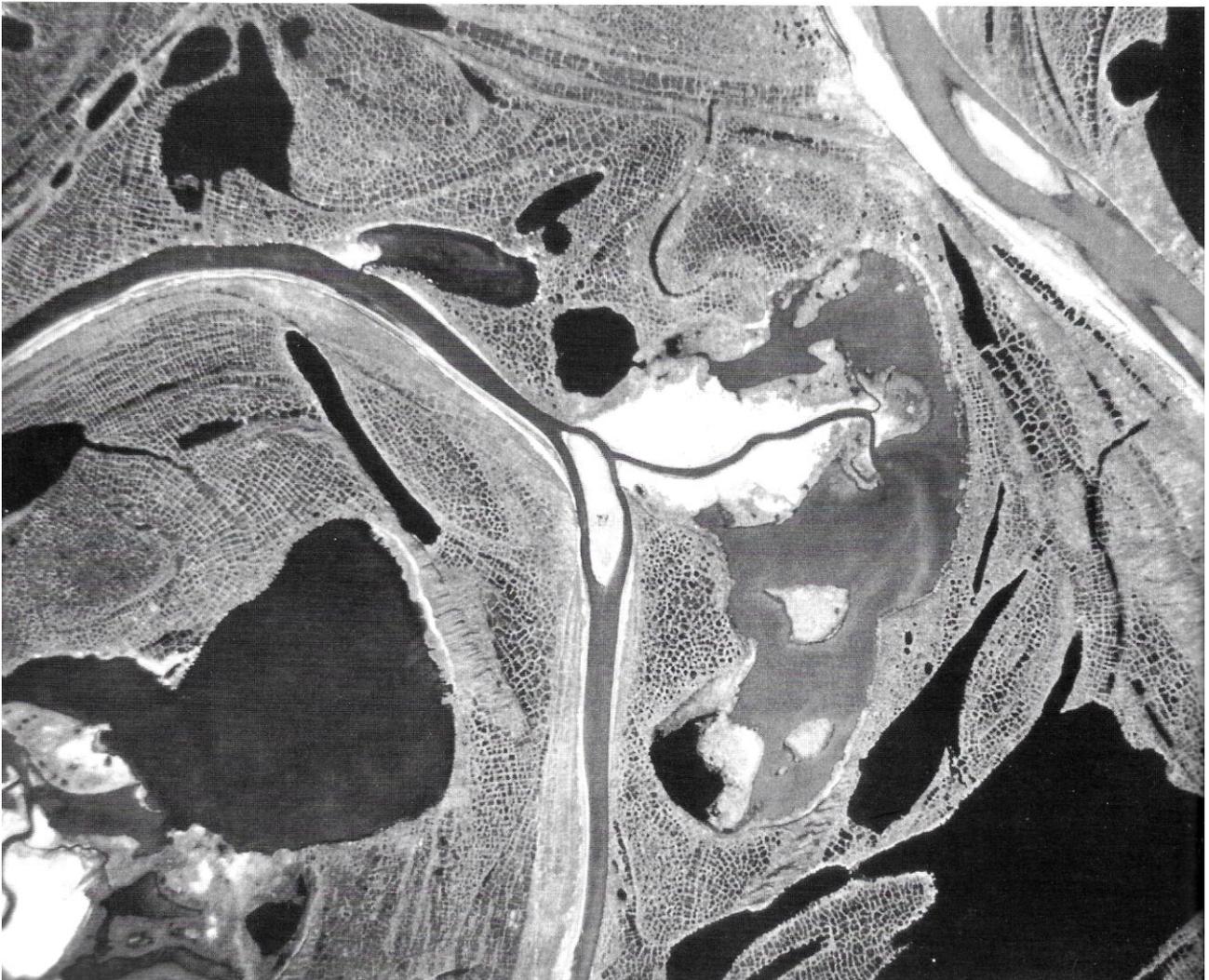


H. JESSE WALKER  
Louisiana State University, Baton Rouge (USA)  
(traduzione a cura di Carlo Cencini, Università di Bologna)

# Permafrost e poligoni da cunei di ghiaccio nell'Alaska artica



## Introduzione

L'Alaska artica, nota oggi in gran parte come *North Slope* ("Versante Nord"), è diventata famosa nel 1968, grazie alla scoperta di grandi quantità di idrocarburi suscettibili di sfruttamento. Il North Slope possiede una superficie equivalente a quella del Nuovo Messico o della Norvegia e comprende, in tutto o in parte, le tre province fisiografiche dell'Alaska e cioè la piana costiera artica (100%), le colline pedemontane artiche (94%) e le montagne artiche (30%) (Walker, 1973) (Fig. 1).

