

UN DISSESTO IDROGEOLOGICO



IL TRASPORTO DI MASSA DEL RIO LAVASC NEL BACINO DEL TORRENTE FELLA

In questa nota sono riportati i risultati di uno studio compiuto sul trasporto di massa del Rio Lavasc (Dogna), in occasione dell'evento alluvionale che ha colpito il bacino del T. Fella il 21-22 giugno 1996. L'autore ha quantificato la portata di picco della colata detritica attraverso diversi metodi previsionali, confrontando successivamente i risultati con quelli desunti dai rilievi in sito effettuati nei mesi dopo l'evento.

Nella notte tra il 21 e il 22 giugno 1996 un intenso nubifragio ha interessato la montagna friulana, abbattendosi con particolare violenza sul bacino idrografico del torrente Fella e provocando un generale stato di dissesto idrogeologico dell'asta principale e degli affluenti. Si sono verificati estesi fenomeni franosi, esondazioni dei corsi d'acqua del fondovalle e numerose interruzioni della viabilità stradale, autostradale, ferroviaria (Paronuzzi et al. 1998, Russo, 1996). Il fenomeno maggiormente osservato è tuttavia risultato essere l'elevato sovralluvionamento del reticolo idrografico, con la presenza di numerosi eventi di colata detritica, trasporto solido iperconcentrato, temporanei depositi di confluenza. L'areale maggiormente colpito è stato quello del

Alessandro Coccolo

Canal del Ferro, in special modo dei territori comunali di Dogna e Pontebba.

In particolare, nel comune di Dogna è risultato essere scientificamente significativo l'evento che ha interessato il rio Lavasc, affluente di sinistra del torrente Fella. Si tratta di un capillare idrografico a carattere torrentizio, drenante le pendici sud-occidentali dello Clap Forât (Jôf di Dogna), costituito da due collettori distinti confluenti a quota 500 m ca. e originanti un tronco terminale ad andamento sub-rettilineo, con pendenza del 25÷30% e larghezza pari a 5÷10 m, sfociante nel fiume Fella in località Baladôr, poco a monte del

ponte della strada di Val Dogna.

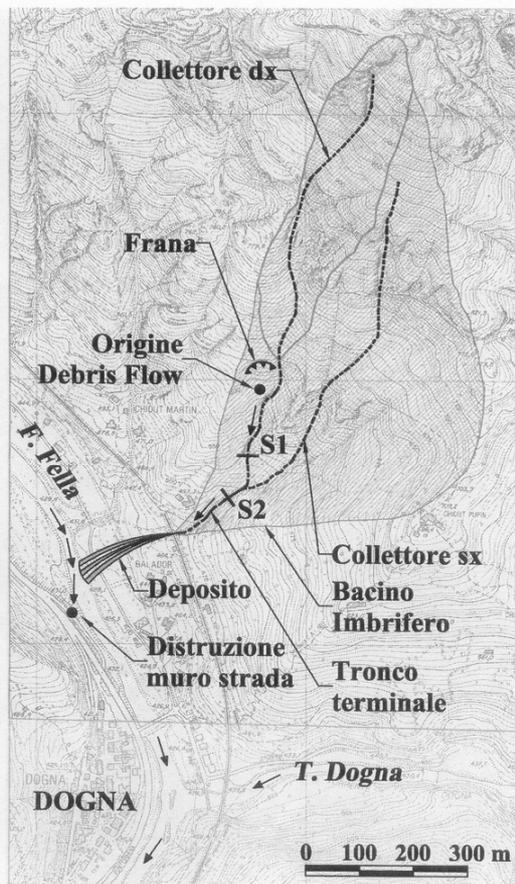
La colata detritica ha avuto origine da un esteso scivolamento planare di roccia e detriti superficiali originatosi nel bacino imbrifero del collettore di destra, in corrispondenza di una superficie di discontinuità marnosa, approssimativamente a quota 650 m. Rilievi compiuti in data 12 ottobre 1996 (Coccolo, Sgobino, documentazione inedita), hanno quantificato in circa 25.000 m³ il volume del corpo di frana che ha ostruito completamente l'alveo del collettore destro, poco a monte della sua confluenza con il sinistro.

