOGIE STRUTTURALI DEI MINERALI ARGILLOSI

Minerali rigonfianti
Smectiti
Vermiculiti
Intergradi



	TIPO DI MINERALE	CARICA cella unitaria	CEC (*) meq/100g	AREA SUPERFICIALE (m ² /g)	Wl %	IP %	Cc
INERTI	KAOLINITE	0,01	5-15	5-15	50	20	0,2
	HALLOYSITE (°)		10-40	30-70			
	ILLITE (°°)	1	10-40	60-110	100-120	50-65	0,6-1
	CLORITE	0,5-1	10-40	5-50	simili all'illite		
ATTIVI	VERMICULITE	0,5-0,7	100-150	100-150	compresi tra illite e smectite		
	SMECTITE	0,3	80-100	200-800 (**)	150-700	100-650	1-3

(*) La capacità di scambio cationico (CEC) varia anche in relazione al tipo di catione scambiabile, al valore del pH e della concentrazione in elettroliti
 (***) Compresa quella "interna" interstrato
 (°) Può rigonfiare in presenza di acqua; il fenomeno può essere reversibile dopo essiccamenti troppo accenti
 (°°) In caso di degradazione spinta può presentare parziale idratazione (illite "aperta") per interstratificazione con smectite

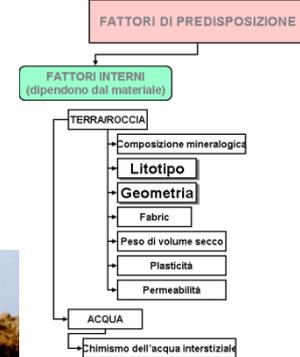
Alcune proprietà chimico-fisiche e parametri geotecnici dei principali tipi di minerali argillosi.

Alcune tipologie di terreni soggetti a ritiro/rigonfiamento

importante lo spessore cumulato dei terreni soggetti a variazioni di volume sotto la fondazione HSF!



Tipo	Origine		
Ia	Eluvio-colluviale	collina, pendenze < 10°	Alterazione del substrato (complesso caotico, argille varicolori...)
Ib	Eluvio-colluviale	collina, pendenze < 10°	Alterazione di marne
IIa	alluvionale	terrazzo	Alterazione alluvioni
IIb	alluvionale	Terrazzo, pianura alluvionale	Alterazione alluvioni
III	eolica	Terrazzi antichi	Loess colluviato e alterato



Localizzazione topografica dei fenomeni di ritiro/rigonfiamento

FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

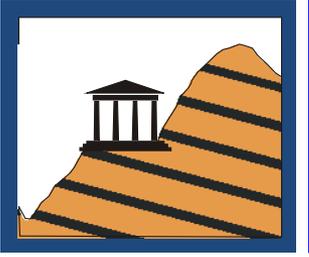
TOPOGRAFIA

IDROGEOLOGIA

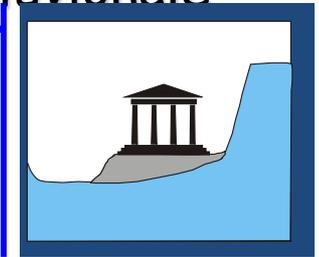
VEGETAZIONE

AZIONI ANTROPICHE

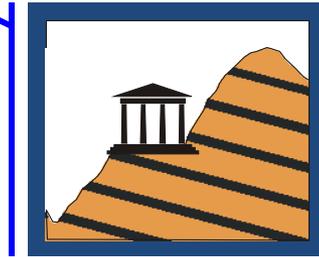
B2. Su terrazzi alluvionali



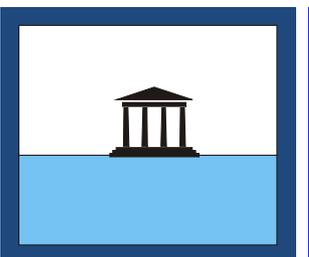
B4. Su conoide alluvionale



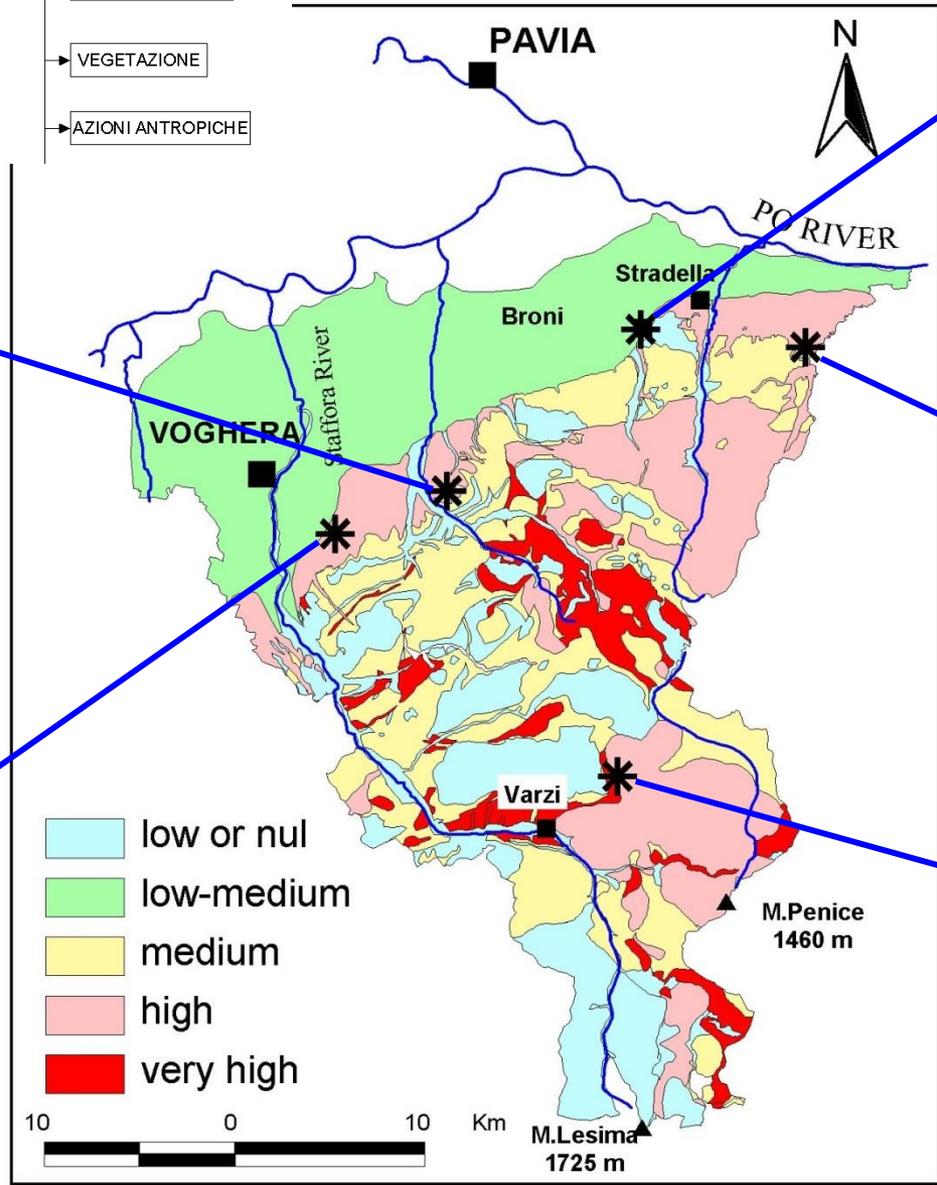
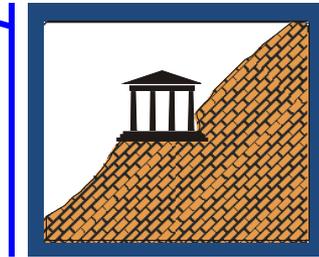
B1. Al bordo di terrazzo



B3. In pianura



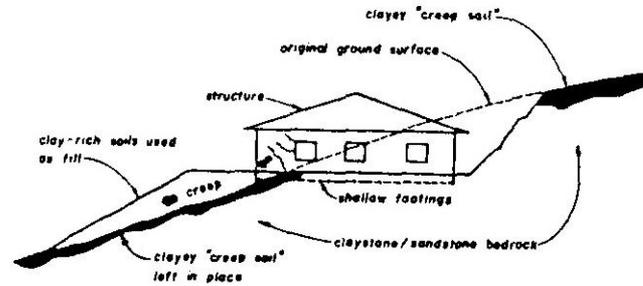
A. A mezza costa



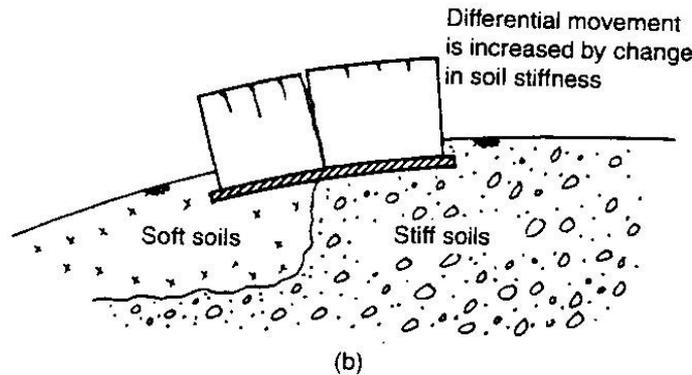
- low or nul
- low-medium
- medium
- high
- very high

Condizioni topografiche

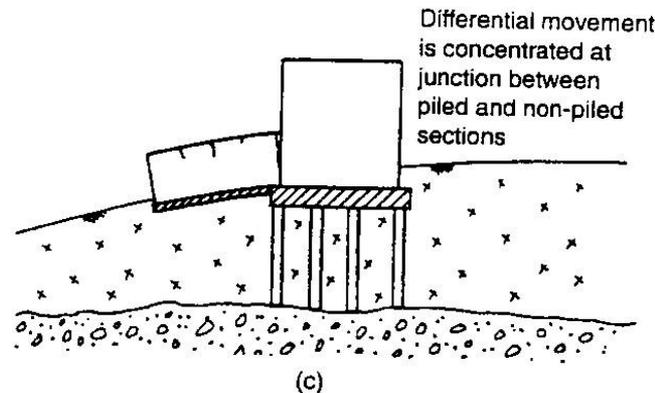
Problematiche connesse ad un edificio costruito a mezza costa



- TOPOGRAFIA
- IDROGEOLOGIA
- VEGETAZIONE
- AZIONI ANTROPICHE



Terreno di fondazione non uniforme



Diverse tipologie di fondazione

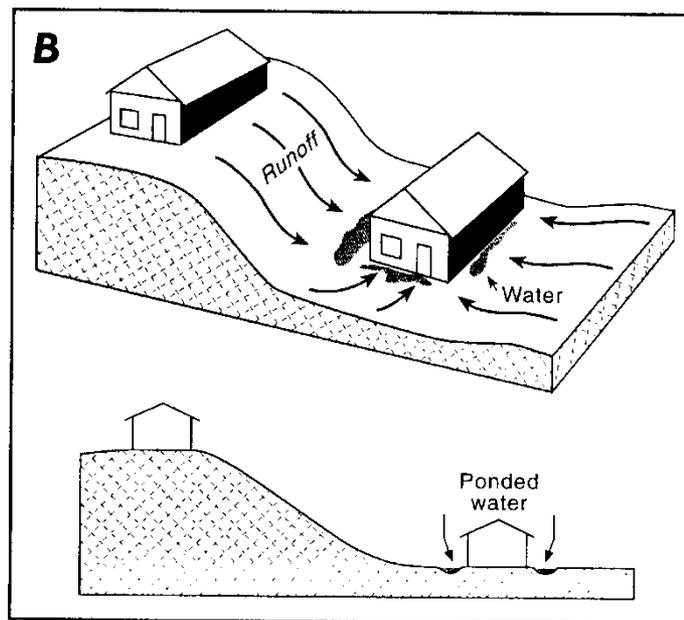
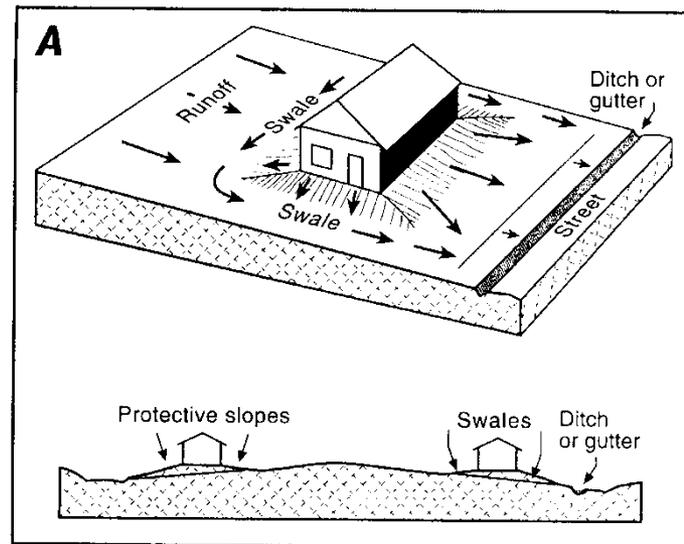
FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

- TOPOGRAFIA
- IDROGEOLOGIA
- VEGETAZIONE
- AZIONI ANTROPICHE

Condizioni topografiche

Effetto della topografia sul drenaggio

- A) Adeguata progettazione della struttura: il drenaggio è buono e non vi è ristagno d'acqua in prossimità della struttura
- B) Progettazione della struttura non adeguata. Drenaggio mediocre o impedito, l'acqua ristagna in prossimità delle fondazioni.



FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

TOPOGRAFIA

IDROGEOLOGIA

VEGETAZIONE

AZIONI ANTROPICHE

vegetazione

Pioppi, salici, querce, necessitano di circa 300 l d'acqua al giorno nei periodi secchi (Mouroux *et al.*, 1988).

La suzione indotta dal richiamo di acqua da parte delle radici varia con le stagioni tra 100 kPa e 1000 kPa.

I problemi maggiori si hanno in corrispondenza di argille sovraconsolidate con un contenuto d'acqua prossimo al limite plastico: l'assorbimento da parte delle radici anche di modesti quantitativi di acqua comporta una forte riduzione della suzione del terreno, dell'ordine di 300-400 Kpa, che a sua volta provoca un incremento dello sforzo effettivo ed un'elevata variazione di volume (Pugh *et al.*, 1995).

la quantita' di acqua estratta e' proporzionale a

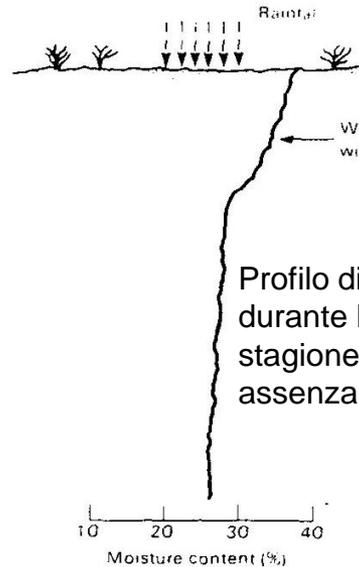
- superficie foliare
- numero di alberi

FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

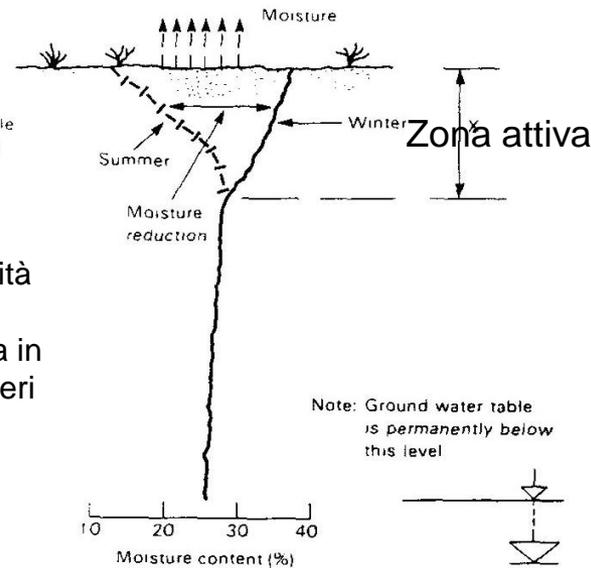
- TOPOGRAFIA
- IDROGEOLOGIA
- VEGETAZIONE
- AZIONI ANTROPICHE

vegetazione

Profilo di umidità durante la stagione umida in assenza di alberi



Profilo di umidità durante la stagione secca in assenza di alberi

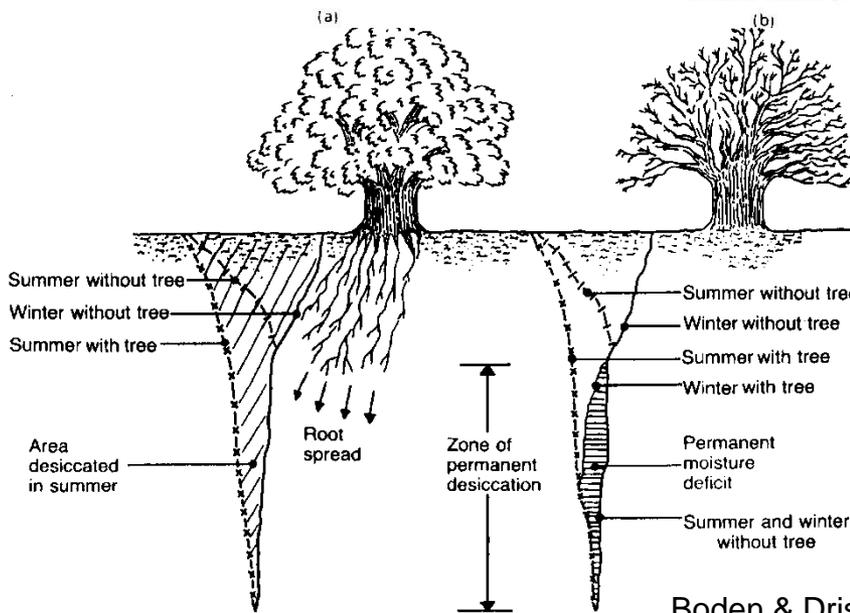


Influenza di un albero sul contenuto di acqua del suolo:

Le differenze dei contenuti d'acqua del terreno relativi al periodo umido e a quello secco sono maggiori

La zona attiva ha uno spessore maggiore (anche > 4m)

Si crea una zona permanentemente secca

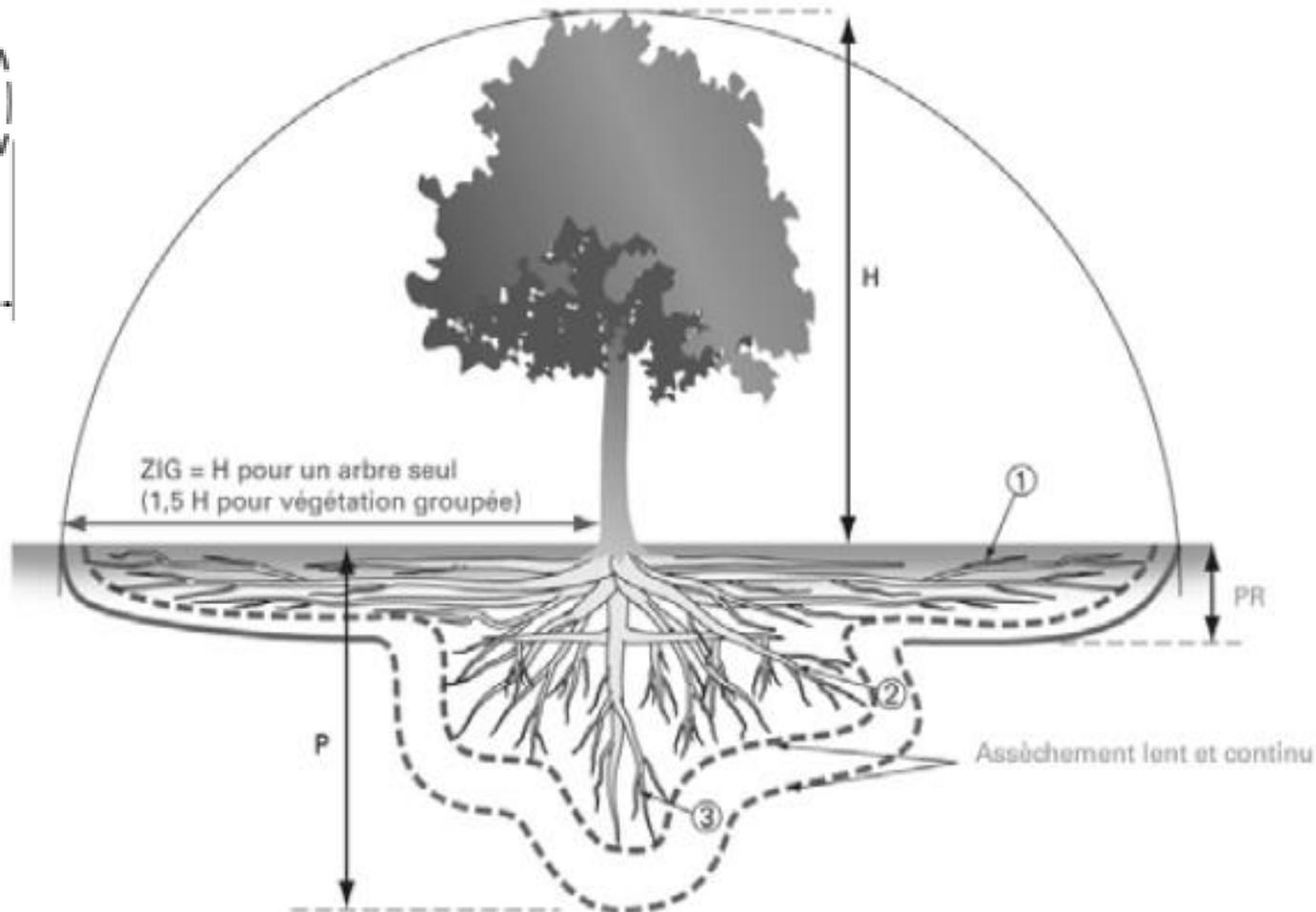
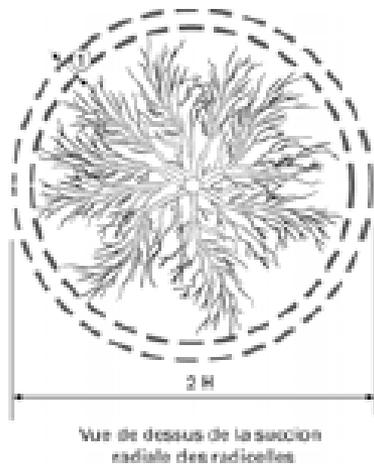


Profilo di umidità durante la stagione secca in presenza di alberi.

Il contenuto di acqua si è ridotto notevolmente e per una profondità maggiore

Boden & Driscoll, 1987

Exemple du réseau racinaire d'un chêne pédonculé (*Quercus robur*)



Bechad et al, 2015

- ① Racines superficielles, horizontales et linéaires au moins aussi longues que la hauteur de l'arbre
- ② Deuxième couronne de racines horizontales à extension limitée
- ③ Ensemble de pivots verticaux et obliques des racines charpentières

- PR Profondeur de recharge possible par les pluies météorologiques
- - - Volume racinaire
- ZIG des racines superficielles
- - - ZIG des racines profondes
- P La profondeur de la ZIG est fonction de l'essence de l'arbre et de la lithologie du sol

1 step: il suolo inizia a cedere nella parte esterna della zona di influenza delle fondazioni (movimenti verticali e rotazione della struttura)

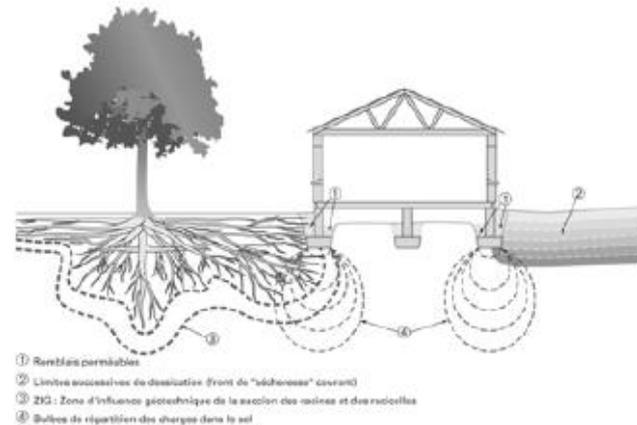
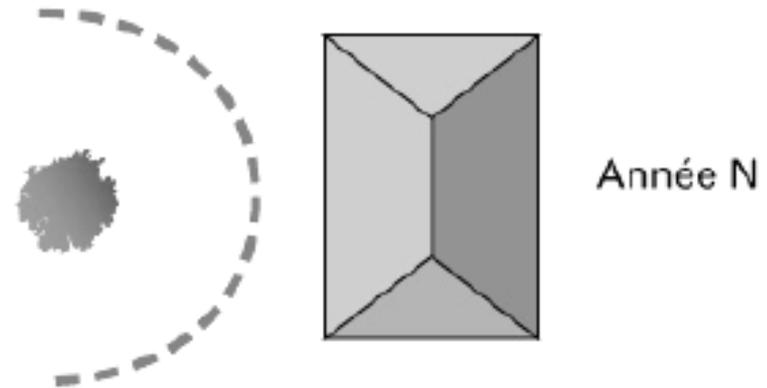
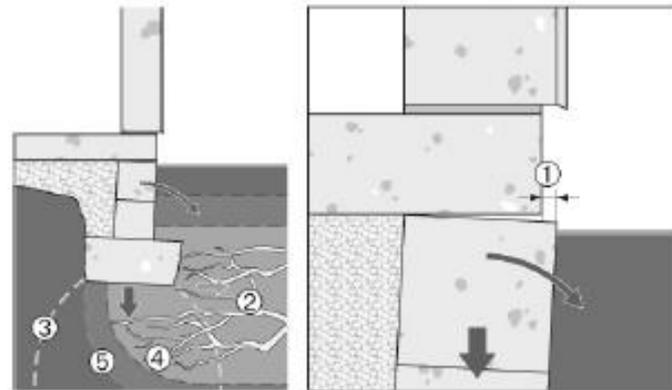
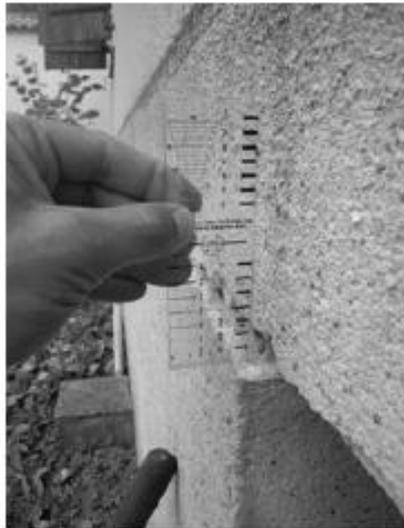


Figure 2. Genèse de la rotation du soubassement par succion radiale en milieu de façade



- ↓ Affaissement
- ↪ Rotation entraînant du cisaillement horizontal
- Succion horizontale des racines
- ① Désaffleure avec épaufrure des lèvres de la fissure horizontale
- ② Radicelles
- ③ Bulbe de répartition des charges sur le sol
- ④ Dessiccation du sol de la motte contenue dans les racines et les radicelles
- ⑤ Succion dans le terrain en place vers la motte desséchée par les radicelles

Figure 3. Fissure avec désaffleure par succion en milieu de façade

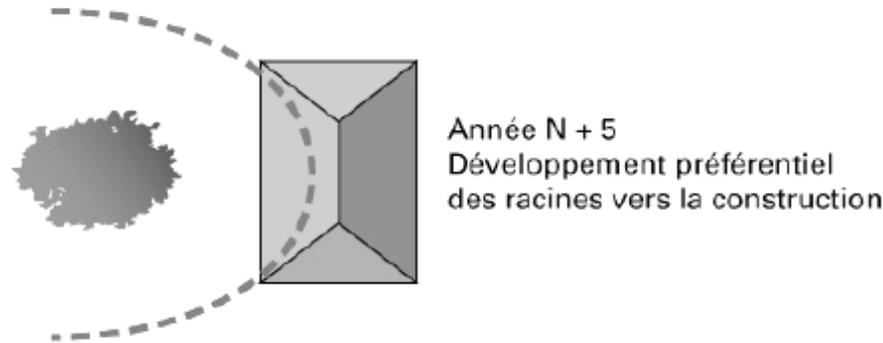


Figure 6. Hydrotropisme : développement racinaires préférentiel vers les constructions (Béchade, 2015)

2 step idrotropismo: la vegetazione “sente” la presenza di acqua sotto la costruzione soprattutto in condizioni di siccita'

.

Si sviluppano radici sotto la costruzione.

Il fenomeno e' accelerato quando si verifica una fuga d' acqua accidentale .



Figure 7. Développement racinaire d'un acacia sur un terrain en pente avec un fort pendage des couches de sol. Les racines et les radicelles suivent des circulations d'eaux, donc le pendage naturel des couches de sol.

- **3 step:** le radici dell' albero seccano il terreno in profondità e i cedimenti diventano irreversibili.

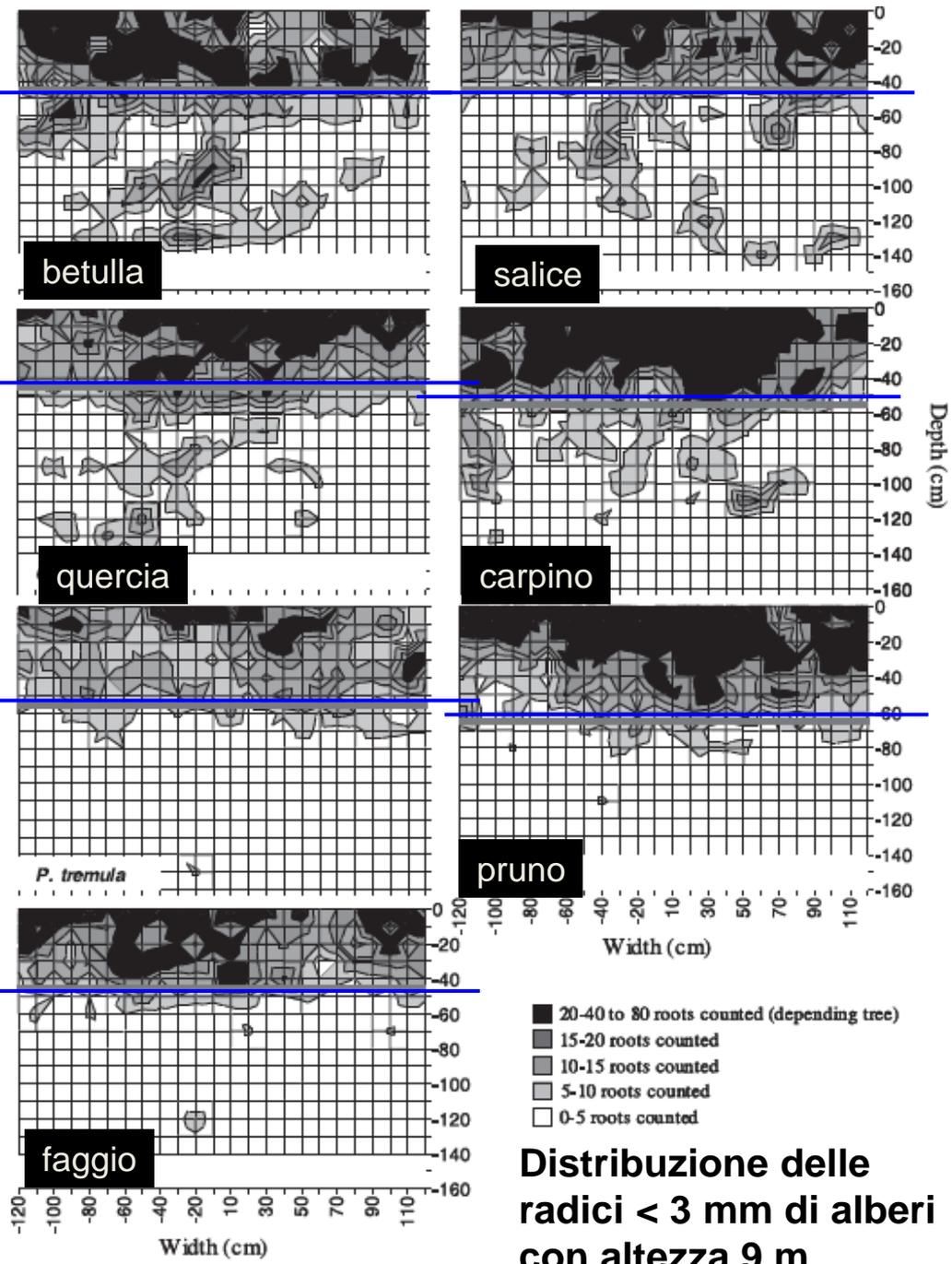
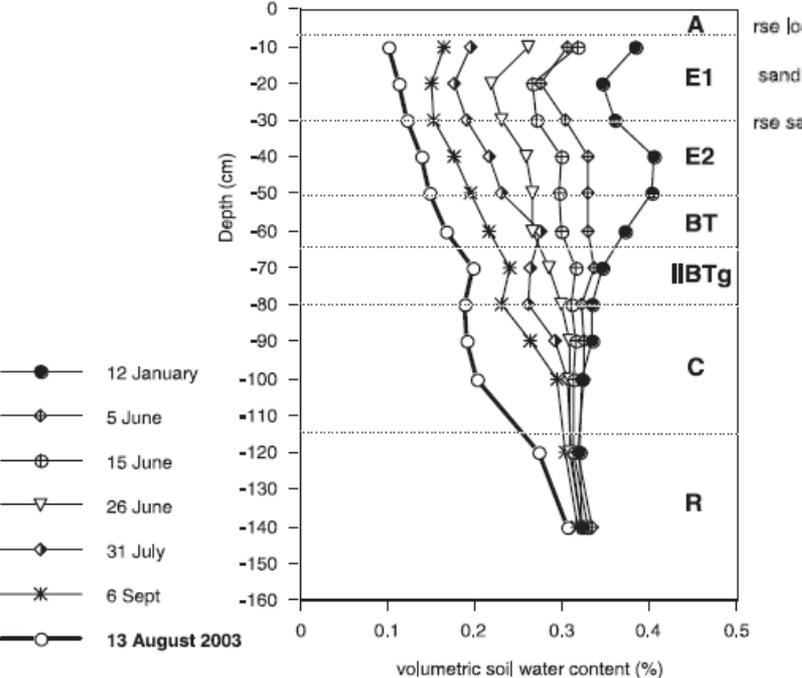
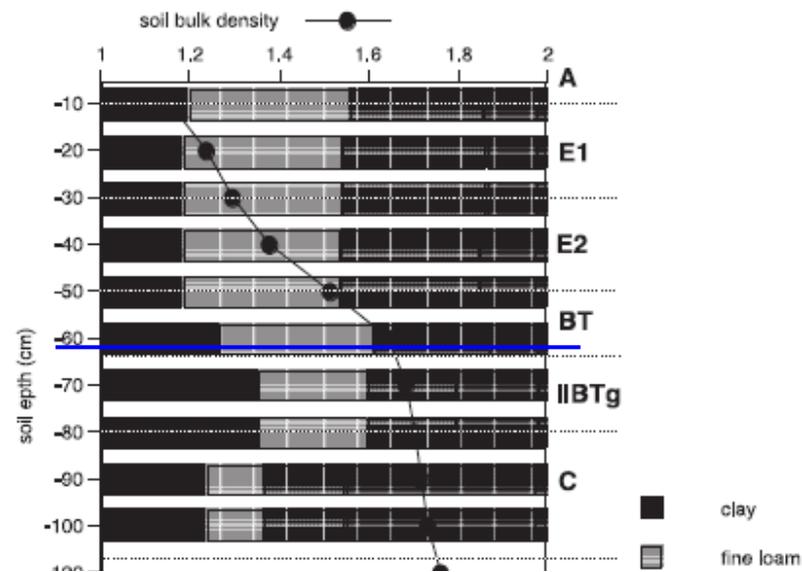


Figure 8. L'angle de la maison bascule l'été suivant la reprise en sous-œuvre générale du fait de la succion profonde et radiale des racines d'un eucalyptus

- danni di seconda generazione

Comportamento degli alberi in condizioni di siccità

Zapater et al., 2008



Distribuzione delle radici < 3 mm di alberi con altezza 9 m

Caratteristiche dei danni

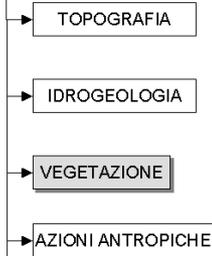
- forma delle fessure esterne: fessure a scalino nell'angolo in prossimità dell'albero , fessure orizzontali con rotazione verso l'esterno quando la vegetazione e' localizzata a meta facciata.
- fessure interne legate a quelle esterne
- carattere evolutivo delle fessure



Figure 1. Fissures en escalier de tassement par succion dans un angle

FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

vegetazione



Classificazione In funzione dei danni prodotti	Specie	1	2	3	4
		H altezza metri	massima distanza metri	distanza tra edificio e albero metri	distanza minima
1	quercia	16-23	30	13	1 H
2	pioppo	25	30	15	1 H
3	tiglio	16-24	20	8	0.5 H
4	frassino	23	21	10	0.5 H
5	platano	25-30	15	7.5	0.5 H
6	salice	15	40	11	1 H
7	olmo	20-25	25	12	0.5 H
8	biancospino	10	11	7	0.5 H
9	acero/sicomoro	17-24	20	9	0.5 H
10	ciliegio/pruno	8	11	6	1 H
11	faggio	20	15	9	0.5 H
12	betulla	12-14	10	7	0.5 H
13	sorbo selvatico	8-12	11	7	1 H
14	cipresso	18-25	20	3.5	0.5 H

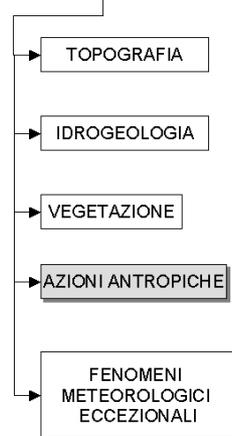
Specie di alberi e loro classificazione (in ordine decrescente) in funzione dei danni provocati alle fondazioni (Driscoll, 1983).