Sebbene si trovi a latitudini elevate (tra 68 e 71° N), durante il Pleistocene il North Slope era solo parzialmente coperto dai ghiacci (Fig. 1) e per questo, analogamente a quanto avvenuto in aree simili in Canada e in Siberia, è stato soggetto ad attività periglaciali durante il Quaternario.

Il North Slope riversa le proprie acque nell'Oceano Artico, è normalmente privo di alberi, è coperto di neve da 7 a 9 mesi l'anno, è interessato dal *permafrost* e possiede una varietà e un'abbondanza di aspetti minori, relativamente uniformi, quali laghi orientati, meandri abbandonati, strisce di soliflusso e suoli poligonali originati da cunei di ghiaccio (Fig. 2).

## Permafrost e suoli poligonali

Le temperature dell'aria del North Slope sono sufficientemente basse da assicurare che anche le temperature del suolo siano basse. Quando queste rimangono sotto lo zero per più di un anno, si parla di una situazione di *permafrost* (suolo permanentemente ghiacciato) che, nell'Alaska artica, si estende fino ad una profondità di oltre 600 metri. Nel North Slope, tuttavia, le temperature estive sono sufficientemente alte da fondere la neve e il ghiaccio in superficie e da

disgelare lo strato superficiale del suolo. Questa zona di gelo e disgelo alternato, nota come "strato attivo", varia in spessore a seconda della localizzazione, della tessitura, del contenuto di acqua e di altre condizioni. Spessori di strato attivo di 2 o più metri sono comuni nelle dune di sabbia, mentre sotto l'intreccio della vegetazione lo spessore è probabilmente inferiore ai 25 cm.

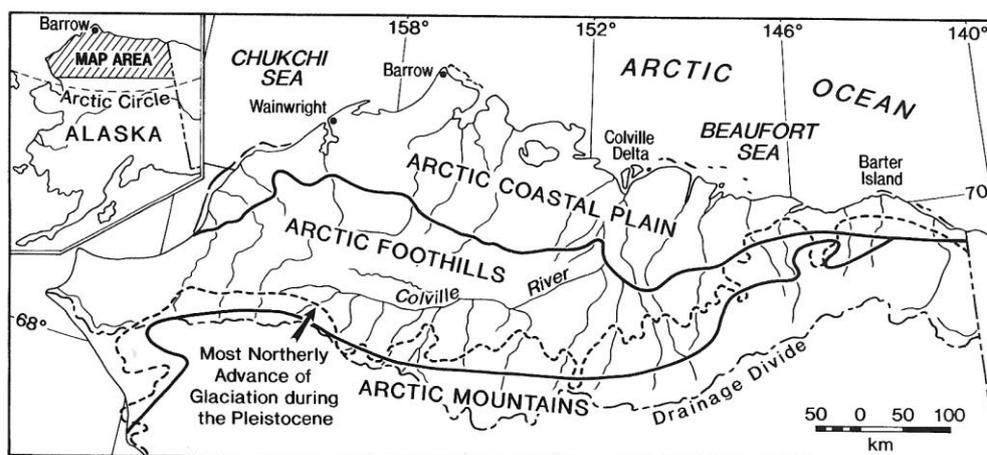
Il *permafrost* del North Slope appartiene al tipo continuo, poiché giace interamente al di sotto della superficie, eccetto dove il suolo è a contatto dell'acqua durante tutto l'anno (Fig. 3). Queste condizioni si verificano sotto i laghi, i corsi d'acqua e le lagune che non gelano in profondità. La maggior parte dei fiumi e dei laghi del North Slope sono poco profondi (meno di 2 m di profondità) e gelano sul fondo come avviene per l'acqua della fascia costiera dell'Oceano Artico. Sebbene l'esatta superficie del North Slope sottoposta a *permafrost* continuo sia sconosciuta, si stima che essa si estenda all'incirca sul 95% della superficie totale.

