

## UN CONFRONTO TRA DUE APPROCCI PER LA MODELLAZIONE DELL'INTERAZIONE TERRENO-ATMOSFERA IN TERRENI PIROCLASTICI

Alfredo Reder

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Università degli Studi di Napoli "Federico II"*

*Regional Models and geo Hydrological Impacts (REMHI)  
Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)  
via Maiorise, Capua (CE)  
[alfredo.reder@unina.it](mailto:alfredo.reder@unina.it)*

Guido Rianna

*Regional Models and geo Hydrological Impacts (REMHI)  
Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)  
via Maiorise, Capua (CE)  
[guido.rianna@cmcc.it](mailto:guido.rianna@cmcc.it)*

Luca Pagano

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Università degli Studi di Napoli "Federico II"  
[lupagano@unina.it](mailto:lupagano@unina.it)*

### Sommario

Il flusso di vapore attraverso la superficie del terreno è un processo fisico indotto da una transizione di fase che può avvenire direttamente in superficie o nelle zone più superficiali del suolo. Il lavoro presentato evidenzia le approssimazioni connesse nel considerare il fenomeno solo come fenomeno di superficie. Allo scopo confronta due approcci di letteratura e giudica l'accuratezza delle previsioni attraverso il confronto con le osservazioni consegnate da un modello fisico.

### 1. Introduzione

Nei problemi geotecnici e, in particolare, di stabilità dei versanti, il bilancio idrologico nel dominio di interesse è spesso stimato trascurando la componente evapotraspirativa, o perché ritenuta di minore entità rispetto, ad esempio, all'infiltrazione e al drenaggio profondo, o, semplicemente, in quanto un'adeguata stima di tale componente rappresenta usualmente un elemento di elevata complessità.

Gli approcci maggiormente adottati nella disciplina geotecnica qualora l'analisi dell'interazione terreno-atmosfera preveda la modellazione dei flussi evaporativi sono due. In entrambi il comportamento dello scheletro solido è assunto rigido, il che consente di eliminare il problema meccanico.

Nel primo approccio (Wilson, 1990; Wilson et al, 1994; Wilson et al, 1997), l'interazione terreno-atmosfera è modellata in modo, per così dire, "completo", associando alle equazioni che descrivono il flusso dell'acqua allo stato liquido e di vapore quelle che descrivono il flusso di calore (Figura 1a). Il flusso evaporativo è ricavato da un bilancio energetico imposto all'interfaccia terreno-atmosfera. La temperatura superficiale del dominio, condizione al contorno del problema termico, viene ipotizzata

coincidente con quella atmosferica o ricavata anch'essa da un bilancio energetico in superficie. In tale approccio il flusso evaporativo che attraversa l'interfaccia può avvenire anche per effetto di cambi di stato che si verificano all'interno del dominio stesso.

Nel secondo approccio (Figura 1b), per così dire "semplificato", si modella solo il flusso della fase liquida nel mezzo parzialmente saturo (equazione di Richards, 1931). I flussi evaporativi applicati al contorno sono quantificati come nel caso precedente, tramite un bilancio energetico all'interfaccia.

La differenza sostanziale tra i due approcci è che mentre nel primo l'evaporazione è un fenomeno che si approfondisce non appena le zone più superficiali si desaturano, nel secondo è un fenomeno solo di superficie. Il cambio di stato avviene in una "zona di transizione di fase" delimitata inferiormente dalla "superficie del cambio di stato dell'acqua" (S.C.S.).

La seguente nota pone a confronto i due approcci, "completo" e "semplificato", in un tentativo di validazione di ciascuno di essi. Al fine di esprimere un giudizio circa l'accuratezza della previsioni, si assumono come riferimento le osservazioni raccolte nel corso di una sperimentazione con modello fisico nel corso di circa 4 anni. Preliminarmente, i due approcci sono confrontati teoricamente ipotizzando condizioni atmosferiche costanti nel tempo.