1. massima altezza raggiunta dalla pianta.
2. massima distanza raggiunta dalle radici.
3. distanza tra l'edificio e l'albero in funzione della specie.
4. distanza minima per edifici costruiti su suoli soggetti al fenomeno del ritiro (si moltiplica l'altezza H dell'albero per un coefficiente che dipende dalla specie di albero).

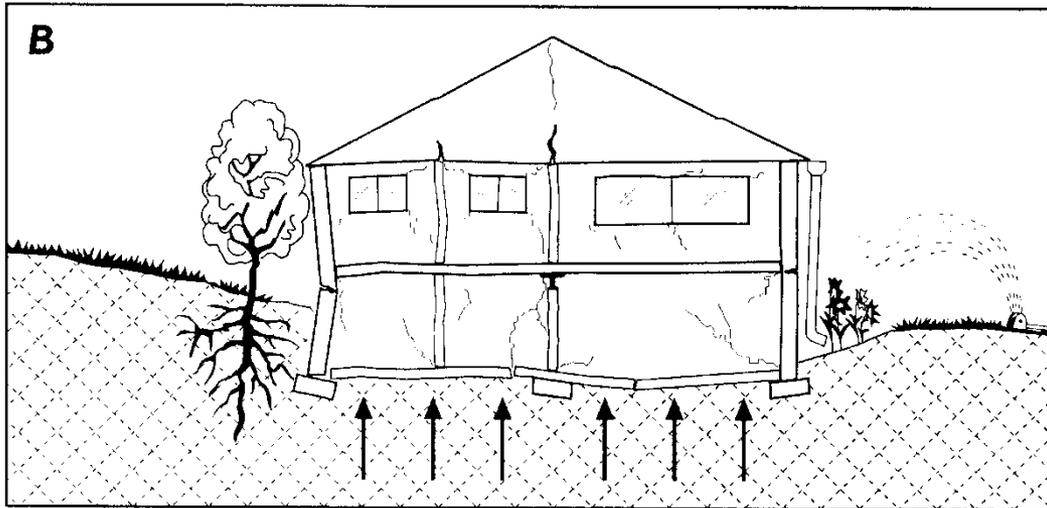
- zona di influenza geotecnica della fondazione ZIG.
- numero di alberi, eta', altezza, distanza dalla costruzione
- pendenza, litotipi, permeabilita' degli strati
- possibili percolazioni/circolazioni di acqua in presenza di livelli sabbiosi
- profondita' di influenza della suzione delle radici.

Azioni antropiche

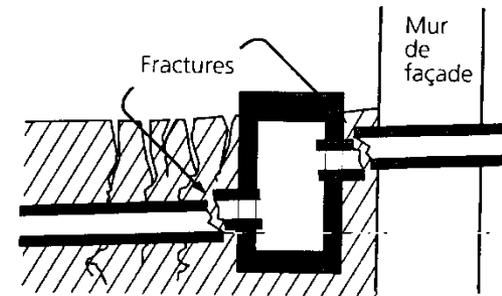
FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)



Irrigazioni



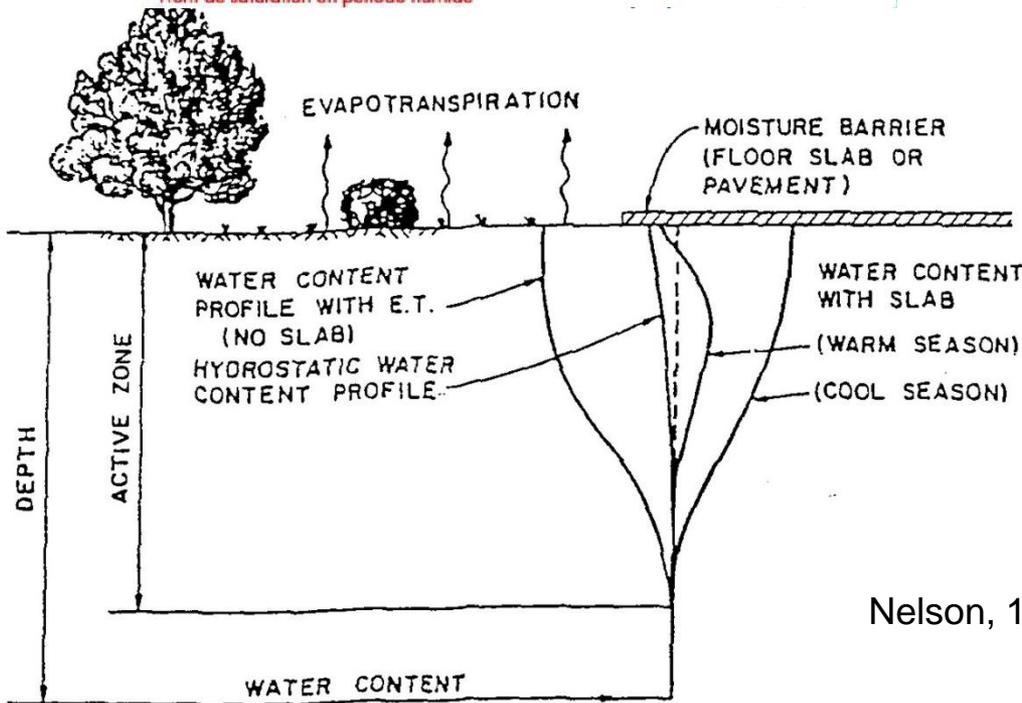
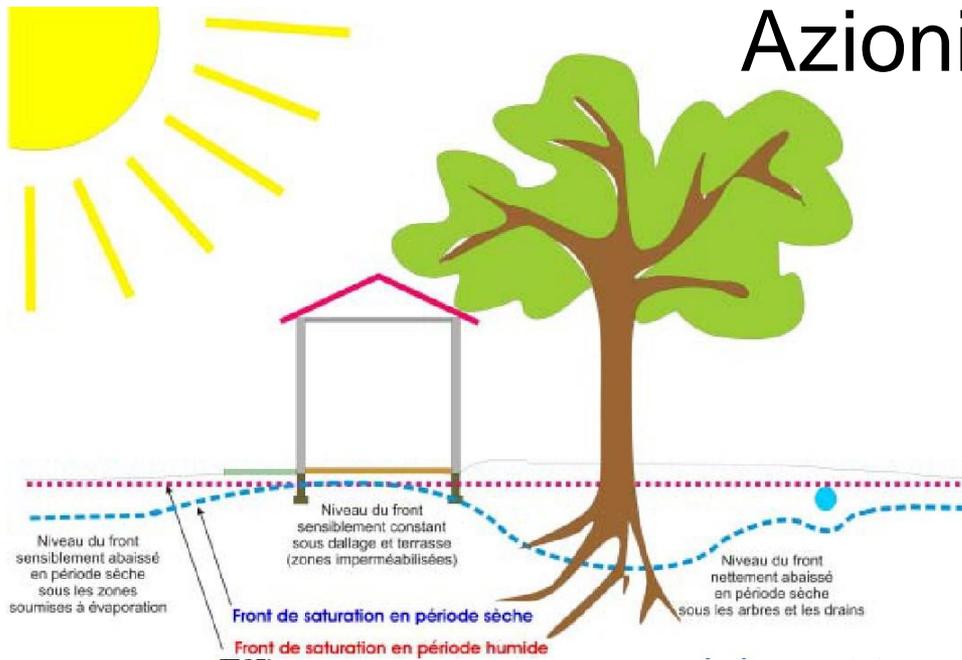
Rotture di tubazioni



Azioni antropiche

FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

- TOPOGRAFIA
- IDROGEOLOGIA
- VEGETAZIONE
- AZIONI ANTROPICHE



Effetto di una costruzione
sul contenuto di acqua

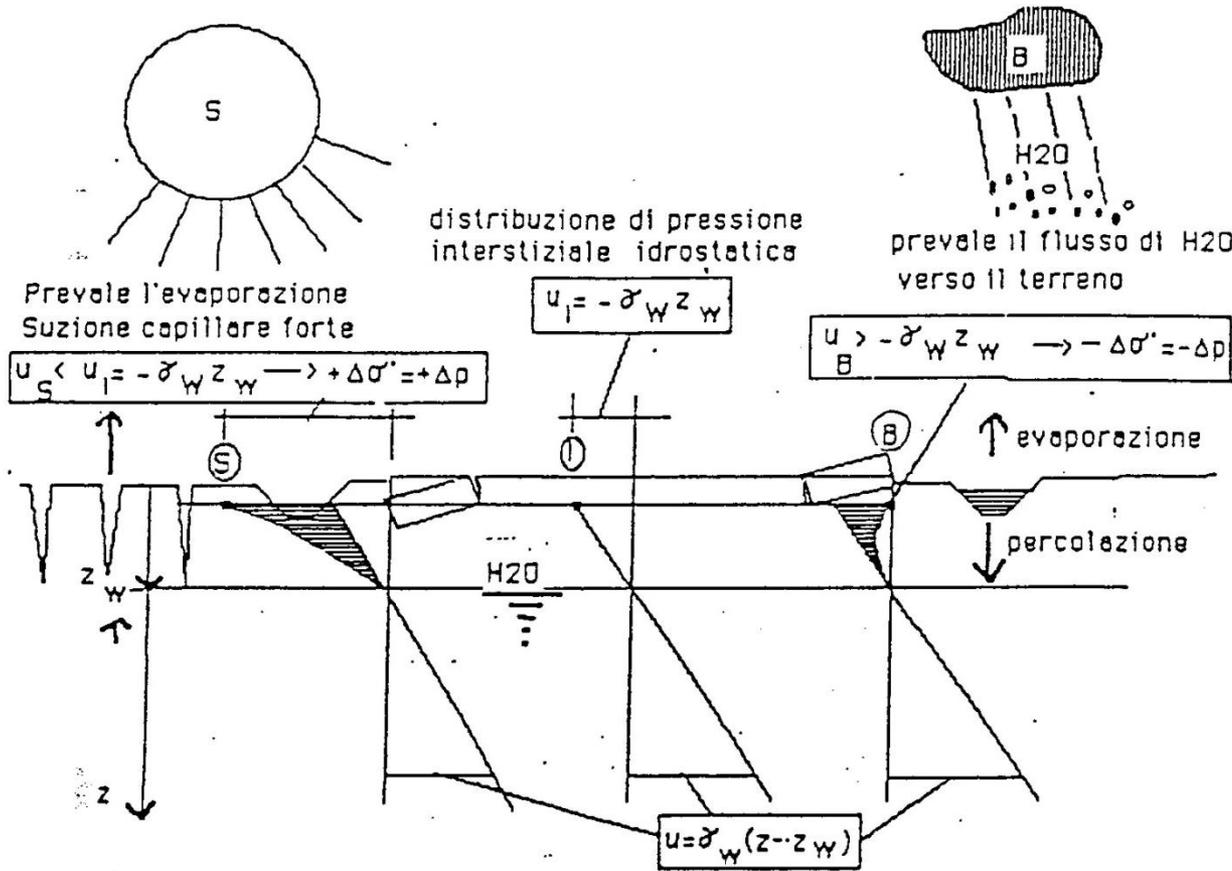
Nelson, 1992

Water content profiles in the active zone.

Azioni antropiche

FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

- TOPOGRAFIA
- IDROGEOLOGIA
- VEGETAZIONE
- AZIONI ANTROPICHE

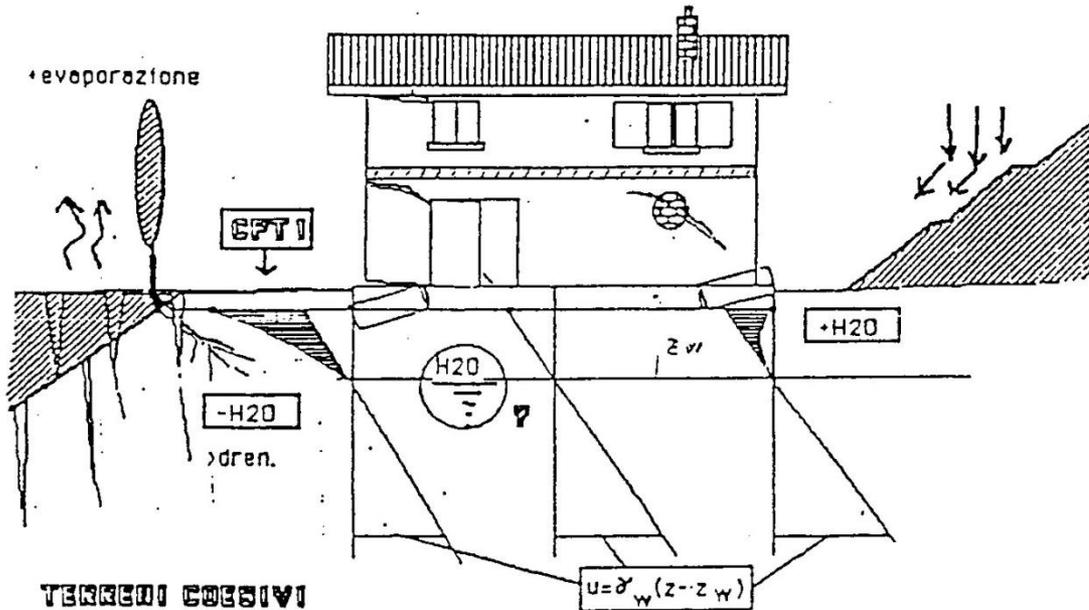


Effetto di una
pavimentazione stradale sul
contenuto di acqua

Azioni antropiche

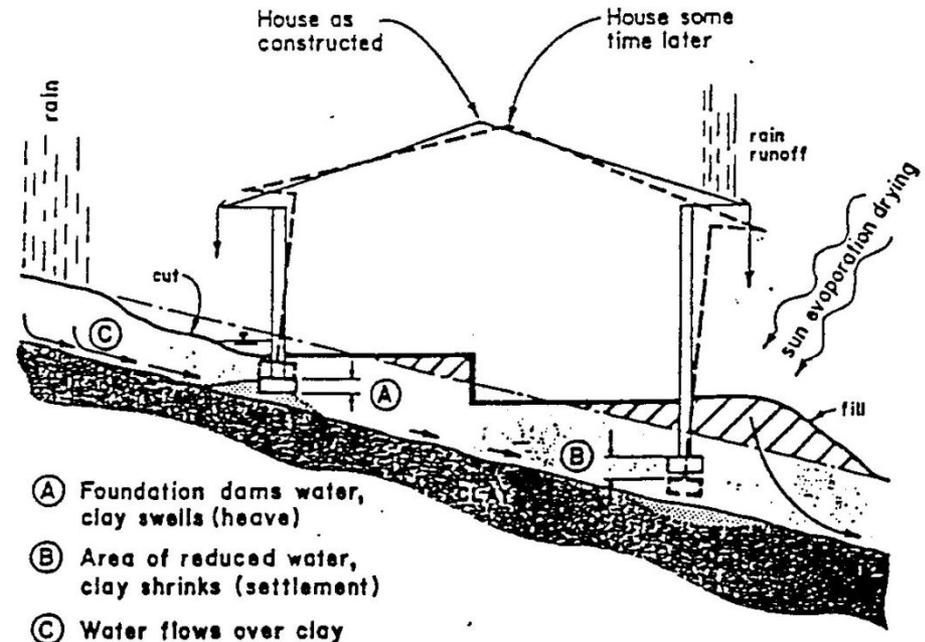
FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

- TOPOGRAFIA
- IDROGEOLOGIA
- VEGETAZIONE
- AZIONI ANTROPICHE



TERRENI COESIVI
EFFETTI DELLE VARIAZIONI DI UMRIDITÀ

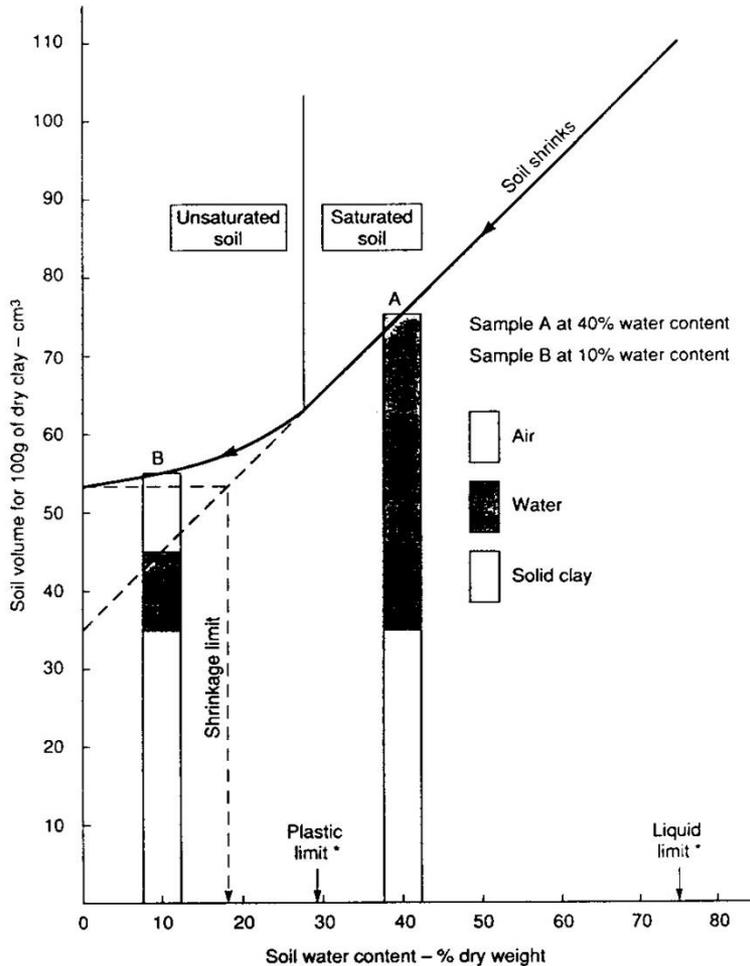
Effetto di una costruzione
sul contenuto di acqua
terreno in pendenza



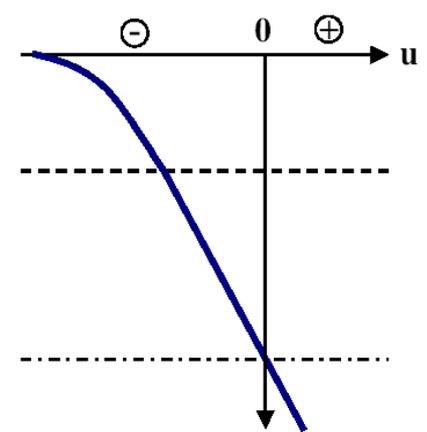
- (A) Foundation dams water, clay swells (heave)
- (B) Area of reduced water, clay shrinks (settlement)
- (C) Water flows over clay

Hypothesis for Heave, Settlement, and Wall Tilt Tendencies of House Built on Slope with Shrink-Swell Clay

Influenza del contenuto di acqua iniziale di un terreno sul ritiro/rigonfiamento



Soil State	Swell	Shrink
Unsaturated	Yes	No
Saturated	Yes	Yes
Saturated	No	Yes



Clay soil shrinkage
 * Typical values for clay with high volume change potential

Alle nostre latitudini: fenomeni di ritiro

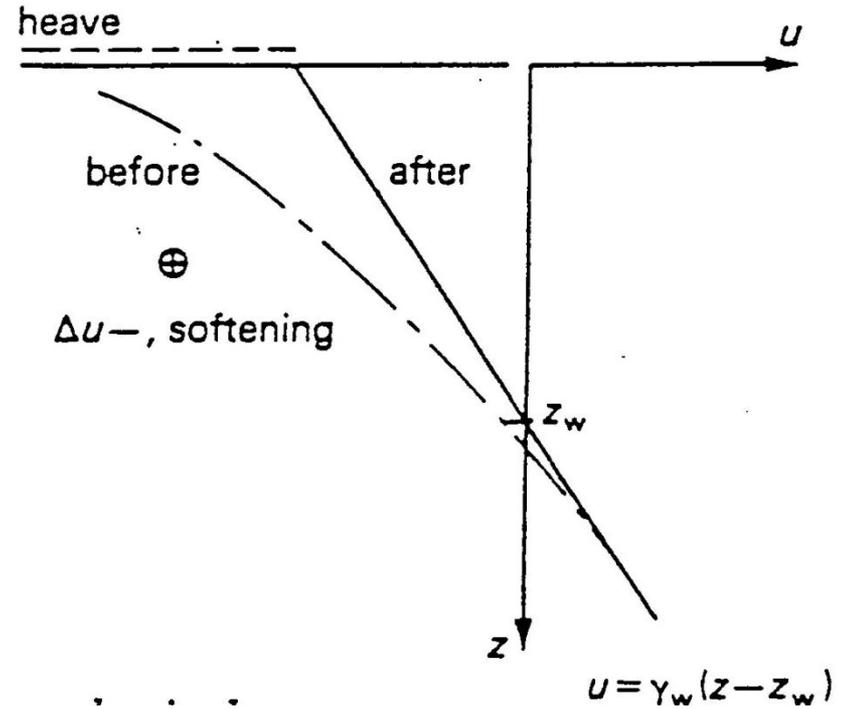
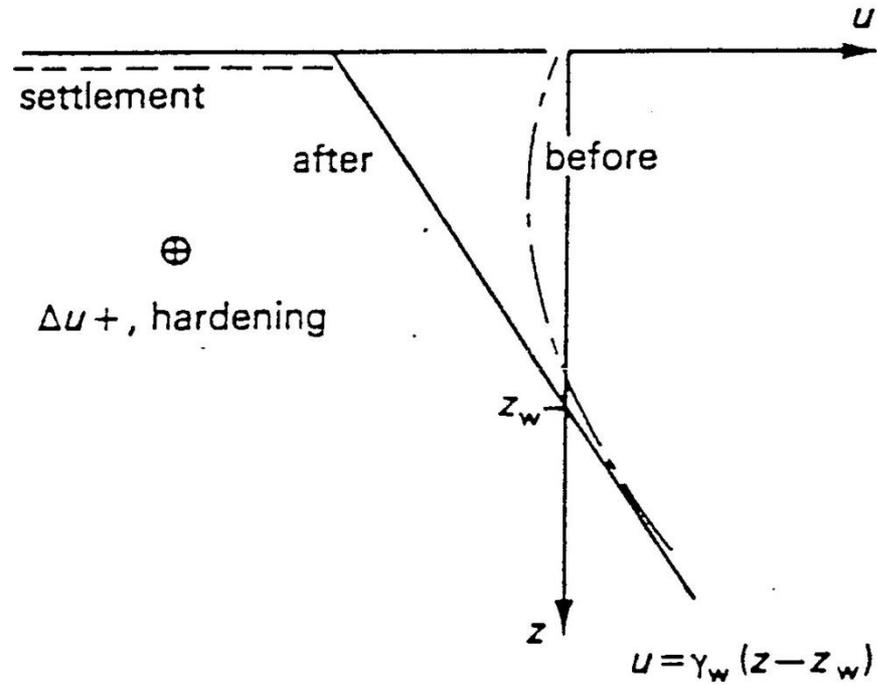
FATTORI ESTERNI
(dipendono dall'ambiente)

Azioni antropiche

- TOPOGRAFIA
- IDROGEOLOGIA
- VEGETAZIONE
- AZIONI ANTROPICHE

Costruzione su argilla durante la stagione umida

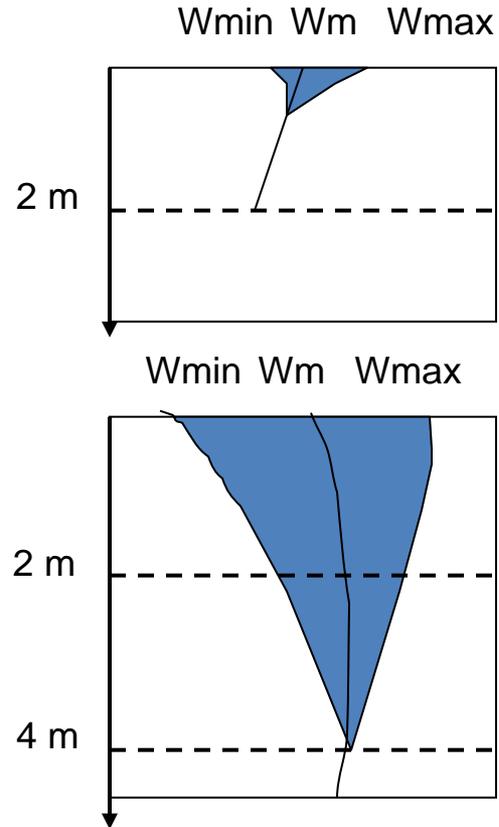
Costruzione su argilla durante la stagione secca



Fattori scatenanti

Condizioni climatiche: siccità

SICCITA' GEOTECNICA
(Nussbaum, 2007):
periodo di lunghezza
variabile, caratterizzato da
un deficit pluviometrico più
o meno marcato che si
traduce in una
diminuzione del contenuto
in acqua nella zona attiva

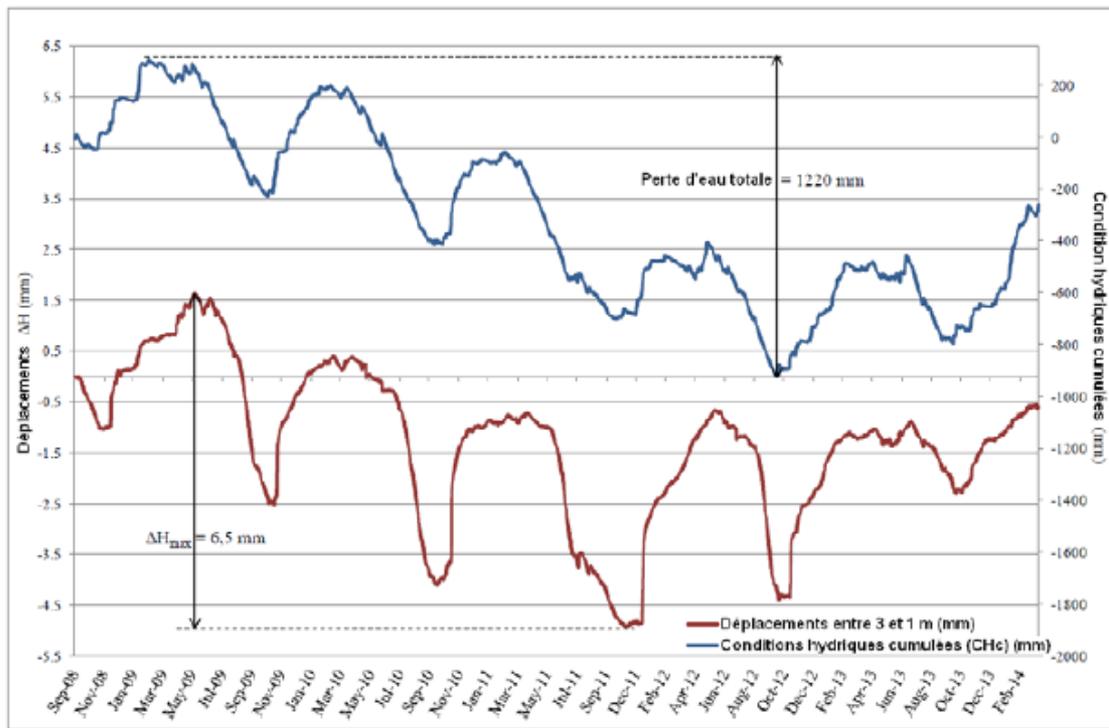


In periodi normali

Profondità di oscillazione
stagionale del contenuto
d'acqua

In periodi siccitosi

W = contenuto in acqua



Fabre et al., 2015

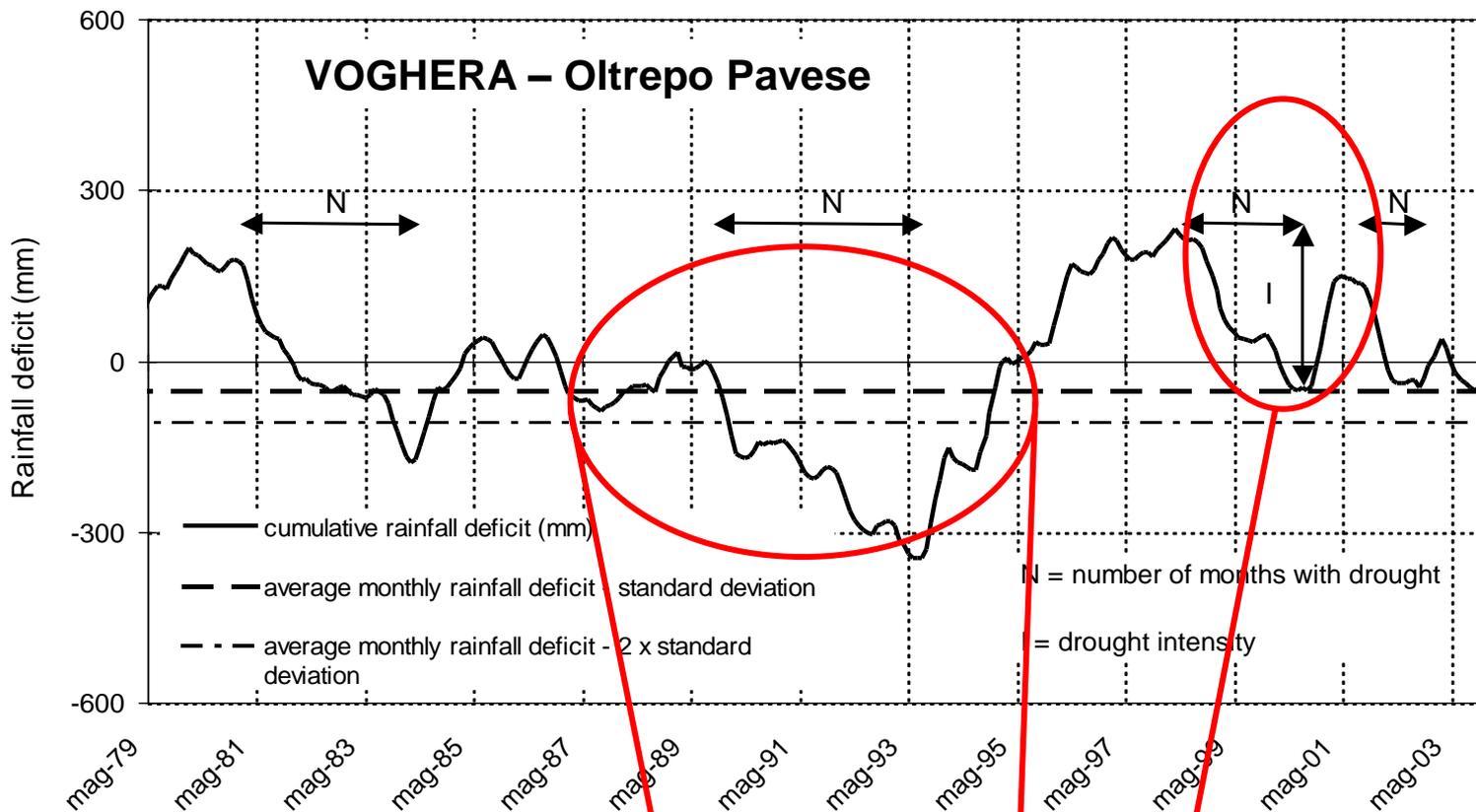
Figure 12. Diagramme de corrélation entre les déplacements du sol argileux et le paramètre CHc entre 09/2008 et 02/2014, déduites de l'équation 2. Courbe du haut : évolution du facteur CHc (conditions hydriques cumulées en mm) ; courbe du bas : déplacements entre 3 et 1 m de profondeur (en mm).

$$CH_{(t)} = PB_{(t)} - ETP_{(t)} ; \text{ avec}$$

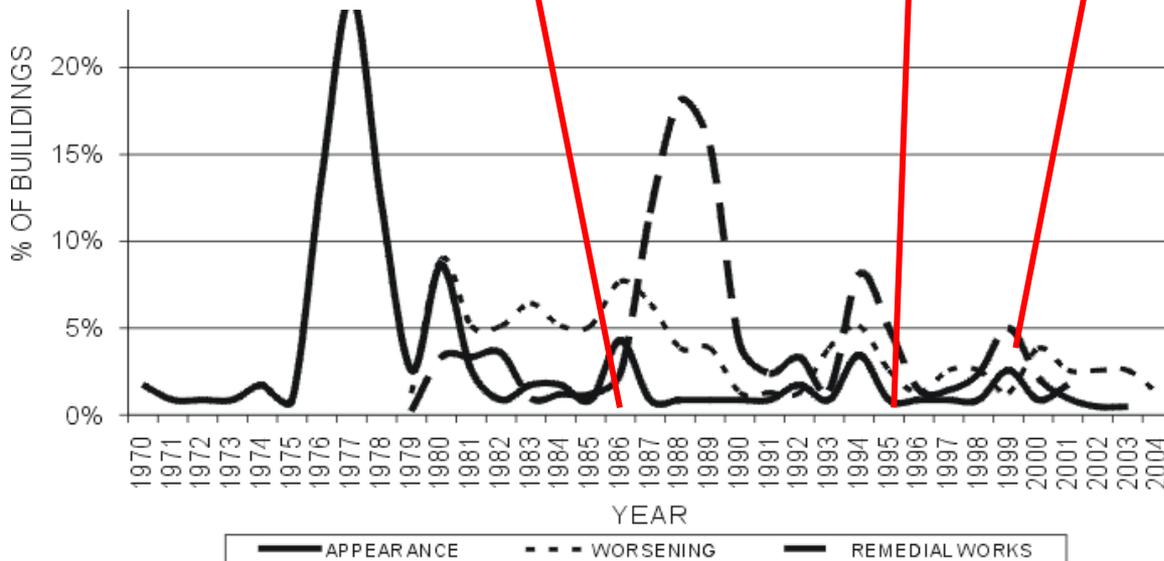
$CH_{(t)} < 0$ Sol sec (déficit hydrique)
 $CH_{(t)} > 0$ Sol hydraté

$$CHc = \sum_{(t_0) \rightarrow (t)} CH_{(t)}$$

DEFICIT
IDRICO



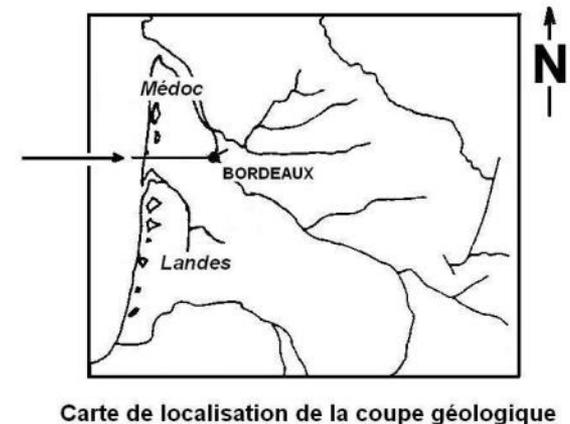
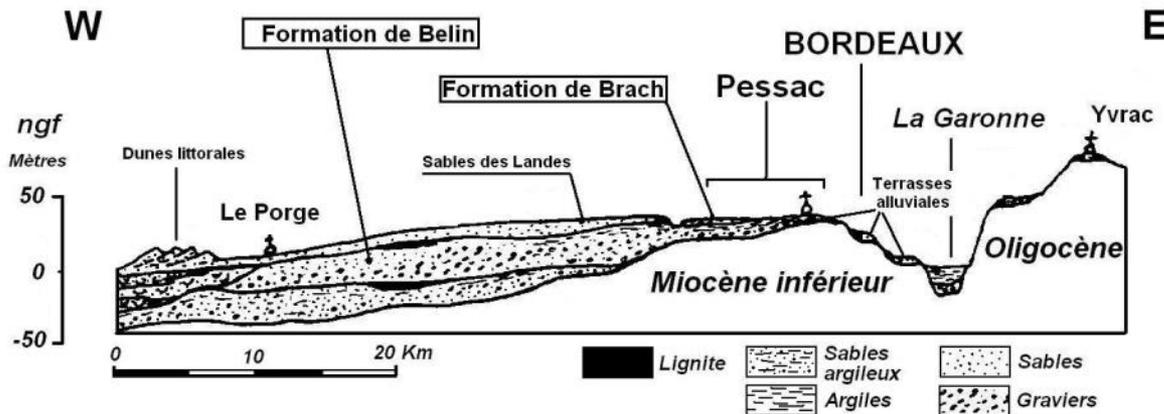
DATA DI COMPARSA
LESIONI EDIFICI IN
OLTREPO PAVESE



MECCANISMI DEL RITIRO/RIGONFIAMENTO

Fabre et al. 2015

Sito sperimentale di Peissac



COUPE GEOLOGIQUE AU TRAVERS DU MEDOC (Dubreuilh et al. 1995)

studio delle variazioni del contenuto in acqua, temperatura e deformazioni del terreno fino a 5 m di profondità dal 2008 al 2014

Estensimetri (Télémac, Glotz)

Tableau 1. Données pluviométriques saisonnières et annuelles (mm) pour les années 2003, 2005 (*station de Mérignac située à 3 km du site) et sur site pour la période 2008 à 2013.

