

**Fare i conti
con l'ambiente**
Rifiuti acqua energia
Ravenna
8-9-10
maggio 2019
www.labelab.it/ravenna2019/

12^a edizione

- Manifestazione open content
- Evento sempre attivo
- Grande valore formativo
- Partecipazione dal basso

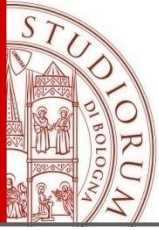


Conferenza 2: Subsidenza e Gestione del Territorio

Ravenna, 8 maggio 2019

Caratteristiche geodinamiche e
geologico-tecniche del fenomeno
della subsidenza

*Matteo Berti
Università di Bologna*



Programma

1. Il problema della subsidenza

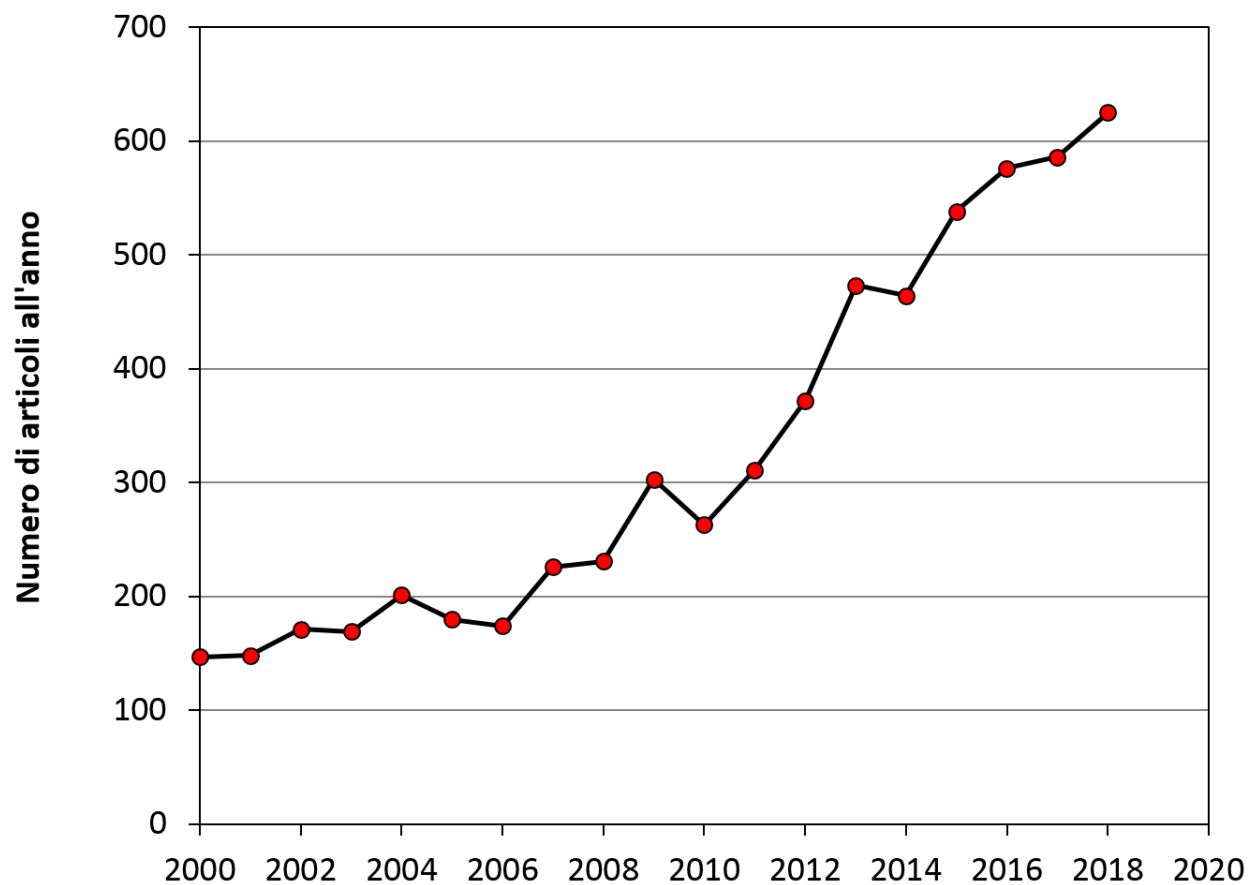
2. Teoria e previsione dei cedimenti

- pompaggio acquifero libero
- pompaggio in acquifero confinato

3. Il caso di Ravenna

Il problema della subsidenza

Studi scientifici sulla subsidenza da estrazioni di fluidi (fonte ScienceDirect)



Il problema della subsidenza

- Aumento del rischio di inondazione e ingressione marina



*Jakarta (Indonesia). 2.5 m negli ultimi 10 anni.
In media 25 cm/anno contro i 3 mm/anno di
innalzamento del mare per cambiamento del clima*

Il problema della subsidenza

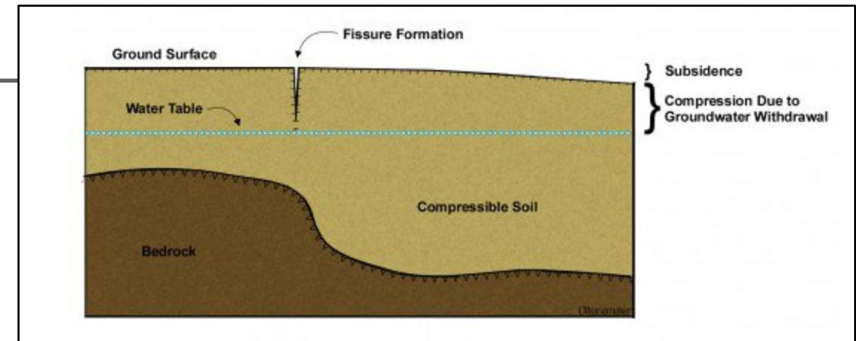
- Aumento del rischio di inondazione e ingressione marina
- Danni alle strutture e alle infrastrutture



Città del Messico. Attualmente circa 20 cm/anno, massima subsidenza negli anni '50 di 48 cm/anno

Il problema della subsidenza

- Aumento del rischio di inondazione e ingressione marina
- Danni alle strutture e alle infrastrutture
- Fratture, tension cracks, sinkholes



Arizona (USA). Abbassamento della falda di oltre 30 m per irrigazione nelle zone desertiche

Il problema della subsidenza

- Aumento del rischio di inondazione e ingressione marina
- Danni alle strutture e alle infrastrutture
- Fratture, tension cracks, sinkholes



Winter Park, Florida (USA). Sinkhole avvenuto l' 8 maggio 1981 a causa del pompaggio nel sottostante acquifero carbonatico