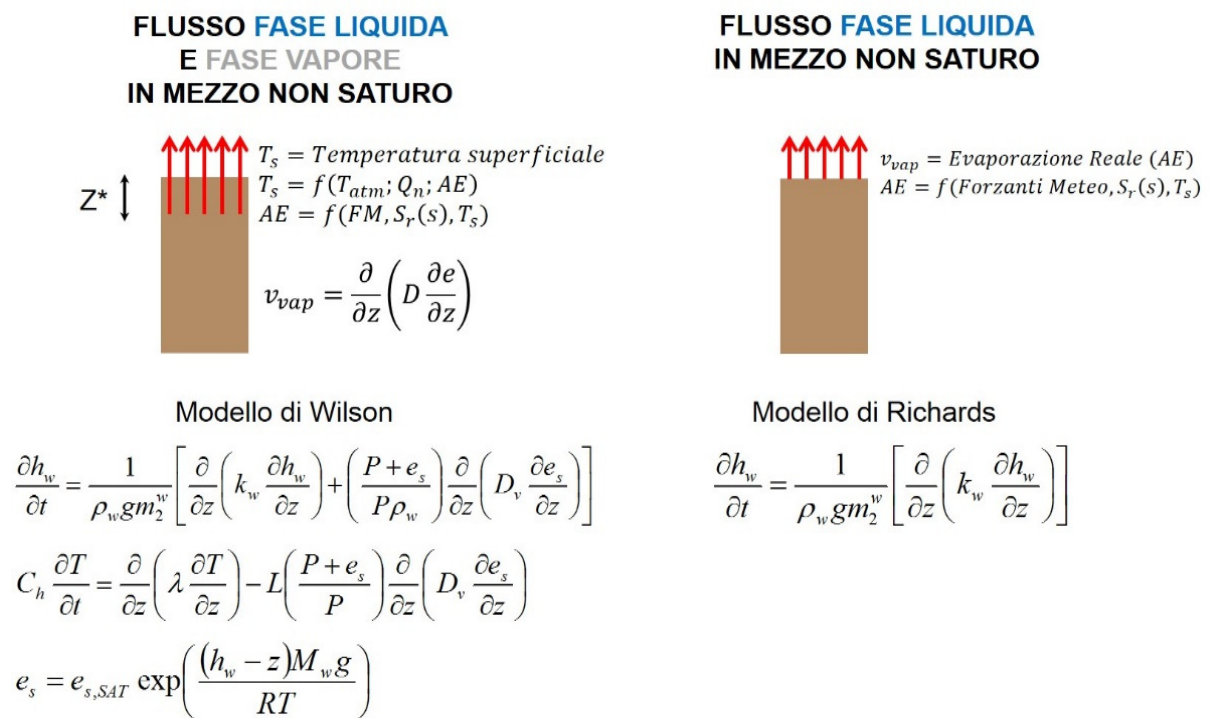


Fig 1. Schemi concettuali degli approcci adottati: modello "completo" (Wilson) (a); modello "semplificato" (Richards) (b)

## 2. Un semplice confronto numerico tra i due approcci

I due approcci sono implementati nel codice FEM Vadose 2007/W. Essi sono stati confrontati nell'ipotesi che l'interazione terreno atmosfera sia governata da un'evaporazione potenziale che agisce con intensità costante su di un dominio monodimensionale (flussi di acqua e calore unidirezionali) per un intervallo di 60 giorni. Parimenti, le variabili atmosferiche che regolano la domanda evaporativa sono assunte costanti (Tabella 1); l'effetto integrale atteso, in assenza di eventi di imbibizione, è la progressiva desaturazione del mezzo a partire dalla superficie superiore.

Tabella 1. Forzanti atmosferiche

| $T_{media}$ [°C] | $RH_{media}$ [%] | $U_{wind}$ [m/s] | $R_n$ [MJ/m <sup>2</sup> ] |
|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 30               | 10               | 0                | 7,35                       |

$T_{media}$  = temperatura atmosferica medio

$RH_{media}$  = umidità relativa media

$U_{wind}$  = velocità del vento

$R_n$  = radiazione netta

In entrambi i casi si è assunta come condizione iniziale una distribuzione idrostatica di pressione della fase liquida, caratterizzata da valore nullo alla base del dominio (e, ovviamente, valore minimo negativo in corrispondenza del contorno superiore). Nel modello “completo” la temperatura è stata assunta costante nello spazio e nel tempo e con valore corrispondente al valore atmosferico.