Pluie brute (mm)					
Années	Hiver	Printemps	Été	Automne	Annuelle
2003*	212,4	102,6	158,6	270,8	744,4
2005*	109,4	130,4	108,2	241,2	589,2
2008	192,8	324,8	71,4	286,2	875,2
2009	221,8	262	129,2	354,4	967,4
2010	226,8	197,8	57,2	398,4	880,2
2011	144,4	74,4	188,8	280	687,6
2012	105,6	318,6	68,9	358,5	851,6
2013	283,9	348,2	136	278,2	1046,3

- 2003, 2005, 2011
- i piu caldi e siccitosi
- danni ad edifici in autunno

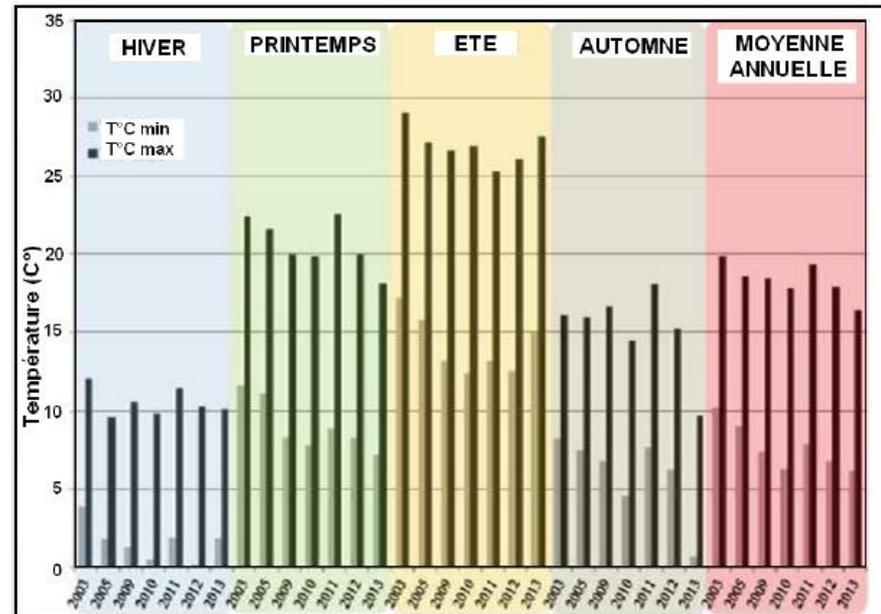


Figure 4. Températures minimales et maximales saisonnières et annuelles enregistrées sur le site expérimental de Pessac pour les années 2003, 2005 (station de Mérignac située à 3 km du site) et sur site pour la période 2009 à 2013

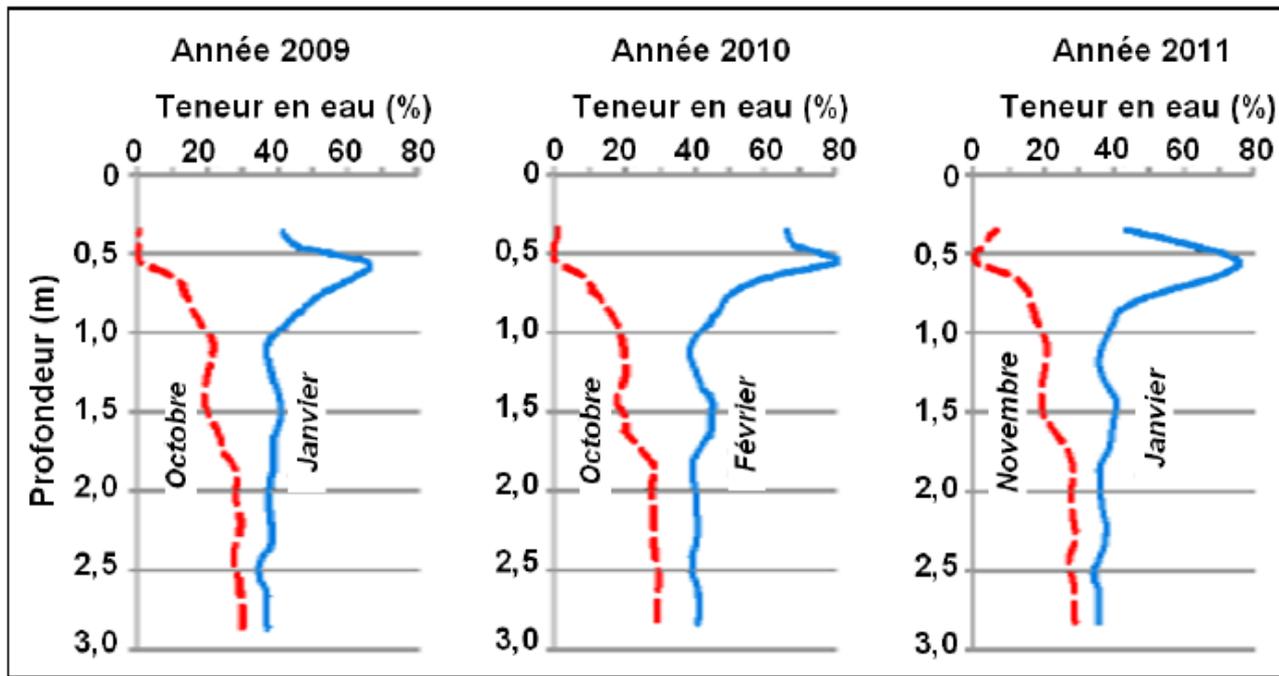


Figure 5. Profils hydriques des teneurs en eau volumique (%) minimales (trait tireté) et maximales (trait continu) pour les années 2009, 2010 et 2011(site de Pessac).

max riduzione H₂O: da 10 a 25% a 1,5 m

Limite di ritiro: 10-15 %

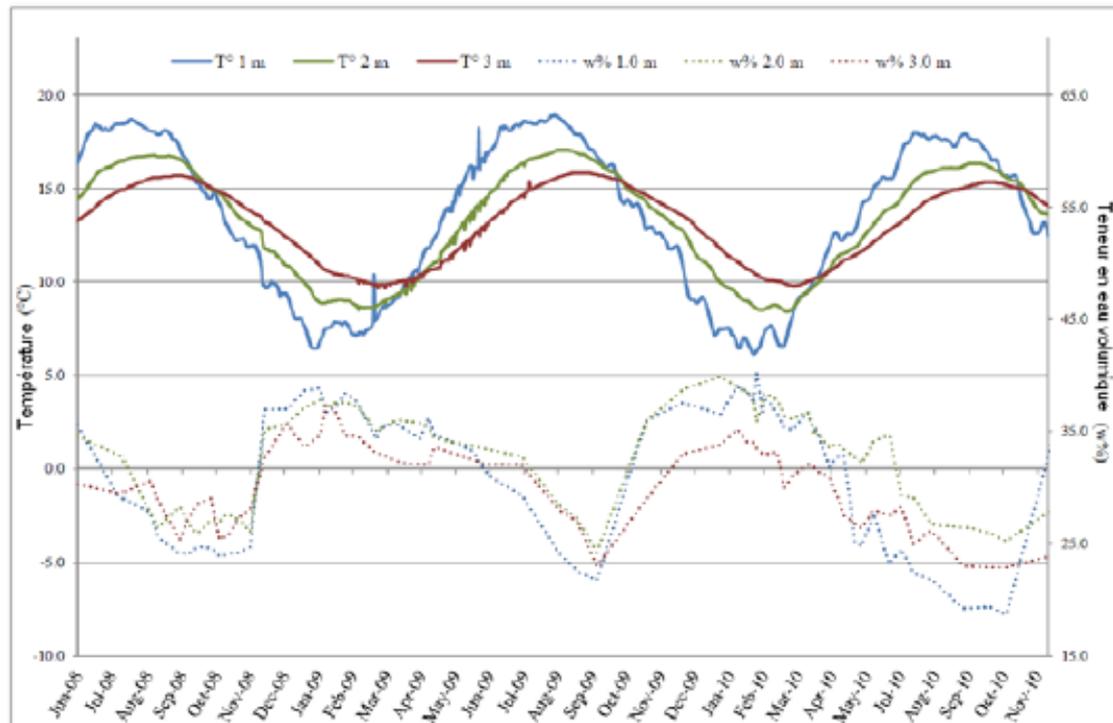


Figure 7. Variations des températures et teneurs en eau du sol à 1, 2, 3 et 5 mètres de profondeur pour les années 2008, 2009 et 2010 sur le site de Pessac (Chrétien, 2010).

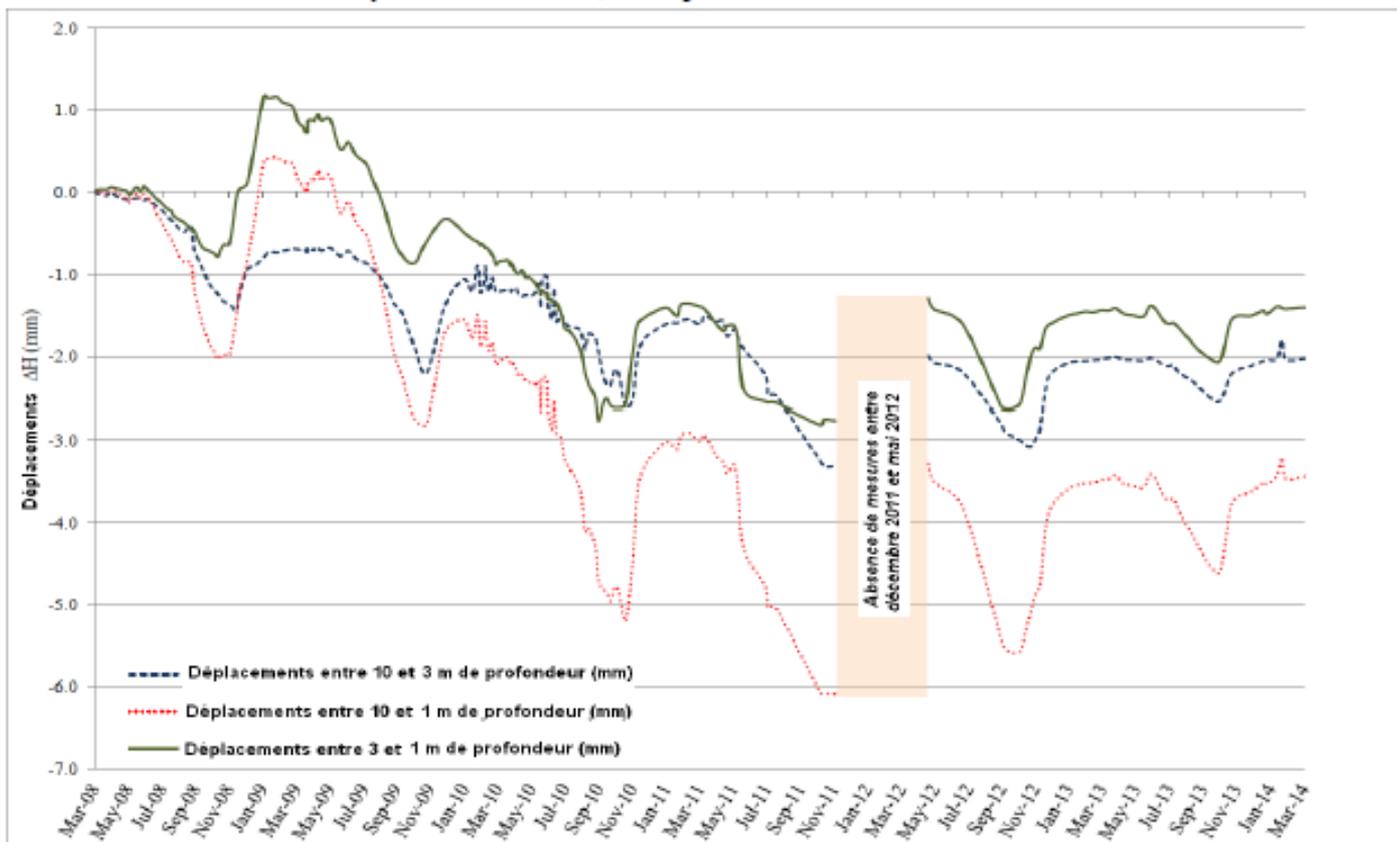


Figure 9. Variations des déformations du sol argileux entre 2008 et 2014 sur le site de Pessac (Extensomètre Telemac ; Chrétien, 2010 ; Fernandes et al., 2014).

il 50% delle deformazioni del suolo avvengono nei primi 3 m

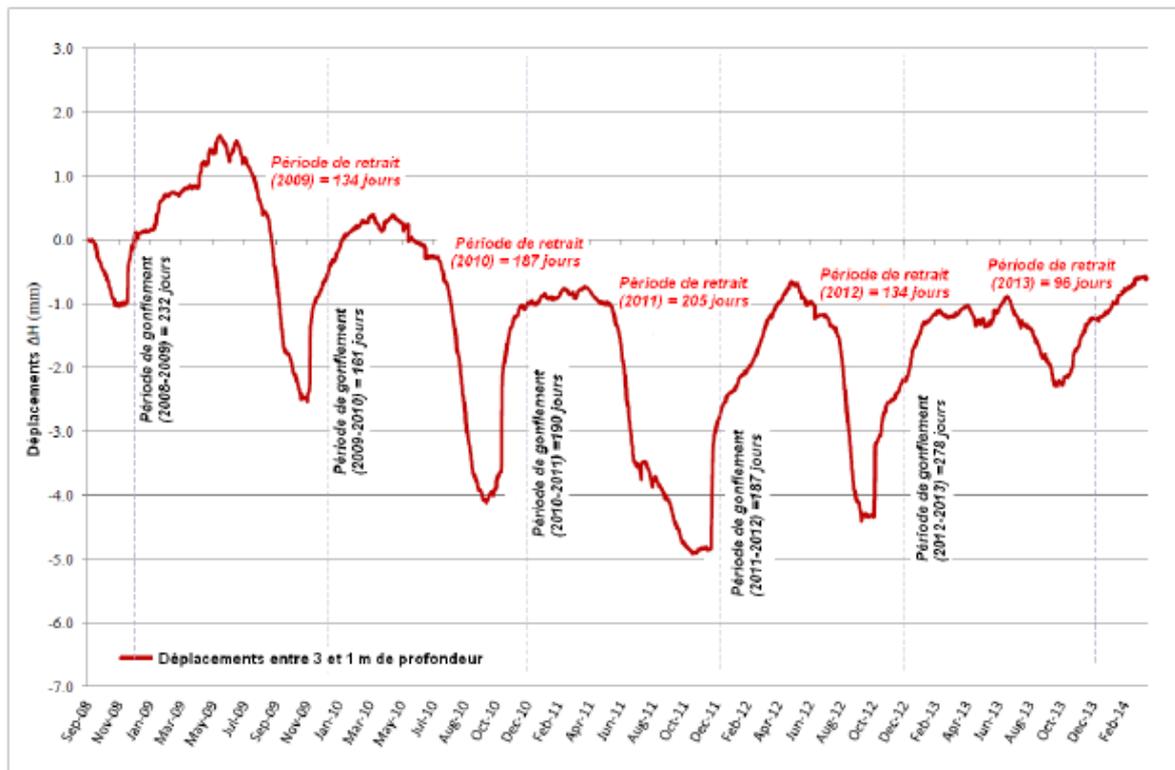


Figure 10. Variations des déformations sur 2 mètres d'épaisseur du sol argileux entre 2008 et 2014 (Extensomètre Glötz ; Chrétien, 2010).

- ritiro cumulativo fino al 2011 con fasi di rigonfiamento insufficienti per contrastare il ritiro.
- nel periodo successivo 2012-2013 la tendenza si inverte
- i cicli di ritiro- rigonfiamento hanno durata diversa.

- i primi picchi di pioggia sono responsabili del rigonfiamento a partire da ottobre e novembre.

- 50-80 % del rigonfiamento in 60 giorni (180 giorni con condizioni climatiche differenti e suoli più argillosi)

- Il valore del ritiro è legato alla sua durata:

- 2010-2011 (lungi periodi di ritiro)

DH=4,4 mm

- 2009-2012 (periodi di ritiro corti):

DH = 3,8 mm

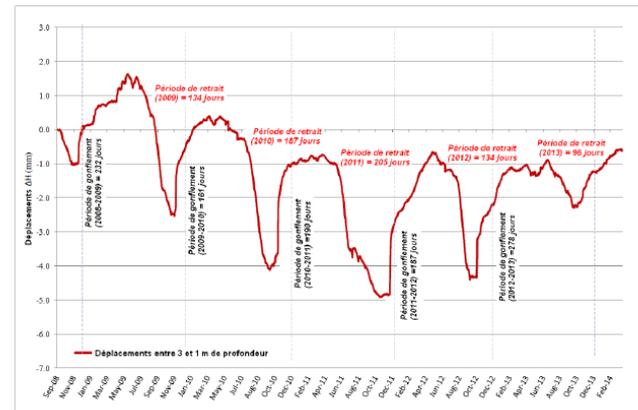
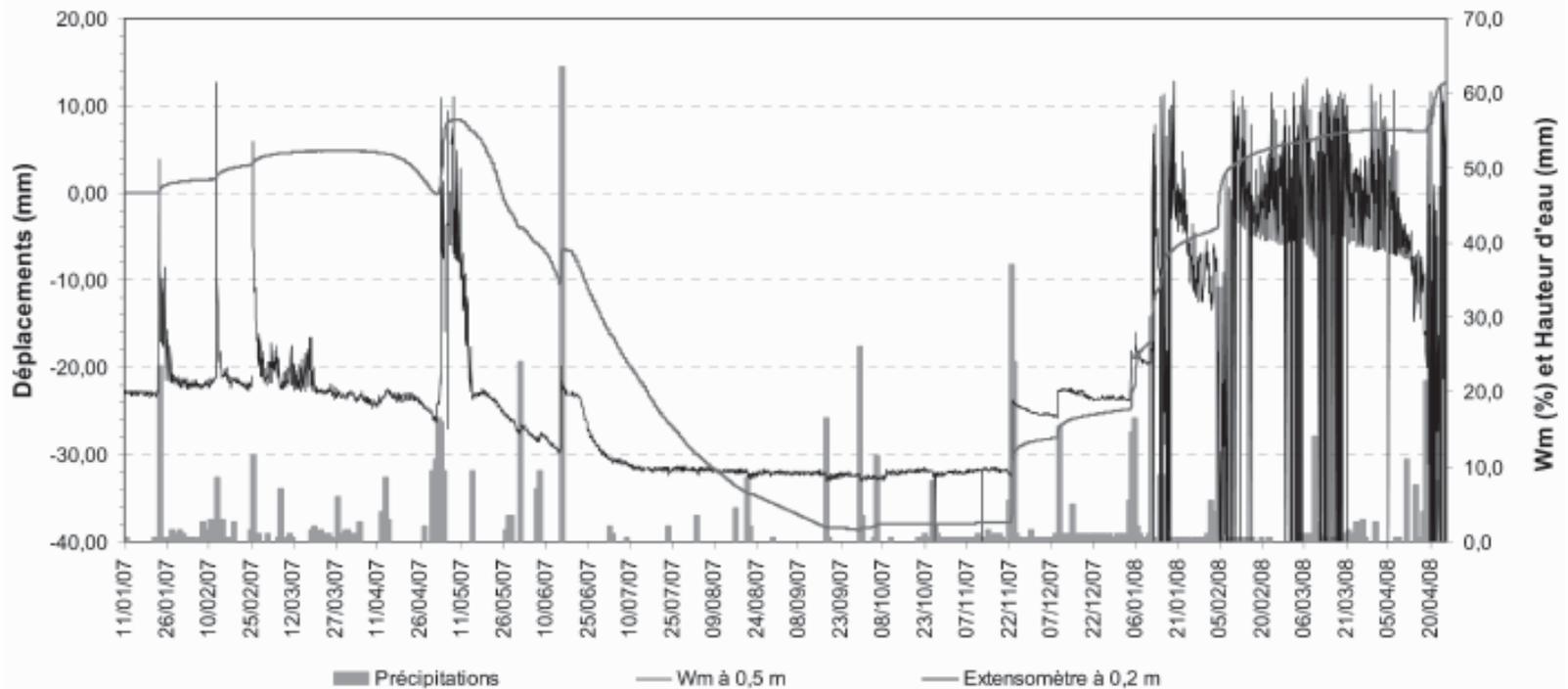


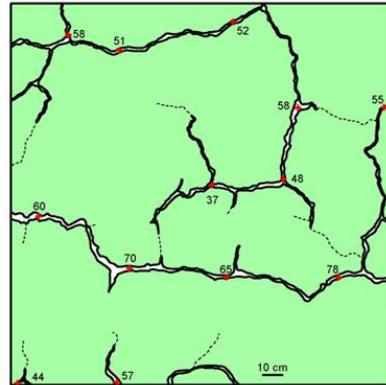
Figure 10. Variations des déformations sur 2 mètres d'épaisseur du sol argileux entre 2008 et 2014 (Extensomètre Glötz ; Chrétien, 2010).



Rigonfiamento → rapido ($v = 0.8 \text{ mm/h}$, $DH = 5 \text{ cm}$)

Ritiro → velocità basse ($v < 0.12 \text{ mm/h}$)

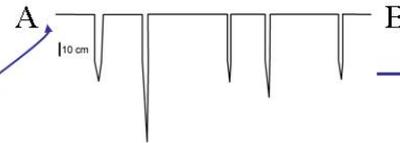
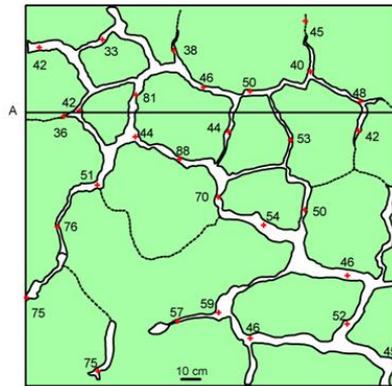
TEST SITE A:
 Slope angle: 11°
 Soil with grass



Estate 2003

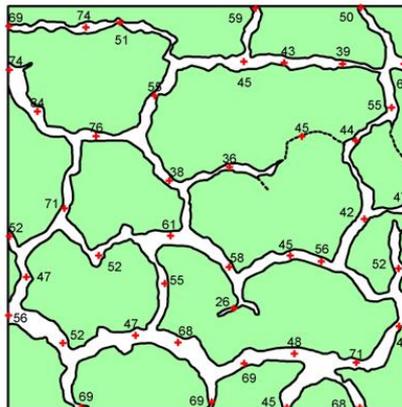
HORIZONTAL SHRINKAGE = 3,4 %
 CRACK DEPTH = 1,2 m
 Depth < 2,5 m → Sr < 85%

TEST SITE B:
 Slope angle: 6°
 Soil ploughed in spring



HORIZONTAL SHRINKAGE = 11 %
 CRACK DEPTH = 1,4 m
 Depth < 2,5 m → Sr < 85%

TEST SITE C:
 Slope angle: 8°
 Soil ploughed in spring



HORIZONTAL SHRINKAGE = 18 %
 CRACK DEPTH = 1,4 m
 Depth < 2,5 m → Sr < 85%

2. Effetti

PROBLEMATICHE CONNESSE AL FENOMENO

AGRICOLTURA



INGEGNERIA CIVILE

FONDAZIONI DI EDIFICI

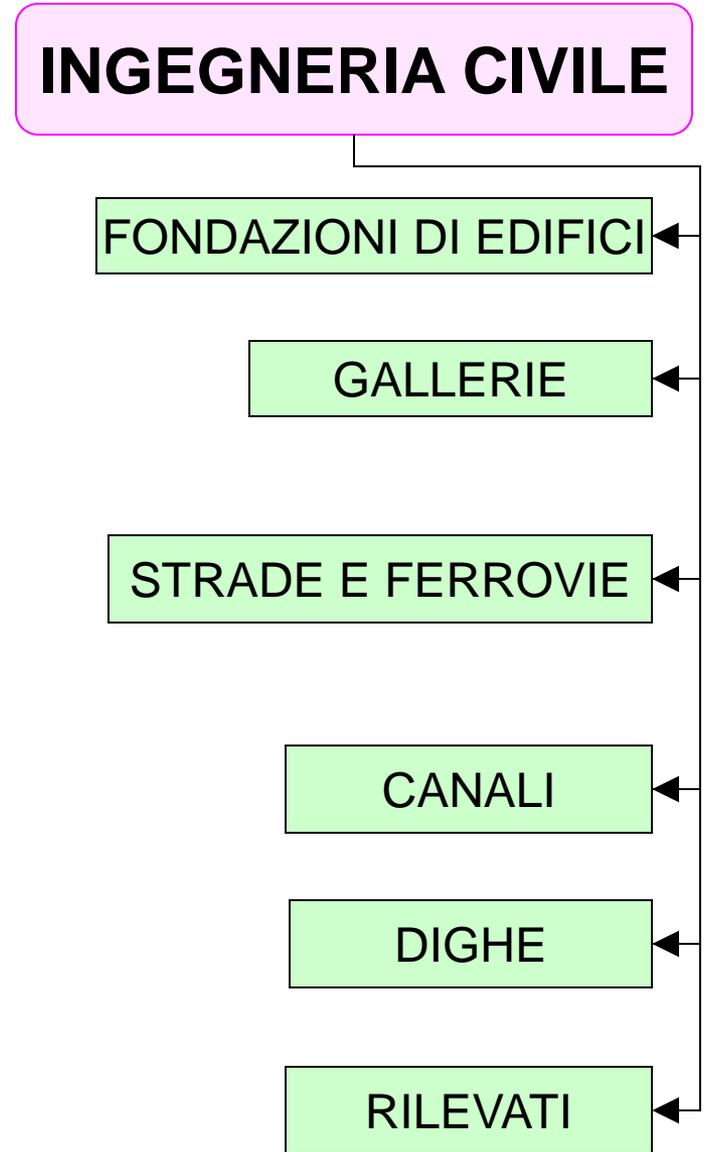
GALLERIE

STRADE E FERROVIE

CANALI

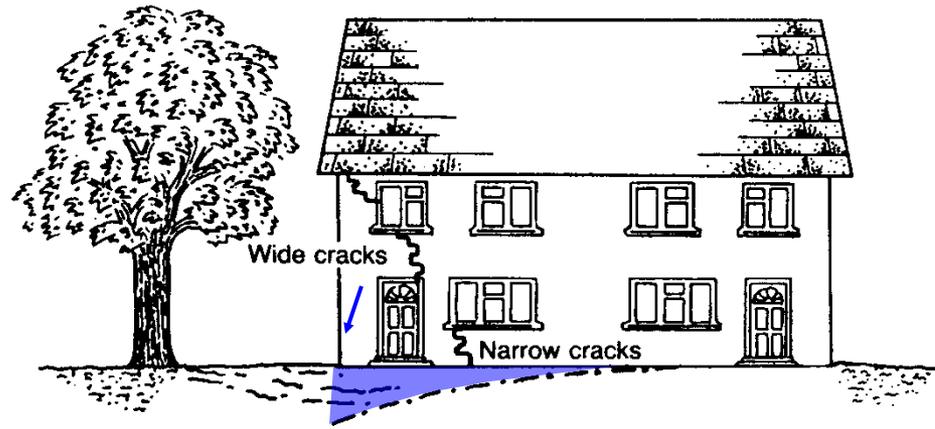
DIGHE

RILEVATI

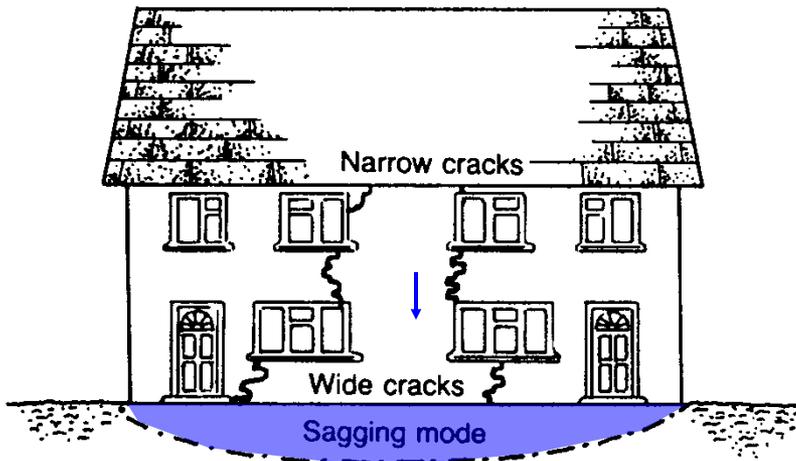


LESIONI AD EDIFICI

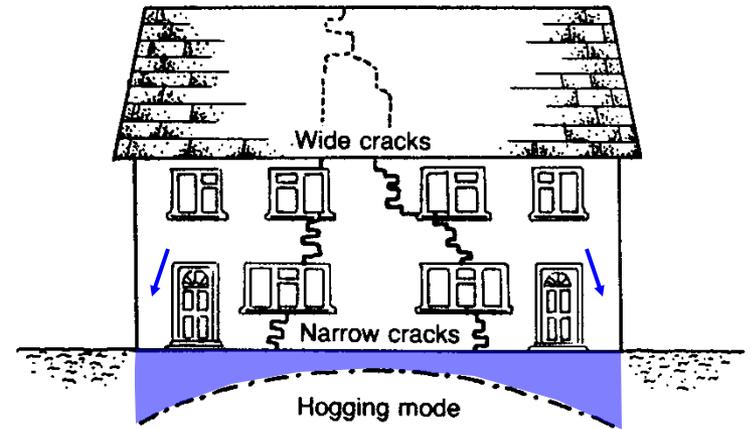
COMPORAMENTO
IN PRESENZA
DI VEGETAZIONE



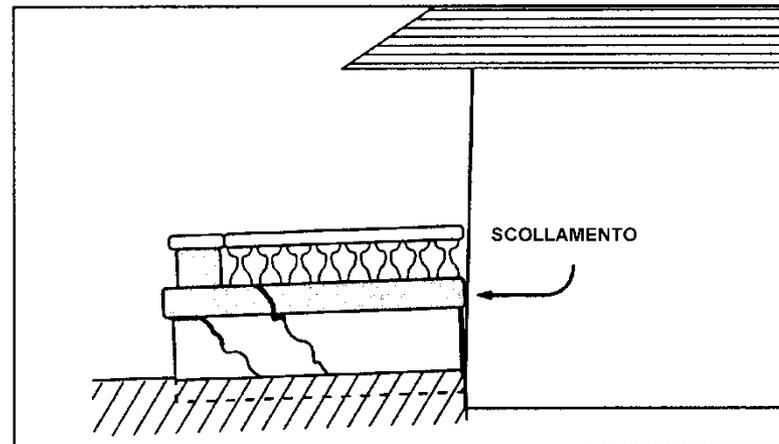
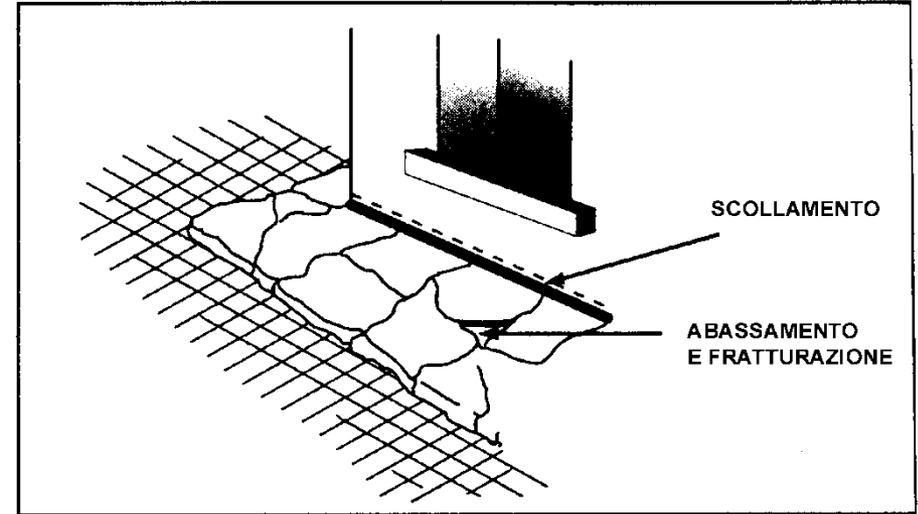
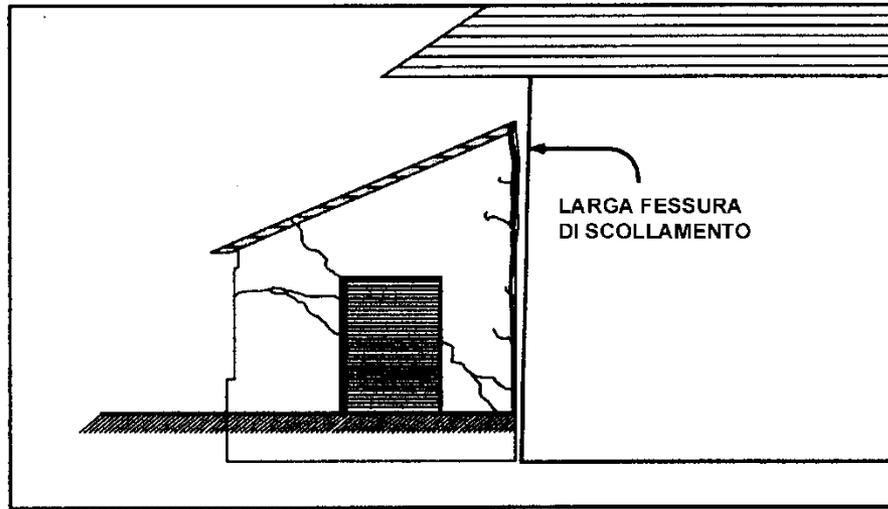
COMPORAMENTO
A BREVE TERMINE



COMPORAMENTO
A LUNGO TERMINE



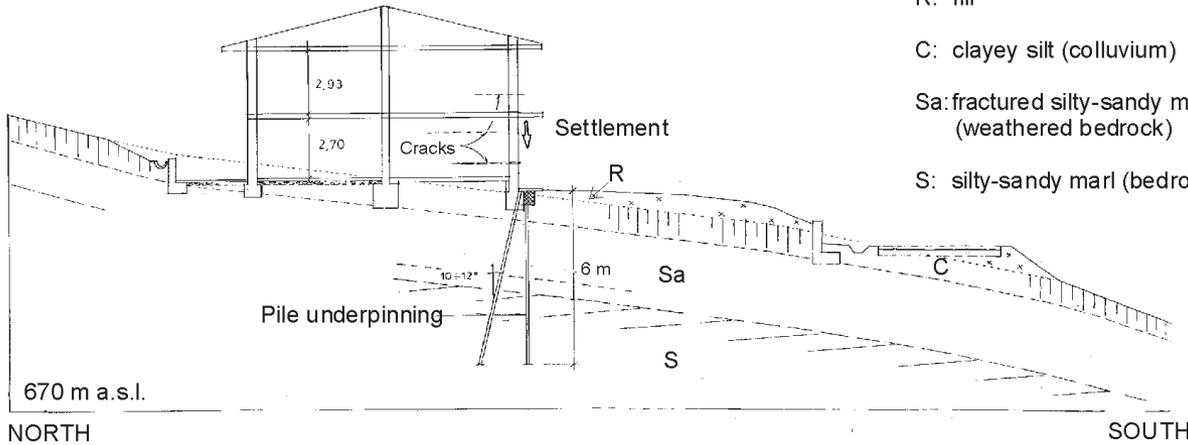
LESIONI AD OPERE ACCESSORIE



Tipologia dei dissesti

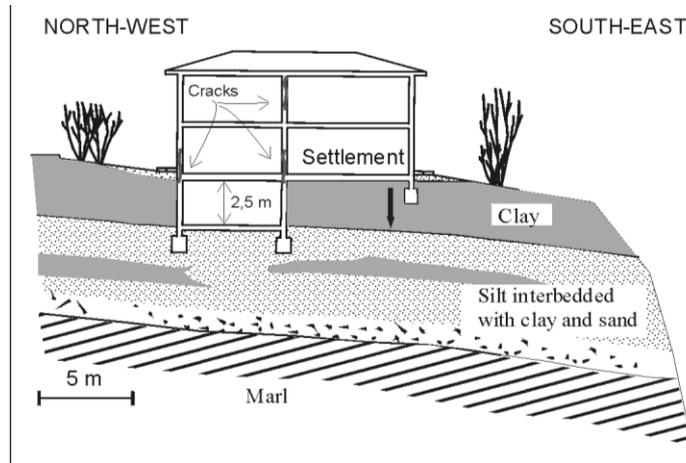
I dissesti interessano

- Edifici senza cantina
- Con seminterrato poco approfondito o parziale
- Il lato valle (strutture su pendio)
- Un angolo o l'intera testata o l'intero perimetro della costruzione

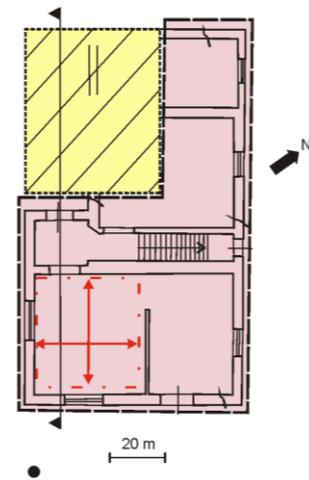


- R: fill
- C: clayey silt (colluvium)
- Sa: fractured silty-sandy marl (weathered bedrock)
- S: silty-sandy marl (bedrock)

- Falda profonda (>15 m)
- Zona attiva > 1,5 m



- Cracks
- Borehole
- Piezometer
- Cellar
- Damaged area



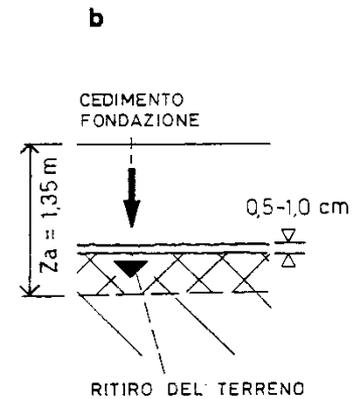
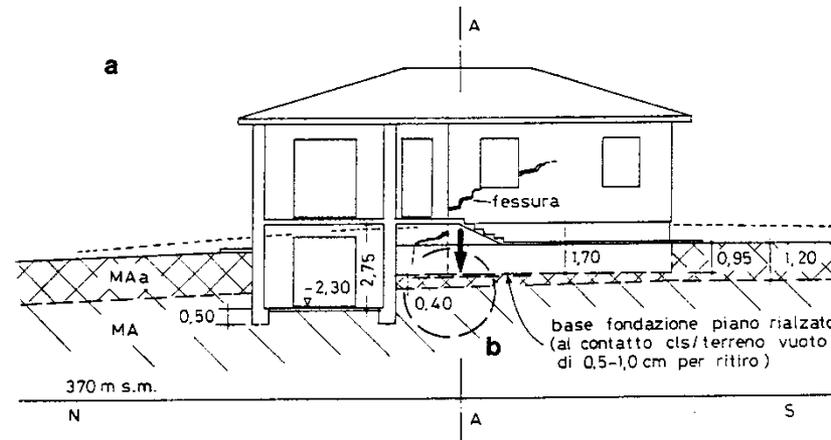
Tipologia dei dissesti