Poiché il termine *permafrost* è definito solo dalla temperatura, esso può essere sia "umido" che "secco", a seconda della presenza o assenza di acqua. La maggior parte del *permafrost* del North Slope presenta acqua sotto forma di ghiaccio, il cui attuale ammontare dipende dalla topografia, dal tipo di drenaggio, dalla tessitura del suolo, dalla conduttività idraulica e dalle precipitazioni. In alcune situazioni può ammontare ad oltre l'80% del volume potenziale in condizioni di ipersaturazione. Entro il *permafrost*, il ghiaccio si trova sotto molte forme, poroso, a strisce, lenticolare, a *pingo* (collinette isolate, a forma conica) e a cuneo.

I suoli poligonali sono definiti come "strutture più o meno regolari, come circoli, poligoni, reticoli, gradini e strisce che sono tipiche, ma non necessariamente uniche, delle aree sottoposte ad intensa azione del gelo" (Washburn, 1973). La zona del *permafrost*, con il suo stretto strato attivo, fornisce condizioni particolarmente favorevoli alla formazione di suoli poligonali. Il tipo di forma che si sviluppa è in relazione a molti fattori, compresi altitudi-

Fig. 1. Divisioni fisiografiche ed estensione della glaciazione nel North Slope dell'Alaska.

Fig. 2. (a sinistra) Ripresa dall'alto di una parte del delta del fiume Colville che mostra la grande varietà di forme superficiali, comprendenti i numerosissimi poligoni da cunei di ghiaccio che occupano la maggior parte della superficie della tundra.



ne, versante, tessitura e contenuto di acqua. Le strisce, ad esempio, si sviluppano nelle superfici inclinate mentre i poligoni sono normalmente ristretti alle superfici orizzontali o quasi orizzontali. I poligoni più grandi sono quelli derivati dalla fenditura del suolo gelato a grande scala e susseguente formazione di cunei di ghiaccio.

## Cunei di ghiaccio e poligoni

I cunei di ghiaccio (*ice-wedge* in inglese) sono una delle forme più caratteristiche associate al *permafrost* e nell'Artico sono diffusi su molte migliaia di chilometri quadrati. Sono costituiti da masse verticali di ghiaccio quasi puro, che in sezione trasversale presentano



Fig. 5. Forma e densità dei poligoni da cunei di ghiaccio.

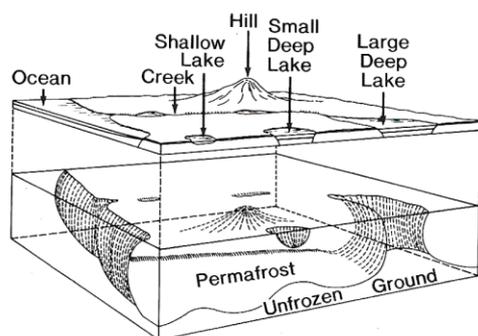


Fig. 3. L'effetto delle forme superficiali nella distribuzione del permafrost (da Lanchenbruch, 1962).

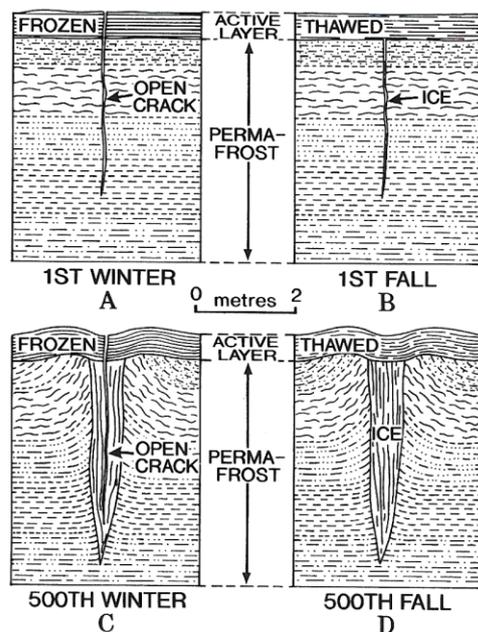


Fig. 4. Evoluzione di un cuneo di ghiaccio secondo la teoria contrazione-fenditura (da Lanchenbruch, 1962).

