



# *UN APPROCCIO MULTISTRATO PER L'ANALISI DEL PROCESSO DI FILTRAZIONE NELLE ARGINATURE FLUVIALI IN TERRA*

***B. Bonaccorsi<sup>1</sup>, T. Moramarco<sup>1</sup>, S. Barbetta<sup>1</sup>***

*1: Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica di Perugia, CNR-IRPI, Perugia, Italia*

bianca.bonaccorsi@irpi.cnr.it, t.moramarco@irpi.cnr.it, silvia.barbetta@irpi.cnr.it



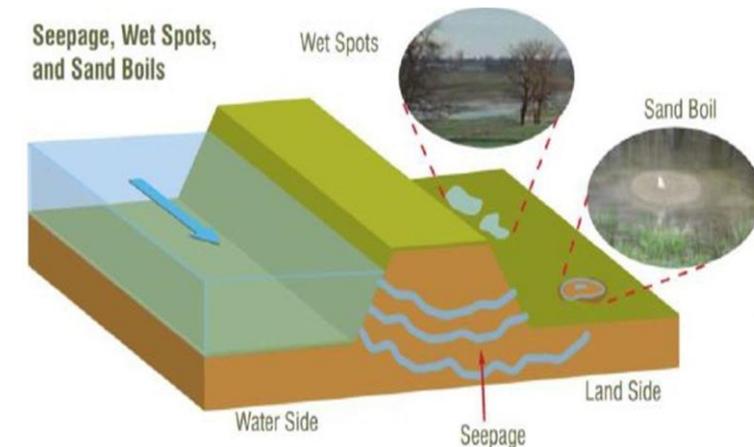
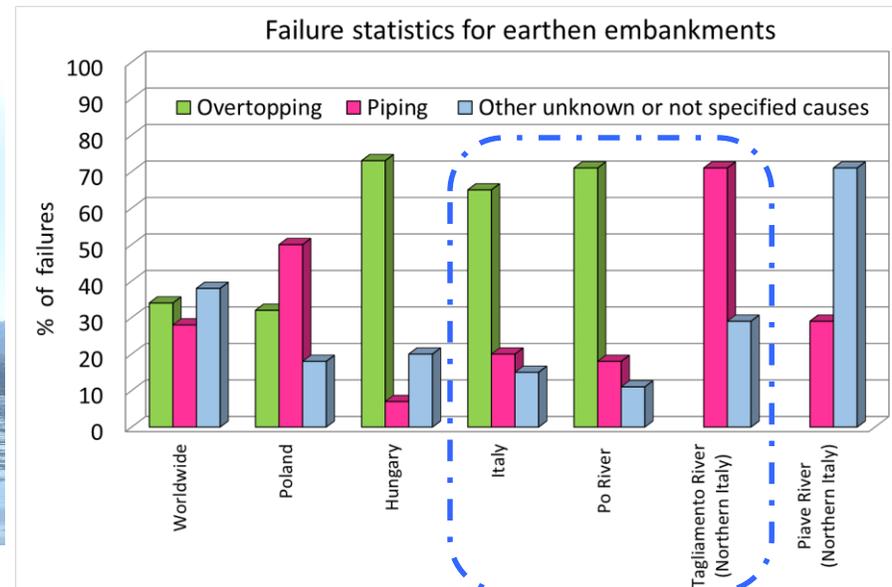
Nonostante i diversi interventi finalizzati a **mitigare il rischio idraulico** dovuto ad eventi di piena, ogni anno le alluvioni causano **ingenti danni** in termini **economici** e di **perdita di vite umane**.

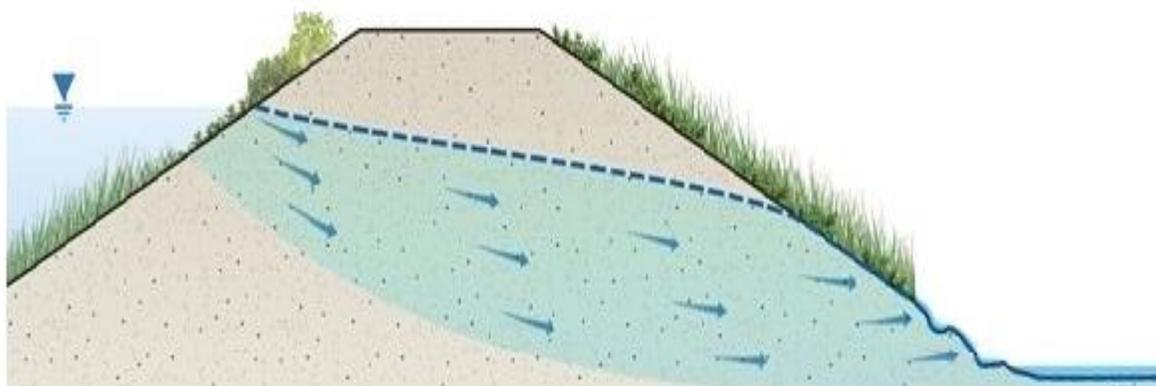


Gli argini rappresentano una delle **più antiche** misure strutturali usate per ridurre il **rischio idraulico** in aree soggette ad inondazione.