Elementi del fabbricato coinvolti

- Murature portanti
- Solette di piano
- Divisori interni

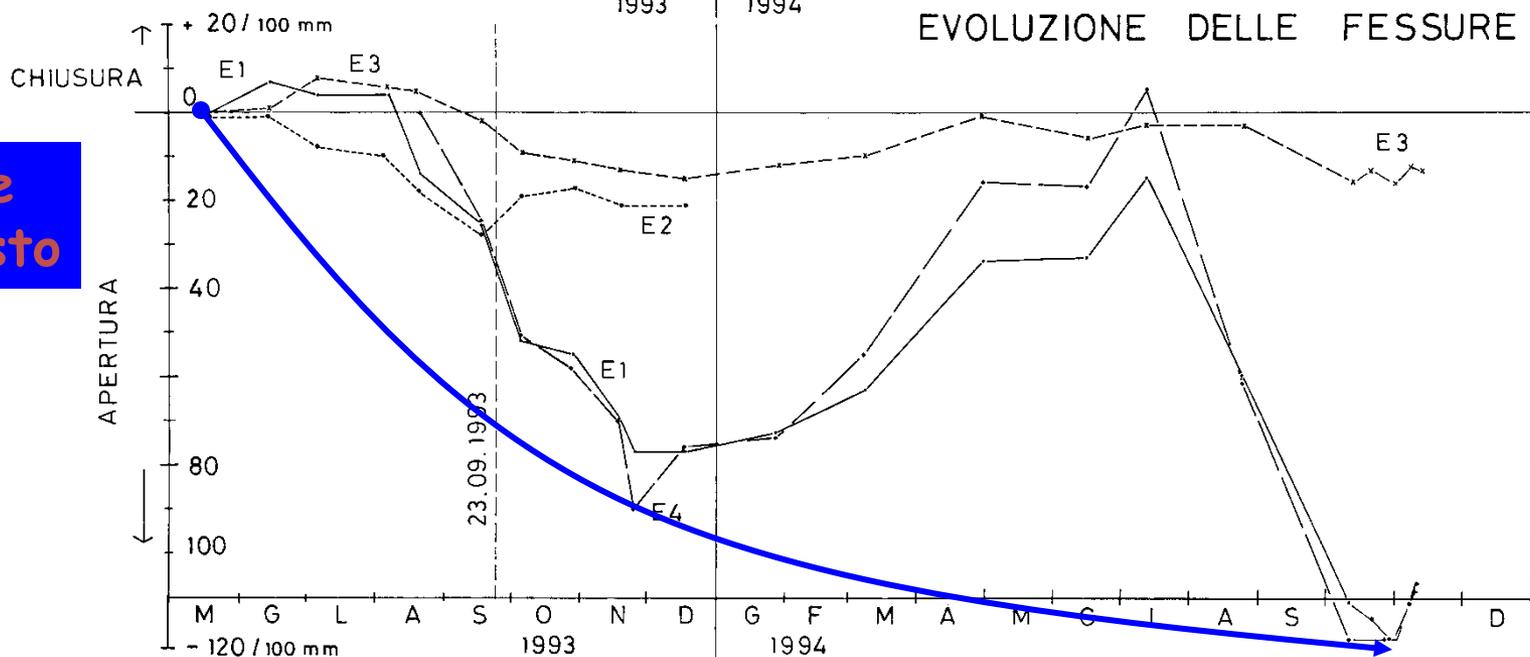
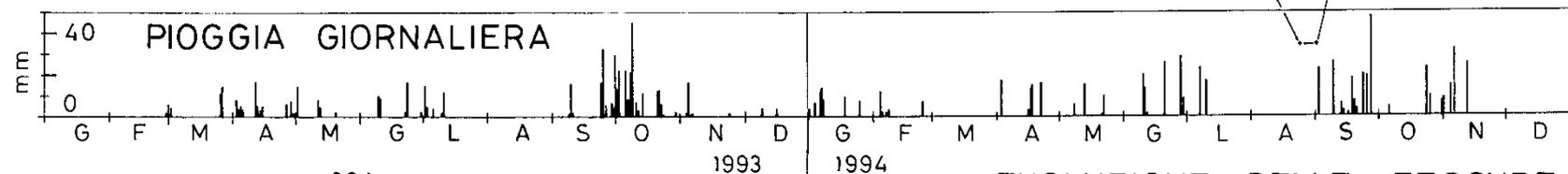
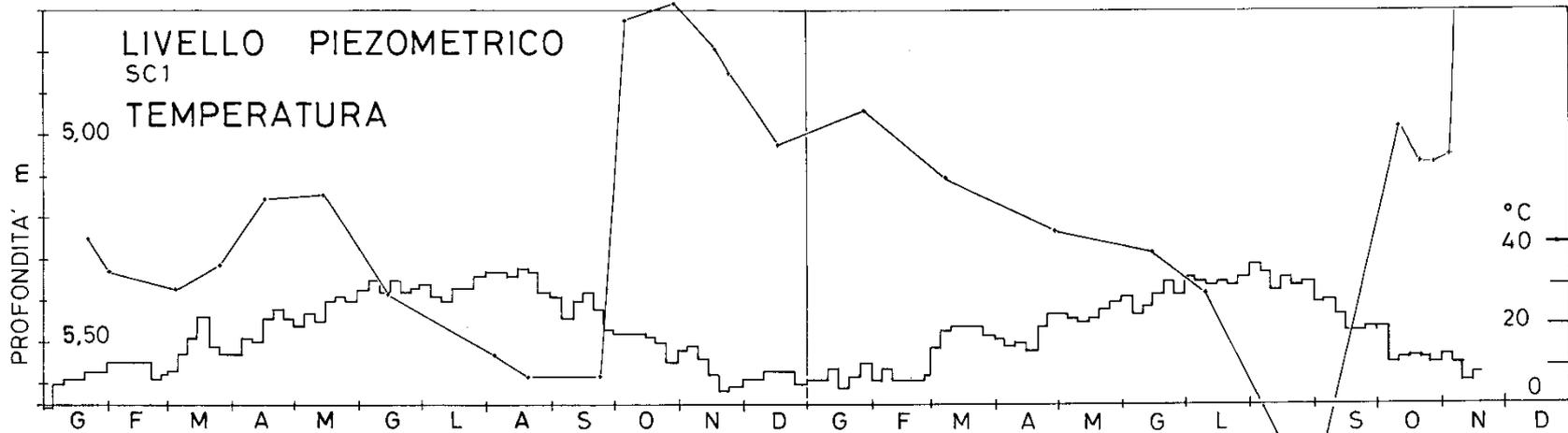
Tipologia

- 45° (lesioni di taglio)
- Fessure di trazione a direzione orizzontale e verticale
- Scollamento del terreno alla base della fondazione



Sviluppo dei dissesti

- periodo 1989-1992 / 1999-2000
- 5 - 25 mm apertura lesioni
- Evoluzione ciclica e progressiva



Evoluzione del dissesto

ponding water

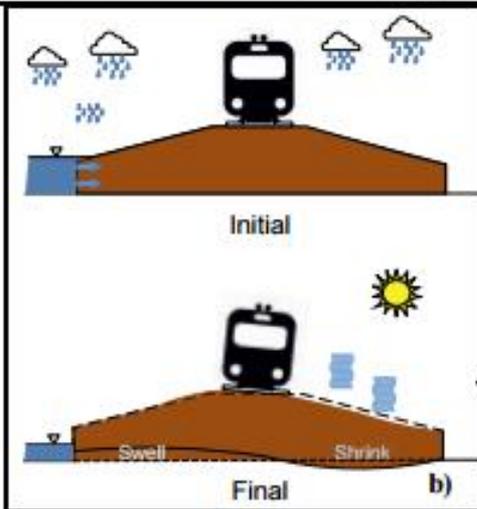


Figure 1. Potential effect of ponding water on one side of the railroad, a) 3D schematic representation, b) uneven settlements induced by wetting and drying of shrink-swell soils.

Frequent swells and dips and faulted shrinkage cracking due to heave and seasonal soil swelling.



Dessouky and Illias, 2015



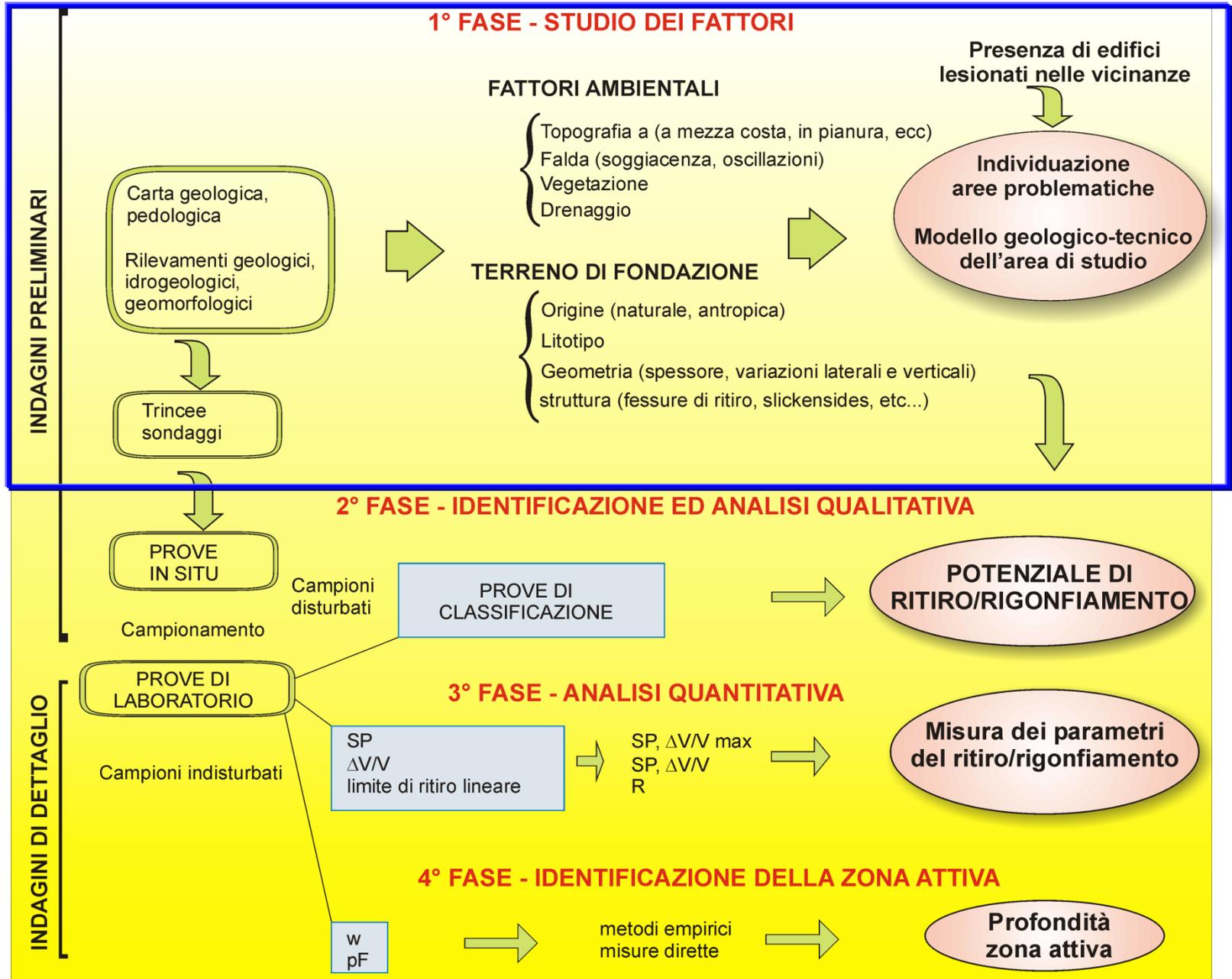
Figure 1. Fissuration longitudinale (fissure d'adaptation)



Figure 2. Affaissement en rive

3 . Metodi di indagini per nuove costruzioni

METODO DI STUDIO - 1° FASE



CARATTERISTICHE DEI TERRENI E DEI SUOLI SOGGETTI A RITIRO/RIGONFIAMENTO

- ⇒ molto duri quando asciutti
- ⇒ soffici ed adesivi quando bagnati
- ⇒ fessure di ritiro
- ⇒ processi intensi di weathering
- ⇒ struttura a gilgai
- ⇒ slickensides

FESSURE DI RITIRO

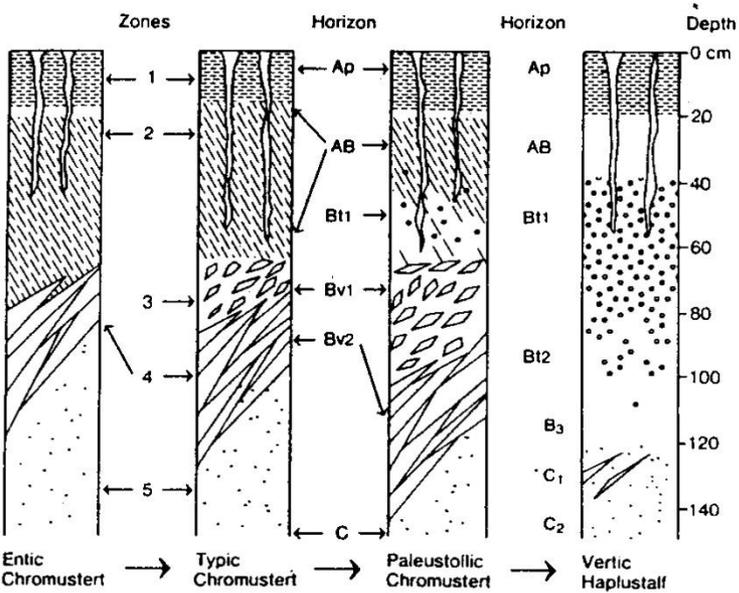


Fig. 7.2. An exemplar of the morphological differentiation of a sequence of Vertisols with Vertic properties (from Dudal and Eswaran, 1988).

Suoli vertici o con proprietà vertiche

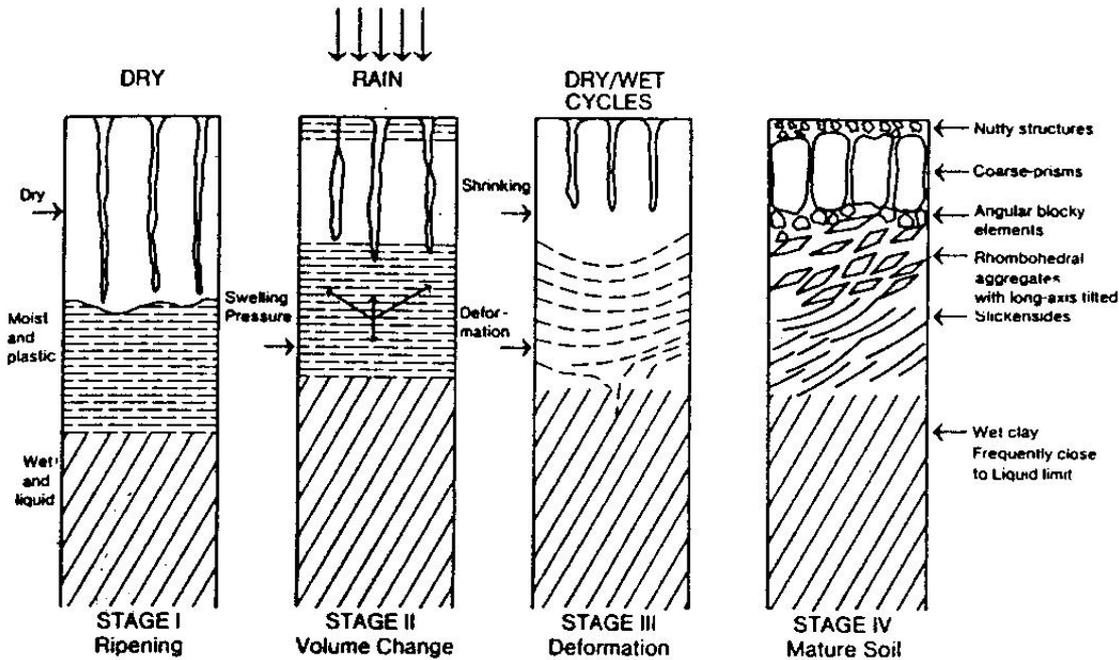


Fig. 7.3. Morphological changes associated with Vertisol formation through wetting and drying cycles (from Dudal and Eswaran, 1988).

"SELF-MULCHING"



"SLICKENSIDES"

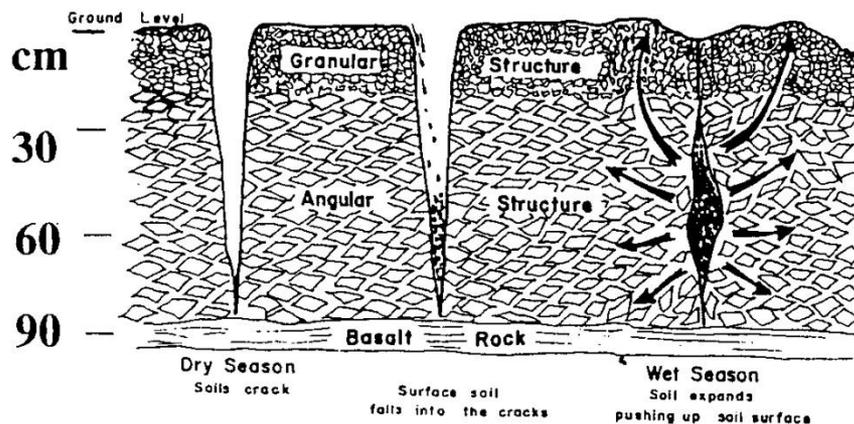


Fig. 2.4. Sketch illustrating the effect of wetting and drying cycles on self-swallowing and gilgai formation (Buol et al., 1980).

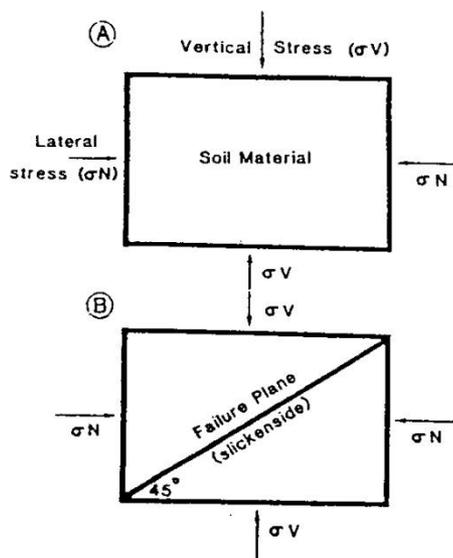


Fig. 2.5. Soil mechanics model of slickenside formation. (A) Vertical and horizontal stress acting on a soil ped; (B) orientation of shear plane at 45° to the principal stress (Wilding and Tessier, 1988).

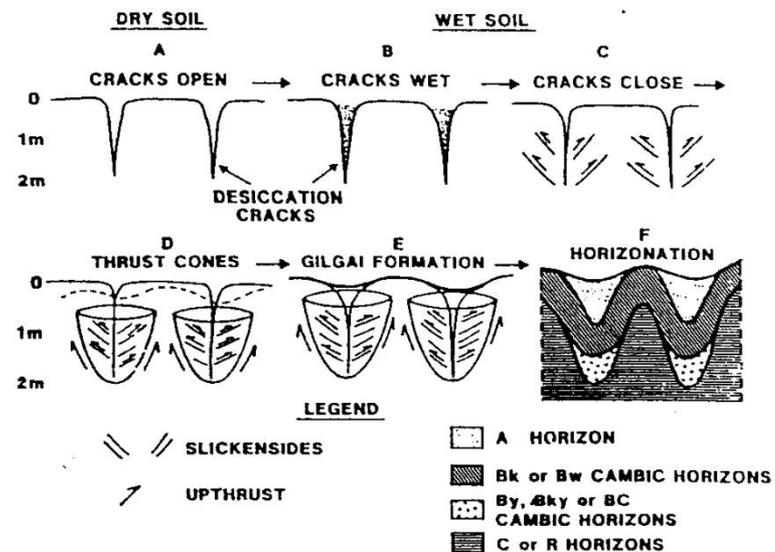
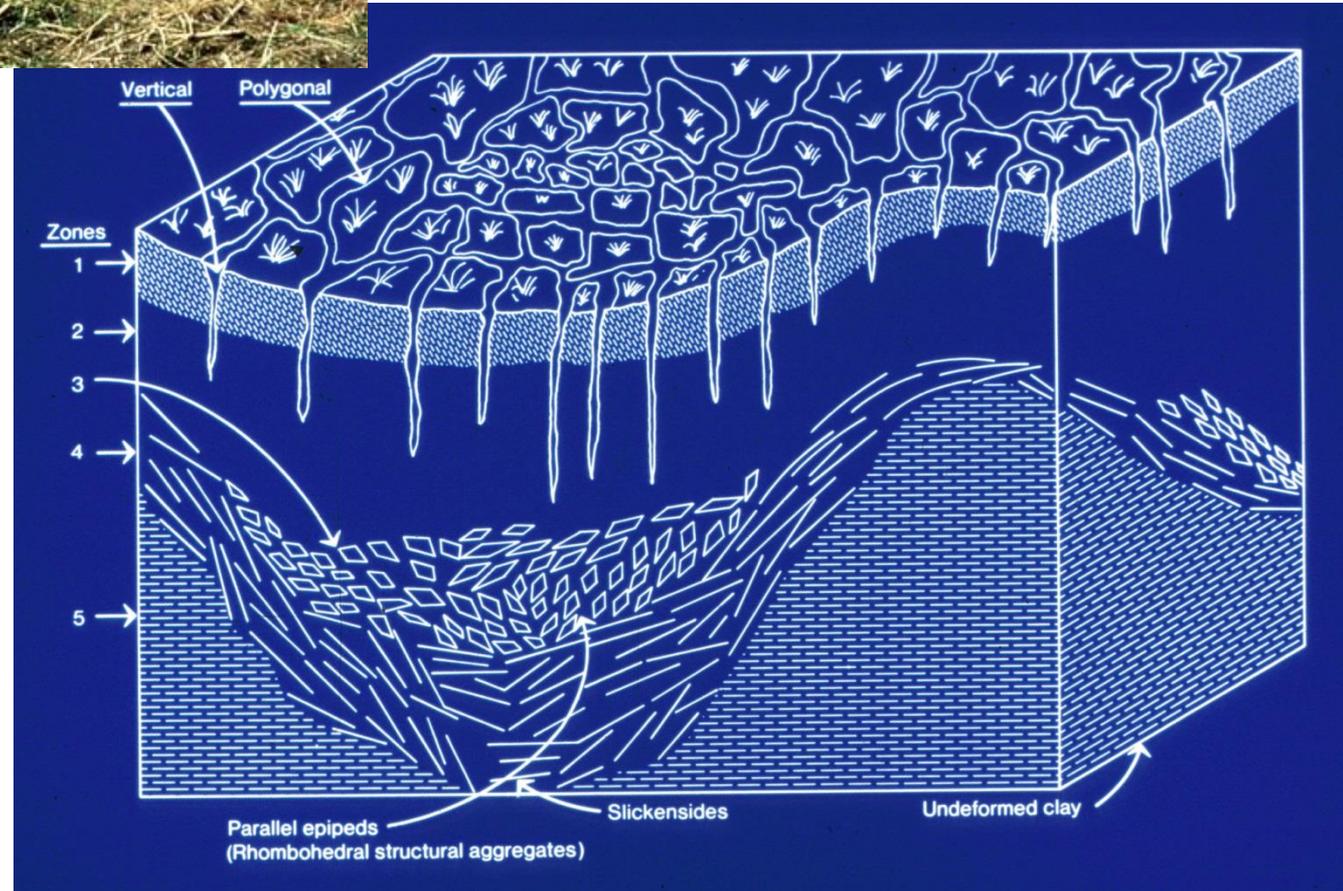


Fig. 2.6. Schematic illustration of possible stages (A-F) in the formation of slickensides, gilgai and cyclic horization (Wilding and Tessier, 1988).

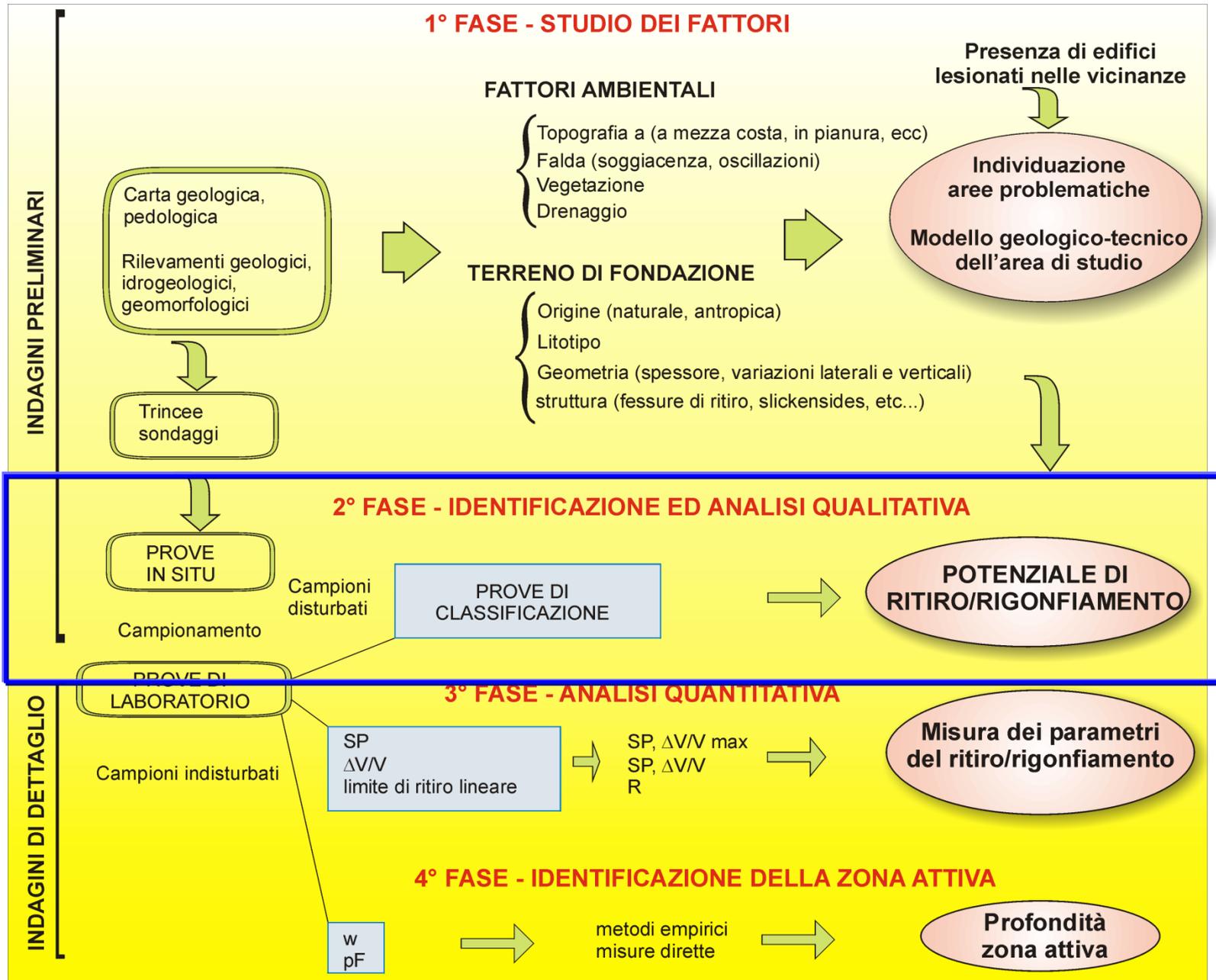
"SLICKENSIDES"



MICRORILIEVI A GILGAI

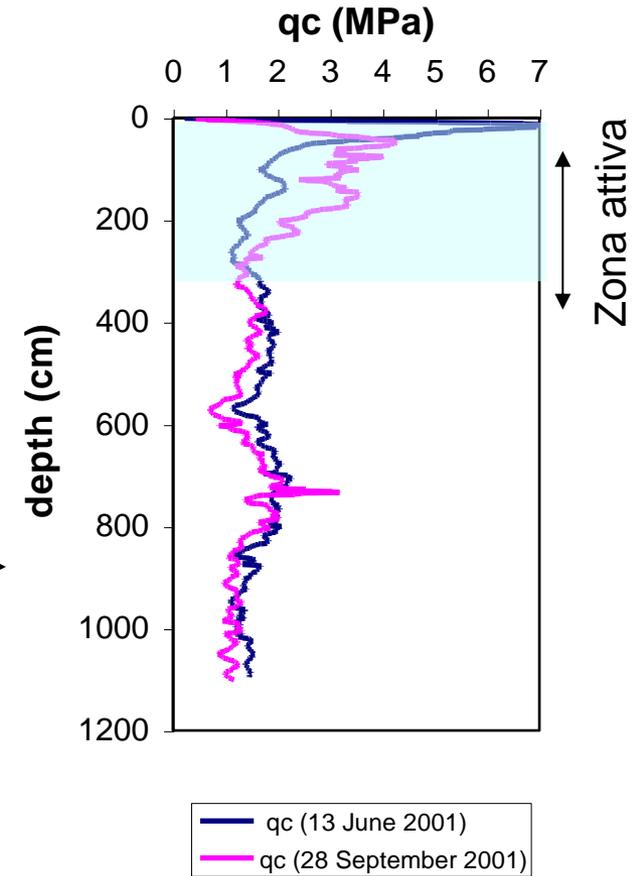


METODO DI STUDIO - 2° FASE



PROVE IN SITU

Non molto diffuse!!



Prove penetrometriche

- CPT
- DCPT (Nelson & Miller, 1997; BRE, 1996)

• SPT (Chen, 1988)

% < 2 μ m	LL (%)	SPT	SP
>35	>60	>30	molto alto
60-95	40-60	20-30	alto
30-60	30-40	10.-20	medio
<30	<30	<30	basso

PROVE IN LABORATORIO

prova di laboratorio ?

no grazie !

la buona prova

semplice

rappresentativa (nel tempo e nello spazio)

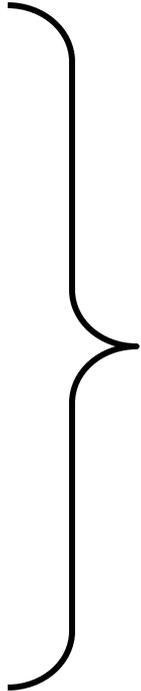
poco costosa

PROVE IN LABORATORIO

Limite liquido (WL) (ASTM D-4308)
Limite plastico (Wp) (ASTM D-4318)

Contenuto in argilla (ASTM D-422)

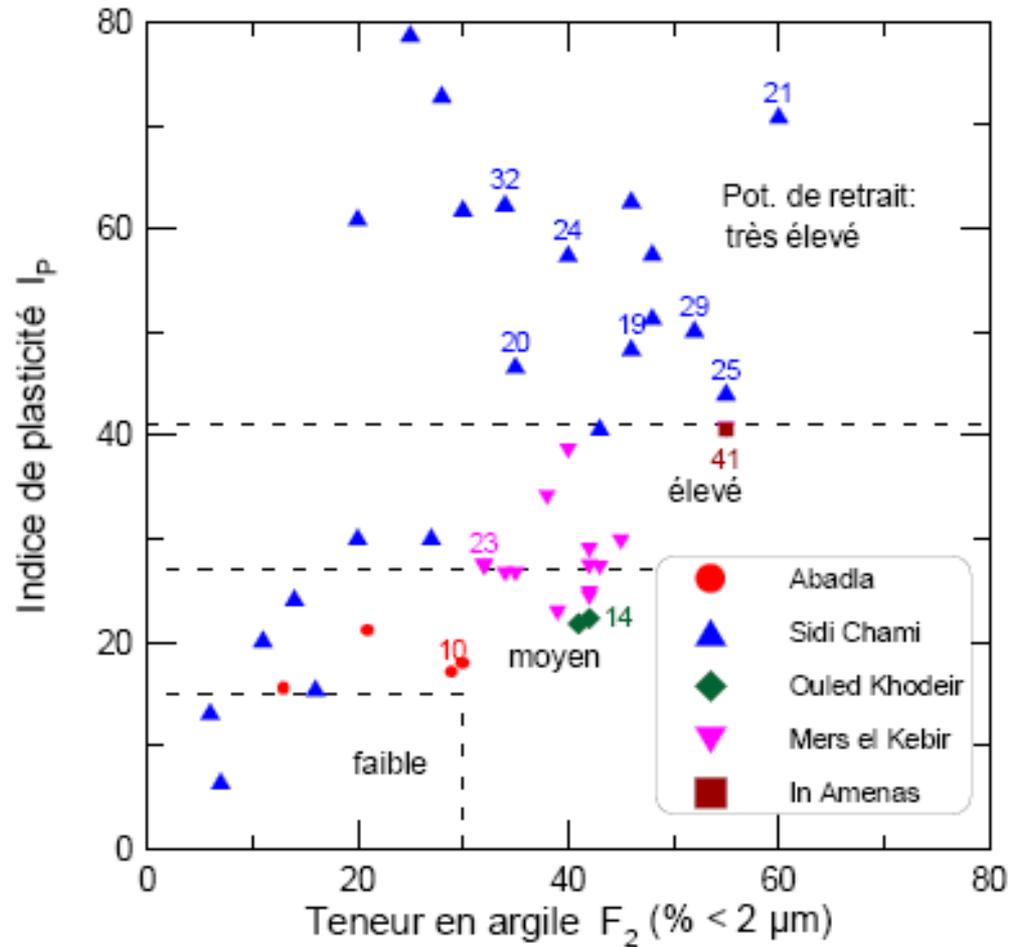
Valore al blu di metilene (AFNOR, NF P 94-068)



**Prove di
classificazione**

Analisi diffrattometriche

IDENTIFICAZIONE E ANALISI QUALITATIVA



Classificazione del potenziale di ritiro (BRE, 1980)

IDENTIFICAZIONE E ANALISI QUALITATIVA

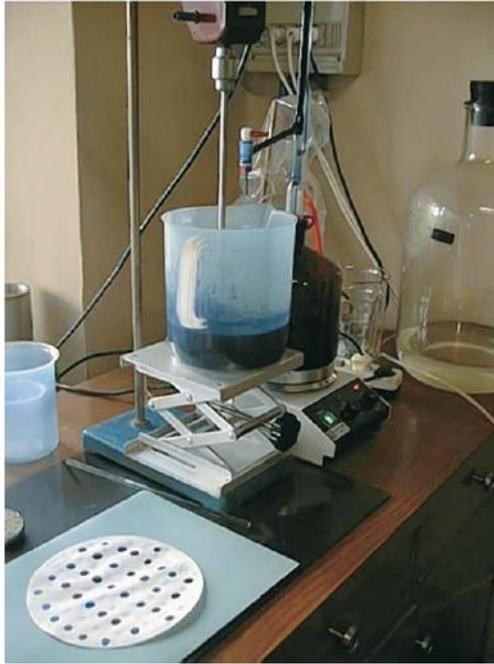
- ARGILES GONFLANTES - SWELLING CLAYS . - ETAT DU SOL AU PRELEVEMENT SOIL CONDITION AT SAMPLING		
	HUMIDE WET	SEC DRY
SUCCION SUCTION	$\psi \approx 0$	ψ ELEVE HIGH
PRESSION de GONFLEMENT SWELLING PRESSURE	$\sigma_s \approx 0$	σ_s ELEVE HIGH
OEDOMETRE COURBE - TYPE OEDOMETER SHAPE OF CURVE		
RISQUES RISKS	RETRAIT SHRINKAGE	GONFLEMENT SWELLING

Secondo l'esperienza francese:

Philipponnat, 1998

- se $C_g \geq 0.04$: terreno rigonfiante;
- se σ_s è piccolo (< 50 kPa) il rischio predominante è il ritiro;
- se σ_s è elevato il rischio predominante è il rigonfiamento.

LA PROVA AL BLU DI METILENE



VB ("VALORE AL BLU")

Quantità minerali argillosi

Tipo di minerali argillosi

$$VB = V \cdot 0.01 \cdot 100 / m_0$$

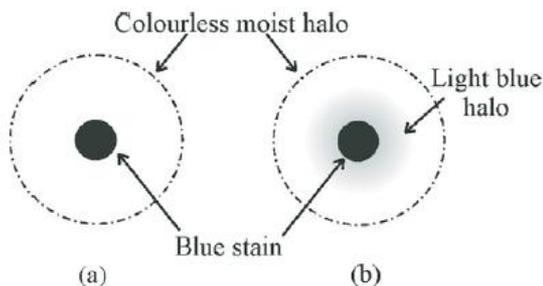
(grammi di blu adsorbito dal campione su 100 grammi di suolo secco)

V (cm³): volume della soluzione di blu

0,01 (g/cm³): concentrazione della soluzione di blu

m₀ (g): massa del campione secco.

AFNOR, 1998



"Test alla macchia"



Superficie specifica
totale

$$Sa = 20.93 \cdot V / m_0$$

20.93 : superficie
corrispondente a 1 cm³ di
blu di metilene



Indice di attività della
frazione argillosa

$$ACB = 100 \cdot VB / CF$$

CF: frazione argillosa

	C2 (%)	Vb (g/100g)	A _{CB} (g/100g)	Sa (m ² /g)	CEC (meq/100g)
Colloidal kaolin	40.0	1.1	2.7	56.5	7
Illite of Puy	62.0	5.6	9	188.4	14
Bentonite	79.3	32.5	41	858.1	125

- SEMPLICITÀ E RAPIDITÀ DELLA PROVA (30-60 MINUTI);

- IL VALORE AL BLU FORNISCE INDICAZIONI NON SOLO SULLA QUANTITÀ DELLA FRAZIONE ARGILLOSA MA ANCHE SULLA QUALITÀ.