I parametri idraulici e termici sono stati quantificati assumendo i valori derivati attraverso una sperimentazione su modello fisico (Rianna et al, 2014a,b; Pagano et al, 2014a,b) per una piroclastite limosa non plastica con contenuto di fine pari a circa il 10%.

La Figura 2 riporta l’evoluzione di evaporazione reale ottenuta applicando nelle condizioni appena menzionate i due approcci. La stessa figura riporta anche l’evoluzione di evaporazione potenziale.

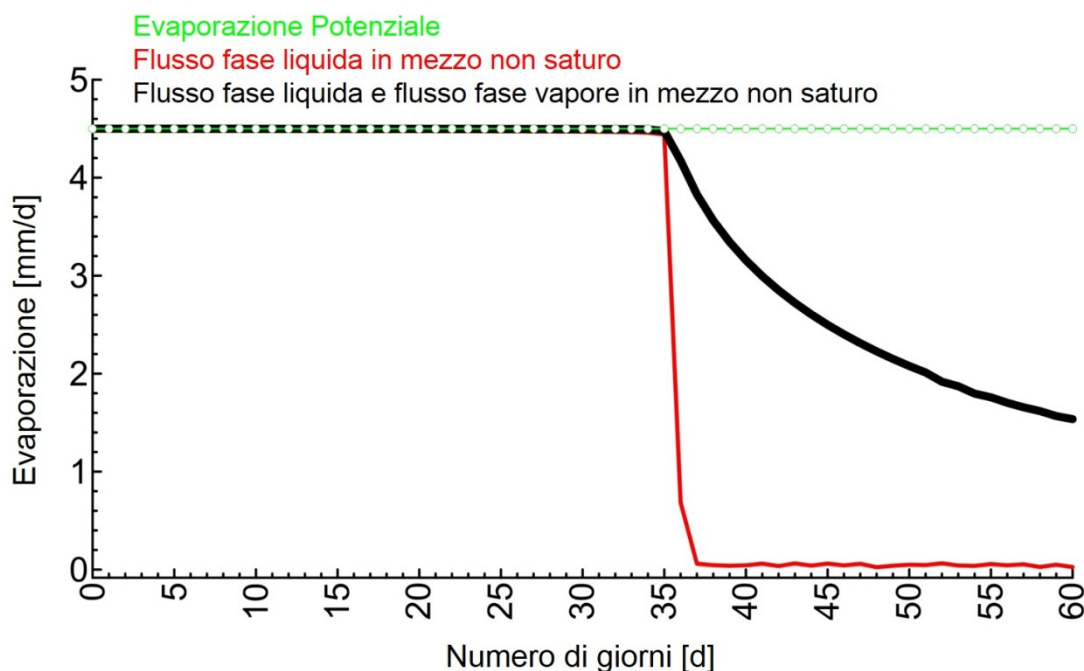


Fig 2. Evoluzione dell’evaporazione simulata in condizioni semplificate attraverso la risoluzione dell’equazione di Richards (in rosso) e la risoluzione del sistema di equazioni di Wilson (in nero); evoluzione dell’evaporazione potenziale (in verde)

Nella prima fase, i due approcci restituiscono risultati coincidenti: entrambi stimano che il suolo possa sostenere la domanda atmosferica per oltre 35 giorni. Ciò avviene fintantoché i valori di conducibilità idraulica superficiali sono sufficientemente elevati da garantire il soddisfacimento della domanda esterna attraverso apporti idrici dal basso. In questa fase l’evaporazione deriva esclusivamente da un cambio di stato della acqua in superficie.