Il **sifonamento** è uno dei processi **più frequenti** di rotta arginale.

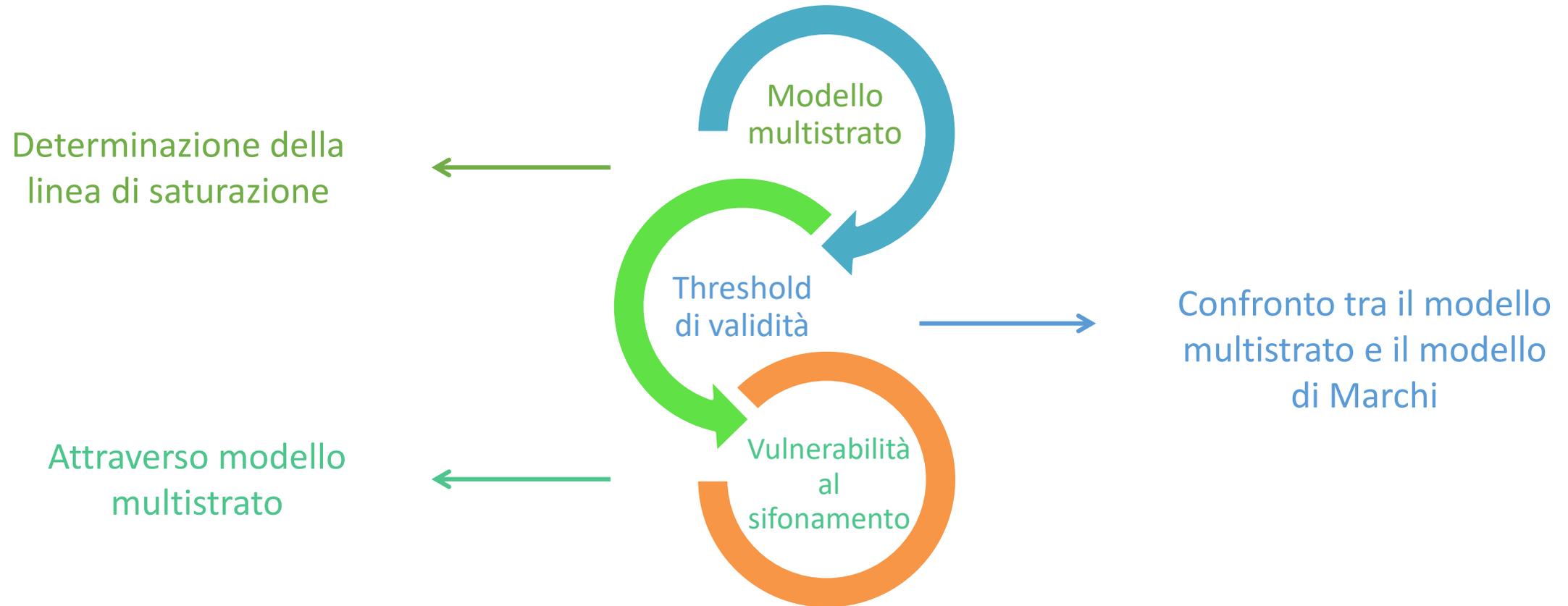
Quando il **fenomeno di filtrazione** ha inizio, la resistenza delle particelle del terreno all'erosione interna si riduce e le particelle di dimensioni più grandi vengono asportate, **dando inizio al processo di sifonamento**.





- Modelli che stimano la linea di saturazione attraverso gli argini (conoscendo i parametri idraulici);
- Modelli che includono l'incertezza dei parametri idraulici.

Barbetta et al. (2017) hanno proposto un metodo, basato su due assunzioni, per stimare la probabilità di sifonamento degli argini attraverso l'equazione di Marchi: 1) Sistema omogeneo(Corpo+fondazione); 2) water table=piano campagna.