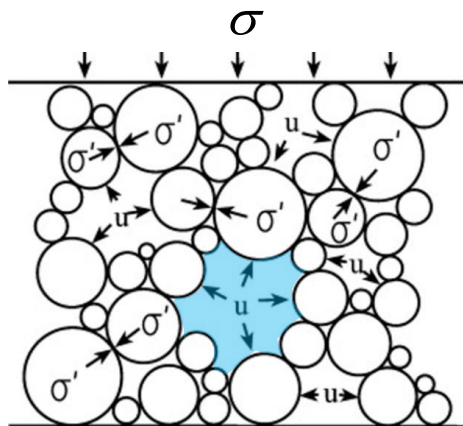
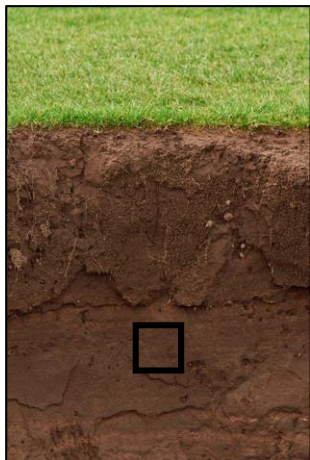
Il problema della subsidenza

- Aumento del rischio di inondazione e ingressione marina
- Danni alle strutture e alle infrastrutture
- Fratture, tension cracks, sinkholes
- «Sollevamento» di strutture



Galveston Bay, Texas (USA). Dagli anni '40 agli anni '70 circa 2.1 m di subsidenza (7 cm/anno)

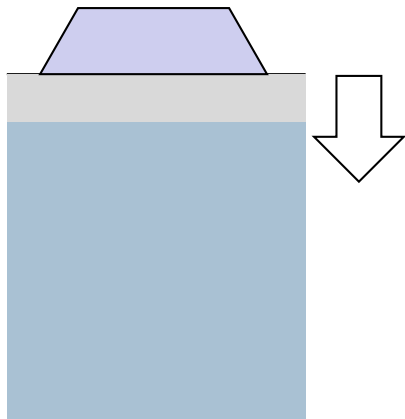
Concetti di base 1



Sforzo efficace Sforzo totale Pressione dei pori

$$\sigma' = \sigma - u$$

Un terreno consolida o rigonfia in risposta ad una variazione di sforzo efficace



Per avere abbassamento del terreno:

$$\sigma' = (\sigma + \Delta\sigma) - u$$

Aumento dello sforzo totale

$$\sigma' = \sigma - (u - \Delta u)$$

Diminuzione della pressione dei pori

Concetti di base 2



In terreni recenti (NC) esiste una relazione unica tra sforzo efficace e indice dei vuoti

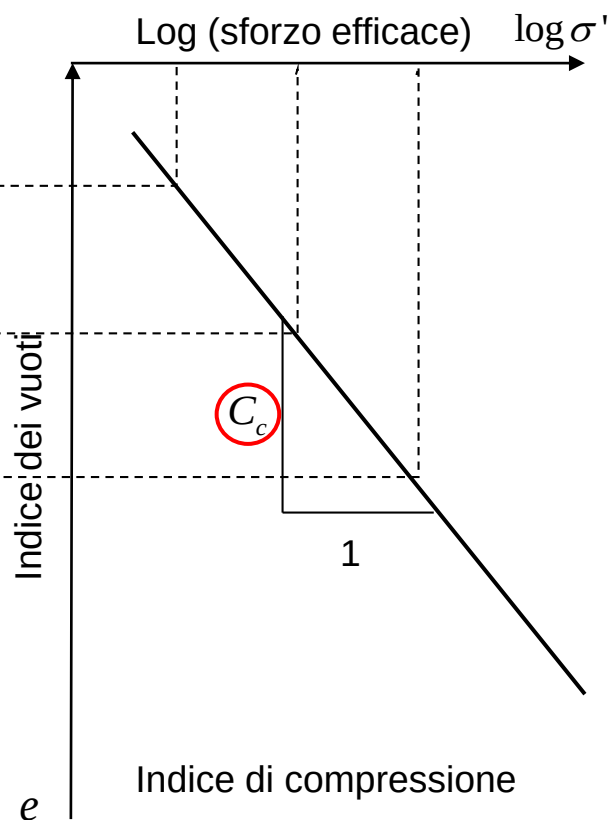


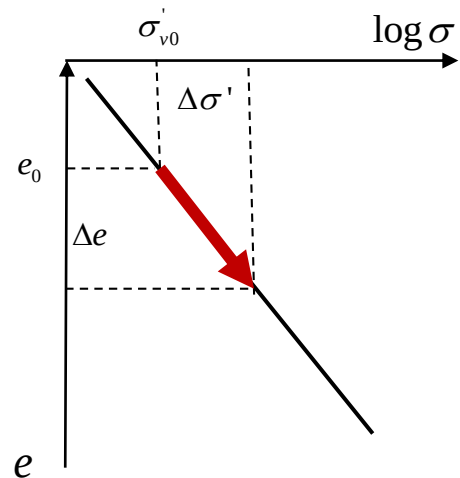
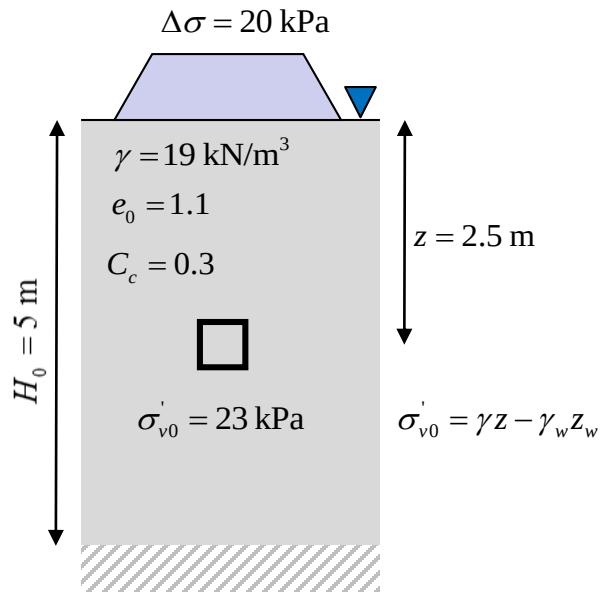
TABLE 8-3 Typical Values of the Compression Index C_c

Soil	C_c
Normally consolidated medium sensitive clays	0.2 to 0.5
Chicago silty clay (CL)	0.15 to 0.3
Boston blue clay (CL)	0.3 to 0.5
Vicksburg buckshot clay (CH)	0.5 to 0.6
Swedish medium sensitive clays (CL-CH)	1 to 3
Canadian Leda clays (CL-CH)	1 to 4
Mexico City clay (MH)	7 to 10
Organic clays (OH)	4 and up
Peats (Pt)	10 to 15
Organic silt and clayey silts (ML-MH)	1.5 to 4.0
San Francisco Bay Mud (CL)	0.4 to 1.2
San Francisco Old Bay clays (CH)	0.7 to 0.9
Bangkok clay (CH)	0.4

Holtz & Kovacs (1981)

Un semplice esempio

Cedimento causato da un carico di 20 kPa su uno strato di terreno argilloso spesso 5 m