La successiva desaturazione della zona superficiale e la conseguente riduzione della conducibilità idraulica determinano un rapido discostamento di entrambi i flussi evaporativi dal valore potenziale. Il discostamento è rapidissimo nella previsione fornita dall’approccio semplificato: nel giro di pochi giorni il flusso evaporativo passa dal valore potenziale a un valore pressoché nullo. Nel modello com-

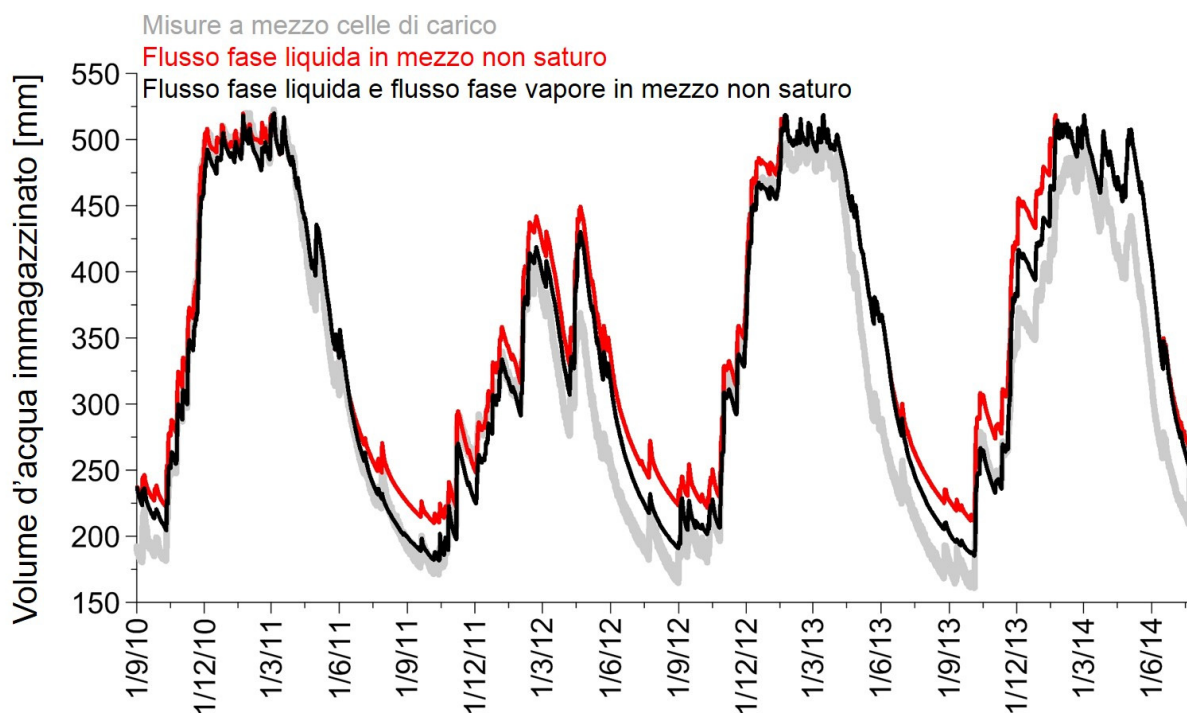
pleto, invece, la riduzione del flusso è più graduale.

Nel modello completo il cambio di stato dell'acqua segue, come detto, l'approfondimento della S.C.S. e interessa pertanto volumi di acqua decisamente maggiori rispetto a quelli presenti solo in superficie. Peraltro, la formazione di vapore in profondità attiva un flusso diretto verso l'alto, reso efficiente da valori del coefficiente di permeabilità al vapore accresciuti dalla desaturazione della zona di transizione di fase. Nel modello semplificato, al contrario, il cambio di stato interessa i modestissimi volumi di acqua presenti in superficie, laddove il contenuto d'acqua è oramai prossimo al valore residuo. L'apporto idrico dal basso è peraltro reso inefficiente dall'abbattimento del coefficiente di conducibilità idraulica causato dalla desaturazione del mezzo.