spesso la forma di triangoli isoscele allungati (Fig. 4). Nell'Alaska settentrionale i più grandi si sviluppano in profondità fino ad oltre 8 metri e hanno una larghezza alla sommità di più di 4 metri. In alcune aree possono occupare fino al 25% dei pochi metri superiori di materiale.

Sebbene la loro origine sia stata oggetto di ampio dibattito negli anni passati, la teoria della contrazione termica proposta da Leffingwell (1919) e approfondita in alcuni dettagli da Lanchenbruch (1962) è oggi la più accettata. In inverno il calo della temperatura (specialmente quando rapido) comporta una contrazione del *permafrost*, con conseguente formazione di fenditure strette ma relativamente profonde (Fig. 4). Queste fessure si riempiono di neve, brina e acqua di fusione che subito dopo gela dando il via alla formazione di cunei di ghiaccio. Negli anni successivi nuove fenditure e graduali riempimenti aumentano la dimensione dei cunei.

La dimensione, la spaziatura e il tasso di crescita dei cunei dipendono da vari fattori, come la tessitura, la resistenza, la composizione e il contenuto di acqua del materiale in cui si formano, come pure dal regime della temperatura. I cunei più grandi si formano generalmente nella torba, i più piccoli nella sabbia a grana grossa.

I cunei di ghiaccio si intersecano l'un l'altro e formano una struttura ad alveare che si riflette in superficie in figure a più lati note come poligoni da cunei di ghiaccio (Fig. 5) (Walker e Brewer, 1977). In molti casi, anche se sono il risultato di cambiamenti termici, sono simili a quelli di altri suoli poligonali derivati da crepe di contrazione che si sviluppano come risultato di essiccamento, di reazioni chimiche o di cambiamenti di regime.

I poligoni da cunei di ghiaccio raggiungono oltre 30 metri di diametro e di solito presentano da 3 a 6 lati. In conseguenza di fessurazioni secondarie, possono formarsi fenditure perpendicolari alle crepe originarie. Se le fenditure originali non sono orientate lun-

go direzioni preferenziali, il risultato è un sistema di poligoni casuale e non orientato. Negli altri casi, quando le fenditure originali sono orientate, per esempio parallele ad alvei fluviali meandriformi, anche i poligoni sono orientati (Lanchenbruch, 1962) (Fig. 6A).

I poligoni da cunei di ghiaccio possono avere la parte centrale depressa o rilevata. I poligoni a fondo depresso (Fig. 6B) sono circondati da basse creste e da depressioni che si producono durante il ciclo di crescita del cuneo. Le parti centrali di alcuni poligoni a fondo depresso possono trovarsi oltre un metro al di sotto della cima della cresta; molte sono occupate da acqua e da vegetazione acquatica. I poligoni con la parte centrale rilevata sono in genere la conseguenza della fusione del cuneo di ghiaccio risultante in avvallamenti che possono essere profondi diversi metri (Walker, 1983).

### Cunei di ghiaccio e processi geomorfici

Sebbene i cunei di ghiaccio e i poligoni che essi formano siano quasi ubiquitari nella piana costiera, essi sono importanti anche in relazione ad altre morfologie. I laghi a "perline" si trovano localizzati dove un sistema di drenaggio si sviluppa lungo le fosse dei poligoni. Le "perline" sono piccoli stagni circolari che si formano lungo le linee di congiunzione dei cunei di ghiaccio.