Equazione del flusso  
Equazione di continuità



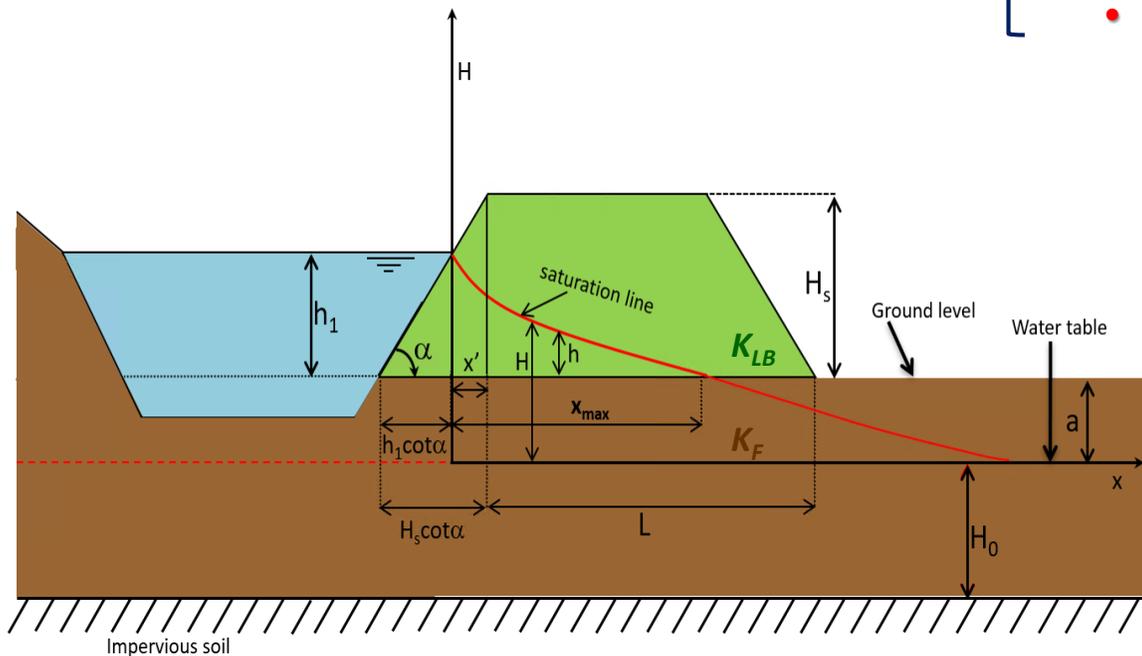
Equazione suolo  
multistrato

$$H(x) = (h_1 + a) \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2} \sqrt{\frac{\xi}{[K_{LB}h_1 + K_F(a + H_0)]D}} \right) \right]$$

Equazione di Marchi

- Suolo omogeneo
- $h_1 \ll H_0$

$$H(x) = (h_1 + a) \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2} \sqrt{\frac{\xi}{K_{LB}H_0D}} \right) \right]$$