Tuttavia solo una parte di questi detriti (circa 9.600 m³) è entrata in

dott. ing. Alessandro Coccolo, libero professionista - CP Ingegneria - Gemona dei Friuli (Udine)

Il termine *debris flow*, o "colata detritica", viene utilizzato per indicare un movimento in massa di un materiale bifase costituito da una parte liquida, formata da acqua o fango, da una frazione solida di granulometria variabile dalle sabbie ai blocchi, nonché da una eventuale parte organica rappresentata, ad es., da tronchi d'albero. Per ulteriori dettagli sul fenomeno si veda p. es. Coccolo, Sgobino (1996) e Takahashi (1991). Pur sotto varie forme, dipendenti principalmente dalla concentrazione di frazione solida all'interno del miscuglio in moto e dalle condizioni di innesco, il fenomeno è presente praticamente in tutto il reticolo idrografico della montagna friulana, e deve essere ben distinto dal naturale trasporto solido torrentizio, in quanto descritto da leggi matematiche relative ai processi di formazione, propagazione e deposito profondamente diverse.

Bisogna purtroppo riconoscere come esso sia ancora oggi malamente affrontato ed estremamente sottovalutato in sede progettuale, prova ne siano le preoccupanti situazioni di inefficienza e pericolo occorse alle arterie viarie, anche di recente realizzazione, della Val Canale



tamente dopo il passaggio del fronte d'onda principale e persiste per un lasso di tempo difficilmente superiore al minuto. Nel seguito della trattazione, con riferimento al caso oggetto di studio, si discorrerà relativamente a quest'ultima grandezza.

e Canal del Ferro durante i recenti eventi alluvionali (Arattano et al. 1991, Russo, 1996). La complessità insita nella modellazione rigorosa del fenomeno certo non giustifica tale situazione di arretratezza, essendo da molto disponibili in letteratura tecnica approcci semplificati o empirici al problema in grado di fornire indicazioni di massima di immediato utilizzo pratico (Hung et al. 1984, Vandine, 1985). Dal punto di vista ingegneristico, prescindendo dunque dalla modellazione scientifica dei complessi e multiparametrici fenomeni di propagazione in alveo e di deposito, le principali grandezze caratteristiche di una colata detritica da stimare ai fini della progettazione di interventi sistematori sono il volume globale mobilitato nel corso di un singolo evento (*magnitude*) e la portata di picco (*peak discharge*) dell'evento, la quale si manifesta immedia-

carico al corso d'acqua, formando una colata detritica il cui fronte ha investito direttamente alcune opere viarie ed idrauliche presenti alla confluenza con il fiume Fella.

Gli effetti "indiretti" del fenomeno sono risultati più gravi, in quanto il deposito di colata che si è formato al piede del tronco terminale del rio Lavasc ha temporaneamente ostruito il corso del fiume Fella, deviandone i deflussi di piena verso la sponda destra fino a lambire la S.S. 13.

Tale episodio ha prodotto una grave sottoescavazione del muro di sottoscarpa della strada di accesso da nord per l'abitato di Dogna, compromettendone la stabilità e rendendo intransitabile la strada stessa.

La portata di picco dell'evento

Metodi previsionali

È ben noto che i meccanismi di

innesco dei *debris flow* influenzano in misura notevole la portata degli eventi stessi. In linea del tutto generale, si può affermare che l'attivazione di un *debris flow* può avvenire o per mobilitazione del materasso di sedimenti d'alveo, causata da deflussi superficiali prodotti da piogge intense (*mobilized type*), o per fluidizzazione, istantanea o ritardata, di fenomeni franosi di versante, sia connessi all'evento alluvionale in corso, sia pregressi (*landslide type*).

Relativamente alla prima tipologia, l'unico strumento previsionale attualmente disponibile per la stima della portata di picco risulta essere il cosiddetto "metodo volumetrico", il quale, ipotizzando l'uguaglianza tra la velocità di avanzamento del fronte d'onda e quella dell'acqua in arrivo (Ashida et al. 1976), stima la portata attraverso la

$$Q_p = Q_w \cdot \chi(v_{\infty}, v_d) = Q_w \cdot v_{\infty} / (v_{\infty} - v_d)$$

in cui Q_p = massima portata del *debris flow*; Q_w = massima portata della frazione liquida desunta da valu-

tazioni idrologiche, χ = fattore di rigonfiamento; v_{∞} = concentrazione dei sedimenti in condizioni statiche "di massimo impaccamento"; v_d = concentrazione media del *debris flow* in movimento.