CLASSIFICAZIONE BASATA SUL VALORE AL BLU DI METILENE

VB (g/100g of soil)	PI	SP Kpa	Swelling/shrinking potential
<2.5	<12	0-100	low
2.5-4.5	12-35	100-300	medium
4.5-9	35-45	300-500	high
>9	>45	>500	very high

Meisina, 2000

VBS	C_g	I_p (%)	Sensibilité
< 2,5	< 0,025	< 12	Faible
2,5 à 6	0,025 à 0,05	12 à 25	Moyenne
6 à 8	0,05 à 0,09	25 à 40	Forte
> 8	≥ 0,09	≥ 40	Très forte

Chassagneux et al, 1995

IDENTIFICAZIONE E ANALISI QUALITATIVA

Vengono utilizzati metodi empirici di classificazione

Vantaggi:

- semplicità;
- si tratta di metodi economici, utilizzabili soprattutto per studi di fondazioni superficiali.

Svantaggi:

- non sono universali per tutti i terreni ma si riferiscono ad una particolare zona geologica e climatica (O'Neill *et al.*, 1980).
- spesso portano ad una sovrastima della capacità di rigonfiamento (Sridharan *et al.*, 1990).
- le proprietà indici non possono da sole esprimere il reale potenziale di espansione di un terreno in quanto bisogna considerare anche il profilo del suolo, le oscillazioni della falda freatica, la presente e futura localizzazione della vegetazione, le condizioni climatiche e la profondità del bed-rock
- non tengono conto dei fattori che influenzano il rigonfiamento eccetto la composizione del suolo (Johnson & Snethen, 1978).

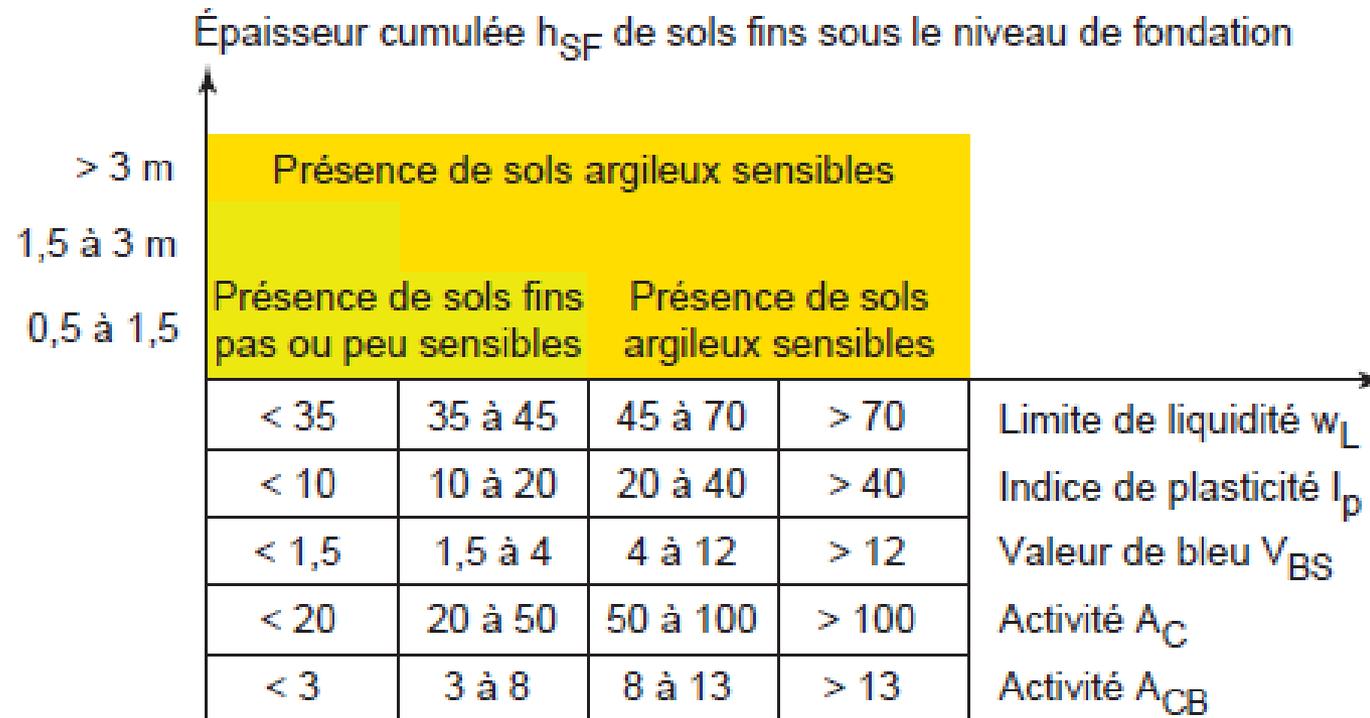
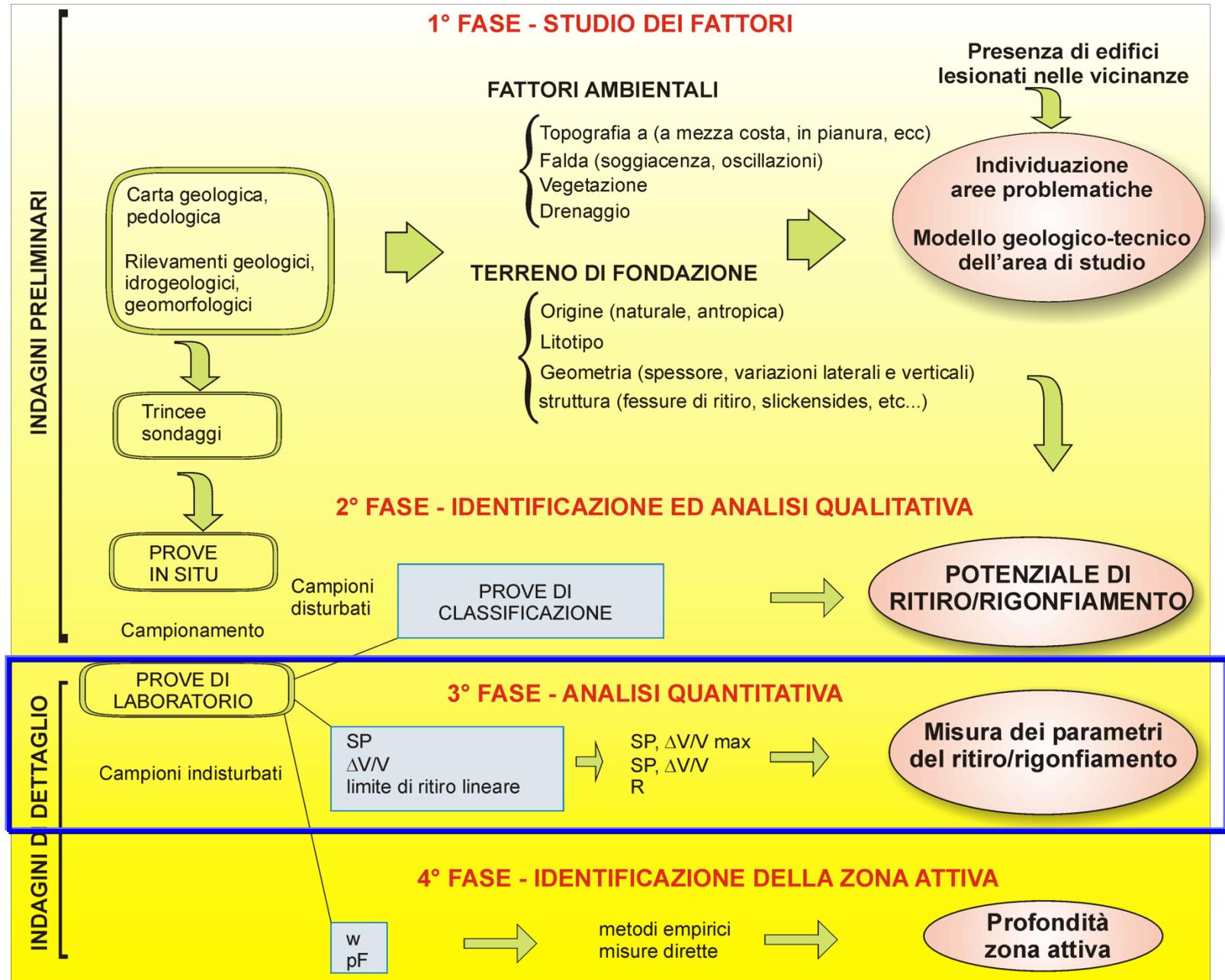


Fig. 11 - Sensibilité du terrain au retrait-gonflement sous une construction

METODO DI STUDIO - 3° FASE



PARAMETRI DEL RITIRO/RIGONFIAMENTO

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO SP (kPa)

Pressione che un terreno esercita quando il contenuto di acqua iniziale viene fatto variare fino a raggiungere la saturazione impedendo ogni variazione di volume.

Non è un parametro intrinseco del terreno.

Dipende da
 u , w , γ_d e S_r

RIGONFIAMENTO LIBERO $\Delta V/V$ (%) S

Variazione di volume che un terreno sviluppa quando viene saturato e lasciato libero di rigonfiare.

Dipende da
 u , w , γ_d e S_r

POTENZIALE DI RIGONFIAMENTO

Manca una definizione standard di questo termine, talvolta esso viene espresso in termini di sforzo, talora in termini di deformazione.

Talora è espresso in termini qualitativi (basso, medio, ecc.)

Dipende da
Condizioni del campione
Carichi applicati

METODI INDIRETTI

Auteur(s)	Equations	Paramètres
Seed et al. (1982)	$\varepsilon_g = 2,16 \cdot 10^{-3} (I_p)^{2,44}$	ε_g et I_p (-)
Ranganatham et Satyanarayana (1986)	$\varepsilon_g = 41,13 \cdot 10^{-5} (w_L - w_p)^{2,67}$	ε_g , w_L et w_p (-)
Komornik et David (1989)	$\varepsilon_g = 6,7 + 2,4 I_p \rightarrow$ marnes $\varepsilon_g = 0,9 + 2,1 I_p \rightarrow$ argiles $\log \sigma_g = -2,132 + 0,0208 w_L + 6,66 \cdot 10^{-4} \gamma_{d0} - 0,0269 w_i$	ε_g (%) σ_g (kPa) w_i (%) w_L (%) γ_{d0} (kg/m ³)
Vijayvergiya et Ghazzaly (1973)	$\log \varepsilon_g = 0,033 w_L - 0,083 w_i + 0,458$ $\log \sigma_g = 0,033 w_L - 0,083 w_i - 1,967$	ε_g (%) σ_g (kPa) w_L (%) w_i (%)
Vijayvergiya et Ghazzaly (1973)	$\log \varepsilon_g = 0,033 w_L + 0,0032 \gamma_{d0} - 6,692$ $\log \sigma_g = 0,033 w_L + 0,0032 \gamma_{d0} - 5,154$	ε_g (%) σ_g (kPa) w_L (%) γ_{d0} (kg/m ³)
Didier et al. (1973)	$\log \sigma_g = u w_L + v \gamma_{d0} - t w + k = 2,55 \frac{\gamma_{d0}}{\gamma_w} - 1,705$	u, v, t et k sont des constantes w : teneur en eau naturelle (%) w_L (%); γ_{d0} (g/cm ³) et σ_g (bars)
O'Neil et Ghazzaly (1977)	$\varepsilon_g = 2,77 + 0,131 w_L - 0,27 w_i$	ε_g (%) w_L et w_i sans unités (-)
Johnson et Snethen (1978)	$\log \varepsilon_g = 0,458 + 0,036 w_L - 0,0833 w_i$	ε_g (%) w_L et w_i sans unités (-)
Brackley (1983)	$\varepsilon_g = (5,3 - 147 \frac{e}{I_p} - \log P)(0,525 I_p + 4,1 - 0,85 w_i)$ $\log \sigma_g = 5,3 - 147 \frac{e}{I_p}$	ε_g (%) σ_g (kPa) e : indice des vides P : surcharge extérieure (kPa) w_i (%) et I_p (-)

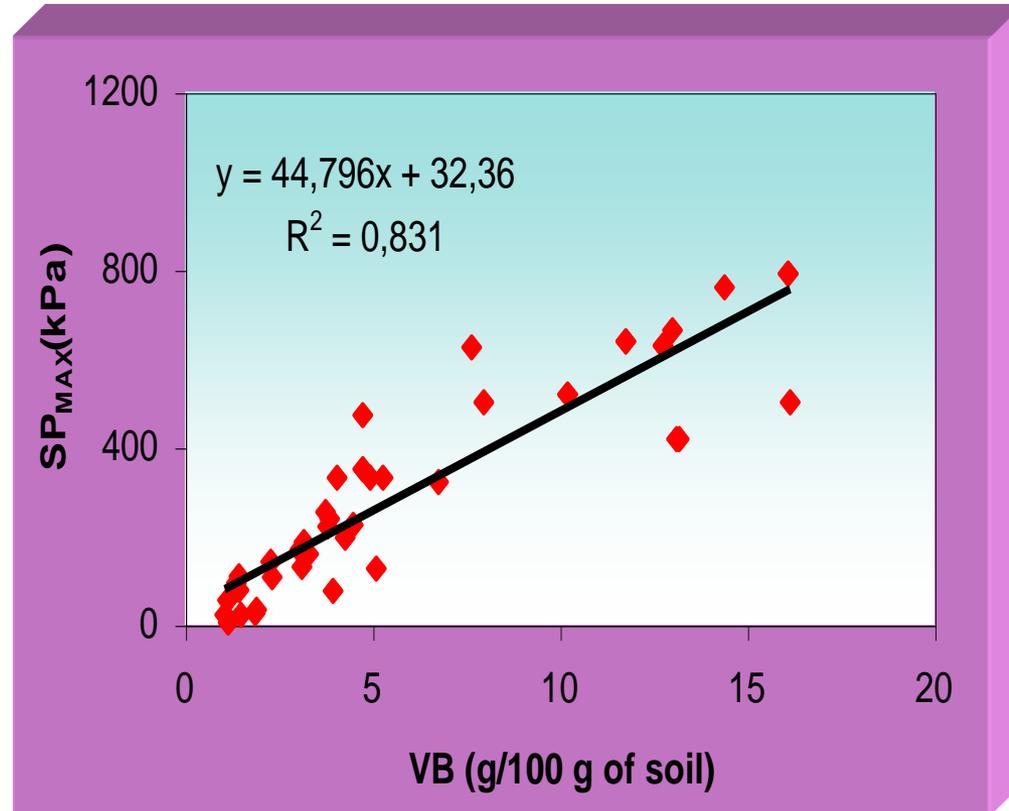
Correlazioni empiriche

Nagaraj & Srinivasa (1983)	$\sigma_g = 17,86 - \frac{100 \frac{e_0}{e_1}}{4 - \log P_c}$	e_0 : indice des vides initial e_1 : indice des vides correspondant à la limite de liquidité P_c : pression de consolidation (kg/cm ²)
Komine et Ogata (1994)	$\varepsilon_g = (K \gamma_{d0} - 1) \times 100$	ε_g (%) K est un constant γ_{d0} (g/cm ³).
Guiras-Skandaji (1996)	$\varepsilon_g = -117,59 + 3,0571 \times w_i$	ε_g (%) w_i (%)
Yahia-Aïssa (1999)	$\sigma_g = \left[\frac{e_0}{A_p(0)} \right] \left[\frac{\gamma_{N_p(0)}}{\gamma_w} \right]$	voir (1)
Yilmaz (2006)	$\varepsilon_g = 0,155 w_L - 0,00763 CEC - 2,04$	ε_g (%) w_L sans unités (-) CEC (méq/100 g)

- Determinate a partire da campioni rimaneggiati
- Da verificarne la validità nell'ambito del contesto geologico studiato
- Utili per studi preliminari
- Non sostituiscono le prove di laboratorio

VARIAZIONE PERCENTUALE DI VOLUME - VALORE AL BLU DI METILENE

ANALISI STATISTICA
DEI DATI
GEOTECNICI



**MIGLIORE
CORRELAZIONE
VB ---> SP_{max}**

PROVE IN LABORATORIO

Variazione percentuale di volume ($\Delta V/V$)
(AFNOR, ASTM, ...)

Pressione di rigonfiamento (SP)
(AFNOR, ASTM)

Prove di rigonfiamento

Limite di ritiro lineare (W_{re}) (AFNOR, XP P 94-060-2)

Limite di ritiro (W_s) (ASTM D-427)

Coefficiente di estensibilità lineare ($COLE = (L_m - L_d)/L_d$)
 L_m = lunghezza del campione con $u = 33$ kPa
 L_d = lunghezza del campione allo stato secco

Prove di ritiro

Prove di rigonfiamento

CRITERI DI DISTINZIONE DEI VARI TIPI DI PROVE

MODALITA' DI APPLICAZIONE DEI CARICHI

durata

carico di saturazione

MODALITA' DI SVOLGIMENTO DELLA PROVA

MODALITA' DI SATURAZIONE

RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI

STRUMENTI UTILIZZATI

EDOMETRO

Misure unidimensionali

Misura della pressione laterale

TRIASSIALE

TIPI DI PROVE

RIGONFIAMENTO LIBERO

RIGONFIAMENTO IN PARALLELO

RIGONFIAMENTO A VOLUME COSTANTE

COMBINAZIONE DI PROVE

RIGONFIAMENTO LIBERO

RIGONFIAMENTO IN PARALLELO

RIGONFIAMENTO A VOLUME COSTANTE

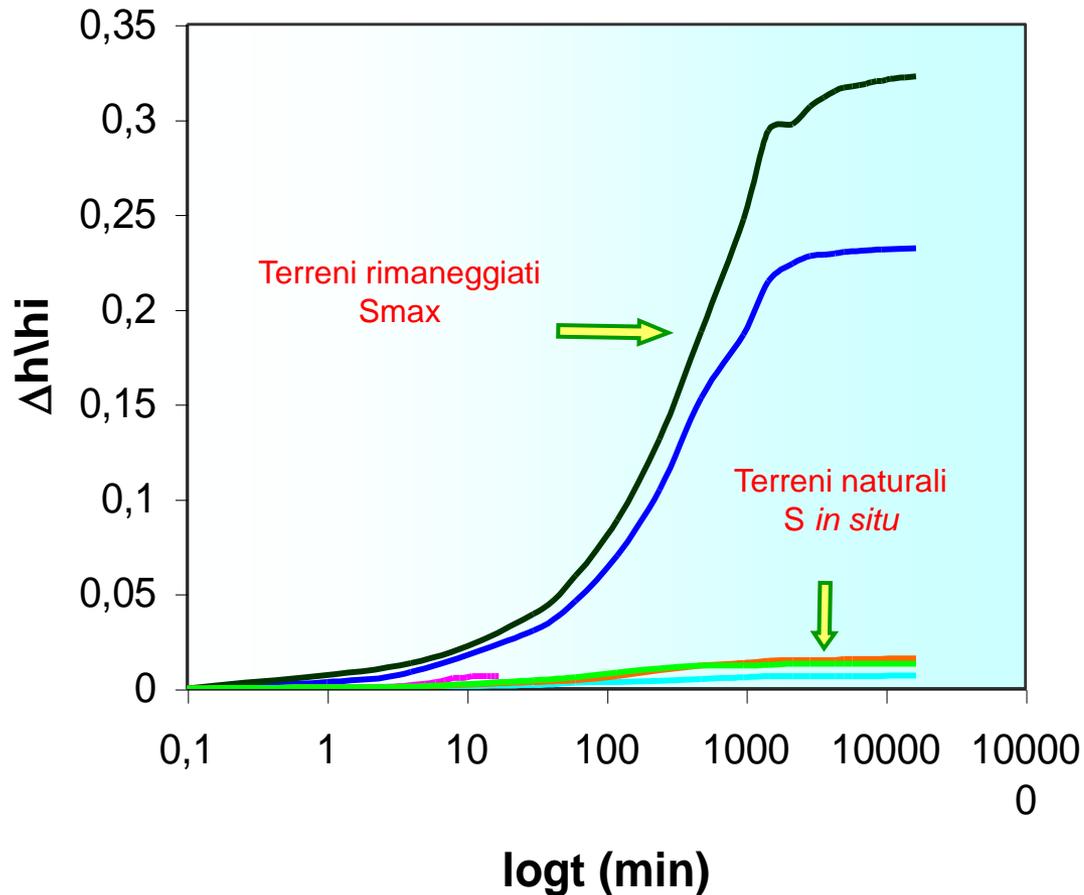
In condizioni meccaniche controllate e idrauliche non controllate
PROVE CLASSICHE

In condizioni meccaniche e idrauliche controllate

SP e S non sono proprietà del terreno ma dipendono dalle condizioni di stato

Condizione di riferimento: stato di ritiro

Terreni rimaneggiati



sono strettamente dipendenti dalla
particolare procedura di misura
adottata

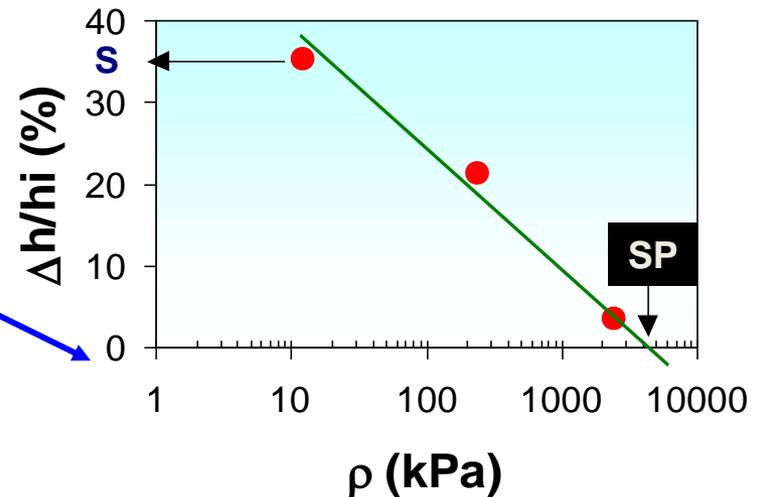
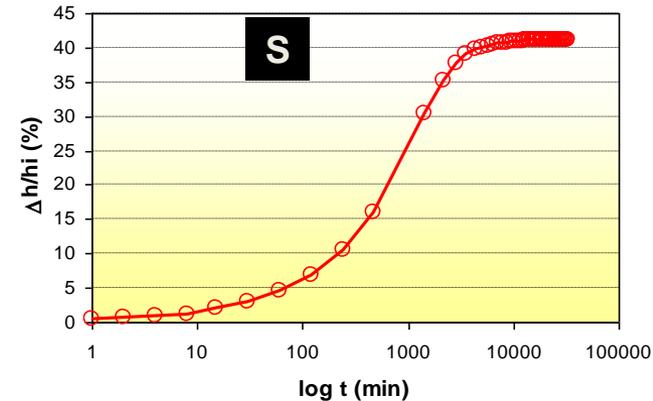
S

Prova di rigonfiamento libero all'edometro
ASTM D4546-85

SP

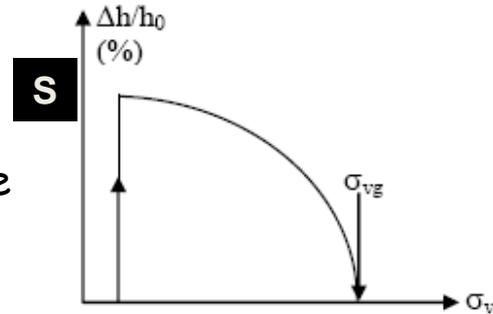
Prova di volume costante all'edometro
ASTM D4546-85

Prova in parallelo all'edometro AFNOR XP P94-
091

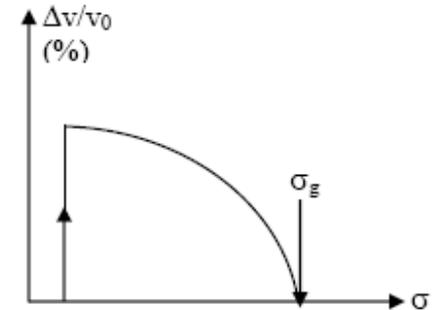


Prova di rigonfiamento libero

- Permette di ricavare S
- Sovrastima rispetto agli altri metodi le variazioni di volume
- Molto lenta (alcune settimane)



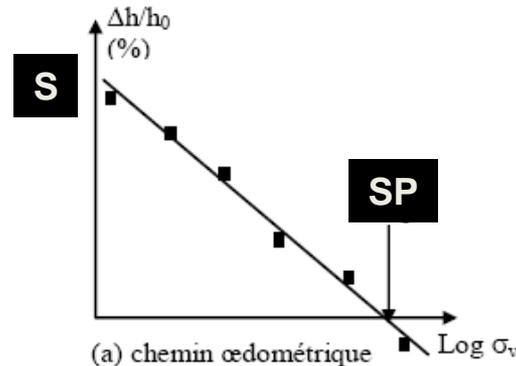
(a) chemin œdométrique



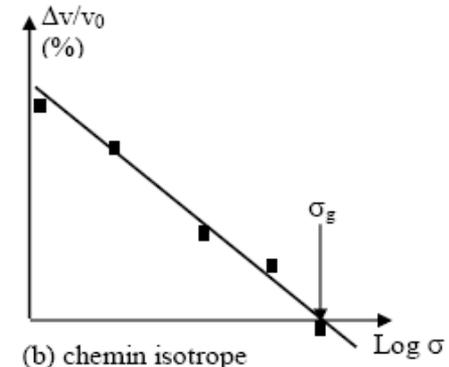
(b) chemin isotrope

Prova di rigonfiamento in parallelo

- Permette di ricavare sia S che SP
- Diversi provini (a volte eterogenei)



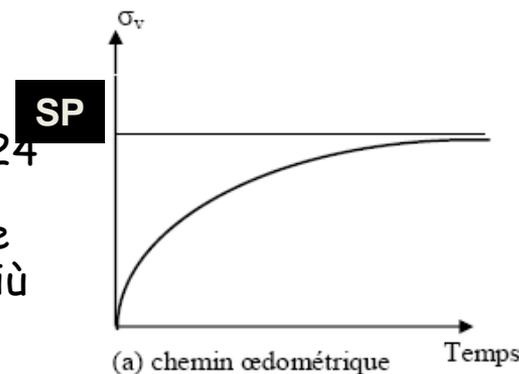
(a) chemin œdométrique



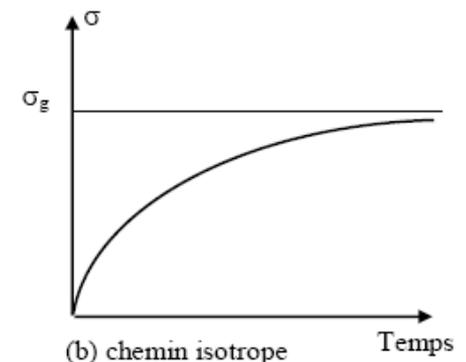
(b) chemin isotrope

Prova a volume costante

- Permette di ricavare SP
- Richiede un solo provino ed è rapida (24 h generalmente)
- Difficile mantenere il volume costante
- Valori di pressione di rigonfiamento più prossimi a quelli in sito



(a) chemin œdométrique



(b) chemin isotrope

Prove di ritiro

deformazione di ritiro ε_r : uniassiale (ε_{ra}) o volumetrica (ε_{rv}). la deformazione di ritiro é la deformazione totale di un suolo tra il suo stato iniziale e lo stato essiccato

Limite di ritiro effettivo WRE: corrisponde al contenuto in acqua al di sotto del quale le deformazioni del suolo per deessiccamento sono trascurabili

fattore di ritiro effettivo RI: pendenza della retta media che unisce la deformazione assiale al contenuto in acqua nel campo quasi saturo

fattore di ritiro volumetrico Rv: pendenza della retta media che unisce la deformazione volumetrica al contenuto in acqua nel campo quasi saturo

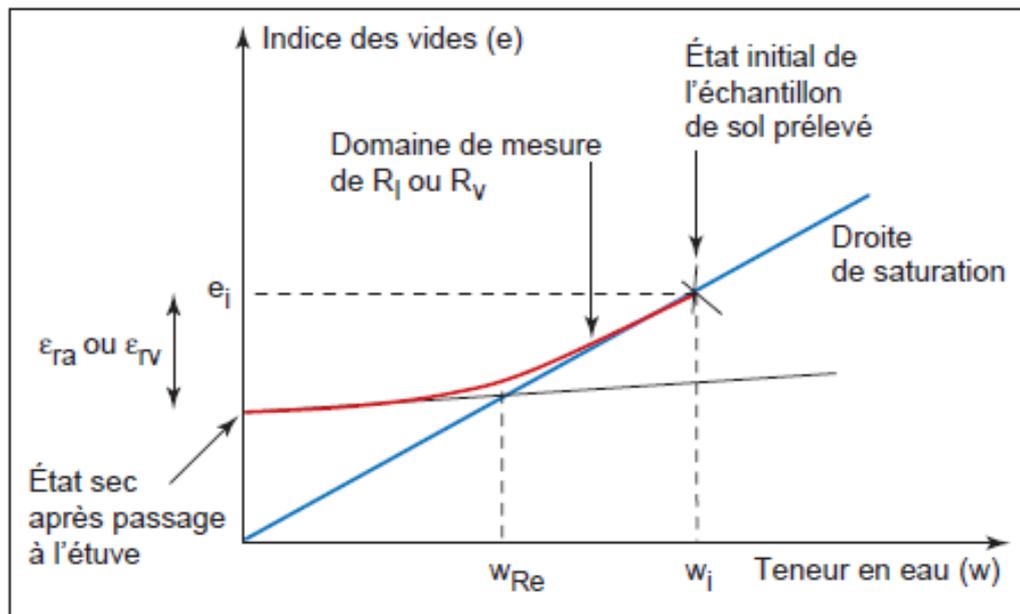


Fig. 9
Courbe de retrait schématique
Identification des différents
paramètres décrivant
le retrait d'un sol

Limite di ritiro (W_s) (ASTM D-427)

Terreno rimaneggiato
Range di variazione limitato

ϵ_{rv}



Limite di ritiro lineare (W_{re})
(AFNOR, XP P 94-060-2)
Campione rimaneggiato o
indisturbato

ϵ_r ,
 W_{Re}
 R_l



ϵ_{rv} ,
 W_{Re}
 R_v

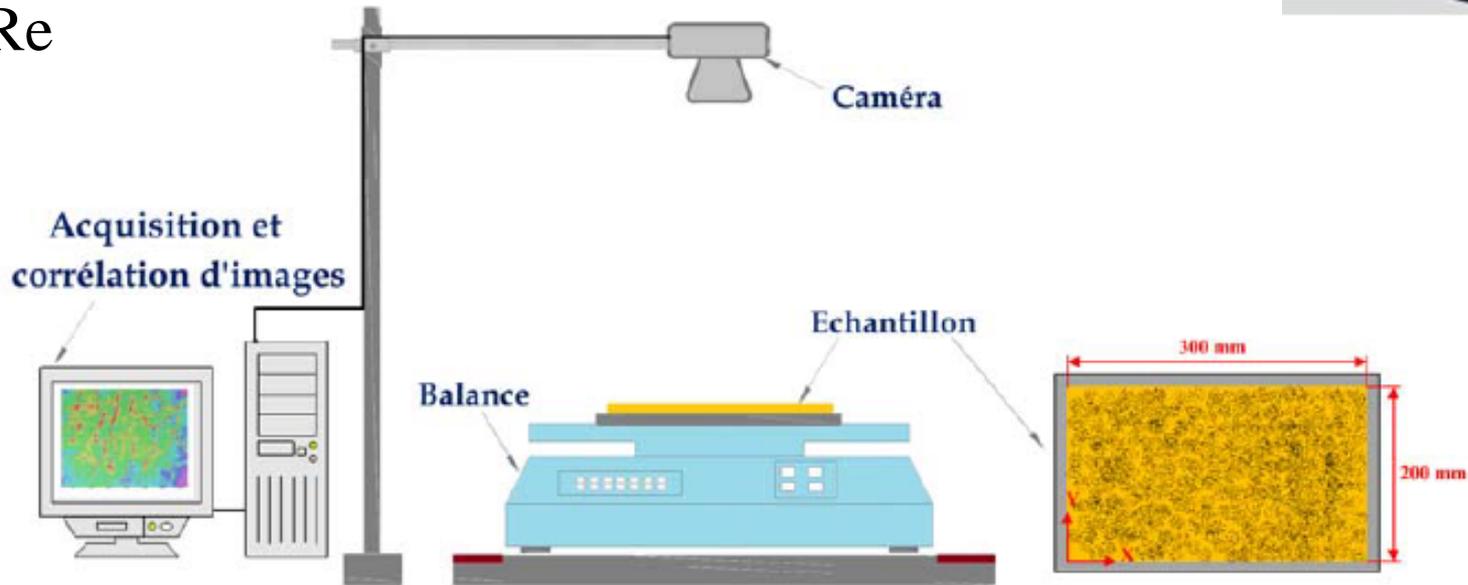
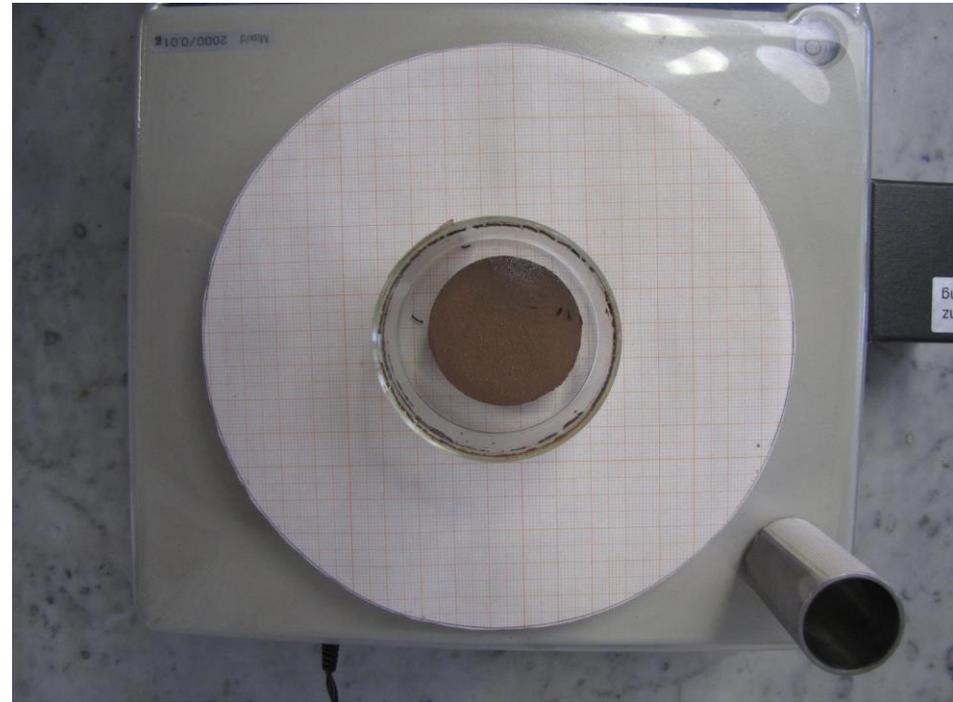
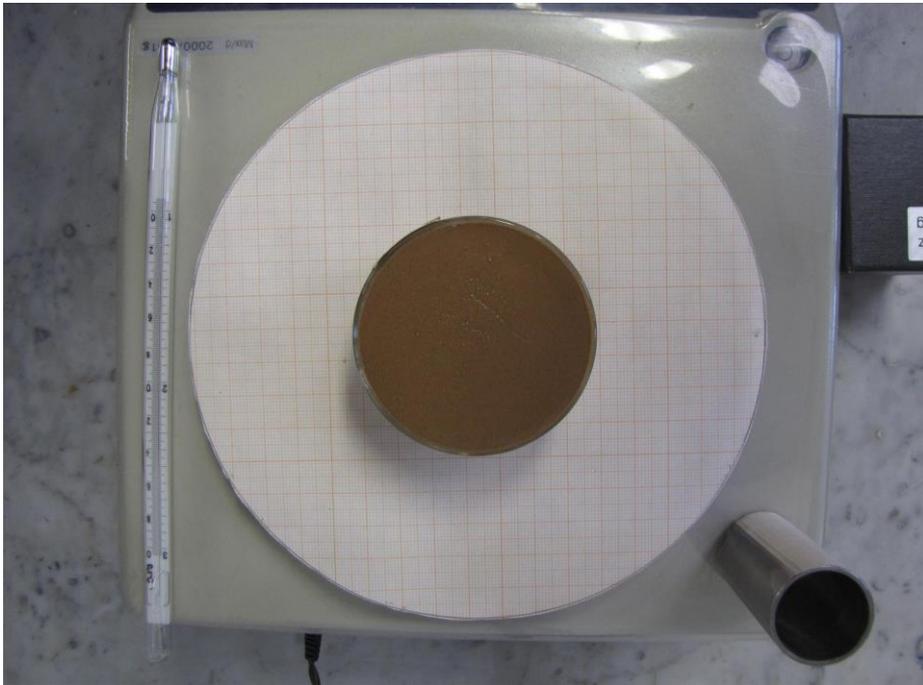


Figure 3. Dispositif expérimental et dimensions de l'échantillon.