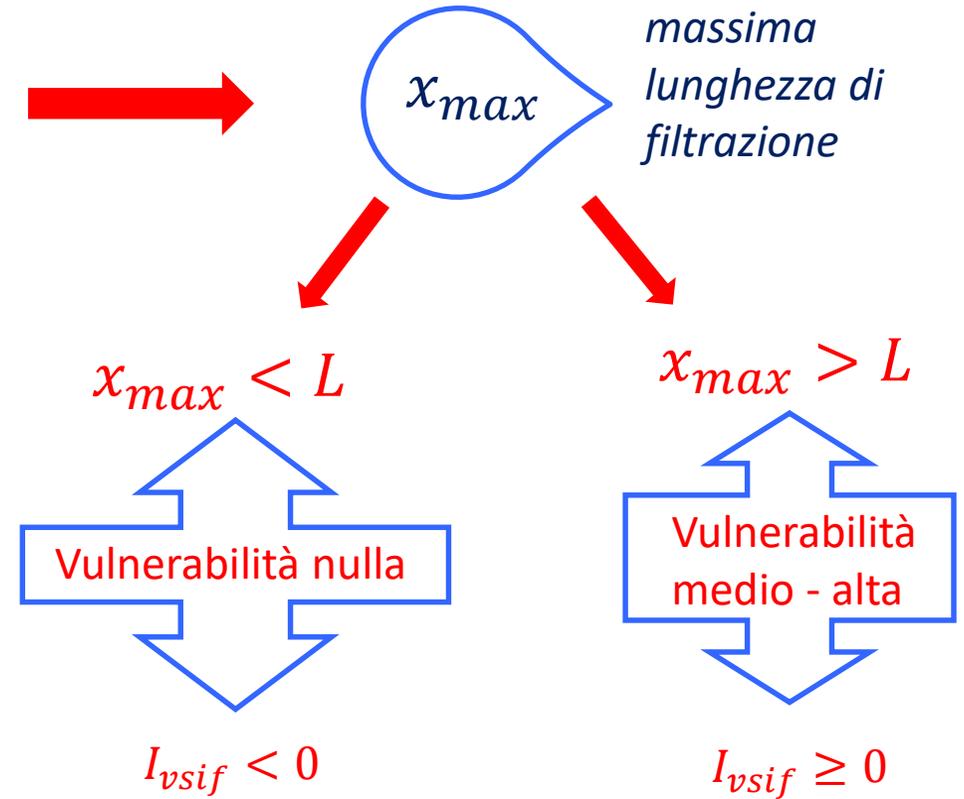
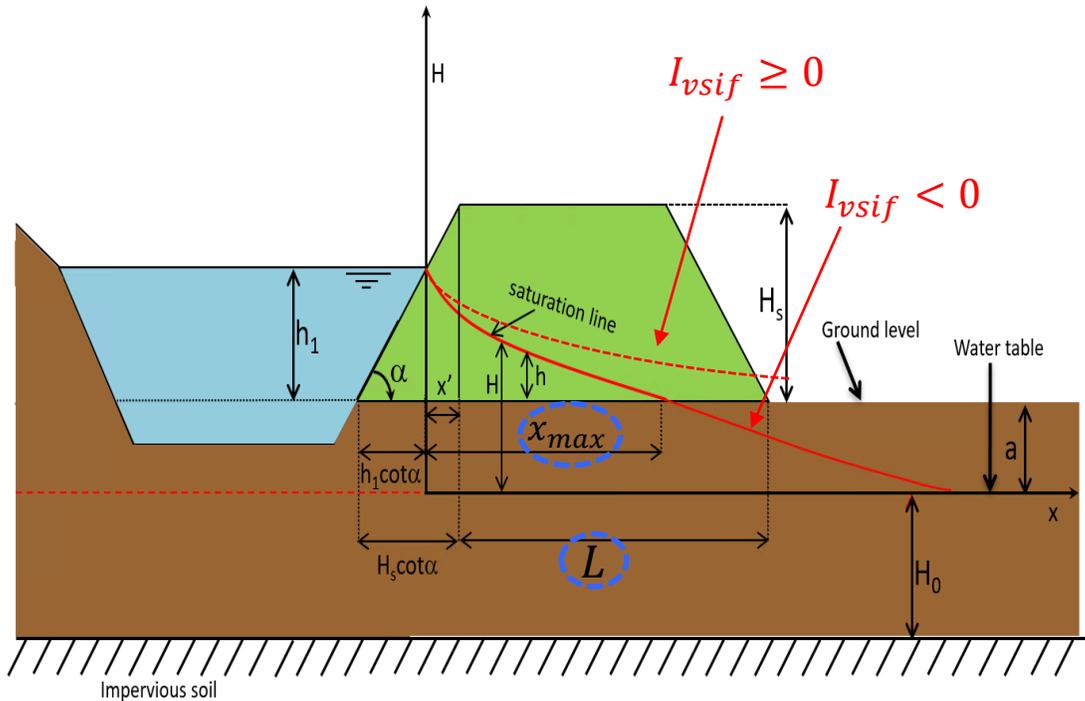


### Legenda

- $h_1$  è l'altezza idrica in alveo;
- $H_0$  è la potenza di falda;
- $D$  è la durata dell'evento di piena;
- $a$  è la distanza tra il water table e il piano campagna;
- $\xi$  è la porosità;
- $K_{LB}$  e  $K_F$  sono la conducibilità idraulica nel corpo dell'argine e nella fondazione, rispettivamente.

STIMA DELLA LUNGHEZZA MASSIMA DI FILTRAZIONE  $x_{max}$  E DELL'INDICE DI VULNERABILITA'

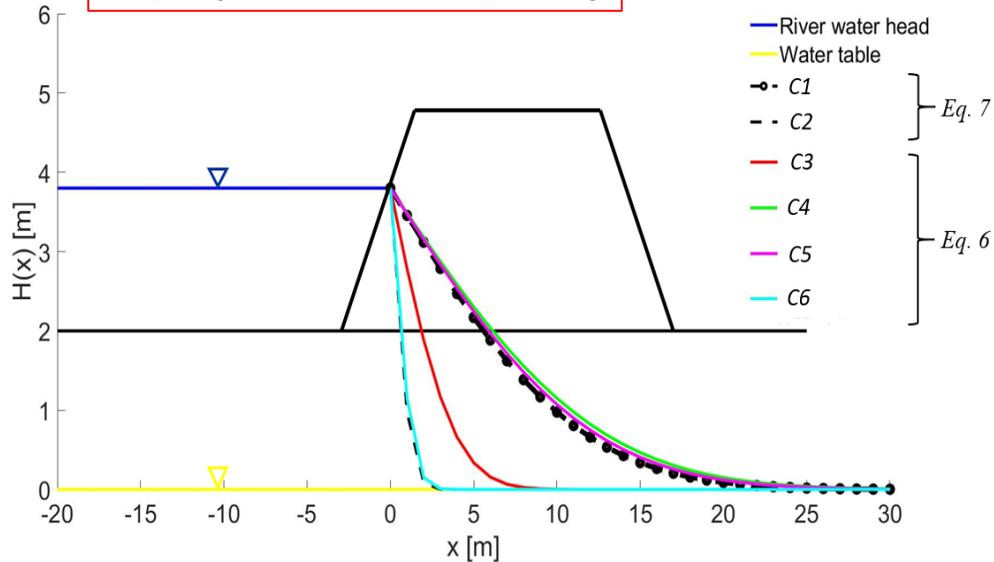
$$H(x) = (h_1 + a) \left[ 1 - erf \left( \frac{x}{2} \sqrt{\frac{\xi}{[K_{LB}h_1 + K_F(a + H_0)]D}} \right) \right] = a$$