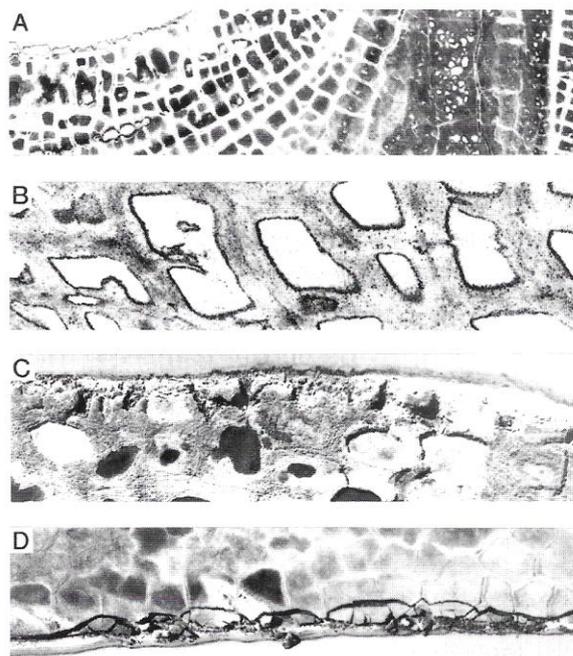


Fig. 6. Poligoni da cunei di ghiaccio nel delta del fiume Colville in Alaska. A. Varietà dei poligoni a fondo depresso e margine dentellato del lago; B. Poligoni rettangolari con creste e depressioni; C. Sponda del fiume che mostra poligoni drenati; D. sponda del fiume con blocchi crollati a causa della erosione termica.



Fig. 7. Fotografia zenitale di una sponda alta 2 metri che è crollata lungo cunei di ghiaccio. I cunei di ghiaccio nelle sponde esposte appaiono bianchi.

Tra i poligoni a fondo depresso si sviluppano occasionalmente piccoli rilievi ghiacciati. Questi monticelli sono utilizzati come luoghi di sosta da un gran numero di uccelli, soprattutto gufi selvatici.

Oltre ai poligoni, le caratteristiche più distintive che riflettono l'influenza dei cunei di ghiaccio sono le rive erose dei fiumi e dei laghi (Walker, 1983). Quando una sponda viene erosa, i cunei di ghiaccio vengono esposti e dopo la fusione lasciano una riva molto seghettata (Fig. 6C). Queste rive sono particolarmente sviluppate dove il fiume scorre attraverso la torba perché le masse di torba, una volta disgelate, sono molto meno erodibili dei suoli minerali.

Le rive dei fiumi dell'Artico sono soggette a erosione termica. Quando le acque di inondazione si sciolgono simultaneamente ed erodono il *permafrost*, si creano nicchie di termoerosione lungo la linea delle acque. Quando le nicchie intersecano i cunei di ghiaccio, le sponde spesso crollano (Figg. 6D, 7, 8) con conseguente rapido ritiro delle rive.

Il monitoraggio di un tratto di riva lungo 1,5 Km del ramo occidentale del fiume Colville per 30 anni ha mostrato un ritiro medio di un metro l'anno. Il ritiro è relativamente uniforme nel lungo periodo ma procede episodicamente. Nelle località dove le nicchie di termoerosione iniziano a crollare, i blocchi franati si disgelano sul posto e funzionano da barriera protettiva per la sponda retrostante (Figg. 8 e 9). Sia a valle che a monte dei blocchi crollati, l'erosione delle rive lentamente continua. Dopo un lungo periodo, per esempio 4-5 anni, il fronte di erosione si pareggia e la riva presenta nuova-

mente una curvatura uniforme finché non avviene un nuovo crollo. Durante il periodo 1982-1985, ad esempio, il ritiro delle sponde ha oscillato da 30 cm a circa 12 m, con una media di 1,6 m per anno lungo il margine della scarpata. Questo valore è quasi il doppio della media di lungo periodo (1949-1989). Tuttavia, il 76% dei cambiamenti del periodo 1982-85 sono avvenuti a causa del massiccio crollo della primavera del 1983.