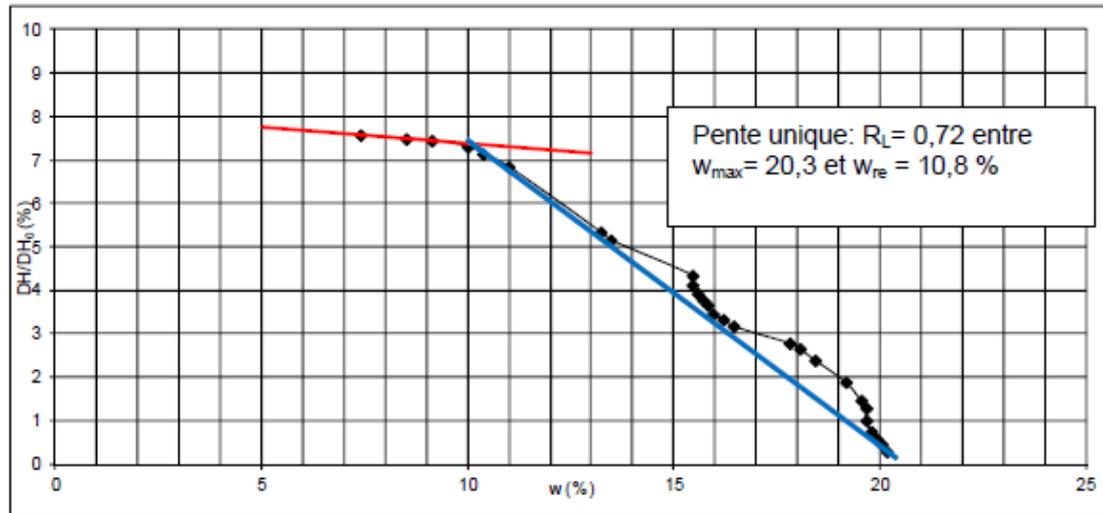


Figure 2. Échantillon prélevé dans la région marseillaise - Interprétation avec une pente

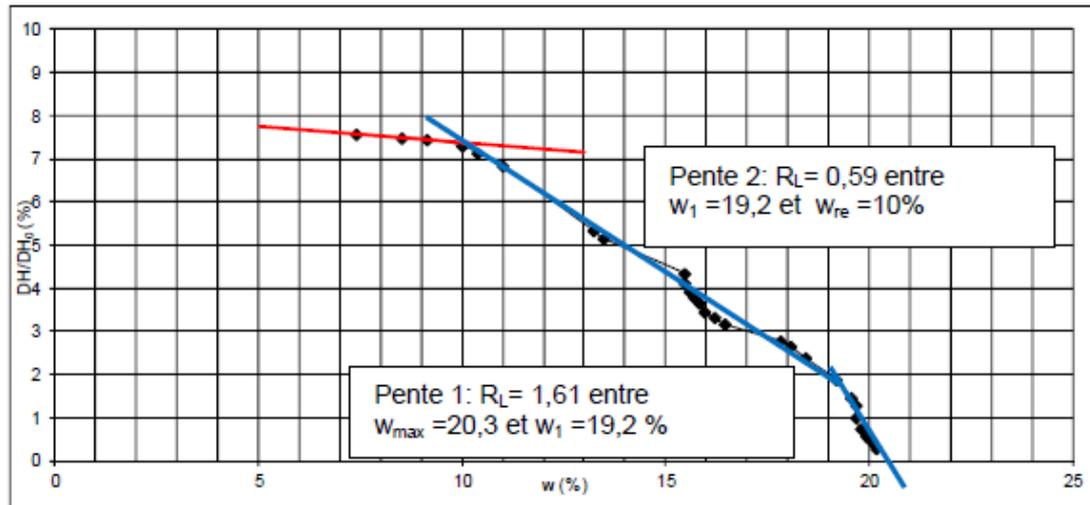
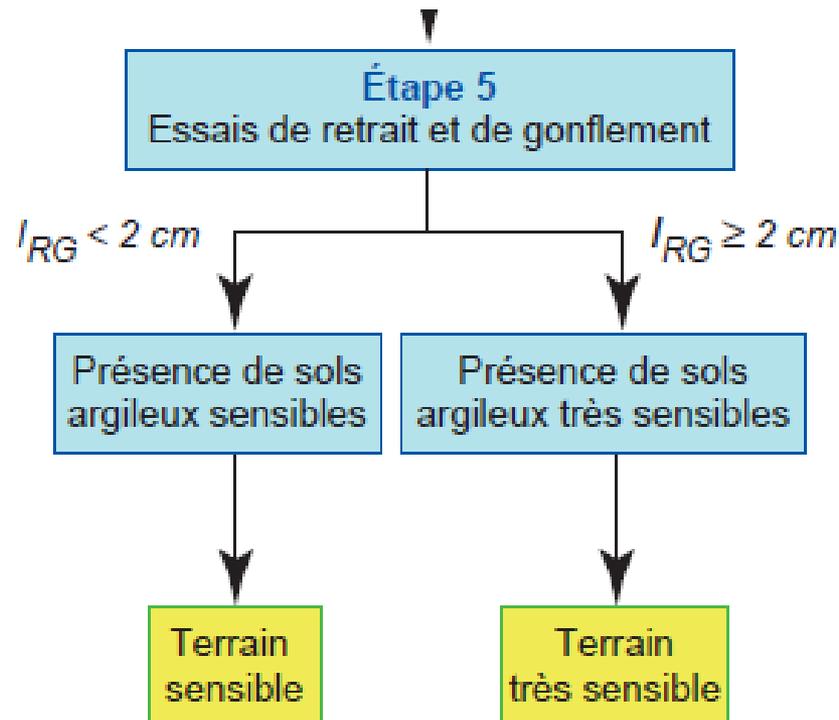


Figure 3. Échantillon prélevé dans la région marseillaise - Interprétation avec deux pentes

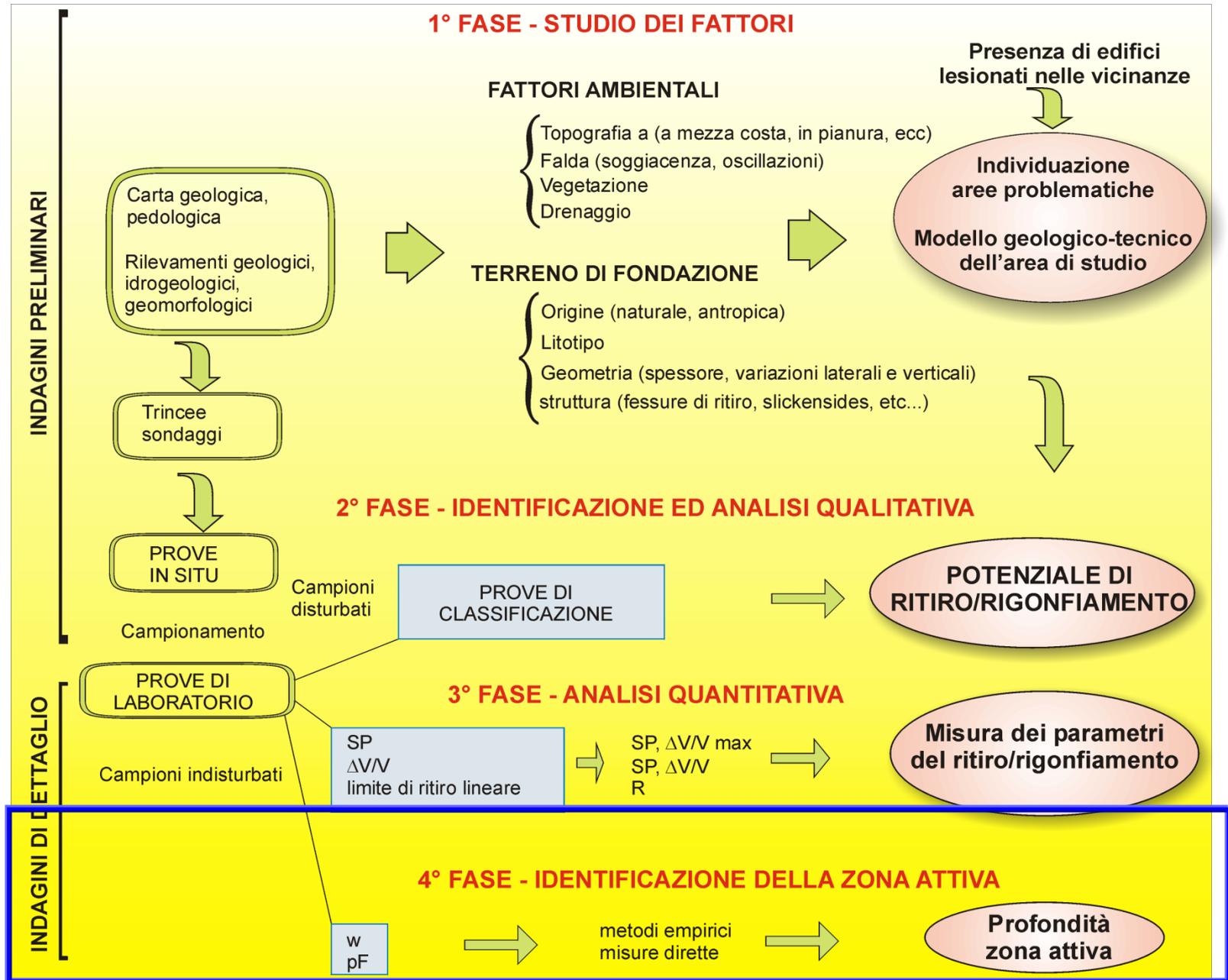
INDICE DI RITIRO-RIGONFIAMENTO

$$I_{RG} = \frac{(\varepsilon_{ra} + \varepsilon_g) \times h_{SF}}{2} \quad \text{ou} \quad I_{RG} = \frac{\left(\frac{\varepsilon_{rv}}{2} + \varepsilon_g\right) \times h_{SF}}{2}$$



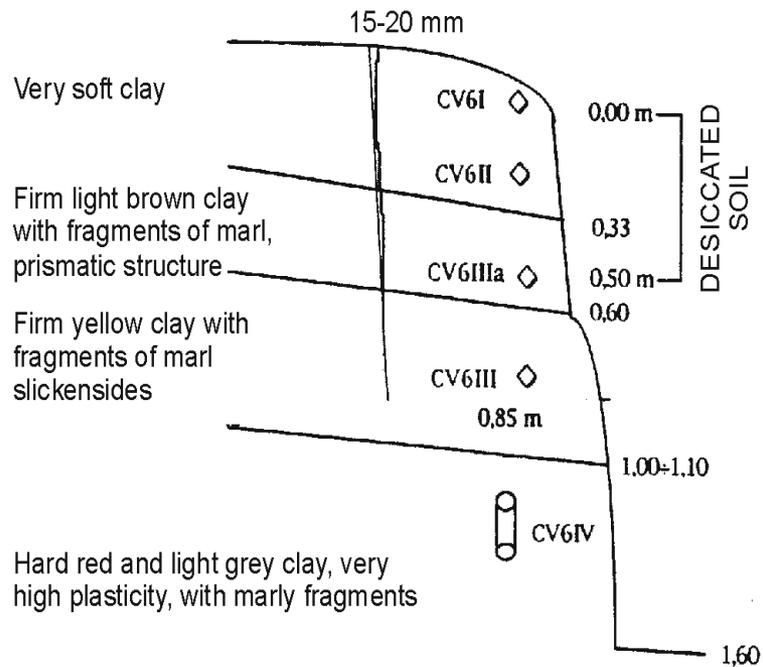
IFSTTAR, 2014

METODO DI STUDIO - 4° FASE



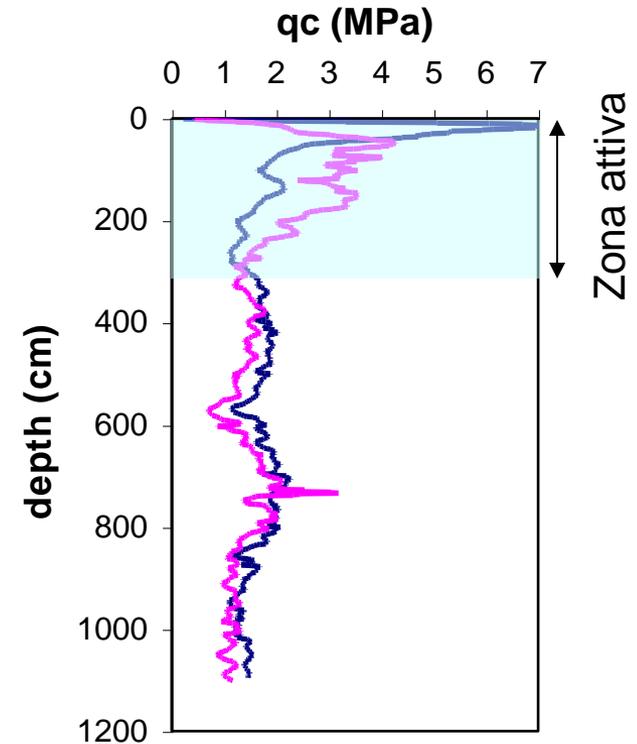
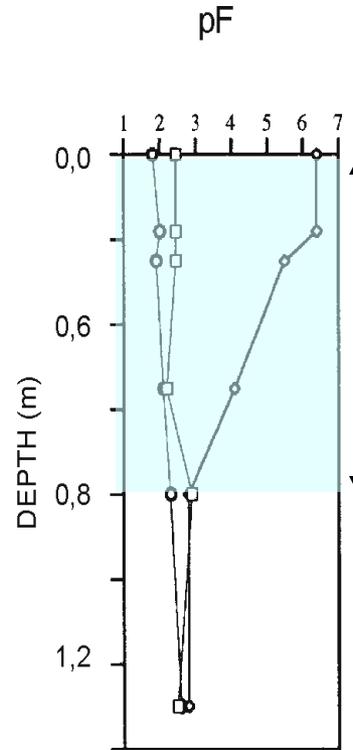
Determinazione zona attiva

**In laboratorio:
Metodo della carta da filtro**



0,8-1,5 m

**In situ:
CPT eseguite in periodi differenti**



— qc (13 June 2001)
— qc (28 September 2001)

>1,5 m
>2 m con vegetazione

un esempio: Residential Slabs and Footing Standard (AS2870-2011)

1. Identification of reactive soils

Table 1. Example of assessment of soil reactivity

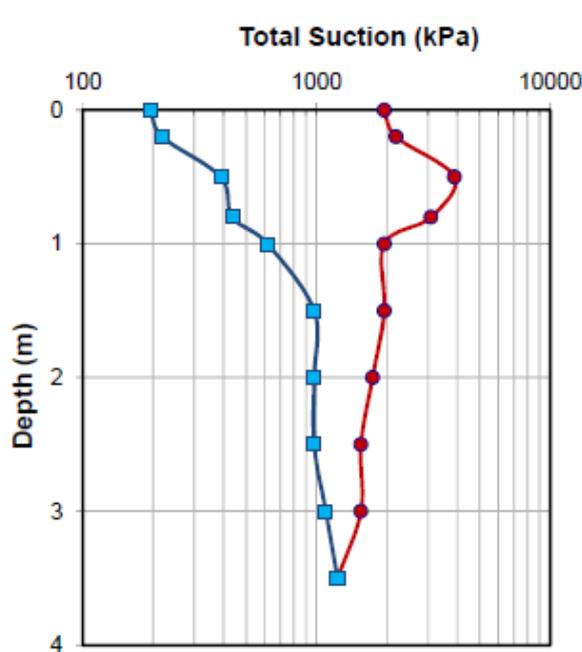
Unified Soil Classification	Plasticity	Plasticity Index (%)	Shrinkage Index I_{ps} (% strain/ log (kPa))
CL	Very low to low	0 – 10	0 - 1
CI	Low to medium	10 – 30	1 - 2
CH	High	30 – 45	2 – 3.5
CH ¹	High	45 – 60	3.5 - 5
CH ¹	Very high	> 60	> 5

¹ In the Australian version of the Unified Soil Classification, CH is the highest classification

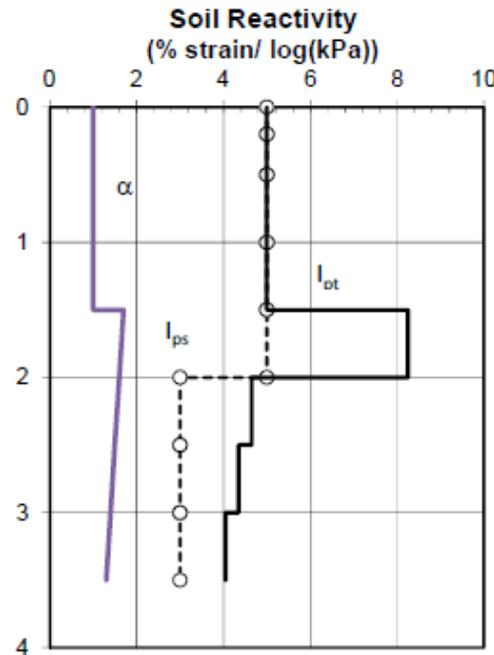
I_{ps} = vertical strain arising from a change of a soil's total suction by one logarithmic unit, for a laterally unrestrained soil with minimal external vertical loading (shrink-swell, loaded shrinkage and core shrinkage)

- 2. Assessment of ground movement

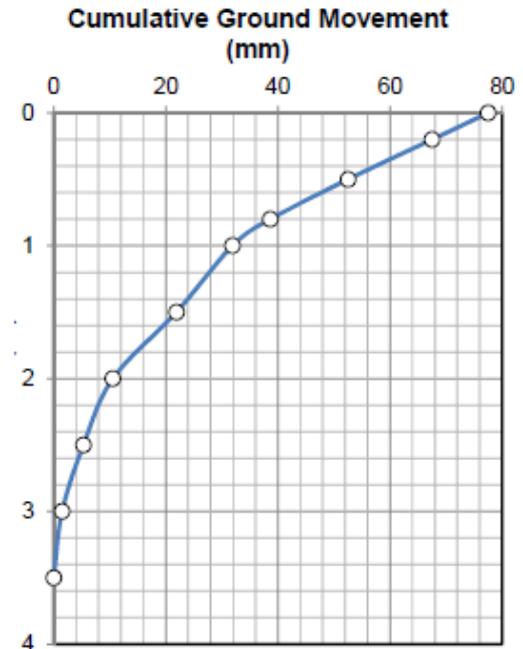
$$I_{pt} = \alpha I_{ps}$$



a) Suction profiles



b) Soil reactivity distribution



c) Calculated differential ground movement

instability index

In the seasonally cracked zone, $\alpha = 1$.

Below the cracked zone, $\alpha = (2 - 0.2z)$, where z = depth in metres from the soil surface.

The minimum value of α is 1. The depth term, z , allows for the restraining effect that overburden pressure has on the amount of reactive soil movement.

3. Classification of sites for reactivity of the soil profile

Where

y_s = characteristic surface movement (mm)

Δu = Soil suction change at depth (z) from the surface, expressed in pF units.

dh = is the thickness of the soil layer

H_s = depth of design suction change

I_{pt} = instability index

$$y_s = \frac{1}{100} \int_0^{H_s} I_{pt} \Delta u \, dh$$

Table 2. Relationship between TMI and H_s (AS2870, 2011)

TMI Range	Climatic Zone	Climate Description	H_s (m)
> 10	1	Alpine/ wet coastal	1.5
≥ -5 to ≤ 10	2	Wet temperate	1.8
≥ -15 to ≤ -5	3	Temperate	2.3
≥ -25 to ≤ -15	4	Dry temperate	3.0
≥ -40 to ≤ -25	5	Semi-arid	4.0
< -40	6	Arid	> 4.0

Table.4 Soil suction change profile for certain location in Australia

Soil suction change profiles for certain locations		
Location	change in suction at the soil surface (Δu) pF	Depth of design soil suction change (H_s) m
Adelaide	1.2	4.0
Albury/Wodonga	1.2	3.0
Brisbane/Ipswich	1.2	1.5-2.3
Gosford	1.2	1.5-1.8
Hobart	1.2	2.3-3.0
Hunter Valley	1.2	1.8-3.0
Launceston	1.2	2.3-3.0
Melbourne	1.2	1.8-2.3
Newcastle	1.2	1.5-1.8
Perth	1.2	1.8
Sydney	1.2	1.5-1.8
Toowoomba	1.2	1.8-2.3

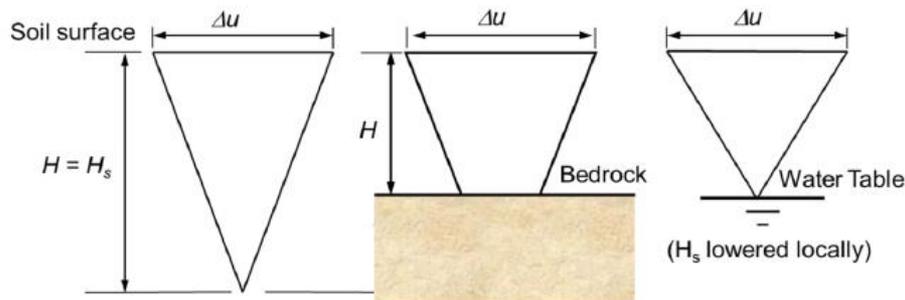


Figure.15 Effect of water table and bedrock on design suction change profiles

Table.3 Site Classification Classes
(AS 2870, 2011)

y_s (mm)	Class	Description
$0 < y_s \leq 20$	S	slightly reactive
$20 < y_s \leq 40$	M	moderately reactive
$40 < y_s \leq 60$	H1	highly reactive
$60 < y_s \leq 75$	H2	highly reactive
$y_s > 75$	E	extremely reactive

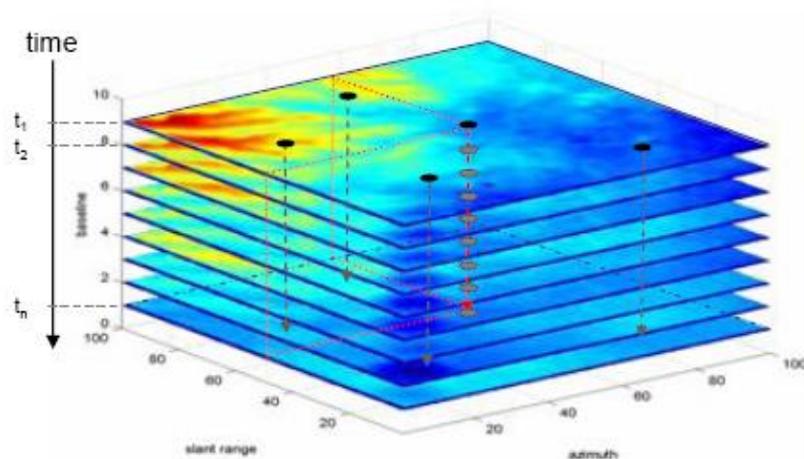
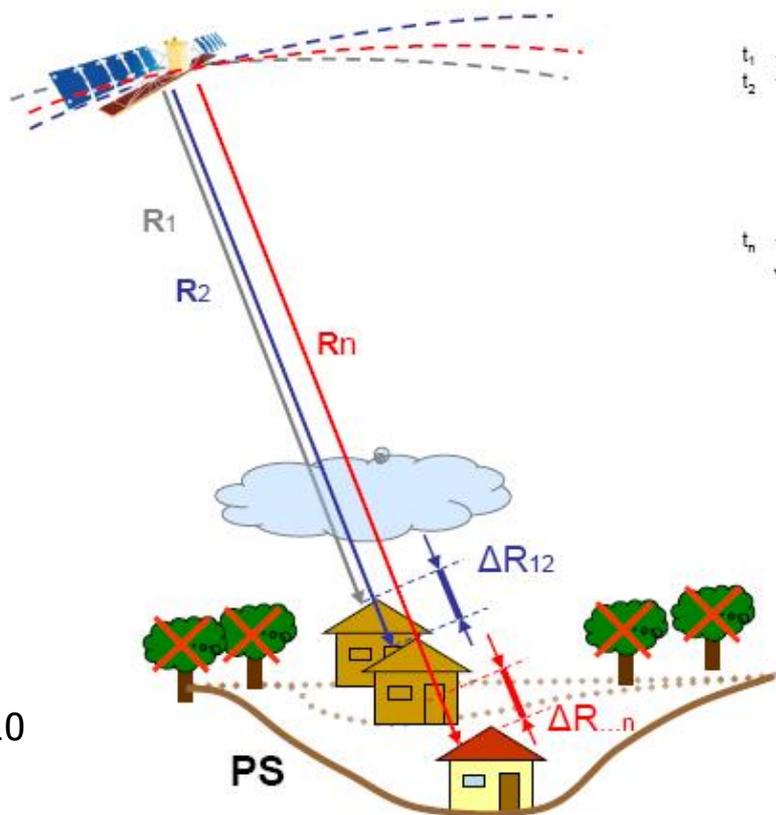
2.3.3 Depth of investigation The soil profile shall be examined to a minimum depth equal to 0.75 times the depth of the suction change, H_s , as given in Table 2.4, but not less than 1.5 m, unless rock is encountered or in the opinion of the classifier, further drilling is unnecessary for the purpose of identifying the soil profile in accordance with Clause 2.2.1(a).

TABLE 2.4 RECOMMENDED SOIL SUCTION CHANGE PROFILES FOR CERTAIN LOCATIONS		
Location	Change in suction at the soil surface (Δu) pF	Depth of design suction change (H_s) m
Adelaide	1.2	4.0
Albury/Wodonga	1.2	3.0
Brisbane/Ipswich	1.2	1.5–2.3 (see Note)
Hobart	1.5	2.0
Hunter Valley	1.5	2.0
Launceston	1.2	2.0
Melbourne	1.2	1.5–2.3 (see Note)
Newcastle/Gosford	1.5	1.5
Perth	1.2	3.0
Sydney	1.5	1.5
Toowoomba	1.2	1.8–2.3 (see Note)

NOTE: The variation in H_s depends largely on climatic variation.

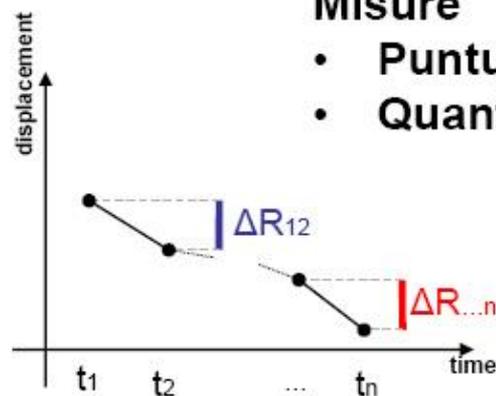
Remote sensing

Elaborazione di una serie multitemporale di immagini SAR al fine di individuare al suolo una rete di “punti” che presentano caratteristiche di riflettività costanti tali da poter essere considerati dei bersagli puntiformi permanenti “PS” (Es. PSInSARTM)



Misure

- Puntuali
- Quantitative





PIANO DI TELERILEVAMENTO NAZIONALE

Elaborazione con tecnica Permanent Scatterers Interferometry (PSI) di immagini ENVISAT, relative al periodo 2003-2010. Viene visualizzata la velocità media dello spostamento superficiale del terreno avvenuto lungo il periodo di tempo di riferimento, espressa in mm/anno.

<http://www.pcn.minambiente.it/GN/progetti/piano-straordinario-di-telerilevamento>

Piattaforme satellitari SAR

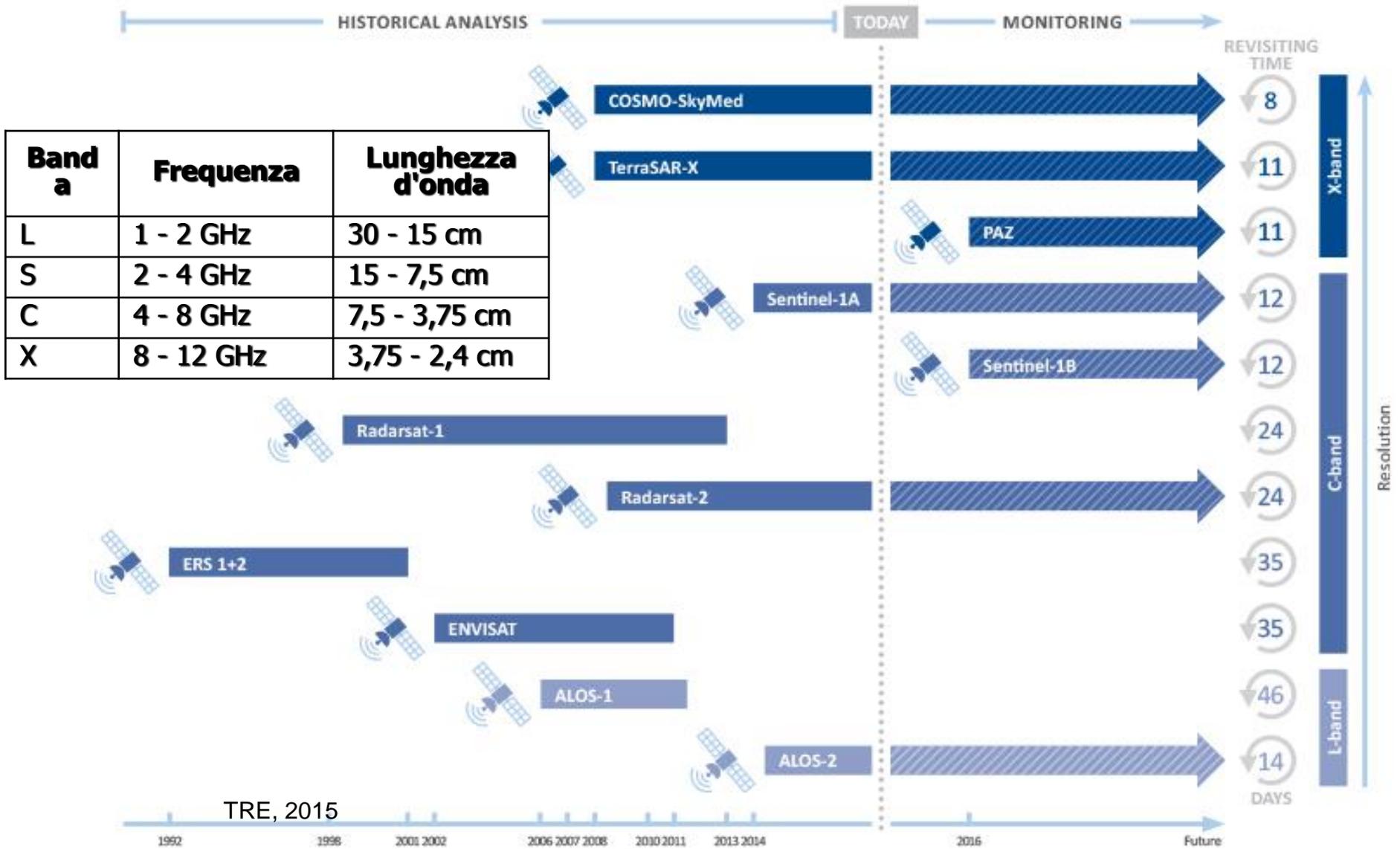
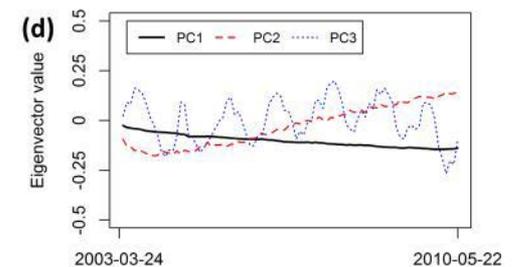
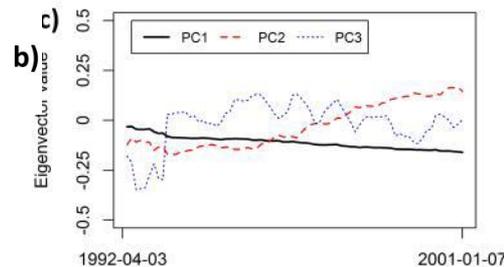
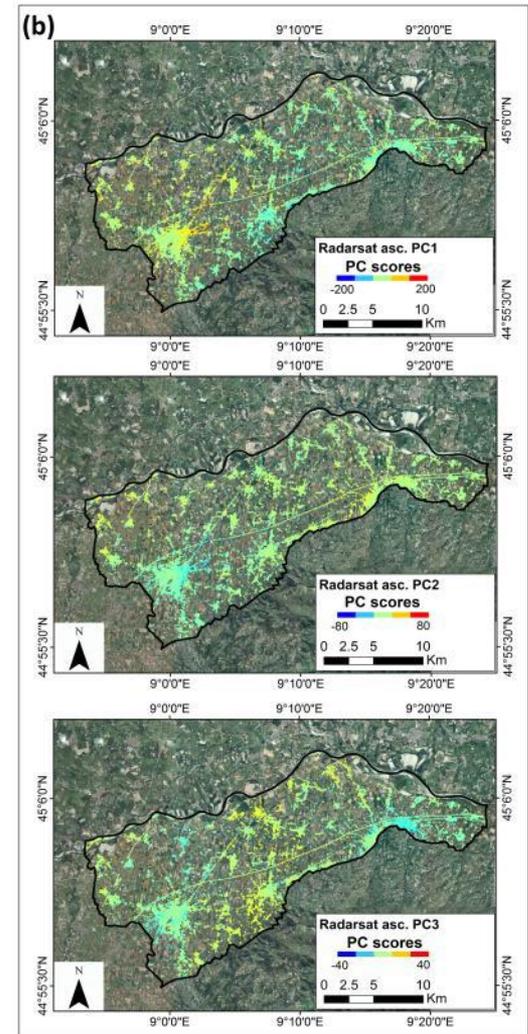
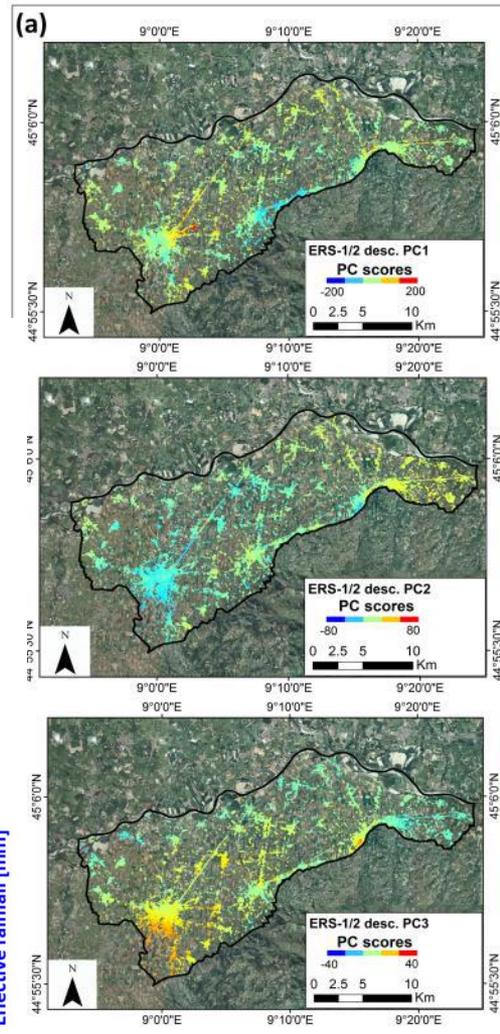
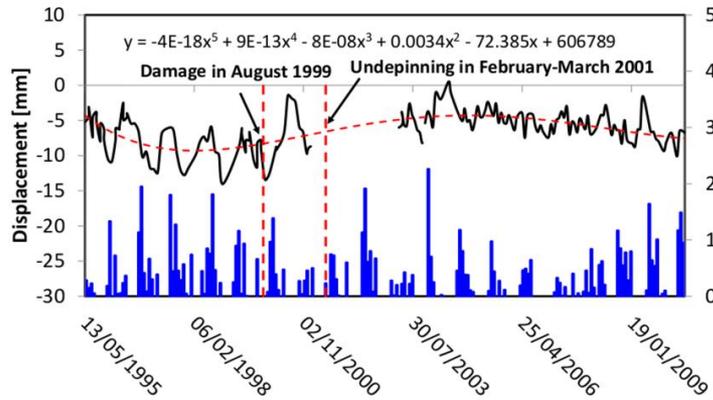
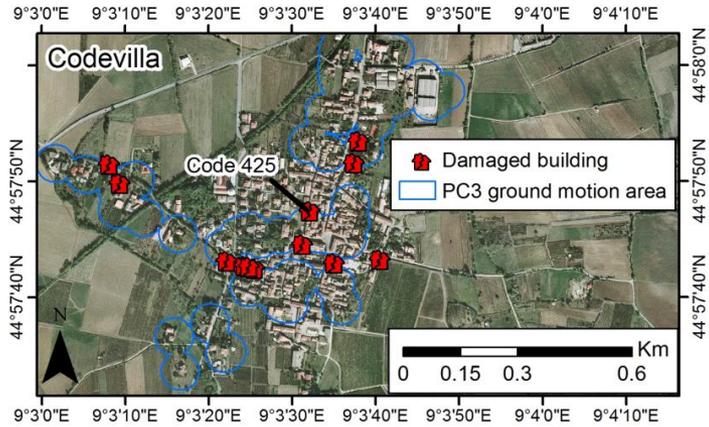