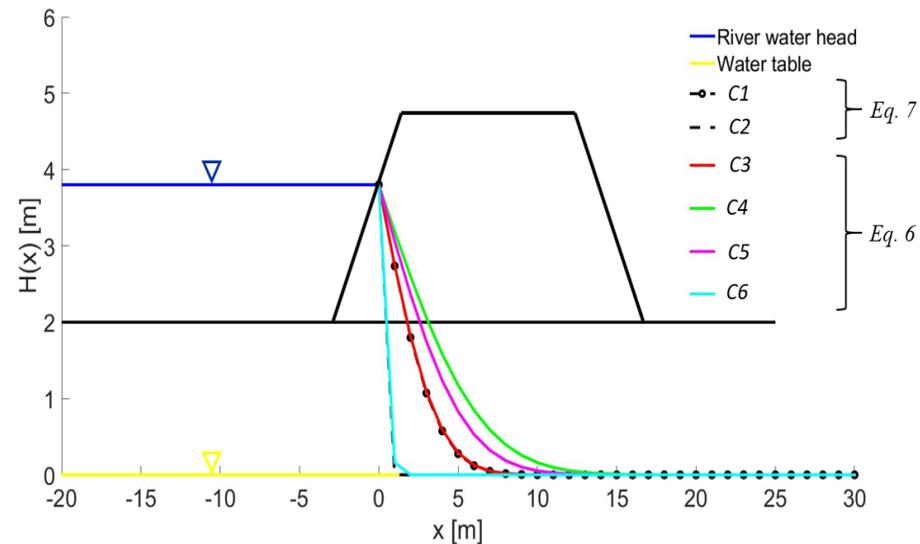
$$I_{vsif} = f(x_{max}, L, H_s)$$

**CONFRONTO DELLE LINEE DI SATURAZIONE RICAVATE CON I DUE MODELLI**

$$h_1/H_0 = 0.1 \rightarrow h_1 \ll H_0$$



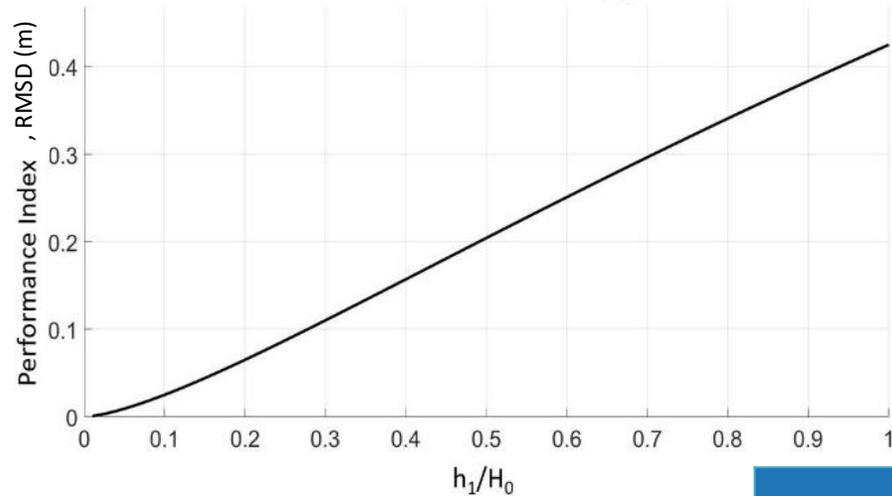
$$h_1/H_0 = 1 \rightarrow h_1 \cong H_0$$