Equazione della consolidazione 1D

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'}{\sigma'_{v0}}$$

$$\Delta H = \frac{5}{1+1.1} 0.3 \log \frac{23+20}{23} = 0.19 \text{ m}$$

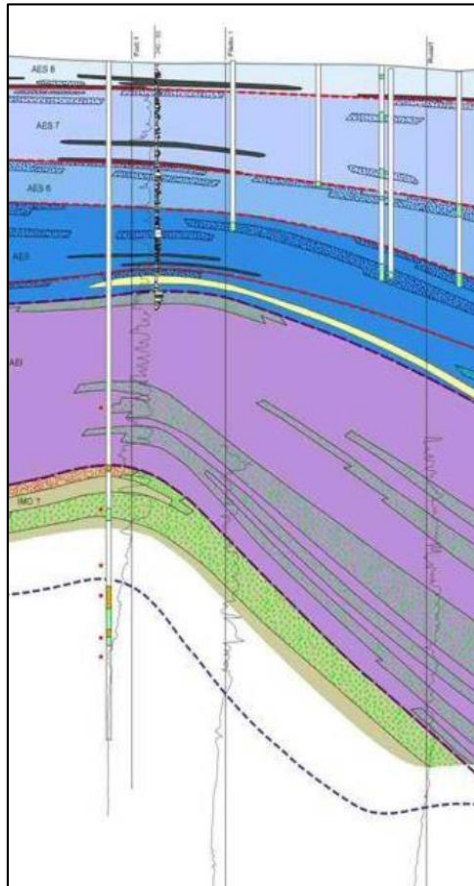
Lo stesso cedimento può essere indotto da un abbassamento della falda di 2 m

$$\Delta\sigma' = \Delta u = \gamma_w \Delta z_w$$

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma'_{v0} + \gamma_w \Delta z_w}{\sigma'_{v0}}$$

Uno sguardo all'equazione della consolidazione

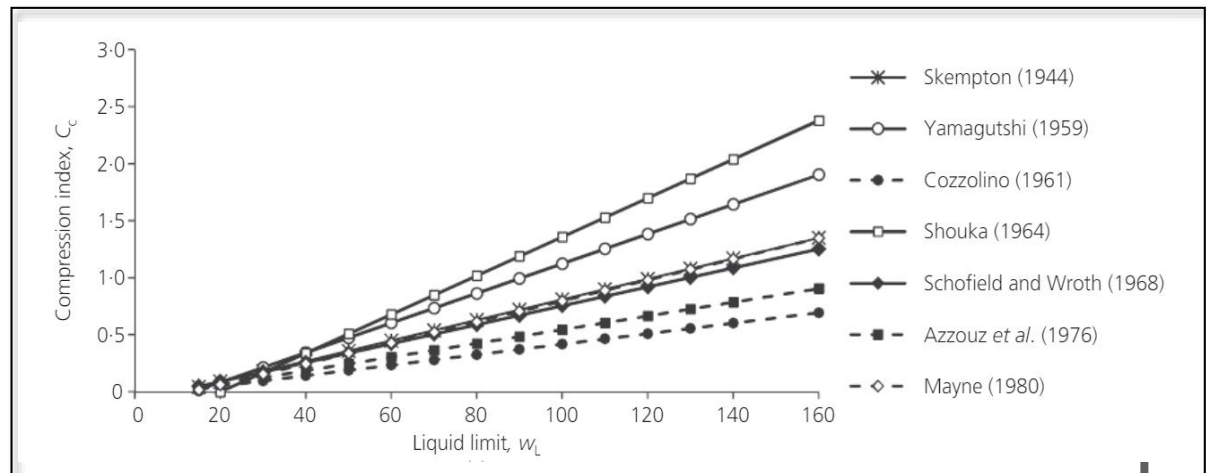
Spessore dei terreni compressibili



$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} C_c \log \left(1 + \frac{\gamma_w \Delta z_w}{\sigma'_{v0}} \right)$$