È evidente che l'utilizzo in sede previsionale di tale equazione comporta l'implicita attribuzione, alla colata detritica, della medesima ricorrenza della portata liquida al colmo, e quindi, in definitiva, della linea segnalatrice che individua la pioggia critica.

Questa posizione, stocasticamente non immune da critiche, è puramente convenzionale, in quanto non considera la dipendenza del tempo di ritorno della portata al colmo dalla distribuzione spazio-temporale dell'evento meteorico.

Come facilmente prevedibile, l'applicazione del metodo volumetrico al caso in esame fornisce risultati non congruenti a quanto effettivamente accaduto.

Infatti la stima della portata idrica

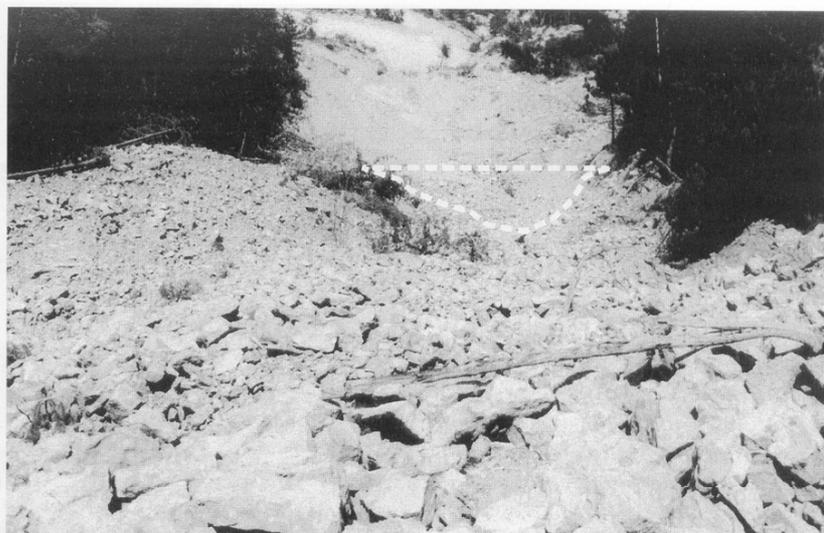
del collettore destro associata all'evento alluvionale, posta $S=0,078 \text{ km}^2$ la superficie scolante chiusa al corpo di frana, $\tau_c=0,15h$ il tempo di concentrazione dei deflussi, $\phi=0,8$ il coefficiente di perdita, e determinata l'altezza critica di precipitazione $h_c=i\cdot\tau_c$ sulla base di un'intensità oraria $i=75 \text{ mm/h}$ desunta dalla fase parossistica dei pluviogrammi di Moggio e Pontebba, fornisce

$$Q_w=\phi\cdot S\cdot h_c/\tau_c=1,30 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con il valore appena determinato, assumendo una concentrazione statica dei sedimenti $v_w=0,6$ (valore intermedio tra l'assetto granulare "a palle di cannone" e quello "a sfere incolonnate"), e una concentrazione media della colata compresa nell'intervallo $v_d=0,38\div 0,54$ (valori relativi ad una pendenza dell'alveo pari a $15\text{-}20^\circ$), si ottiene una portata di picco del *debris flow* pari a $Q_p=3,5\div 13 \text{ m}^3/\text{s}$. Per quanto si vedrà nel seguito, tale determinazione va considerata del tutto inattendibile.

Qualora si voglia invece stimare la portata di picco facendo ricorso al modello "landslide type", è possibile utilizzare il cosiddetto "metodo del dam break", secondo il quale il fronte di una colata detritica viene assimilato a quello che si origina dal crollo di una diga naturale di detriti, formatasi per qualche ragione in alveo.

Sotto le ipotesi particolarmente restrittive di schema di moto monodimensionale, canale a fondo orizzontale indefinitamente esteso a monte e valle, sezione intermedia con diga di ritenuta soggetta a crollo istantaneo, è possibile, attraverso la teoria delle onde di depressione, quantificare la portata generata dal collasso dello



sbarramento attraverso la

$$Q=(8/27)\cdot B\cdot H\cdot(g\cdot H)^{0,5}$$

in cui Q =portata liberata verso valle a causa del crollo della diga, B =larghezza del canale, H =altezza dello sbarramento, g =accelerazione gravitazionale.