## Permafrost, cunei di ghiaccio e uomo

Il *permafrost*, una condizione che prevale solo quando la temperatura del suolo rimane sotto 0°C, fornisce sfide agli uomini che vogliono utilizzare le aree da esso occupate (Walker, 1986). Questi problemi sono particolarmente drammatici dove sono presenti sedimenti scarsamente drenati, a grana fine e ricchi di ghiaccio - cioè le condizioni che sono tipiche della maggior parte della piana costiera del North Slope. In queste aree i cambiamenti del regime termico sono causa di subsidenza, quando positivi (come, per esempio, al di sotto di strutture riscaldate), o di rigonfiamento per gelo, quando negativi.

L'incremento dell'impatto umano nel North Slope durante gli ultimi 20 anni varia dall'aumento dei movimenti di terra attraverso la fragile superficie della tundra, alla creazione di nuove attrezzature per lo sfruttamento minerario, con relativi campi di aviazione, piattaforme di performance e strutture abitative. Nel corso di questo processo sono stati (o stanno per essere) escogitati tecniche, procedimenti e materiali speciali, per aiutare a rendere adatti gli ambienti del *permafrost*.

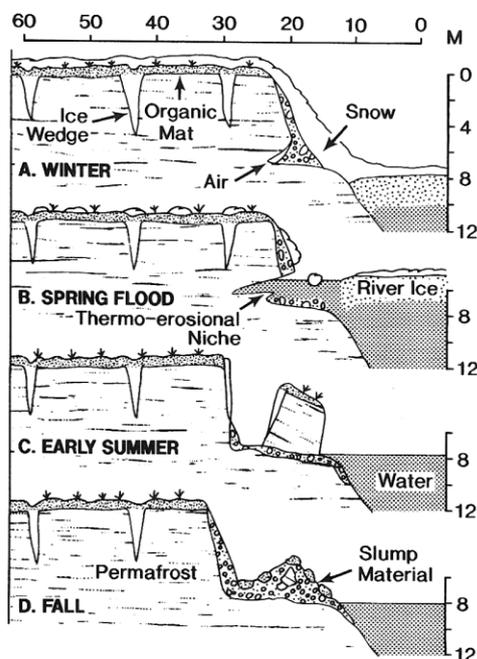


Fig. 9. Diagramma schematico del ritiro della sponda di un fiume causato dalla erosione termica (da Walker, 1973).

## Bibliografia

- Brown J., *An estimation of the volume of ground ice, coastal plain, northern Alaska*, Hanover, NH: US Army Cold Region Research and Engineering Laboratory, Technical Note, 19, 1967.
- Lachenbruch A., *Mechanics of thermal contraction cracks and ic-wedge polygons in permafrost*, Baltimore: the Geological Society of America, 1962
- Lachenbruch A., *Permafrost*, In *The Encyclopedia of Geomorphology* ed. R. Fairbridge, pp. 833-39. New York: Reinhold, 1968.
- Leffingwell E. de K., *The Canning River region, northern Alaska*, Washington, D.C.: US Geological Survey Professional Paper, 109, 1919.
- Walker, H.J., *Morphology of the North Slope*. In *Alaskan arctic tundra*, ed. M.E. Britton, pp. 49-93. Arctic Institute of North America, Technical Paper No. 25, 1973.

Walker, H.J., *E. Pluribus Unum: small landforms and the arctic landscape*, In *Mega-geomorphology*, ed. R. Gardner and H. Scoging, pp. 39-55. Oxford: Clarendon Press, 1983.

Walker, H.J., *Periglacial environments*, In *A handbook of engineering geomorphology*, ed. P. G. Fookes and P. R. Vaughn, pp. 82-96. Glasgow: Blackie & Sons Ltd, 1986.

Walker, H.J. and Brewer M.C., *Patterns on the Alaskan*

*tundra. The Geographical Magazine* 50:42-5, 1977.

Washburn A. L., *Periglacial processes and environments*. London: Edward Arnold Ltd, 1973.

Fig. 8. Fotografia di un blocco crollato lungo una riva alta occupata da tundra. La scala è indicata dall'uomo sulla riva. Notare il solco causato dall'erosione termica alla base della sponda più lontana.