Compressibilità del terreno

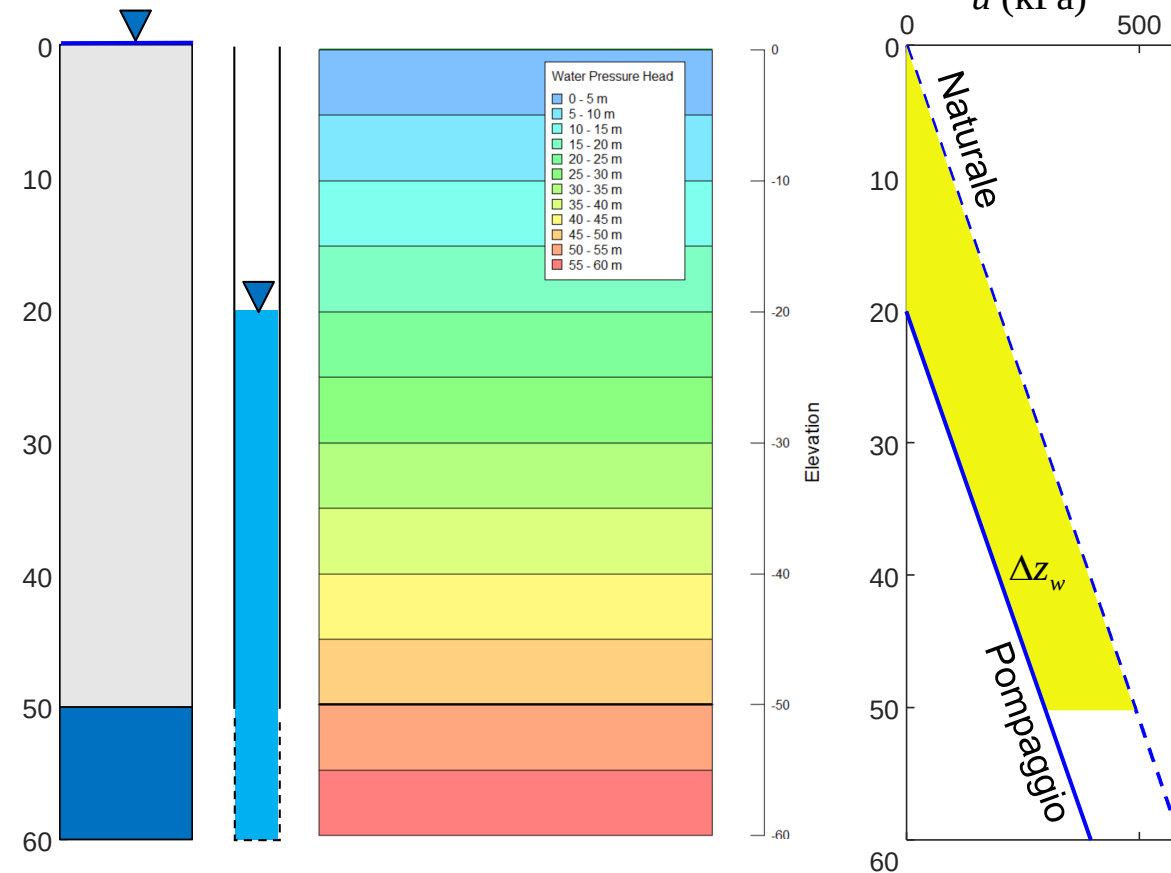
Abbassamento della falda



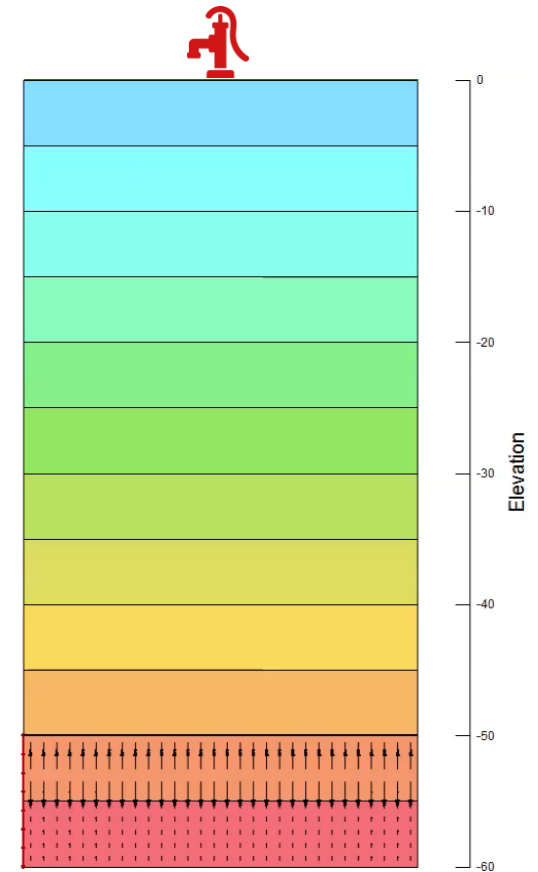
Pompaggio in acquifero confinato

	Acquitardo (limi e argille)
	Acquifero (sabbie e ghiaie)

Situazione naturale



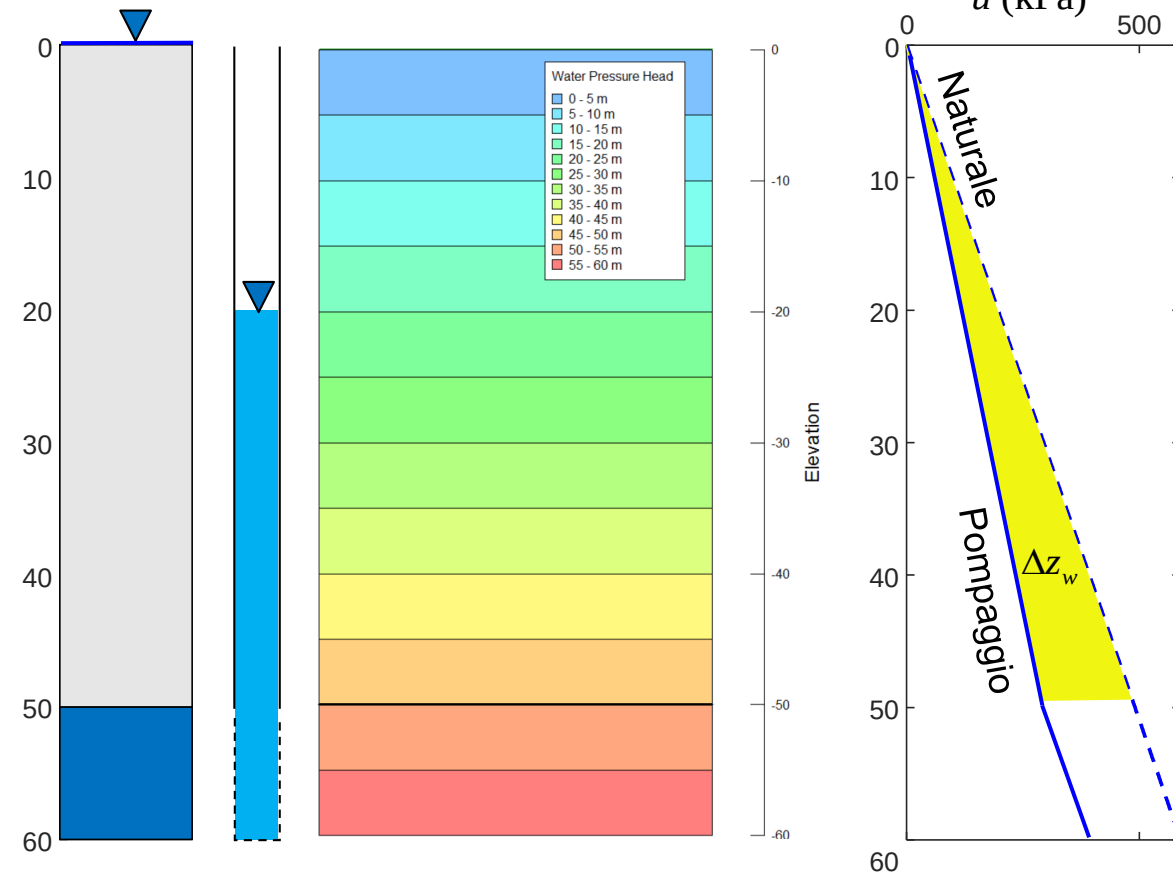
Pompaggio senza ricarica



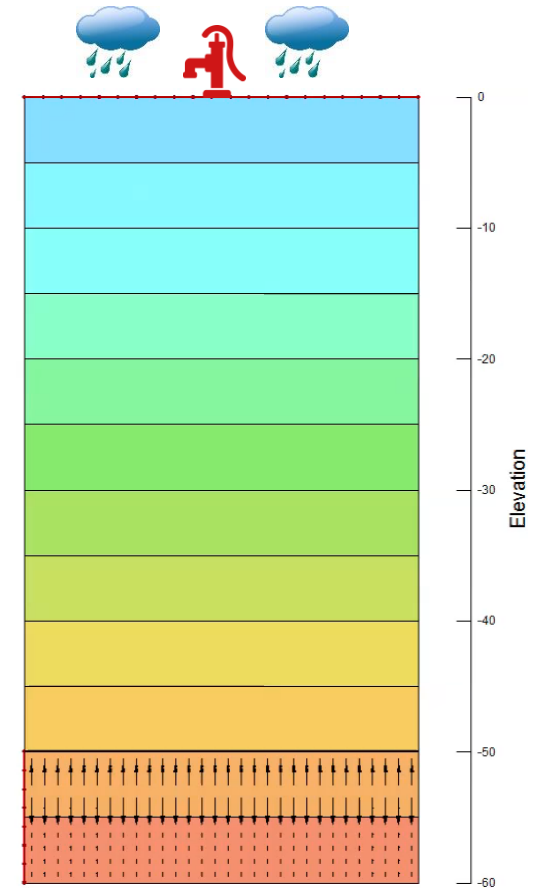
Pompaggio in acquifero confinato

	Acquitardo (limi e argille)
	Acquifero (sabbie e ghiaie)