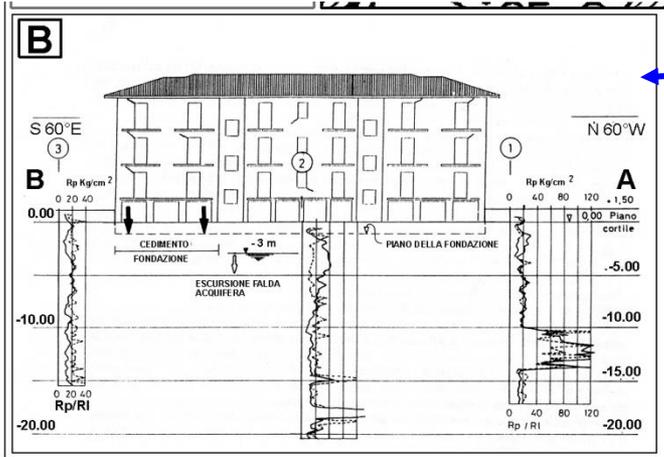
Figure 1

Identificazione terreni soggetti a variazioni di volume

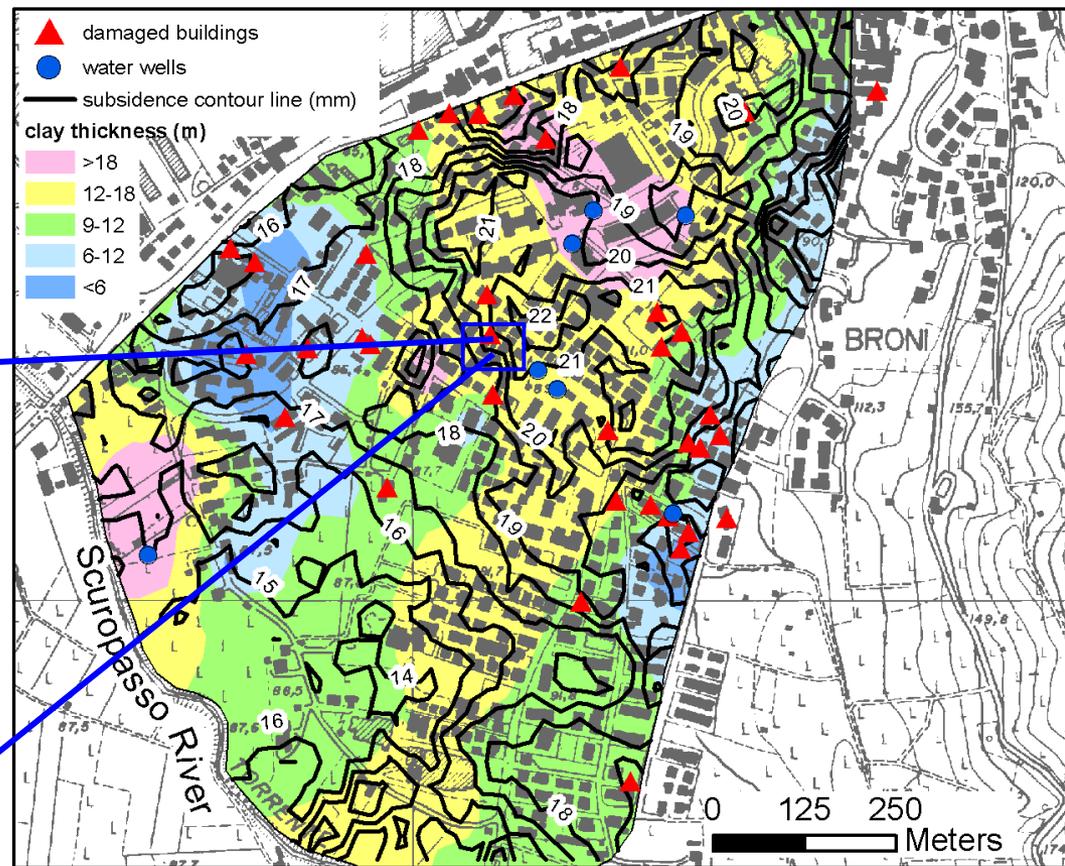
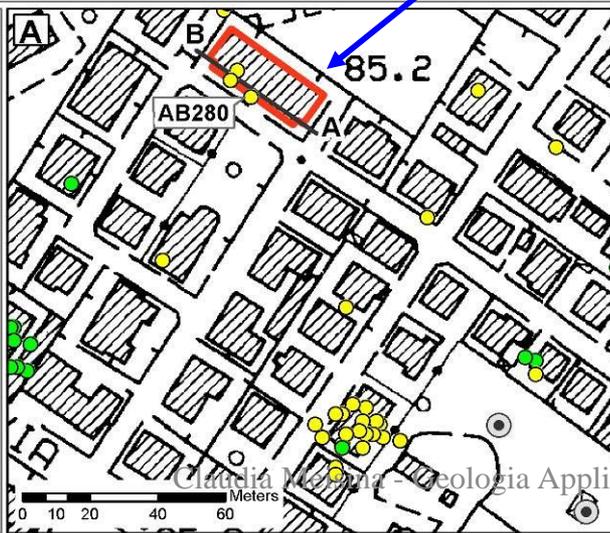


PS and damaged buildings

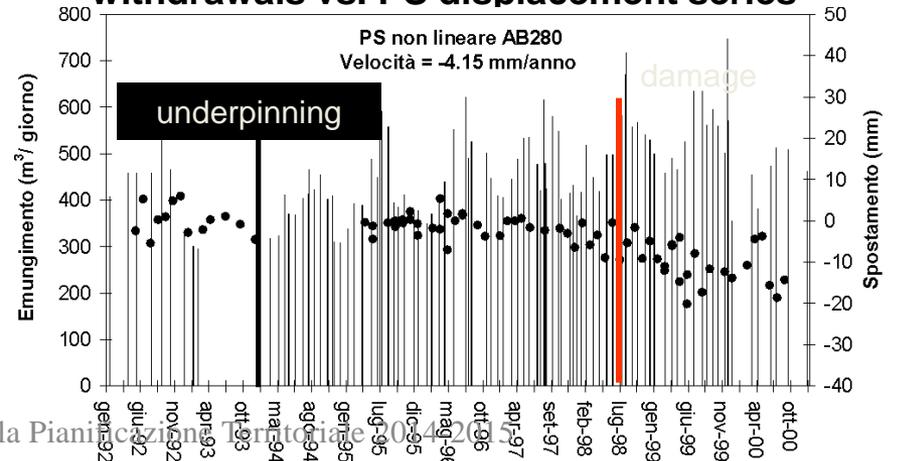
DAMAGED BUILDING



PS DISTRIBUTION MAP



withdrawals vs. PS displacement series



4. Studio del ritiro-rigonfiamento nell'ambito della pianificazione del territorio: valutazione della pericolosità

Alcuni metodi per la valutazione della pericolosità di ritiro/rigonfiamento dei terreni argillosi

References	area	Method and result	Scale*	Factors
Hart, 1974	Colorado (USA)	Swelling/shrinking soil susceptibility map	Regional 1:100.000	Lithology, mineralogy, geotechnical parameters
Al-Rawas and Woodrow, 1992	Oman	Swelling/shrinking soil susceptibility map	Regional	Geotechnical parameters, damages
Ramana, 1993	Trinidad	Swelling/shrinking soil susceptibility map + climatological factors	Regional 1:50.000	Geology and pedology, geotechnical parameters, damages, water balance
Oteo et al., 1995	Spain	Swelling/shrinking soil susceptibility map + climatological factors	Regional 1:1.000.000	Lithology, mineralogy, geotechnical parameters, damages, water balance
Noe and Dodson, 1995	Colorado (USA)	Swelling/shrinking soil susceptibility map	Regional 1:50.000	Lithology
Chassagneux et al., 1995	France	Swelling/shrinking soil susceptibility map	Medium 1:25.000	Lithology, slope angle, damages, geotechnical parameters
Vincent et al., 1998	France	Swelling/shrinking soil susceptibility map	Regional 1:50.000	Lithology, geotechnical parameters, damages
Chabrilat et al., 1999	Colorado (USA)	Mapping of the swelling/shrinking soils with remote sensing techniques	Regional	Mineralogy
Kariuki, 1999	Spain	Mapping of the swelling/shrinking soils with remote sensing techniques	Regional	Mineralogy Geotechnical parameters

Factors for the evaluation of the swelling/shrinking soils hazard

Factor			Map	Scale*			Method	Analysis**						Uncertainty	
				R	M	L		HE	IA	ST	DM	ANN	Sc		HA
FACTOR OF PREDISPOSITION	Soil properties	Lithology	Lithological map	x	x	x	Field work	x	-	x	x		x	-	Low
		Mineralogy		-	-	x	Laboratory test	x	-	x	-	-	x	-	Low
		Geometry		x	x	x	Field work	x	-	-	-	-	x	-	Low
		Geotechnical parameters	Engineering geological units map	-	-	x	Field work, laboratory test	x	-	x	x	x	x	-	MEDIUM-HIGH
	Environmental conditions	Slope angle	Slope map	-	x	x	DEM	x	-	x	x	-	x	-	Low
		Slope aspect	Aspect map	-	x	x	DEM	x	-	x	x	-	x	-	Low
		Landuse	Landuse map	-	x	x	Aerial photographs + field check	x	-	-	-	-	x	-	Low
		Drainage conditions	Geomorph. map	-	x	x	Field work + DEM	x	-	-	-	-	x	-	MEDIUM-HIGH
Climatic conditions			x	x	x	Station data	x	-	-	-	-	x	x	MEDIUM-HIGH	
TRIGGERING FACTOR	Environmental conditions	Man-made actions		-	-	x	Aerial photographs + field work	-	-	-	x	-	-	x	MEDIUM
		Water table	Hydrogeol. map	-	-	x	model	x	-	-	x	-	x	x	HIGH
Damages		Damages inventory map	x	x	x	Field data	x	x	-	-	-	x	-	HIGH	

** Type of analysis:

qualitative analysis (QL): HE = heuristic analysis, IA = inventory analysis.

quantitative analysis (QT): ST= statistical analysis; geotechnical engineering approach: DM= complex deterministic models; ANN = neural network analysis.

Sc= susceptibility; HA= hazard

*Scale of analysis: R = regional (1:100.000 - 1:50.000); M = medium scale (1:25.000); L = large scale (1:10.000 - 1:5.000)

problemi

- ❑ gli studi riguardanti la determinazione della pericolosità al ritiro-rigonfiamento sono ancora limitati.
- ❑ elevato numero di fattori difficili da studiare (es. condizioni climatiche e idrogeologiche, vegetazione) spesso con carattere molto puntuale. Lo studio di questi fattori è associato ad un grado elevato di incertezza che dipende dalla loro variabilità spaziale e temporale (scala di studio!!).
- ❑ difficoltà nel determinare l'intensità del fenomeno (es. diversi metodi per la misura della pressione e del potenziale di rigonfiamento)
- ❑ Non ci sono chiare evidenze del fenomeno (es. evidenze morfologiche). Le testimonianze degli eventi passati sono rappresentati dagli edifici lesionati
- ❑ la relazione tra fattori ed effetti (edifici lesionati) non è sempre definibile in modo univoco

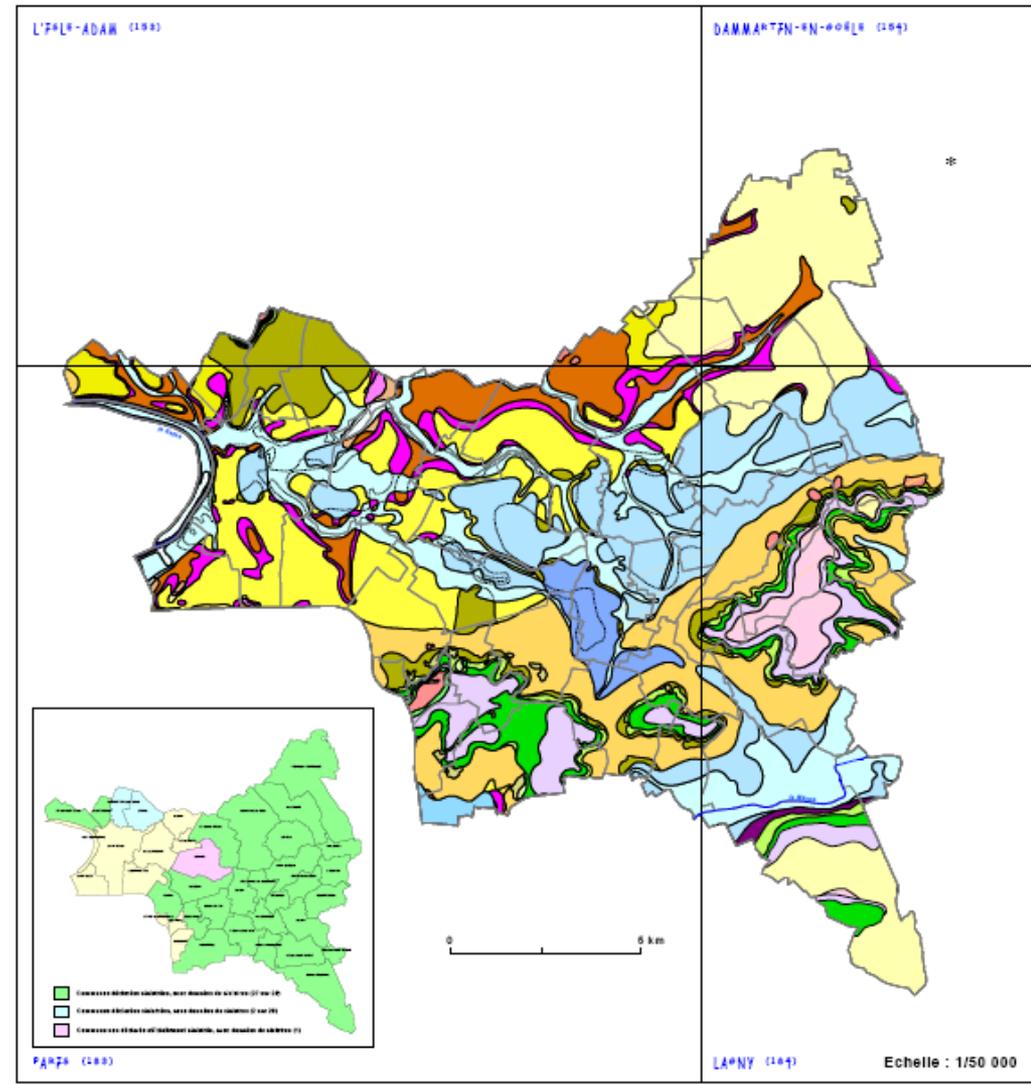
...un esempio in Francia

1. Identificazione delle unità litologiche argillose

2. Scelta dei fattori

Composizione mineralogica M
(% di minerali argillosi a reticolo
espandibile)

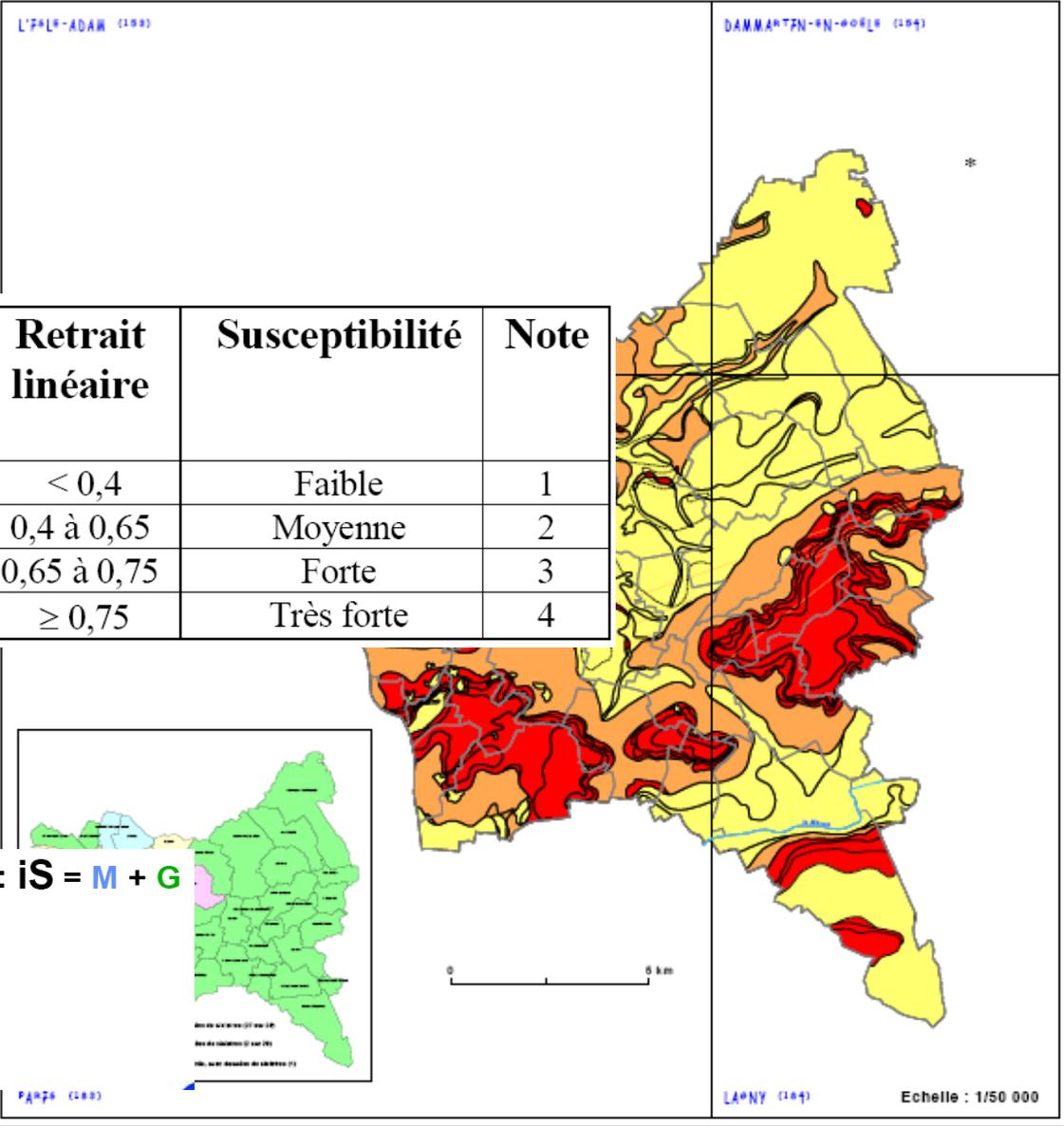
INDICE	
1	<25%
2	25-50%
3	50-80%
4	>80%



2. Scelta dei fattori

Comportamento geotecnico G

Indice de plasticité	Valeur de bleu	Coefficient de gonflement	Retrait linéaire	Susceptibilité	Note
< 12	< 2,5	< 0,025	< 0,4	Faible	1
12 à 25	2,5 à 6	0,025 à 0,05	0,4 à 0,65	Moyenne	2
25 à 40	6 à 8	0,05 à 0,09	0,65 à 0,75	Forte	3
≥ 40	> 8	≥ 0,09	≥ 0,75	Très forte	4



3. Calcolo della suscettibilità

Note globale (indice de Susceptibilité) : $iS = M + G$

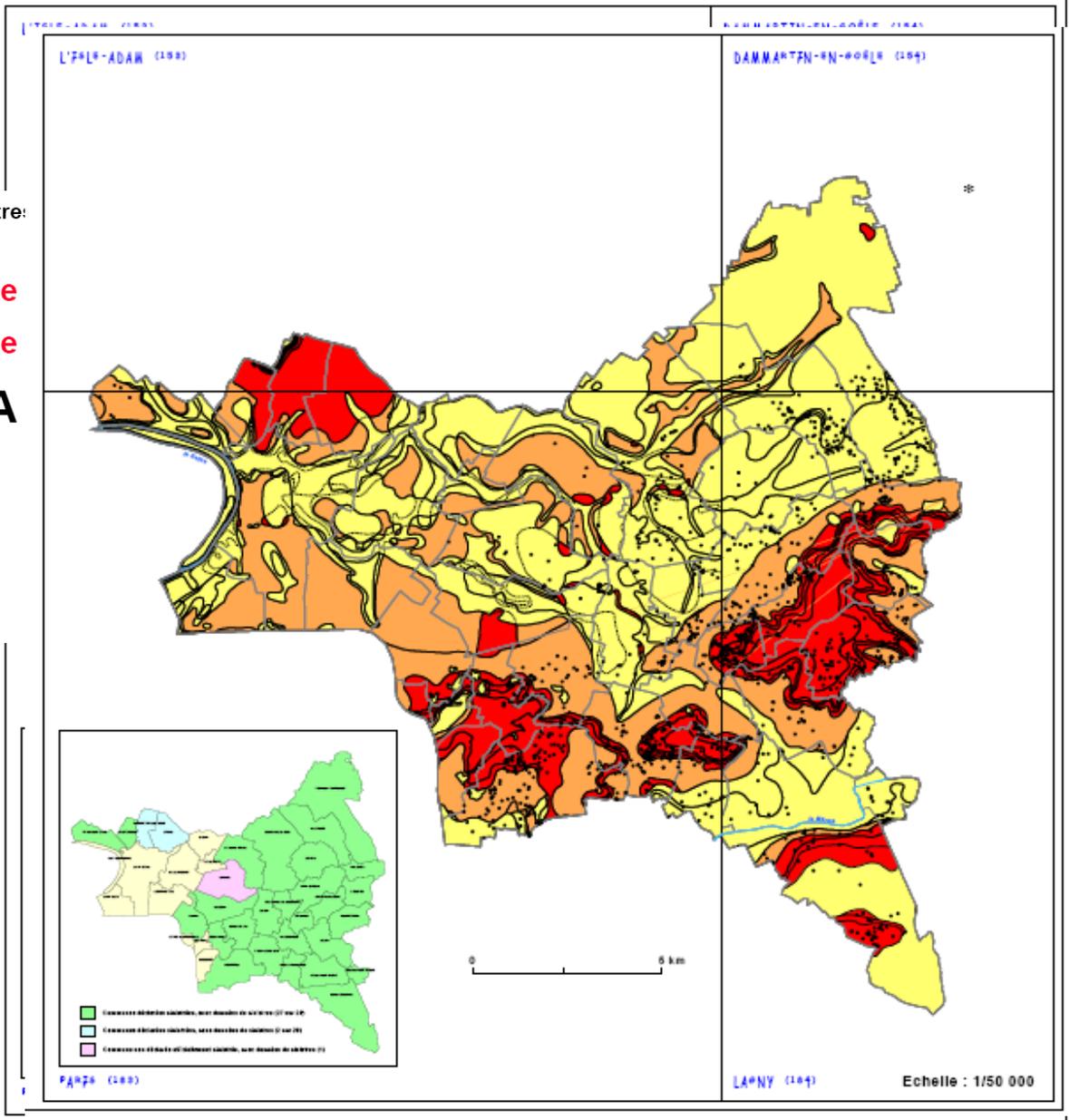
Susceptibilité forte : $iS = 6 \text{ à } 8$

Susceptibilité moyenne : $iS = 4 \text{ à } 5$

Susceptibilité faible : $iS = 2 \text{ à } 3$

4. Analisi dei danni

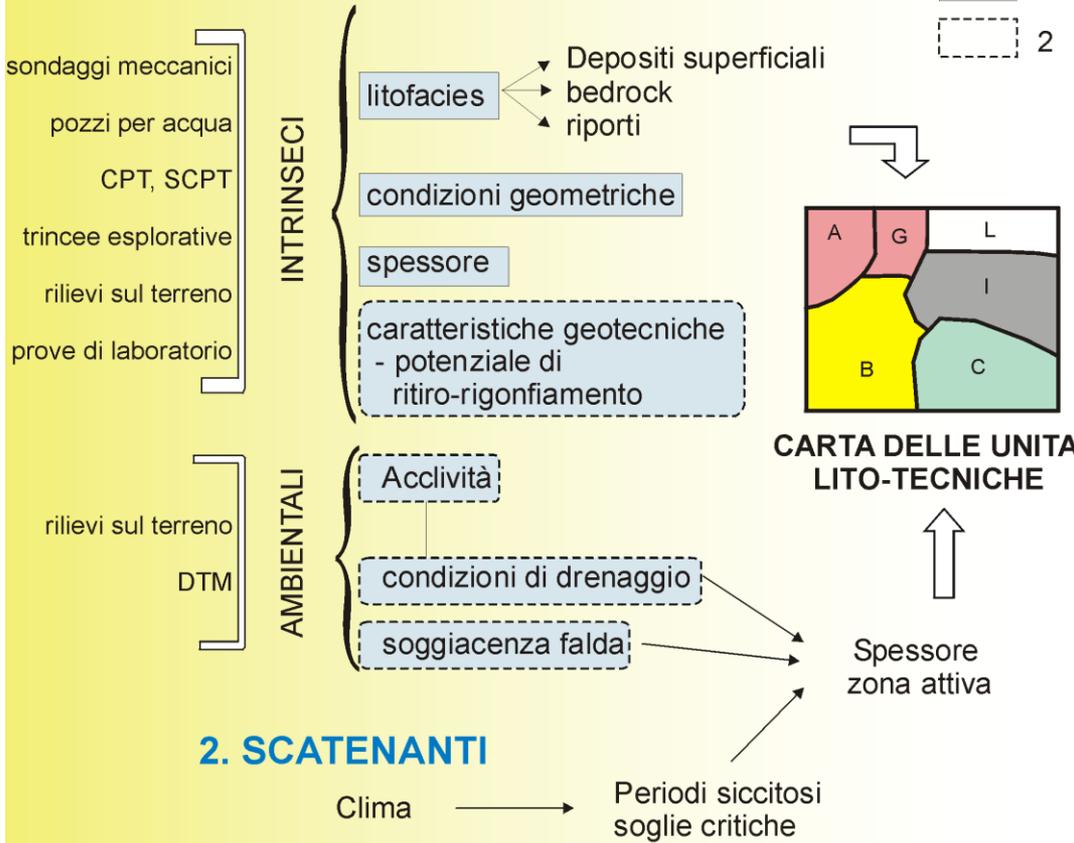
- **Densité de sinistres** (nombre de sinistres/formation urbanisée) : **note D de 1 à 4**
 - note 1 : <1 000. note
 - note 2 : 1 000 à 2 000 note
- **Note globale (indice d'Aléa) : iA**
 - **Aléa fort** : **iA = 9 à 12**
 - **Aléa moyen** : **iA = 6 à 8**
 - **Aléa faible** : **iA = 3 à 5**



A scala comunale

1. FATTORI

1. PREDISPONENTI



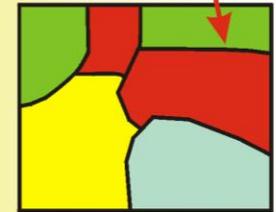
2. CRITERI

PARAMETRIZZAZIONE
 scelta indici X_{if} e pesi W_f

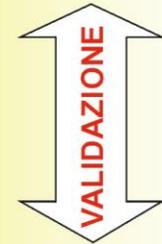
3. PERICOLOSITA'

UNITA'	lito	geom.	spes. ...	H
B	1,75	1,5	1,7	MEDIA
C	1,75	2	1,7	BASSA
D	2	1,5	2	ALTA

$$H^n = \sum_{f=1}^n W_f * X_{if}$$



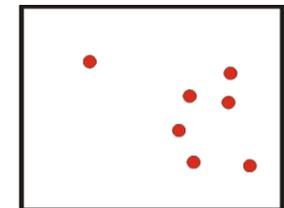
CARTA DI PERICOLOSITA'



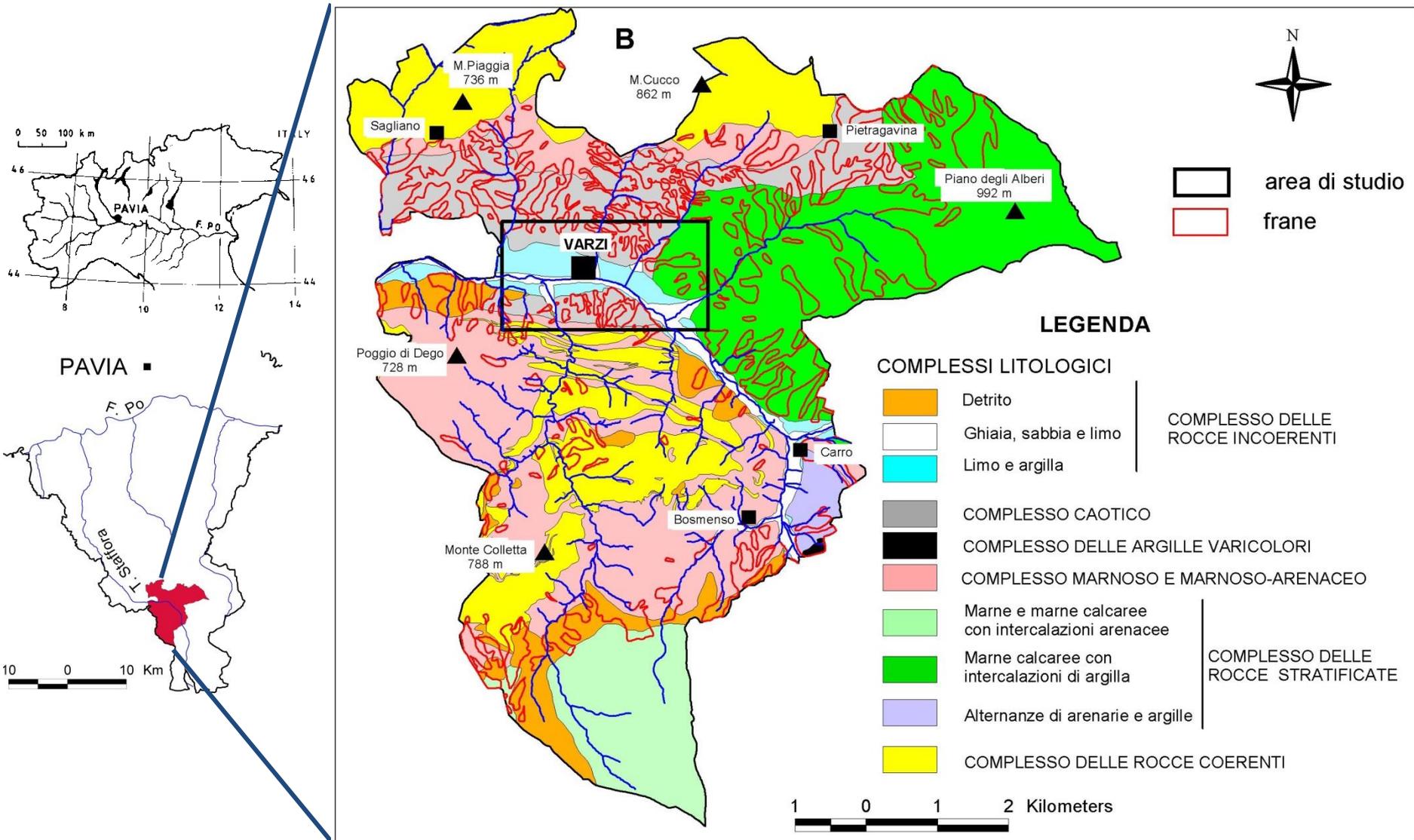
CARTA INVENTARIO DEGLI EDIFICI LESIONATI

CENSIMENTO EDIFICI LESIONATI

Segnalazioni Regione Lombardia



APPLICAZIONE DEL METODO NEL TERRITORIO COMUNALE DI VARZI



Suddivisione in unità lito-tecniche/1



Difficoltà di campionamento

n° 93 trincee esplorative (1-5 m)



Caratteristiche depositi superficiali

n° 36 sondaggi (5-15 m)



Spessore copertura alluvio-colluviale

n° 115 prove penetrometriche (4-12 m)



Profondità substrato

CPT

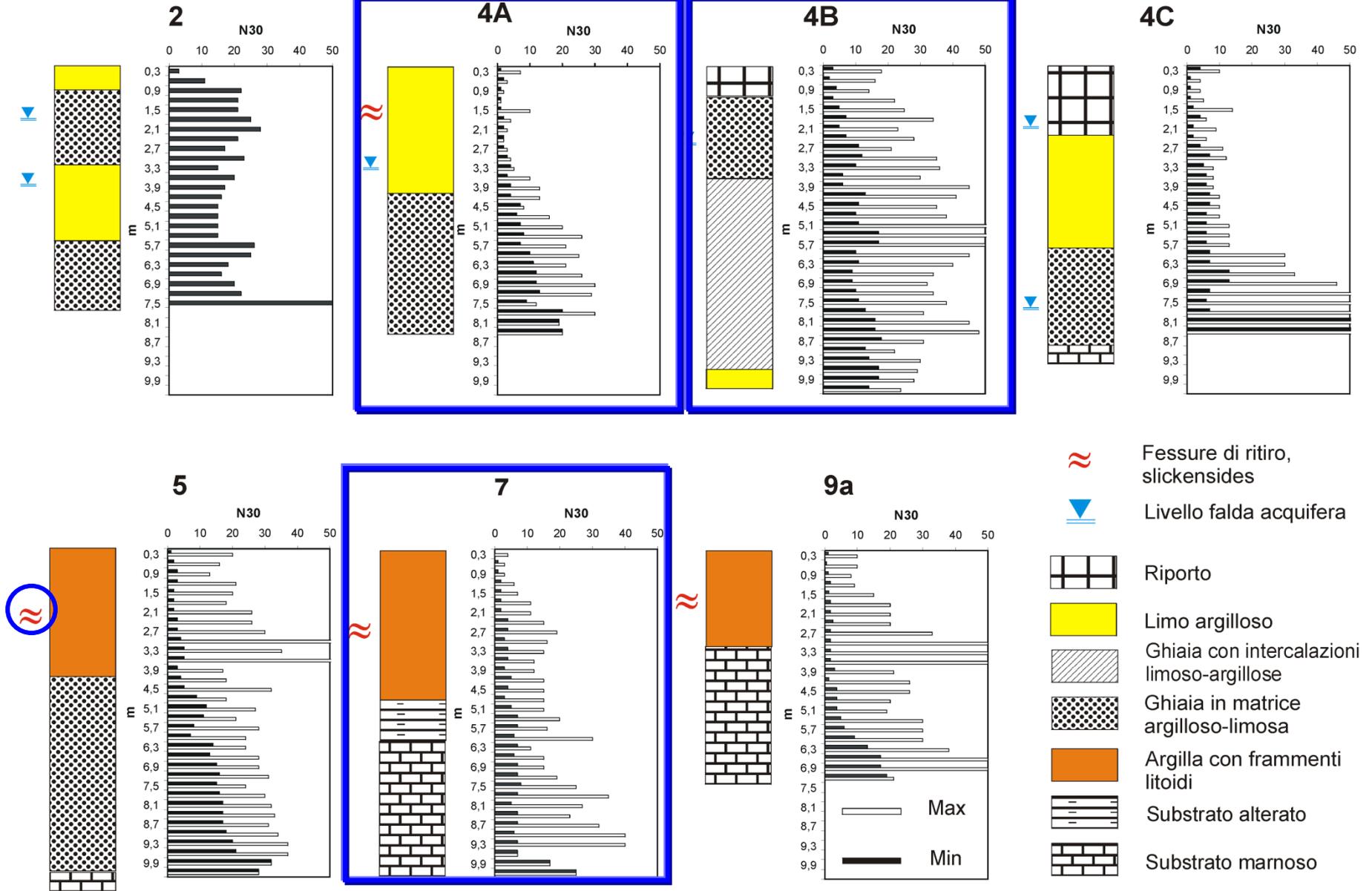
SPT in foro

DP

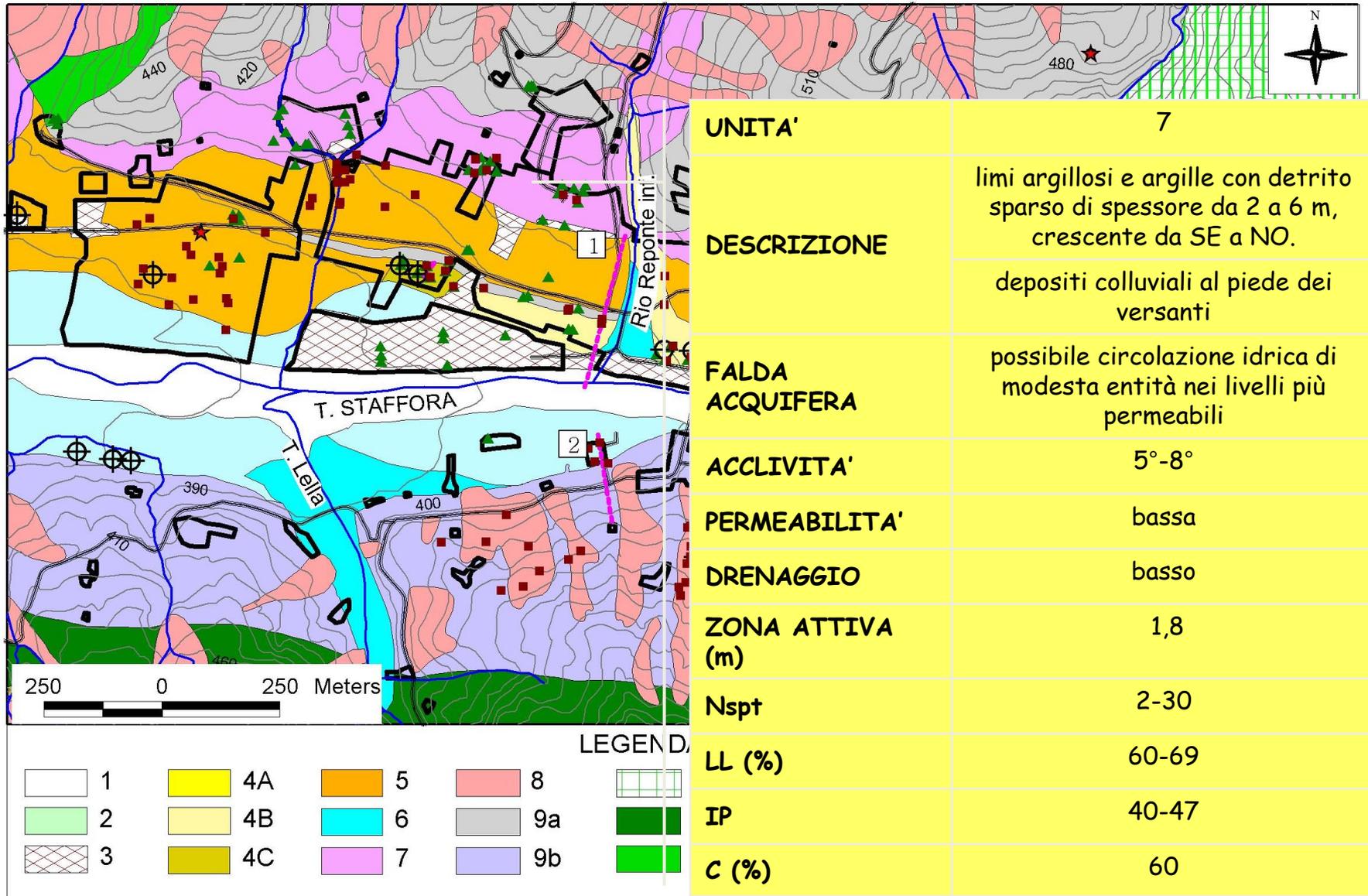
- DPHS Meardi-AGI
- medio-leggero DL30

$$N_{SPT} \approx 2N_{DP}$$

Suddivisione in unità lito-tecniche/2



Suddivisione in unità lito-tecniche/3

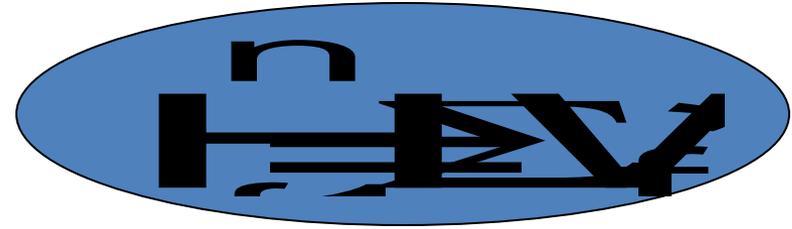


UNITA'	7
DESCRIZIONE	limi argillosi e argille con detrito sparso di spessore da 2 a 6 m, crescente da SE a NO. depositi colluviali al piede dei versanti
FALDA ACQUIFERA	possibile circolazione idrica di modesta entità nei livelli più permeabili
ACCLIVITA'	5°-8°
PERMEABILITA'	bassa
DRENAGGIO	basso
ZONA ATTIVA (m)	1,8
Nspt	2-30
LL (%)	60-69
IP	40-47
C (%)	60