Nell'approccio semplificato il flusso di vapore che attraversa la superficie superiore del dominio è dunque controllato dalla permeabilità della fase liquida, che progressivamente si riduce, mentre nell'approccio completo il flusso è controllato dalla permeabilità della fase di vapore, che progressivamente s'incrementa.

### 3. Previsioni e osservazioni

Le differenze di previsione fornite dai due diversi approcci sono ora confrontate in relazione ad un'evoluzione reale di variabili atmosferiche. Tale evoluzione coincide con quella che determina variazioni di peso, dovute ad infiltrazione ed evaporazione di acqua, del campione posto in opera nel modello fisico sopra introdotto (altezza campione=0,75m; base=(1,15x1,15)m<sup>2</sup>).



*Fig 3. Evoluzione del volume d'acqua immagazzinato misurato nel modello fisico (in grigio), modellato attraverso la risoluzione dell'equazione di Richards (in rosso) e modellato attraverso la risoluzione del sistema di equazioni di Wilson (in nero)*

In Figura 3 si riportano le evoluzioni di peso computate con i due diversi approcci, confrontate con le evoluzioni di peso osservate. Si evidenzia innanzitutto che, attraverso entrambi gli approcci, è possibile riprodurre in modo abbastanza soddisfacente il comportamento sperimentale. Coerentemente con quanto illustrato nel paragrafo precedente, si osserva che i due approcci forniscono risultati coincidenti per valori del contenuto d'acqua superficiale elevati e, dunque, per valori del peso prossimi a quelli

massimi, in virtù del fatto che in tali condizioni l'evaporazione reale, coincidente con il valore potenziale, è un fenomeno solo di superficie. I risultati divergono invece quando il peso si riduce e la zona superficiale si desatura. In questa fase, nelle previsioni fornite dall'approccio completo i volumi maggiori di acqua coinvolti nel cambio di stato producono riduzioni di peso più significative e maggiormente coerenti con il dato sperimentale.

### Previsioni e colate rapide di fango

I due approcci sono infine confrontati, sempre in termini di peso di acqua immagazzinata, assumendo uno spessore maggiore (2m) e le variabili meteo registrate in località di Nocera Inferiore durante un lasso di tempo più lungo (circa 10 anni) a poche centinaia di metri dall'ubicazione di un fenomeno di colata rapida, verificatosi il 4 marzo 2005. Indagini condotte nell'area hanno permesso di stabilire come la granulometria e la porosità del mezzo coinvolto nel fenomeno siano del tutto consistenti con quelle del terreno impiegato nel modello; per tale motivo, i parametri adottati nell'analisi sono coincidenti con quelli utilizzati in precedenza mentre il valore utilizzato per lo spessore della coltre è coerente con quello restituito dalle indagini geologiche sull'area.

Si può osservare che le previsioni convergono ogni qualvolta il peso si avvicina al valore massimo e tendono a divergere negli altri casi. Una non trascurabile divergenza si verifica spesso anche durante la fase tardo autunnale, tipicamente suscettibile all'innesco dei fenomeni di colata rapida. In corrispondenza del fenomeno d'instabilità le previsioni convergono, in virtù del fatto che il per un periodo pregresso di alcuni mesi l'evaporazione reale si era attestata al valore potenziale.