Nel caso in studio, attraverso una ricognizione esplorativa è stato possibile identificare un settore basale del corpo di frana in cui, pur con tutte le incertezze del caso, potrebbe essersi verificato un cedimento improvviso del deposito che ha ostruito il collettore di destra.

Tale zona presenta una larghezza $B=10\div 20 \text{ m}$ ed un'altezza $H=3\div 5 \text{ m}$. Utilizzando tali valori nella relazione sopracitata, si perviene ad una portata di collasso pari a $Q=50\div 205 \text{ m}^3/\text{s}$, con un valore medio, assunto come valore di riferimento della portata di picco calcolata con il metodo "dam break", pari a $Q_p=115 \text{ m}^3/\text{s}$.

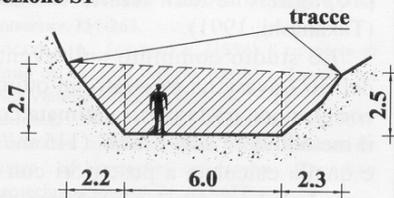
La verifica a posteriori con il metodo "slope area"

Allo scopo di testare le determinazioni di portata effettuate con i metodi previsionali, si è proceduto a stimare la portata di picco della colata sulla base delle tracce lasciate dal passaggio della stessa lungo il corso d'acqua. A tal fine si sono utilizzati i rilievi in sito effettuati nell'autunno '96 (Coccolo, Sgobino, documentazione inedita), ipotizzando un comportamento reologico del *debris flow* di tipo laminare viscoso, o, in alternativa, di tipo dilatante. Le elaborazioni sono riferite a due sezioni trasversali, di seguito denominate S1 ed S2, rilevate rispettivamente nel collettore di destra, circa 50 m a monte della confluenza, e nel tronco terminale, circa 50 m a valle della confluenza, in zone non interessate da fenomeni di deposito.

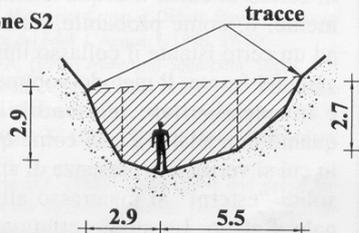
Nel caso di assunzione di modello newtoniano viscoso, la velocità del

Determinazione della Portata di Picco della Colata

Sezione S1



Sezione S2



Grandezza	Modello	Sezione S1	Sezione S2
A	[m ²]	-	22
U _{max}	[m/s]	newton.-visc.	7.37
U _{min}	[m/s]	newton.-visc.	3.79
U	[m/s]	newton.-visc.	5.30
U _{max}	[m/s]	dilat.	6.10
U _{min}	[m/s]	dilat.	5.13
U	[m/s]	dilat.	5.53
Q _{df}	[m ³ /s]	newton.-visc.	117
Q _{df}	[m ³ /s]	dilat.	122
Q _{df(m)}	[m ³ /s]	-	120

Sopra il titolo: La superficie di scivolamento e resti del deposito di frana da cui si è originata la colata detritica. Il volume mobilizzato è pari a 25.000 m³, dei quali circa 9.600 m³ hanno sviluppato il *debris flow*.

Nella pagina a fianco: La corografia di inquadramento. In questa pagina, in alto: Il piede del corpo di frana. In evidenza la zona in cui potrebbe essersi verificato un fenomeno tipo "dam break"; a fianco: le sezioni trasversali del corso d'acqua S1 e S2, dalle quali si è determinata a posteriori la portata di picco della colata detritica, sulla base delle tracce lasciate al passaggio; a pagina 30: il crollo del muro di sottoscampa della strada di accesso da nord all'abitato di Dogna, a seguito dell'azione dei deflussi di piena del torrente Fella devianti dal deposito della colata (sullo sfondo).