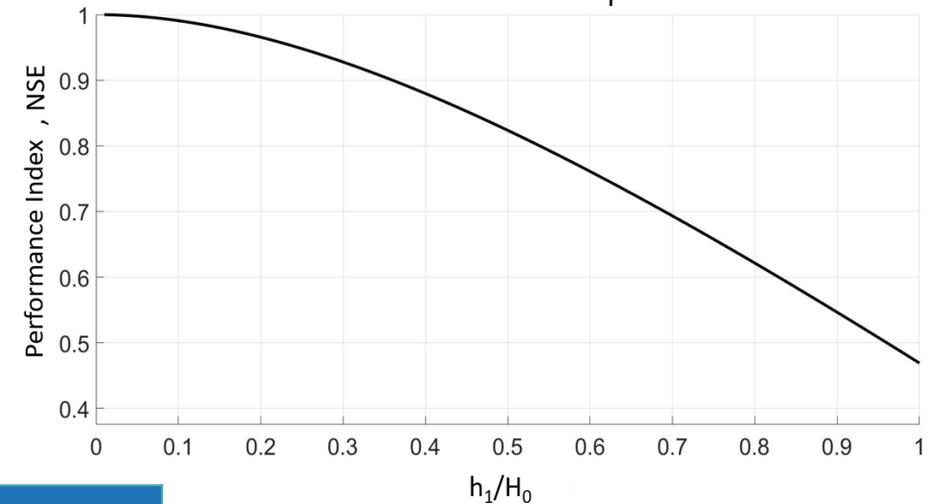
ID Configurazione	Equazione	Conducibilità idraulica [ $\text{ms}^{-1}$ ]
C1	Marchi model	$K = 10^{-5}$
C2		$K = 10^{-7}$
C3	Multilayer model	$K_{LB} = 10^{-5}$ $K_F = 10^{-7}$
C4		$K_{LB} = K_F = 10^{-5}$
C5		$K_{LB} = 10^{-7}$ $K_F = 10^{-5}$
C6		$K_{LB} = K_F = 10^{-7}$

MISURE DI PERFORMANCE: ROOT MEAN SQUARE DIFFERENCE (RMSD), NASH-SUTCLIFFE EFFICIENCY COEFFICIENT (NSE)

RMSD (for  $K = 10^{(-5)}$  m/s ;  $h_1 = 2$  m)

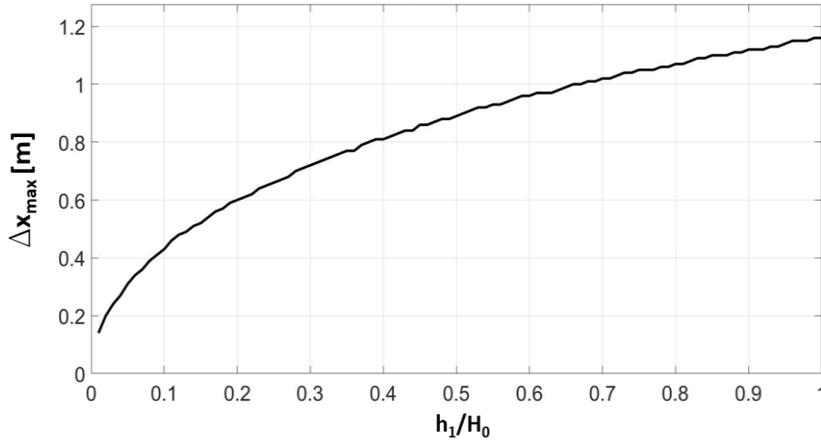
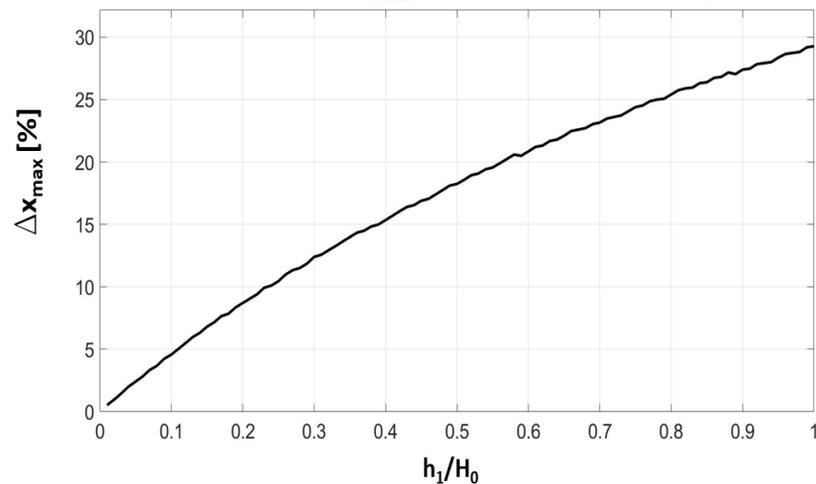
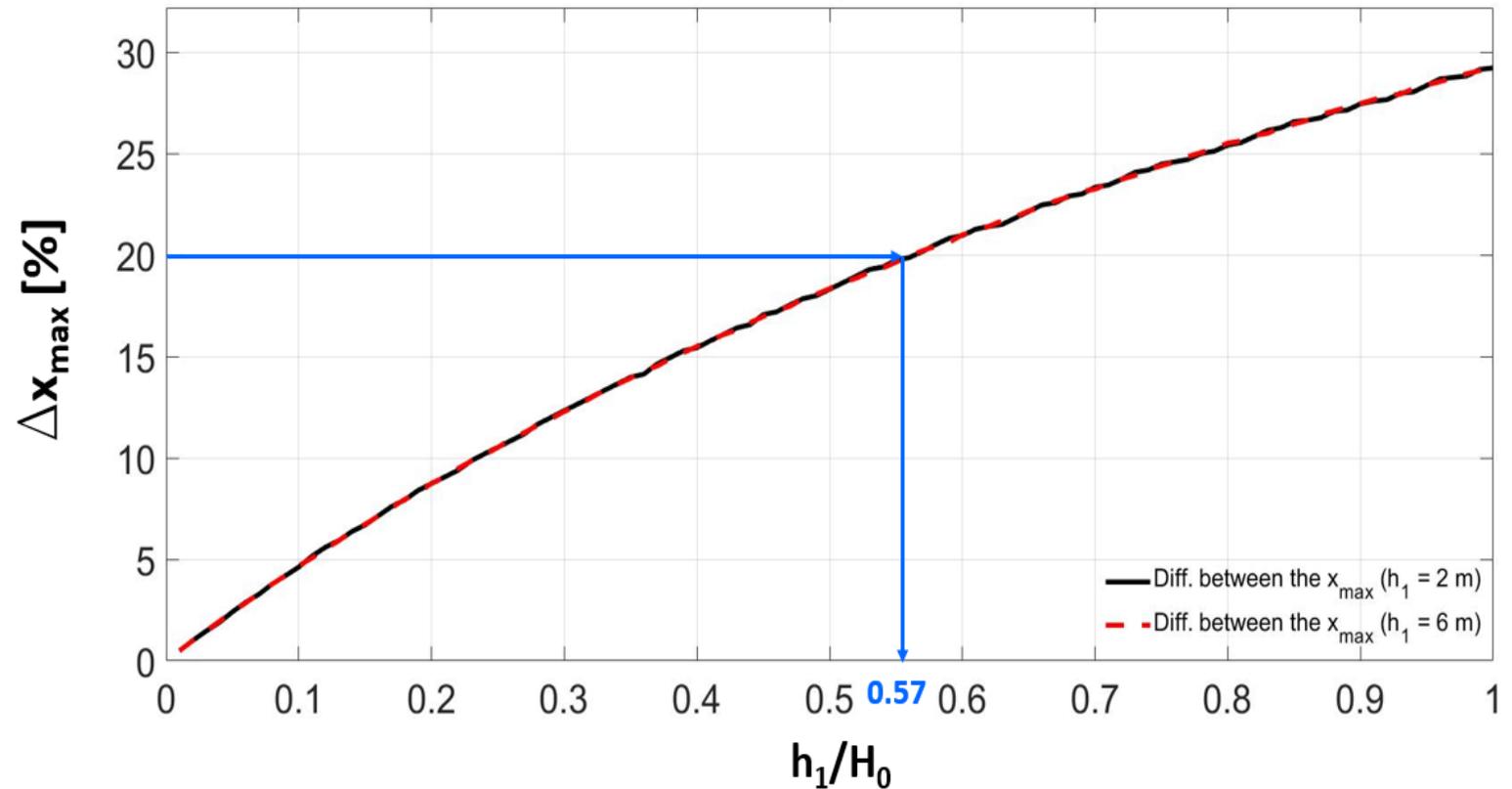


