

# Modelli matematici per il congelamento dei suoli porosi

CANDIDATO: LORENZO FRANCHI

RELATORE: PROF. FEDERICO TALAMUCCI  
*federico.talamucci@math.unifi.it*

Lo scopo di questo lavoro è esporre un modello interpretativo atto a descrivere il fenomeno del congelamento dei suoli porosi; questo processo è piuttosto comune e si stima possa riguardare, in periodi diversi dell'anno, circa la metà delle terre emerse. Il processo di congelamento del suolo ha interesse scientifico ed ingegneristico a causa dei danni che esso provoca a strutture private e pubbliche, causando considerevoli spese per la comunità. Nei paesi dove le temperature lo consentono, questo fenomeno può causare fenomeni peculiari; un eclatante caso è quello dei Pingo, piccole colline che vengono a formarsi a causa del congelamento dell'acqua presente nel suolo ed osservate per la prima volta nel 1938 da Alf Erling Porsild. Il fenomeno non riguarda soltanto l'acqua, per la quale la fase solida ha densità minore rispetto a quella liquida, ma riguarda anche sostanze aromatiche come il benzene ed il nitrobenzene.

Il congelamento dei suoli porosi è un processo che coinvolge sia fenomeni termodinamici che di meccanica dei fluidi. È un fatto comprovato che all'interno di un terreno in congelamento avvengano moti della fase liquida e di quella solida; in particolare, se è presente una differenza di temperatura ai capi di un terreno saturo di liquido e posto in contatto dal basso con un serbatoio della stessa sostanza, si instaura al congelamento un flusso ascendente di liquido che risale la struttura porosa del solido, andando ad accrescere la lastra di ghiaccio in formazione.

Quando applichiamo una differenza di temperatura ad un terreno possiamo immaginare che vi sia una zona dove avviene il congelamento; se quest'ultima è di dimensione trascurabile rispetto alla dimensione del suolo poroso in analisi ci riferiamo al caso di "sollevamento primario", "sollevamento secondario" altrimenti. In questo lavoro abbiamo affrontato il problema del congelamento dei suoli porosi sfruttando i principi di conservazione della fisica ovvero il principio di conservazione della massa ed il principio di conservazione dell'energia. Lo studio di questi due principi permette, tentando di rimanere coerenti con i dati sperimentali, di determinare l'equazione che correla l'avanzamento del fronte di congelamento all'interno del suolo con il sollevamento del suolo stesso causato dal congelamento del liquido.

Partendo da questa equazione sono stati analizzati due modelli semiempirici: il modello di *Miller* per il sollevamento primario ed un modello per il sollevamento secondario sviluppato partendo dal modello precedente e dall'ipotesi di *Nakano*. Quest'ultima correla il flusso di liquido che risale la struttura con il potenziale chimico che, nelle nostre ipotesi, dipende dal numero di particelle di liquido presenti in un determinato punto ed in un dato istante. Il modello di *Miller* considera che all'interfaccia tra solido e liquido si formi un menisco in analogia a quanto avviene nel passaggio di stato liquido-vapore. Inoltre, per chiudere il sistema e poter risolvere in modo approssimato il problema, viene supposta valida l'equazione di *Clausius-Clapeyron*.

Il modello per il sollevamento secondario da noi sviluppato parte dall'ipotesi di *Miller* e si prefigge di generalizzare quest'ultima nel caso in cui la zona del fronte di congelamento abbia dimensioni non trascurabili rispetto alla dimensione del suolo in analisi.

I modelli che vengono proposti riescono a descrivere in modo approssimato l'andamento del flusso di acqua e della temperatura in ogni zona del terreno, permettendo di dare una stima approssimata del sollevamento indotto dal congelamento.