fronte è stata valutata attraverso la relazione di Poiseuille modificata

$$U_{nv} = (\gamma_{df} \cdot \sin\theta \cdot h_{df}^2) / (\kappa \cdot \eta)$$

in cui U_{nv} =velocità del fronte del *debris flow* secondo un modello newtoniano viscoso, h_{df} =altezza del flusso (2,5÷2,7 m in S1, 2,7÷2,9 m in S2), γ_{df} =peso dell'unità di volume della colata, assunto pari a 19÷21 kN/m³, θ =pendenza dell'alveo (37÷39% in S1, 22÷23% in S2), η =viscosità dinamica apparente del miscuglio, generalmente pari a 1,5÷2,0 kPa·s (Hungr 1988), κ =coefficiente di forma della sezione trasversale dell'alveo. Per quanto attiene a quest'ultimo parametro, esso assume i seguenti valori teorici: 3 per un canale molto largo, 5 per sezione trapezoidale, 8 per forma semicircolare. Per altri tipi di sezioni trasversali, κ può essere approssimativamente valutato attraverso la relazione:

$$\kappa = (8,5/R) + 3$$

in cui R è il rapporto tra la larghezza e l'altezza media del canale (nel caso in esame $\kappa=5,4\div5,8$ in S1, $\kappa=6,1\div6,3$ in S2).

Nel caso di modello dilatante la velocità media del fronte d'onda è stata invece stimata attraverso la

$$U_d = (2/3) \cdot \xi \cdot (\sin\theta)^{0,5} \cdot h_{df}^{1,5}$$

in cui U_d =velocità del fronte del *debris flow* secondo un modello dilatante, ξ =coefficiente inversamente proporzionale alla concentrazione della frazione solida nella miscela, mediamente assunto pari a 3,20÷3,30 m^{-1/2}·s⁻¹.

Una volta nota la velocità media del fronte, si è proceduto a stimare la portata di picco attraverso la quantificazione della larghezza e dell'altezza media del canale, definendo in tale modo l'area interessata dai deflussi e il coefficiente di forma κ . Per quanto riferisce al calcolo della velocità, considerando poco realistico fissare deterministicamente a priori i valori dei parametri fisico-geometrici che compaiono nelle relazioni, si è ritenuto di implementare le elaborazioni numeriche su foglio elettronico, generando in tale modo degli spazi campionari di velocità "newtoniani viscosi" (3125 simulazioni) e "dilatanti" (3375 simulazioni) in funzione della variabilità imposta ai parametri h_{df} , θ , κ , η , ξ , γ_{df} nell'ambito degli intervalli indicati.

La quantificazione finale della portata di picco è stata effettuata attraverso la relazione

$$Q_{df} = U \cdot A$$

in cui A=area della sezione trasversale desunta dai rilievi in sito, U è



la velocità media del fronte valutata con i modelli appena descritti.

Con riferimento alla media delle determinazioni tra i due modelli, si è ottenuta una portata di picco pari a 120 m³/s nella sezione S1, e 85 m³/s nella sezione S2.

Sintesi critica dei risultati

I fenomeni di trasporto di massa sono i più catastrofici tra quelli che si possono verificare nel reticolo idrografico della montagna friulana. La loro gravosità è legata direttamente alle condizioni di innesco, le quali, purtroppo, difficilmente sono note a priori. In linea previsionale si può affermare che nella stima della portata di picco dell'evento di progetto è sempre opportuno procedere in prima approssimazione attraverso il "metodo volumetrico", salvo verificare, per mezzo di sopralluoghi in sito, se la condizione geostatica e geomorfologica dei versanti e dell'alveo è tale da ipotizzare lo sviluppo di frane e/o accumuli tali da ostruire la sezione di deflusso. Nell'applicazione in sede previsionale del "metodo volumetrico" si può fare riferimento alla determinazione della portata idraulica secondo gli usuali metodi idrologici afflussi-deflussi, amplificando il risultato attraverso un "fattore di rigonfiamento" (*bulking factor*) dipendente dalla concentrazione statica e dinamica dei sedimenti. Nell'ambito della variabilità assunta nei casi reali dai parametri di concentrazione, il "fattore di rigonfiamento" può variare nell'intervallo $\chi=1,43\div10$

(Armanini, 1999).