Situazione naturale



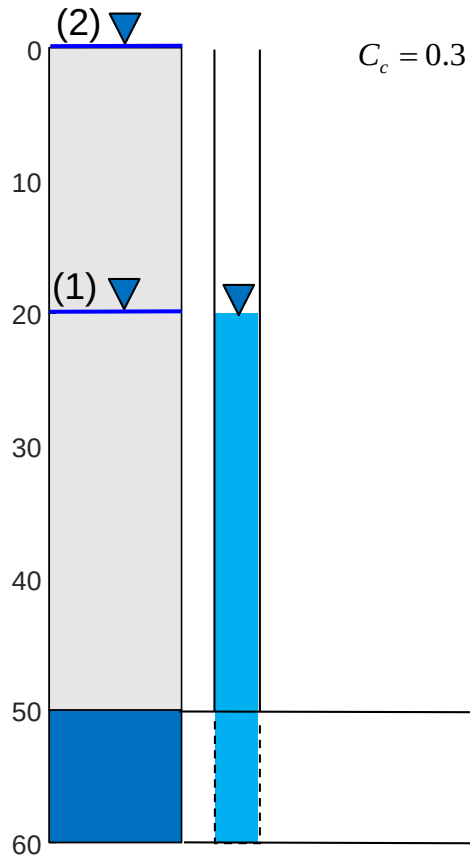
Pompaggio con ricarica



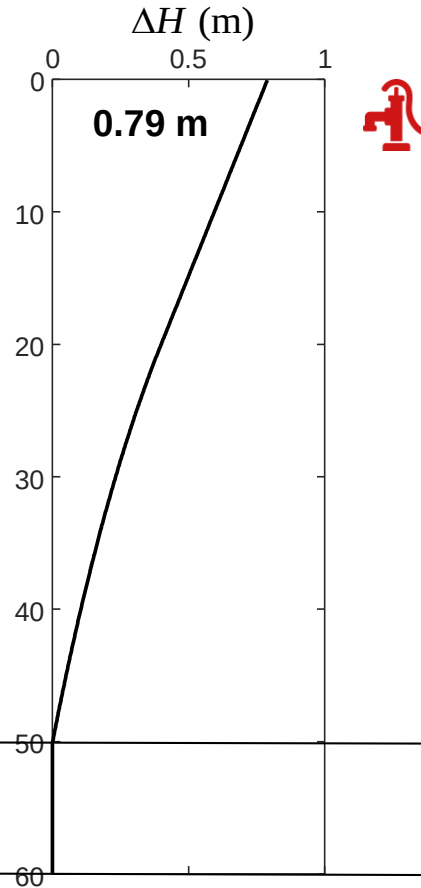
Subsidenza indotta

	Acquitardo (limi e argille)
	Acquifero (sabbie e ghiaie)

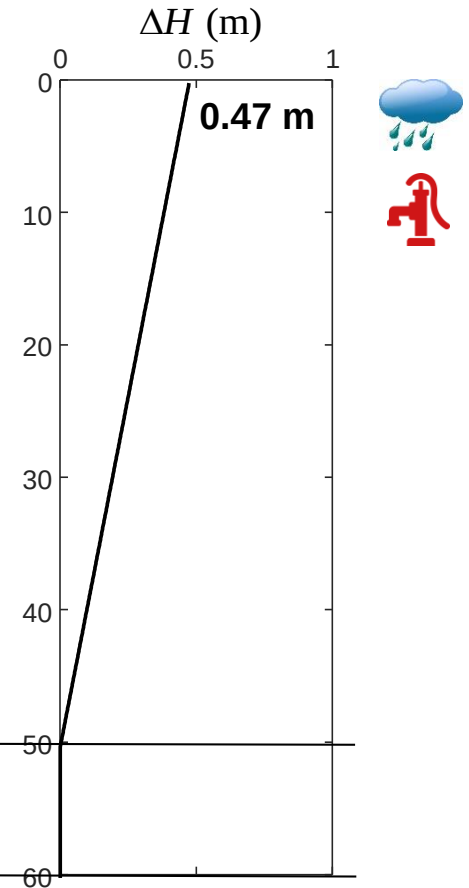
$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} C_c \log \left(1 + \frac{\gamma_w \Delta z_w}{\sigma_{v0}} \right)$$

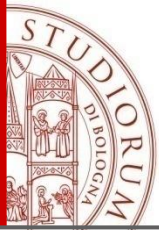


1) Pompaggio senza ricarica



2) Pompaggio con ricarica





Subsidenza indotta da emungimento in acquifero confinato

Facciamo il punto:

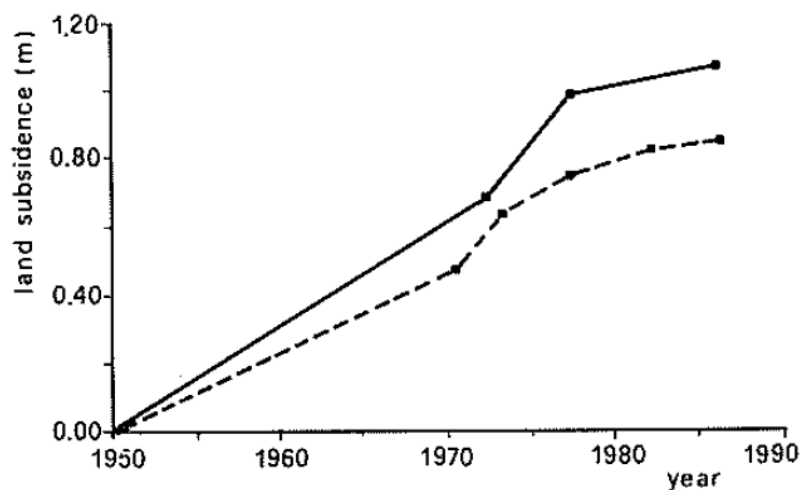
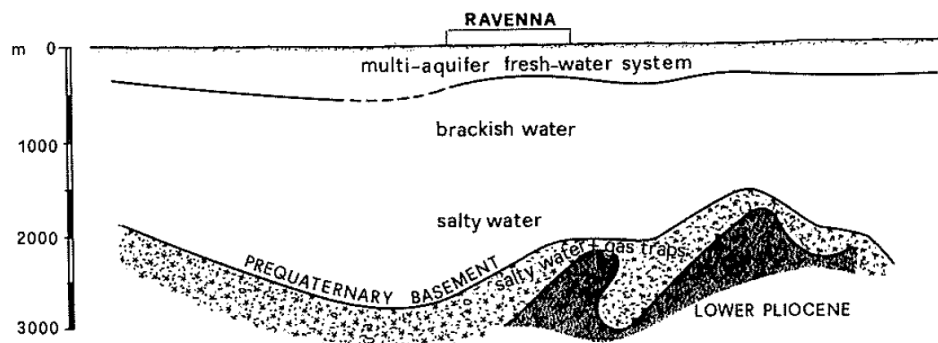
- 1) In caso di emungimento profondo, è importante considerare l'interazione con la ricarica superficiale
- 2) Il parametro più importante è l'entità dell'emungimento

$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} C_c \log \left(1 + \frac{\gamma_w \Delta z_w}{\sigma'_{v0}} \right)$$

E' davvero possibile calcolare (e prevedere) la subsidenza con un modello così semplice?

Mathematical Simulation of the Subsidence of Ravenna

GIUSEPPE GAMBOLATI,¹ GIUSEPPE RICCERI,² WERTER BERTONI,³ GIOVANNI BRIGHENTI,⁴
AND ENZO VUILLERMIN⁵

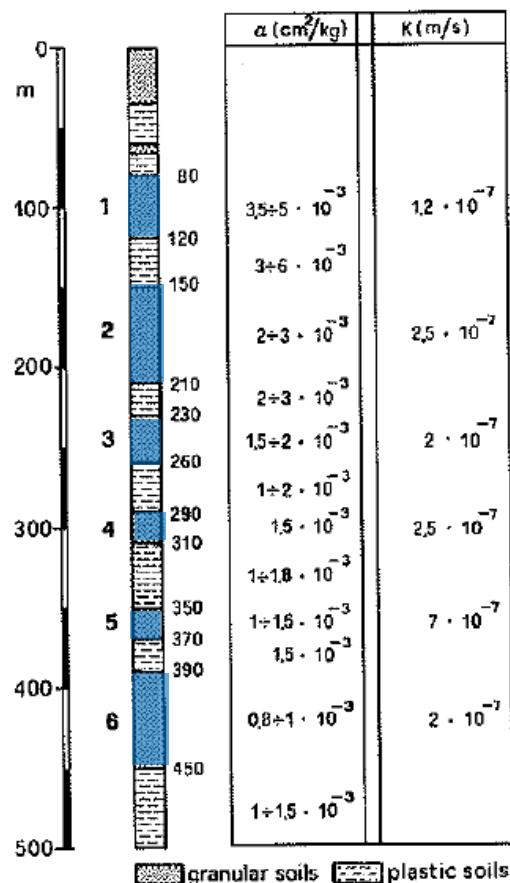


- Depositi quaternari NC fino a 2000 m
- I primi 350-450 m sono sede di un acquifero multistrato di acqua dolce
- Estrazione massiccia di acqua dagli anni '50
- Problema della subsidenza diventa critico dalla metà degli anni '70
- Subsidenza dell'ordine dei 120 cm alla fine degli anni '70
- *Presenza contemporanea di subsidenza per estrazione di acqua e di gas*

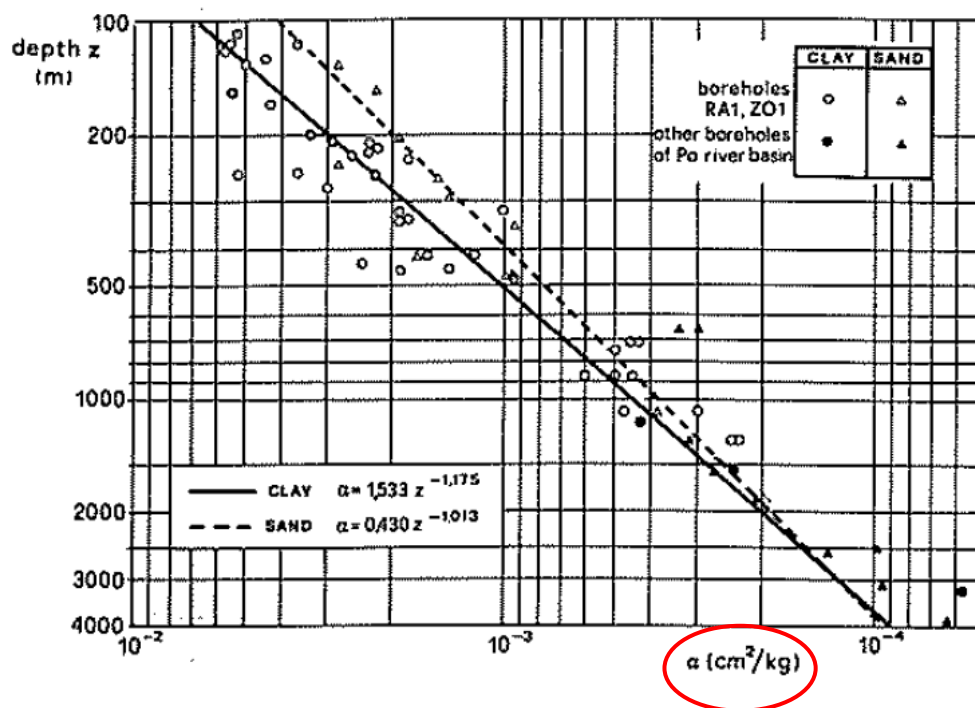
Mathematical Simulation of the Subsidence of Ravenna

GIUSEPPE GAMBOLATI,¹ GIUSEPPE RICCI,² WERTER BERTONI,³ GIOVANNI BRIGHENTI,⁴
AND ENZO VUILLERMIN⁵

Acquifero multistrato



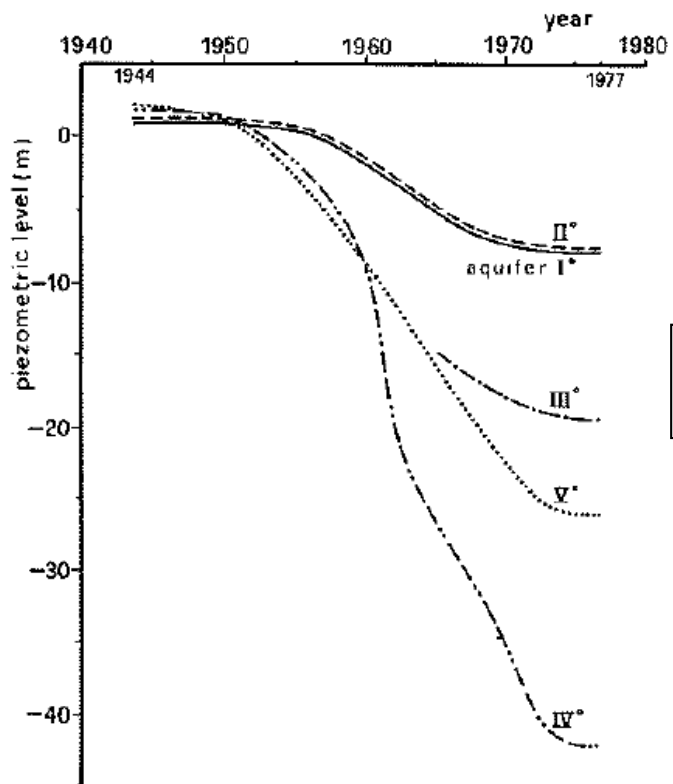
Le prove di laboratorio eseguite nel sondaggio RA1 mostra valori relativamente simili di compressibilità per acquiferi e acquitardi..



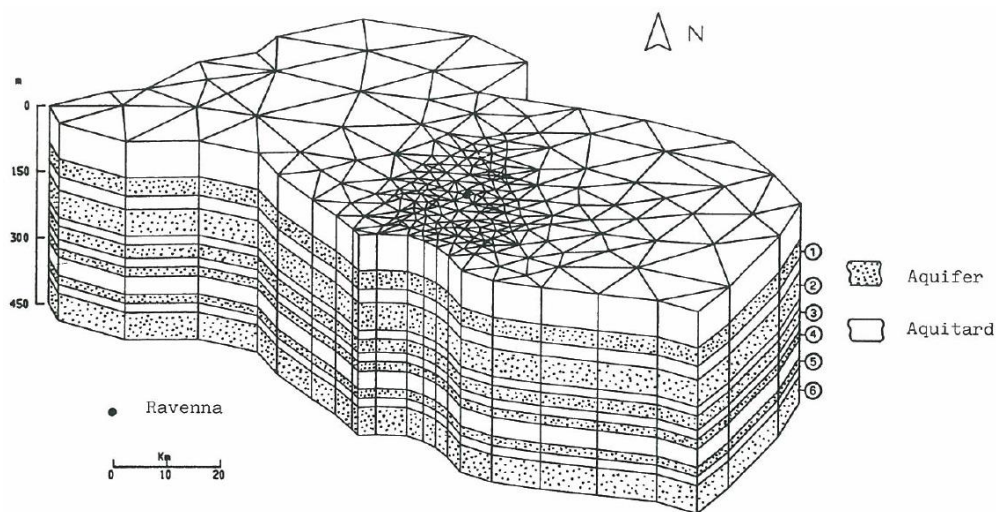
Mathematical Simulation of the Subsidence of Ravenna

GIUSEPPE GAMBOLATI,¹ GIUSEPPE RICCI,² WERTER BERTONI,³ GIOVANNI BRIGHENTI,⁴
AND ENZO VUILLERMIN⁵

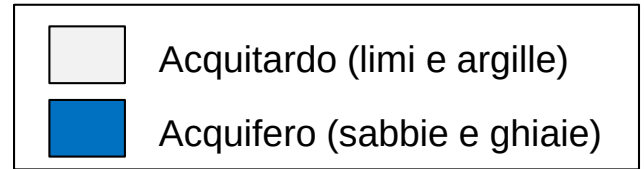
Abbassamento della falda



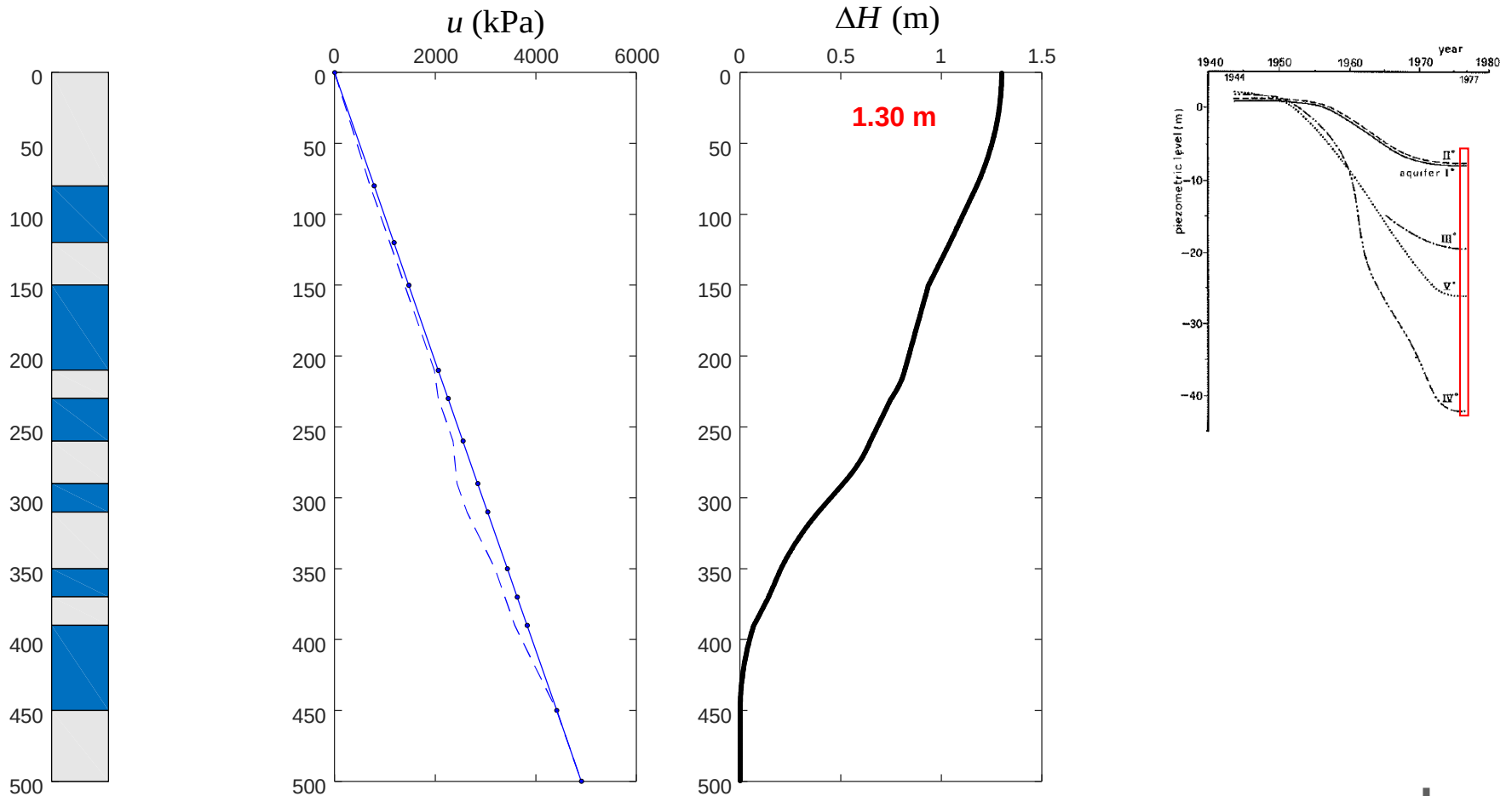
Modello numerico (complesso)