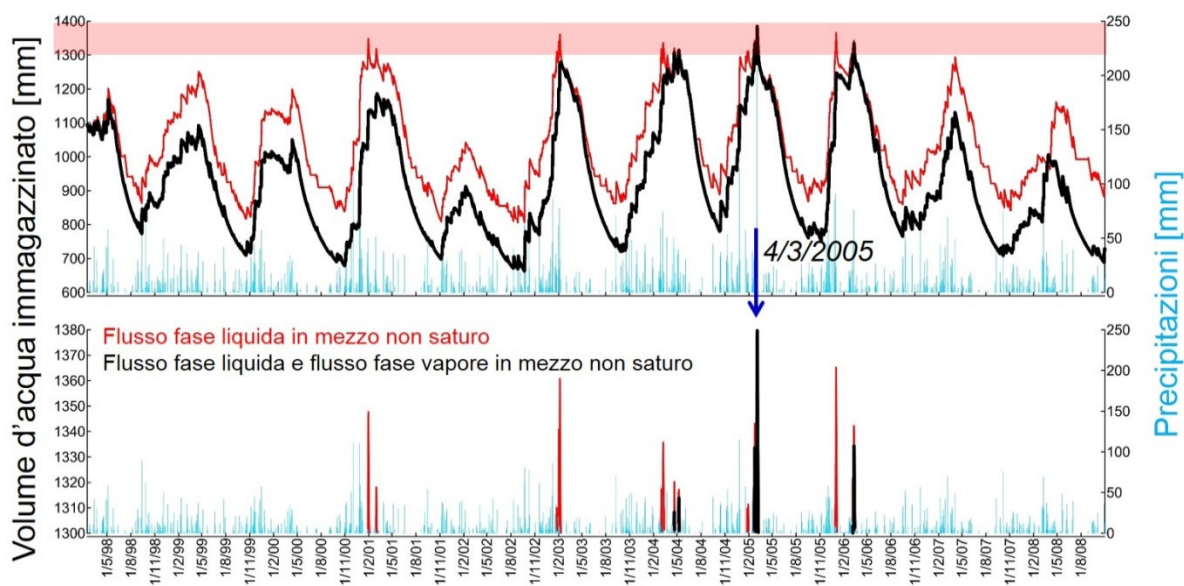


Fig 4. Evoluzione del volume d'acqua immagazzinato per la previsione della frana occorsa a Nocera Inferiore, modellato attraverso la risoluzione dell'equazione di Richards (in rosso) e attraverso la risoluzione del sistema di equazioni di Wilson (in nero)

### 4. Conclusioni

Il confronto tra due approcci spesso utilizzati per prevedere il bilancio idrologico di un sottosuolo consente di concludere quanto segue:

-i due approcci forniscono previsioni confrontabili se il contenuto d'acqua superficiale è sufficientemente elevato da comportare valori di evaporazione reale prossimi al valore potenziale

-l'approccio completo fornisce previsioni accurate nell'arco dell'intero anno idrologico; quello semplificato solo nel periodo invernale e all'inizio della stagione primaverile

-in relazione all'utilizzo dei due modelli in sistemi di allarme per la previsione di fenomeni di colata rapida di fango, il modello semplificato risulta più (forse eccessivamente) cautelativo rispetto a quello completo

### **Bibliografia**

- Pagano L., Reder A., Rianna G. (2014a). "Processi di infiltrazione ed evaporazione nei terreni piroclastici illustrati attraverso la selezione di alcuni eventi rappresentativi". *Rivista Italiana Geotecnica (RIG)*, 1, 62-76.
- Pagano L., Reder A., Rianna G. (2014b). "Experiments to Investigate the Hydrological Behaviour of Volcanic Covers". *Procedia Earth and Planetary Science* 01/2014, 9, 14-22.
- Rianna G., Pagano L., Urciuoli G. (2014a). "Investigation of soil-atmosphere interaction in pyroclastic soils". *Journal of hydrology*, 510, 480-492.
- Rianna G., Pagano L., Urciuoli G. (2014b). "Rainfall patterns triggering flowslides in pyroclastic soils". *Engineering Geology*, 174, 22-35.
- Richards L. A. (1931). "Capillary conduction of liquids through porous mediums". *Physics*, 1, 318-333.
- Wilson G.W. (1990). "Evaporation from Bare Soil Surfaces". *PhD Thesis*, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Wilson G.W., Fredlund D.G., Barbour S.L. (1994). "Coupled soil-atmosphere modelling for soil evaporation". *Canadian Geotechnical Journal*, 31(2), 151-161.
- Wilson G.W., Fredlund D.G., Barbour S.L. (1997). "The effect of soil suction on evaporative fluxes from soil surfaces". *Canadian Geotechnical Journal*, 34(4), 145-155.