Nel caso in cui le indagini geomorfologiche identifichino la presenza di frane incipienti insistenti sul corso d'acqua, nonché di particolari conformazioni d'alveo tali da favorire l'arresto di detriti e/o tronchi d'albero (restringimenti, rocce affioranti), è necessario, seppur a livello approssimativo, quantificare le dimensioni dei potenziali depositi che possono interessare il corso d'acqua, e operare la stima della portata di picco dell'evento di progetto mediante il metodo del "dam break". Relativamente a questo metodo va osservato che l'intrinseca l'assunzione di validità della portata così determinata per l'intero tronco a valle del crollo, pur se cautelativa, può a volte risultare eccessivamente sovrastimante, in quanto non tiene conto dell'effetto di deformazione e laminazione dell'idrogramma che naturalmente si verifica durante la propagazione del fronte d'onda (Takahashi, 1991).

Lo studio compiuto sull'evento del rio Lavasc ha mostrato un'ottima correlazione tra la portata stimata con il metodo del "dam break" (115 m³/s) e quella calcolata a posteriori con il metodo "slope area", a conferma che la parte del corpo di frana che ha sviluppato la colata detritica o è entrata in carico al corso d'acqua istantaneamente, o, come probabile, ha subito ad un certo istante il collasso improvviso del fronte. Il metodo volumetrico è invece risultato inattendibile, in quanto non adatto a casi come questo in cui si verifica la presenza di apporti solidi "esterni" al materasso alluvionale d'alveo. Lo studio effettuato ha

inoltre ben evidenziato il fenomeno di laminazione dell'idrogramma precedentemente citato. Si noti infatti come la portata stimata alla sezione S1 (posta circa 100÷150 m a valle del punto da cui si è originato il *debris flow*), pari a 120 m³/s, sia pressochè coincidente con quella calcolata mediante il metodo "dam break", mentre quella stimata in S2, (circa 100 m a valle di S1), pari a 85 m³/s, presenti un valore ridotto al 70% della precedente.

Infine si ritiene importante far notare che, sulla base delle velocità stimate con il metodo "slope area", il tempo impiegato dal *debris flow* per raggiungere la confluenza con il F. Fella è risultato pari a circa 1÷3,5 min. In linea generale appare dunque evidente che un intervallo temporale così ridotto difficilmente può essere utilizzato per la formazione di piani di allertamento ed evacuazione ai fini di Protezione Civile, i quali, pertanto, dovrebbero essere parametrizzati rispetto a precipitazioni meteoriche "di soglia" piuttosto che a grandezze cinematiche relative alla propagazione delle colate.

A.C.

Si ringrazia l'ing. Giovanni Garlatti, il p.i. Maurizio Ippolito e il dott. geol. Federico Sgobino per il contributo dato alla presente memoria.

Bibliografia

- ARATTANO M., DEGANUTTI A., GODONE F., MARCHI, L., TROPEANO D. (1991) L'evento di piena del 23-24 settembre 1990 nel Bacino del Fella (Alpi Giulie). Bollettino dell'Associazione Mineraria Subalpina, XXVIII, 4, 627-673.
- ARMANINI A. (1999) *Dinamica delle colate di detriti. Previsione e Prevenzione di Movimenti Franosi Rapidi*: 215-221. Torino: Associazione Georisorse e Ambiente.
- ASHIDA K. et al. (1976) *Freshets and sediment runoff in mountainous river basins*. Annuals, 23B-2, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 251-263.
- COCCOLO A., SGOBINO F. (1996) *Il trasporto di Massa del Torrente Vegliato*. Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia, XLVII, 5/96, 24-28.
- HUNGR O., MORGAN G.C., KELLERHALS R. (1984). *Quantitative analysis of debris torrents hazards for design of remedial measures*. Canadian Geotechnical Journal, 21, 663-677.
- HUNGR O. (1988) *Notes on dynamic analysis of flow-slides*. Proc. V International Symposium on Landslides: 679-683. Lausanne: Balkema.
- PARONUZZI P., COCCOLO A., GARLATTI G. (1998) *Eventi Meteorici Critici e Debris Flows nei Bacini Montani del Friuli*. L'Acqua, 6/1998, 39-50.
- RUSSO A. (1996) *Montagna Squarciata*. Suppl. n. 1 al n. 6/96 di "Voce della Montagna". Pontebba: Centro Culturale di Informazione Sociale.
- TAKAHASHI T. (1991) *Debris Flows*. Rotterdam: Balkema.
- VANDINE D.F. (1985) *Debris flows and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera*. Canadian Geotechnical Journal, 22, 44-68.