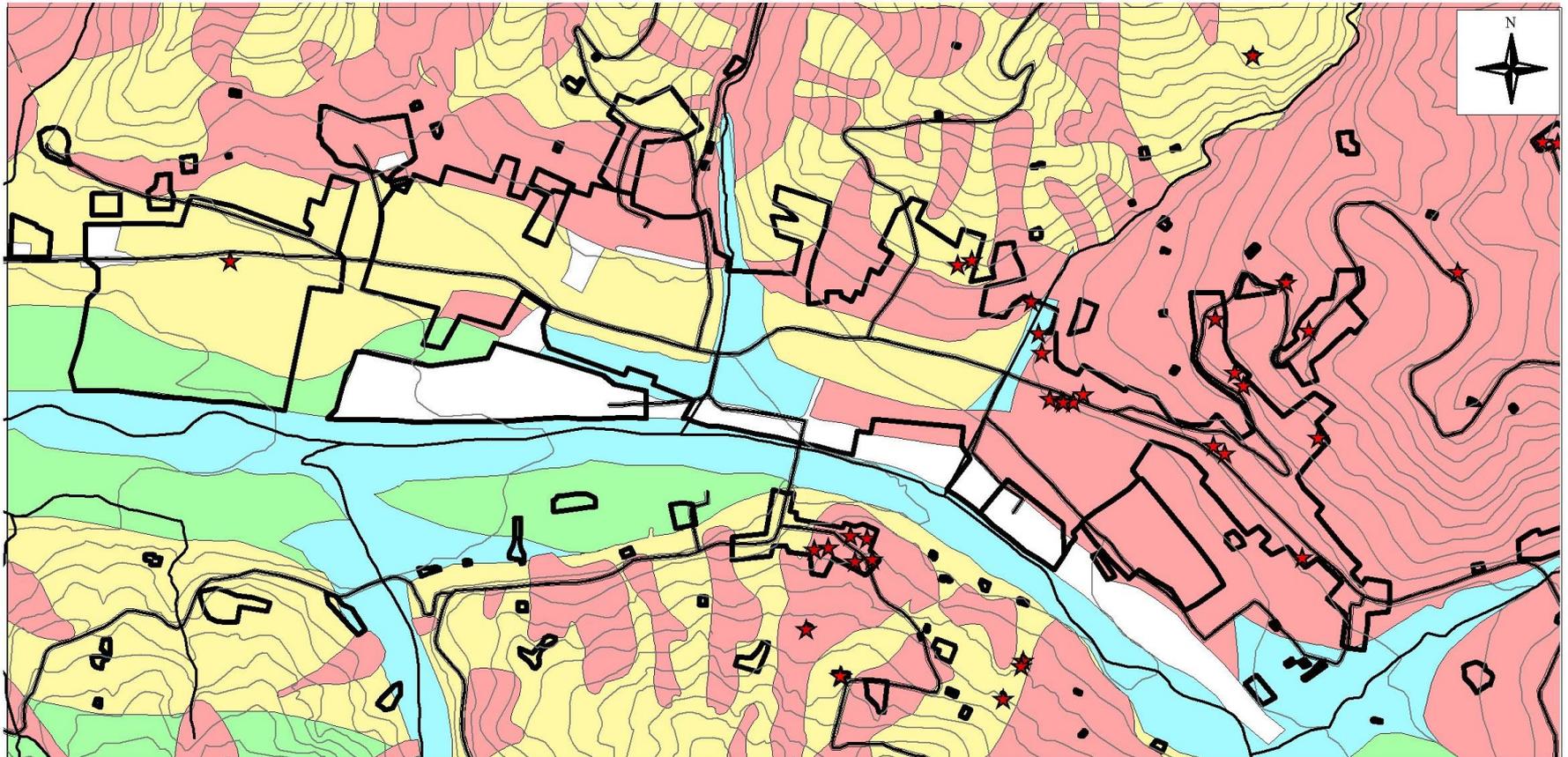
- LEGENDA**
- 1
 - 4A
 - 5
 - 8
 - 2
 - 4B
 - 6
 - 9a
 - 3
 - 4C
 - 7
 - 9b

Scelta e applicazione criteri

FATTORE E CLASSI		INDICE (X)																							
		1 2																							
LITOFACIES W = 2	ghiaia e sabbia	1																							
	ghiaia in matrice argilloso-limosa	1.5																							
	argilla e limo con inclusi lapidei	2																							
	argilla e limo	2																							
CONDIZIONI GEOMETRICHE W = 1,7	argilla o limo in intercalazioni	1																							
	argilla o limo continui	2																							
SPESSORE W = 1,5	<50 cm	1																							
	50-100 cm	1.5																							
	100-200 cm	2																							
	>200 cm	2																							
CARATTERISTICHE GEOTECHNICHE W = 1,4	VALORE AL BLU DI METILENE VB (Meisina, 2000)	< 2.5 g/100g	basso o nullo	1																					
		2.5-4.5 g/100g	medio	1.5																					
		4.5-9 g/100g	alto	2																					
		>9 g/100g	molto alto	2																					
	Chen, 1988	<table border="1"> <thead> <tr> <th>% < 2 μm</th> <th>LL (%)</th> <th>SPT</th> <th>SP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>>35</td> <td>>60</td> <td>>30</td> <td>molto alto</td> </tr> <tr> <td>60-95</td> <td>40-60</td> <td>20-30</td> <td>alto</td> </tr> <tr> <td>30-60</td> <td>30-40</td> <td>10-20</td> <td>medio</td> </tr> <tr> <td><30</td> <td><30</td> <td><30</td> <td>basso</td> </tr> </tbody> </table>	% < 2 μm	LL (%)	SPT	SP	>35	>60	>30	molto alto	60-95	40-60	20-30	alto	30-60	30-40	10-20	medio	<30	<30	<30	basso			1
		% < 2 μm	LL (%)	SPT	SP																				
		>35	>60	>30	molto alto																				
		60-95	40-60	20-30	alto																				
	30-60	30-40	10-20	medio																					
	<30	<30	<30	basso																					
SOGGIACENZA DELLA FALDA W = 1,3	d > 10 m			1																					
	4m < d ≤ 10 m			1.5																					
	2m < d ≤ 4 m			2																					
CONDIZIONI DI DRENAGGIO W = 1,2	d < 2 m variabile			1																					
	basso			1.5																					
	mediocre			2																					
ZONA ATTIVA W = 1,5	buono			1																					
	<0,5 m			1.5																					
	0,5 - 1 m			2																					
	1 - 2 m			2																					
	> 2 m			2																					



Valutazione della pericolosità



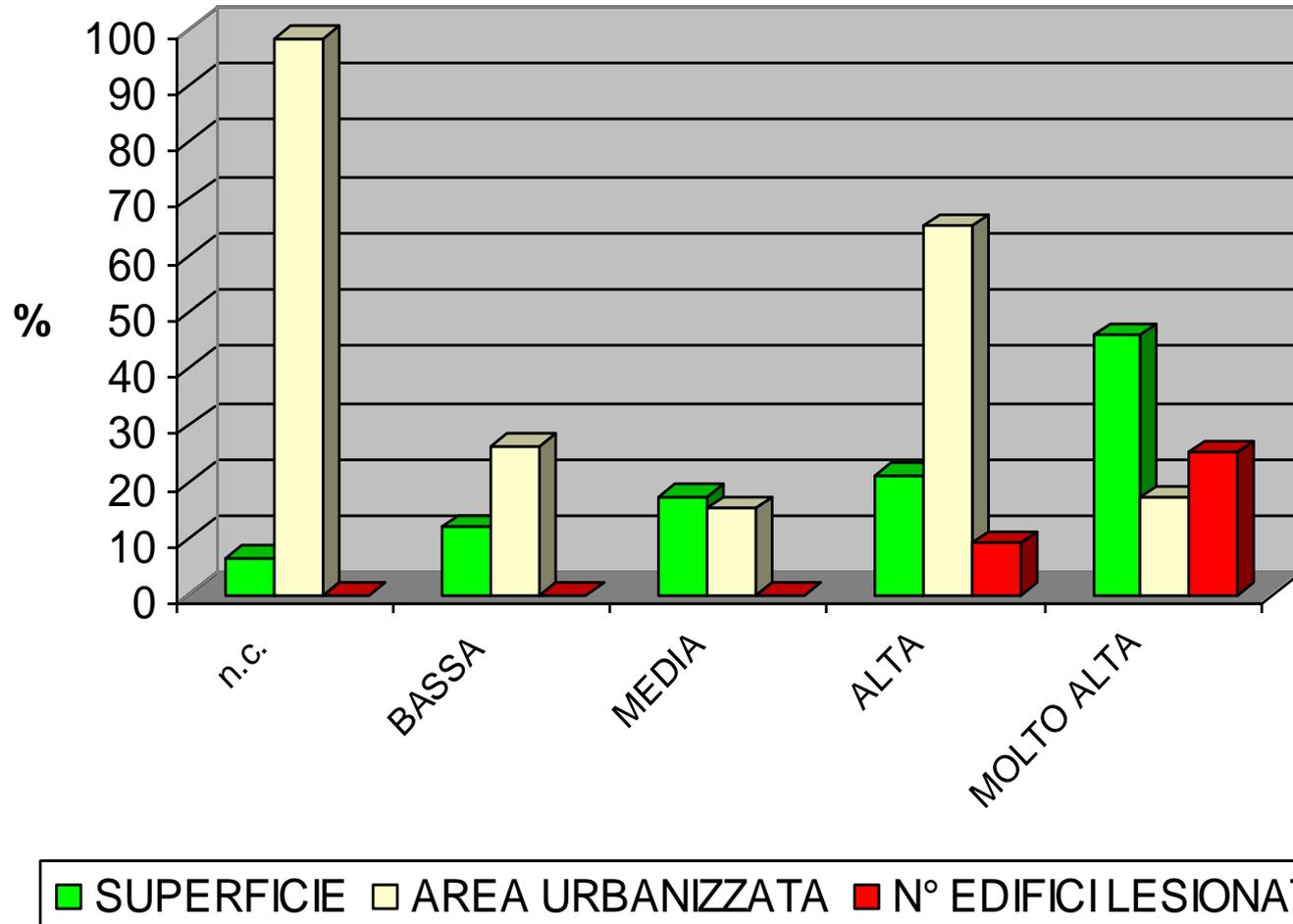
LEGENDA

CLASSI DI PERICOLOSITA'

- | | | | | | |
|-----------|-------------------|------------|---------------|--------|------------|
| ★ | edifici lesionati | light blue | bassa o nulla | yellow | alta |
| white box | non determinabile | green | media | pink | molto alta |

250 0 250 Meters

Validazione del metodo



STRATEGIE DI PREVENZIONE

METODI STRUTTURALI

CONTROLLO DELLE VARIAZIONI DEL CONTENUTO DI ACQUA

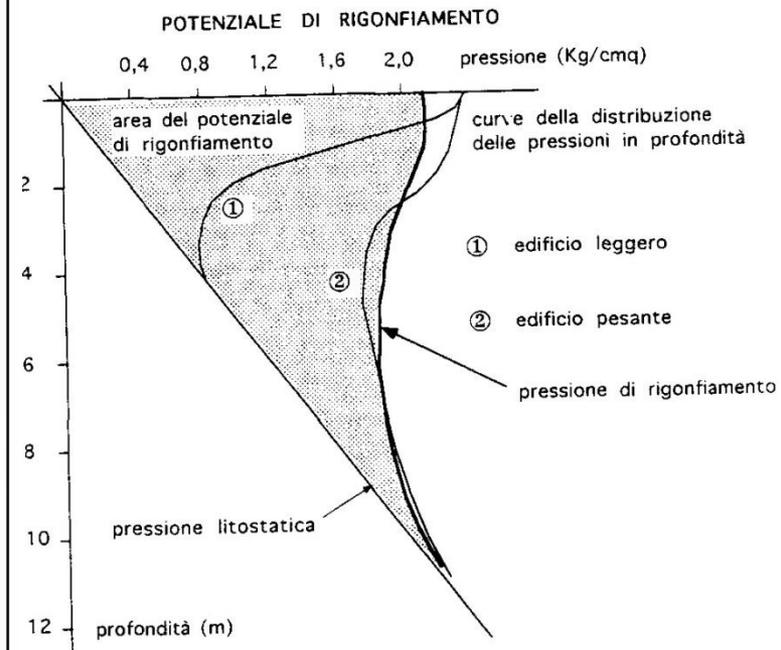
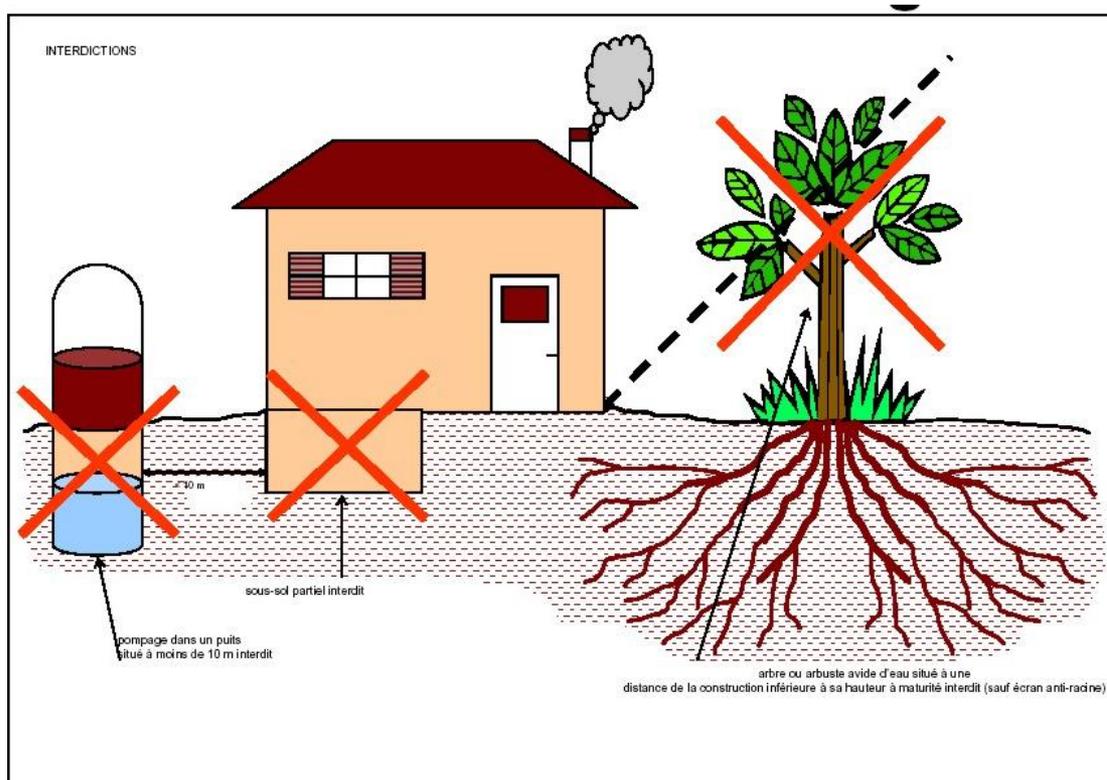


Plate-forme en déblais-remblais

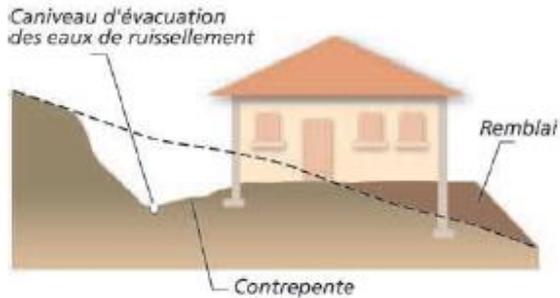
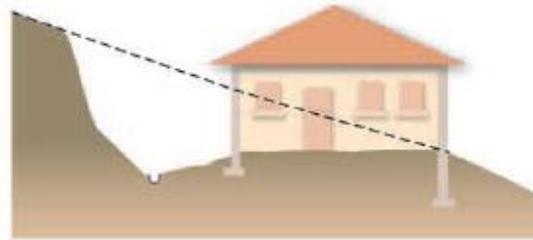


Plate-forme en déblais



Fondazioni sotto la
zona attiva
Evitare dissemmetrie
nella zona di
ancoraggio

Allontanamento degli alberi dalla costruzione
Creazione di barriere anti-radici

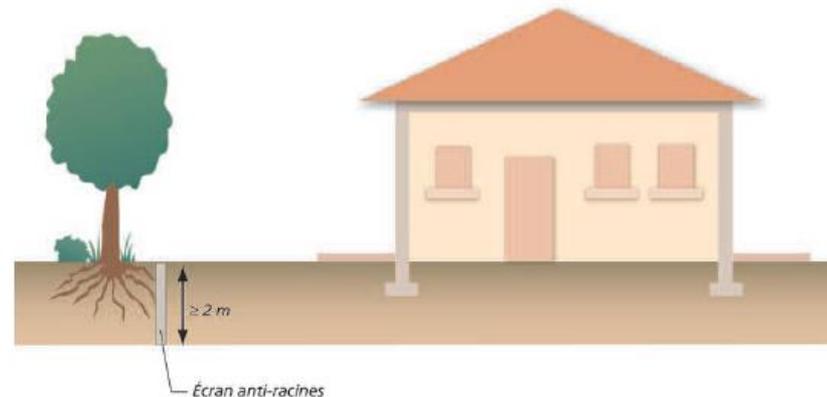
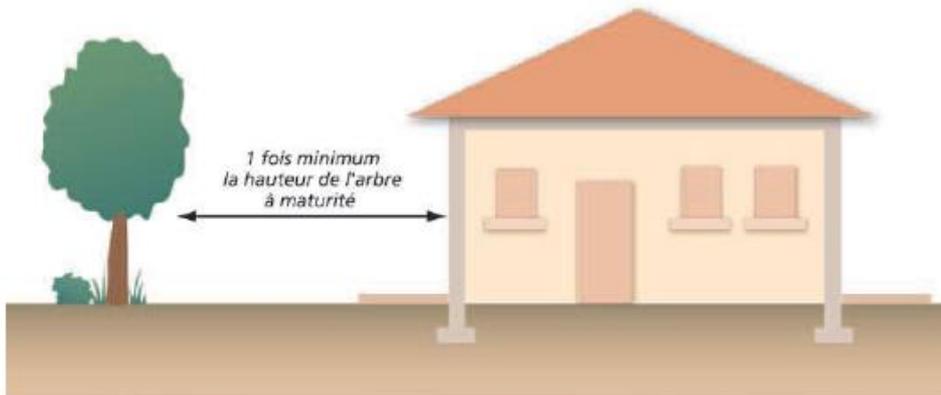




Figure 21 : Voile polyester



Figure 22 : écran béton classique



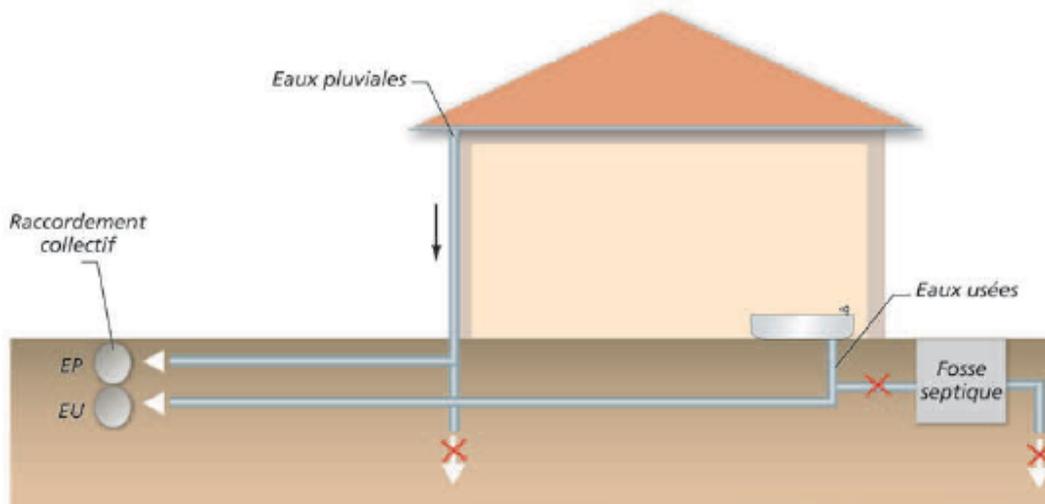
Figure 23 : écran métallique

*Tranchée de 30cm remplie
de gros béton*

(Source SOCABAT)



Sistema impermeabile che circonda l'edificio

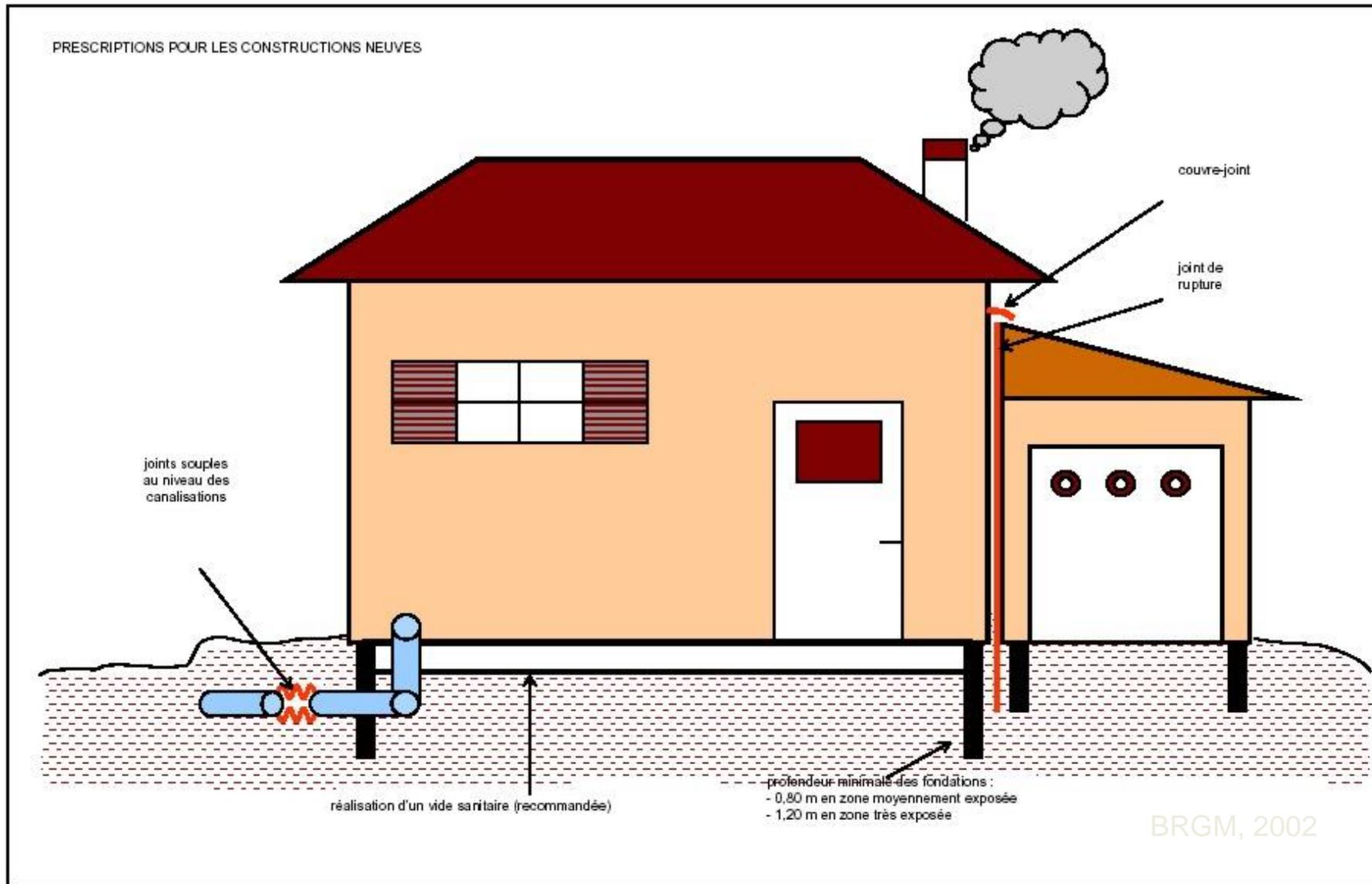


Allontanamento delle acque

STRATEGIE DI PREVENZIONE

METODI STRUTTURALI

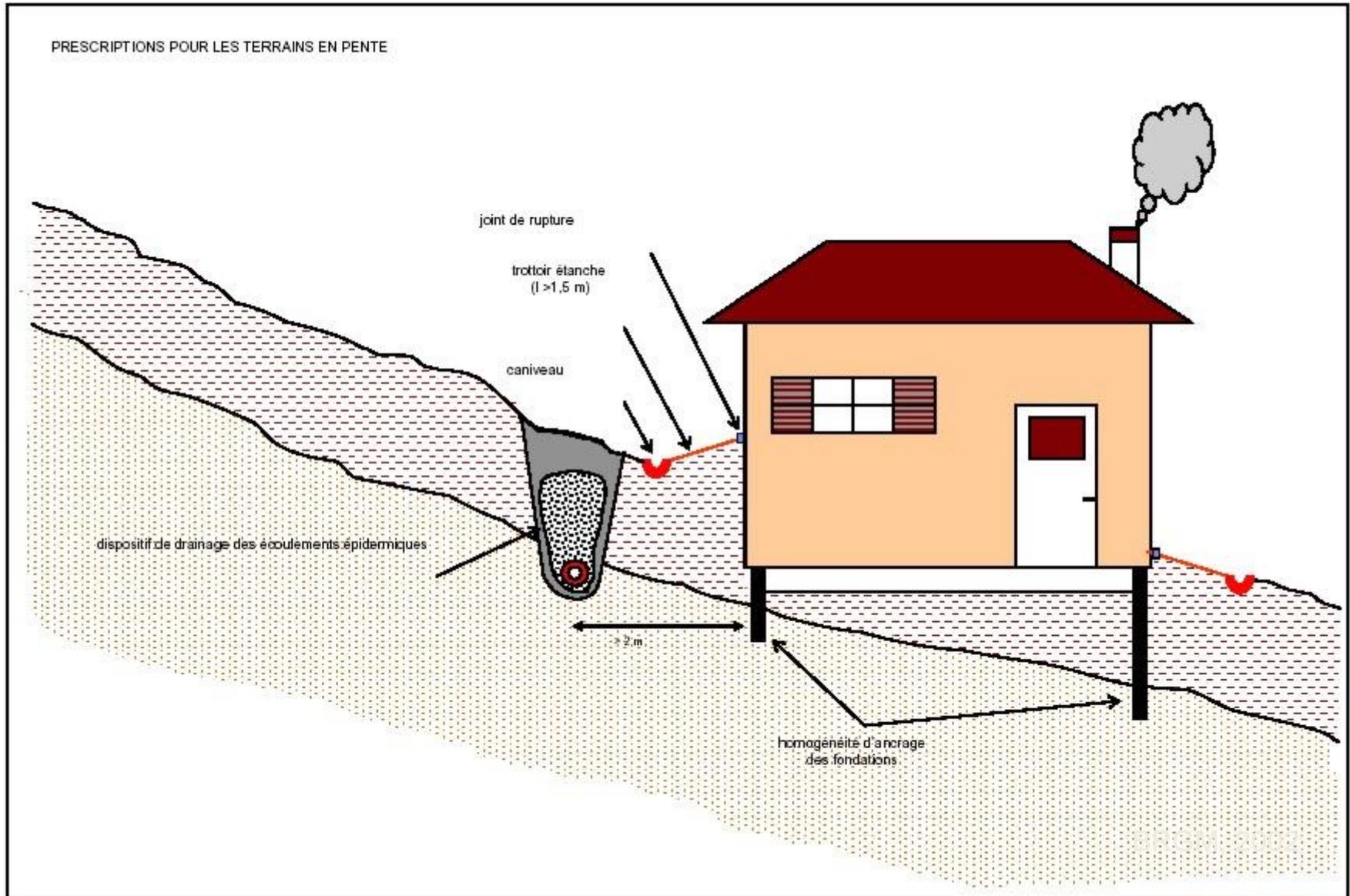
CONTROLLO DELLE VARIAZIONI DEL CONTENUTO DI ACQUA



STRATEGIE DI PREVENZIONE

METODI STRUTTURALI

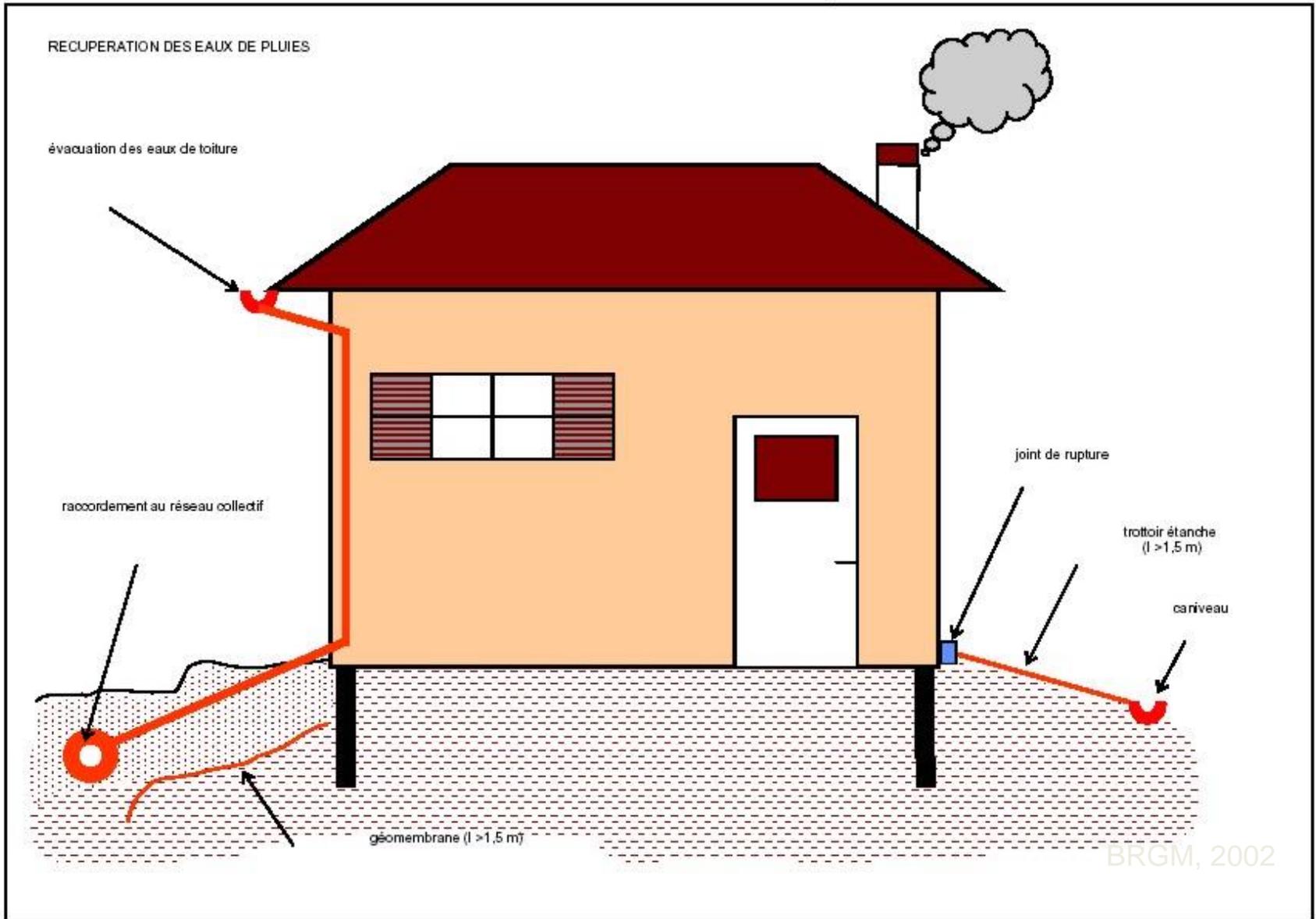
CONTROLLO DELLE VARIAZIONI DEL CONTENUTO DI ACQUA



STRATEGIE DI PREVENZIONE

METODI STRUTTURALI

CONTROLLO DELLE VARIAZIONI DEL CONTENUTO DI ACQUA



Bibliografia

- **AFNOR** (1995). *Essai de gonflement a l'oedometre*. norma francese omologata, XP P94-060-1.
- **AFNOR** (1998). *Mesure de la quantite et de l'activite de la fraction argileuse: determination de la valeur de bleu de methylene d'un sol par l'essai a la tache*. Norma francese omologata, NF P94-068.
- **Amer Ali Al-Rawas and Mattheus F. A. Goosen (eds.) (2007):** *Expansive soils. Recent advances in characterization and treatment*. Taylor & Francis Group, Balkema. Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences
- **Béchade A.-F., Fabre R., Mathon D.** (2015). *Végétation, argiles et constructions : suivi expérimental d'une maison sinistrée*. SEC 2015 International Symposium, 331-340.
- **Bonì R., Pilla G. and Meisina C.** (2016). Methodology for Detection and Interpretation of Ground Motion Areas with the A-DInSAR Time Series Analysis. *Remote Sens.* 2016, 8, 686; doi:10.3390/rs8080686.
- **Cameron D.** (2015). *Management of foundations on expansive clay in Australia*. SEC 2015 International Symposium, 15-36.
- **Driscoll R.** (1983) - *The influence of vegetation on swelling and shrinkage of clays soils in Britain*. *Géotechnique*, **33** (2), 93-106.
- **Fabre R., Denis A., Lataste J.F., Fernandes M.** (2015). *Analyse in situ des cycles de retrait-gonflement d'un sol argileux (Gironde)*. SEC 2015 International Symposium, 101-112.
- **Freeman T.J., Littlejohn G.S. & Driscoll R.M.C.** (1996) – *Has your house got cracks? A guide to subsidence and heave of buildings on clay*. Published for the Institution of Civil Engineers and the Building Research Establishment by Thomas Telford Services Ltd, London
- **Meisina, C.** (2000). Predicting swelling/shrinkage potential using the blue methylene method: some examples in italian clayey soils. *Proc.int.conf. on geotechnical & geological engineering GeoEng2000*, Melbourne, 19-24 november 2000.

- **Meisina, C., Chassagneux, D., Leroi, E., Mouroux, P.** (1998). Cartographie de l'alea retrait/gonflement des sols argileux. proposition de methodologie. 8th congress IAEG, Vancouver 21-25 sept., 6, 4097-4104.
- **Ministere De L'environnement** (1993) - *Sécheresse et construction. Guide de prévention.* La documentation française, Paris.
- **Mouroux P., Margom P. & Pinte J.C.** (1988)- *La construction économique sur sols gonflant"*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières - Manuels et méthodes n.14, Orleans.
- **Nelson J.D. & Miller D.G.** (1997). *Expansive soil: problems and practice in foundation and pavement engineering.* John Wiley & Sons.
- **Philipponat G.** (1991) - *Retrait - gonflement des argiles, proposition de méthodologie.* Rev. Franç. Géotech., **57**, 5-22.
- **Serratrice J.F. & Soyez B.** (1996) - *Les essais de gonflement.* Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, 204, 65-85.
- **Scarpelli G.** (1995) - *Comitato tecnico TC6 sui terreni espansivi, Nuova Delhi, Aprile 1993.* Rivista Italiana di Geotecnica, **2**, 137-142.
- **Seed M.B., Woodward R.J. & Lundgren R.** (1962) - *Prediction of swelling potential for compacted clays.* Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division ASCE, **88**, 107-131.
- **Vincent M., Plat E., Le Roy S.** (2007) Cartographie de l'alèa retrait-gonflement et plans de prévention des risques. Revue Française de Géotechnique, **120-121**, 188-200
- **Wang D., Sánchez M., Briaud J.L.** (2016). Behavior of railroads on shrink-swell soils. DOI: 10.1051/E-2016, E3S Web of Conferences e3sconf/20160920007.
- **Williams A.B., Donaldson G.W.** (1980) Developments relating to building on expansive soils in South Africa: 1973-1980. *Proc. of the 4th Int. Conf. on Exp. Soils*, Denver, **2**, 834-844.

- www.argiles.fr
- ARCGIG2 (2014). GUIDE N° 2 « PROTEGER SA MAISON DE LA SECHERESSE » - CONSEILS AUX CONSTRUCTEURS DE MAISONS NEUVES