NSE (for  $K = 10^{(-5)}$  m/s ;  $h_1 = 2$  m)



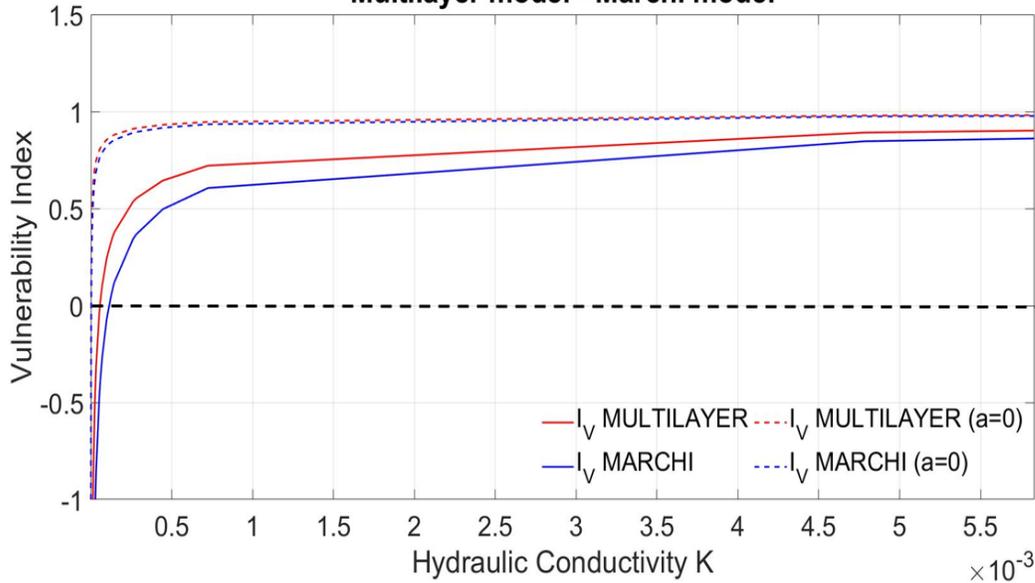
ID Configurazione	Equazione	Conducibilità idraulica [ $\text{ms}^{-1}$ ]
C1	Marchi model	$K = 10^{-5}$
C2		$K = 10^{-7}$
C3	Multilayer model	$K_{LB} = 10^{-5}$ $K_F = 10^{-7}$
C4		$K_{LB} = K_F = 10^{-5}$
C5		$K_{LB} = 10^{-7}$ $K_F = 10^{-5}$
C6		$K_{LB} = K_F = 10^{-7}$