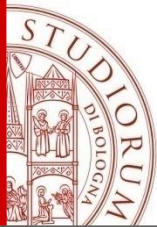


Il caso di Ravenna



Calcolo della subsidenza con l'equazione della consolidazione 1D

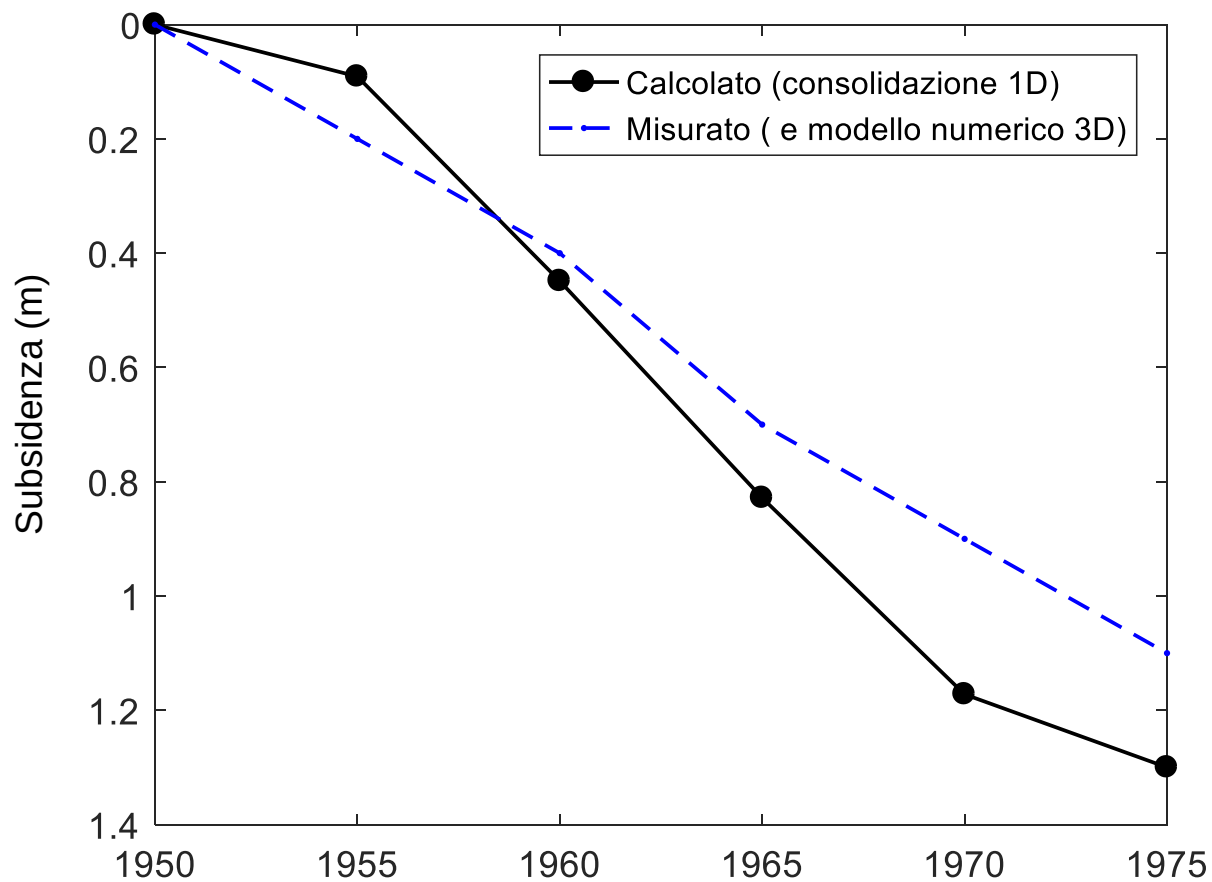


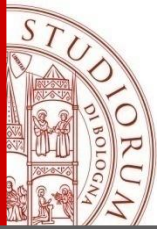


Il caso di Ravenna

- Acquitardo (limi e argille)
- Acquifero (sabbie e ghiaie)

Calcolo della subsidenza con l'equazione della consolidazione 1D



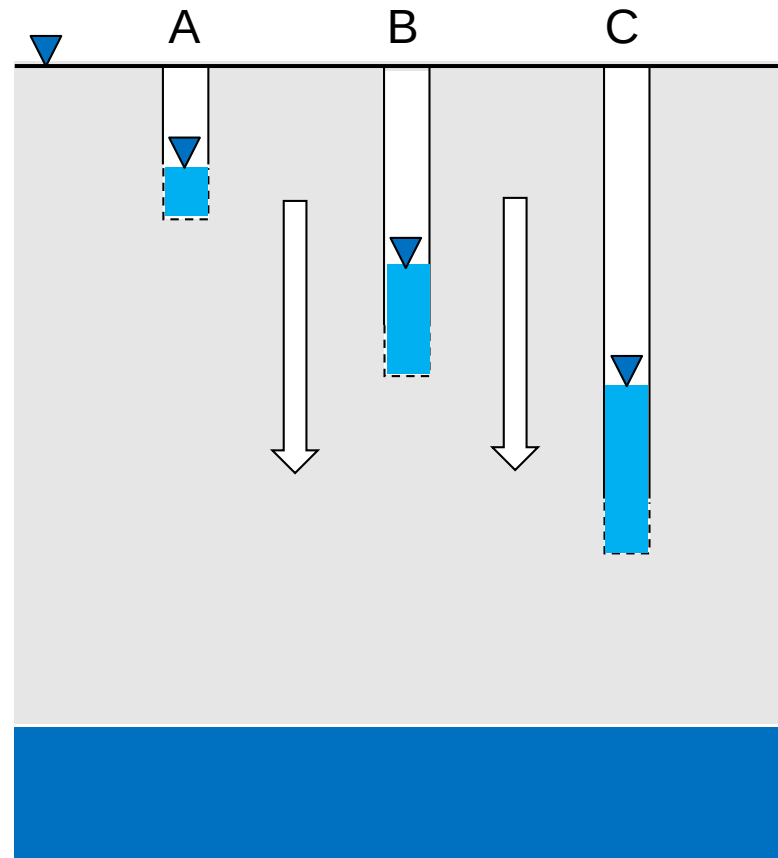
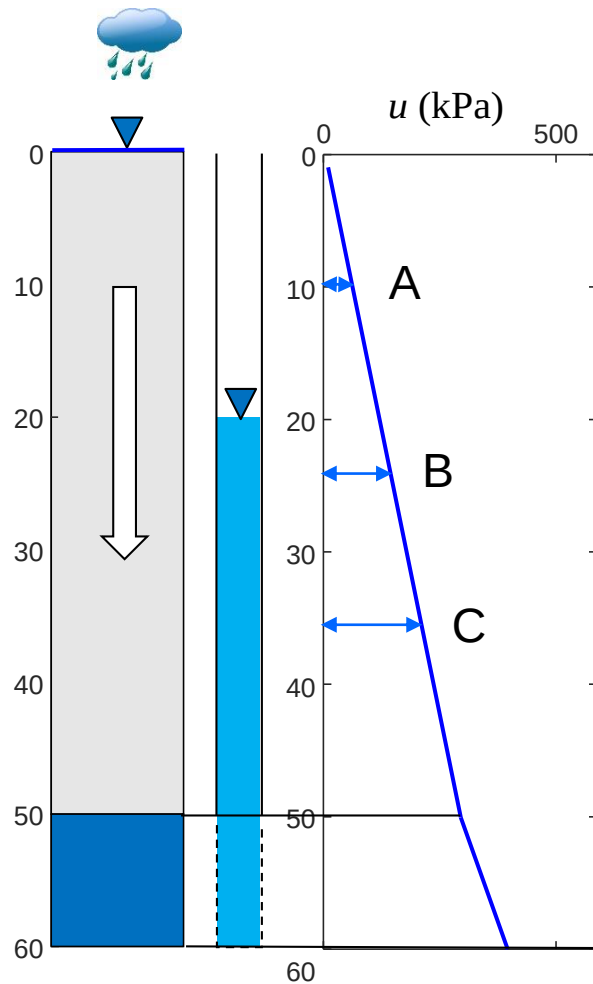


Conclusioni

1. Per quanto complesso, il fenomeno della subsidenza è concettualmente semplice e può essere calcolato utilizzando modelli fisicamente basati
2. L'equazione della consolidazione 1D (opportunamente calibrata) permette di stimare con sufficiente accuratezza l'entità della subsidenza
3. Le maggiori incertezze riguardano le condizioni idrogeologiche e le caratteristiche meccaniche dei materiali

Attenzione alle «false falde confinate»

	Acquitardo (limi e argille)
	Acquifero (sabbie e ghiaie)



Concetti di base



In terreni recenti (NC) esiste una relazione unica tra sforzo efficace e indice dei vuoti