**SOGLIA DI VALIDITA' DELL'EQUAZIONE DI MARCHI**

 Difference between the  $x_{\max}$  [m] (for  $K = 10^{(-5)}$  m/s ;  $h_1 = 2$  m)

 Difference between the  $x_{\max}$  [%] (for  $K = 10^{(-5)}$  m/s ;  $h_1 = 2$  m)

 Difference between the  $x_{\max}$  [%] (for  $K = 10^{(-5)}$  m/s)


VULNERABILITA' AL SIFONAMENTO

Vulnerability index:  
Multilayer model - Marchi model

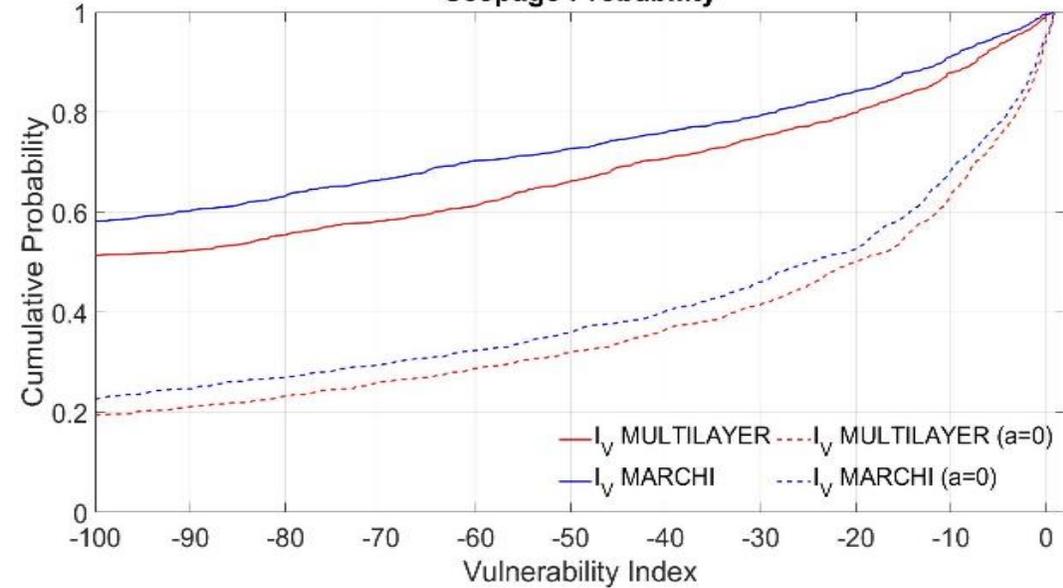


$$10^{-14} \text{ ms}^{-1} < K < 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$$

a = 0

a = 2 m

Seepage Probability



a = soggiacenza di falda [m]	PROBABILITA' DI SIFONAMENTO	D = 12 h
0	P <sub>see</sub> (I <sub>V</sub> (MULTILAYER))	31%
	P <sub>see</sub> (I <sub>V</sub> (MARCHI))	26%
2	P <sub>see</sub> (I <sub>V</sub> (MULTILAYER))	4%
	P <sub>see</sub> (I <sub>V</sub> (MARCHI))	3%

- Il confronto tra le due linee di saturazione ricavata attraverso il modello di Marchi e il modello multistrato ha mostrato che la differenza tra le due linee aumenta quando il rapporto  $h_1/H_0$  cresce;
- $h_1/H_0 = 0.57$  è il valore di soglia limite per l'applicabilità del modello di Marchi;
- Il modello multistrato anche in termini di vulnerabilità al sifonamento ha dato risultati diversi rispetto a quando  $a=0$  (water table=piano campagna).

Gli obiettivi futuri prevedono l'applicazione dell'approccio multistrato ad un caso studio, in modo tale da usare come benchmark **dati misurati in campo** e, infine, studiare l'approccio multistrato in argini **affetti da discontinuità** causate da tane di animali selvatici, problema che risulta ancora non del tutto risolto.

GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE