

Il Lago di sbarramento di Scanno: considerazioni riguardo le condizioni di stabilità

Gianluca Bianchi Fasani¹, Michele Cercato², Carlo Esposito³, Marco Petitta³

¹Autore corrispondente- Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, P.le Aldo Moro, 5 – 00185 Roma; fax 06 49914080, gianluca.bianchifasani@uniroma1.it

²Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, michele.cercato@uniroma1.it

³Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, carlo.esposito@uniroma1.it, marco.petitta@uniroma1.it

The Scanno dam lake: considerations about the stability conditions

ABSTRACT: The Scanno rockslide-avalanche dammed the Tasso river and caused the impoundment of the Scanno Lake which is one of the most famous example of naturally dammed lake in Central Apennines (area 1 km², perimeter 5 km, max depth 33 m). Far more significant is the presumed age of the lake. In fact, according to reports and documents by Roman historians the event could date back to 217 B.C. Further, radiocarbon dating of a paleosoil sample collected in the accumulation area yielded an age of about 12,820 yr, thus giving a lower bound for the time of occurrence. It comes out that the life span of the dam is remarkable, since there is no record of catastrophic breaching during the past 2,300 yr. To explain such a long life span of the rockslide-avalanche dam and to get indications about its stability conditions, it is fundamental to build a representative geological model especially aimed at defining: the geometry of the boundary surface between the rockslide debris and the bedrock; the geotechnical characteristics of the debris with special reference to hydraulic behavior (grain size, porosity, bulk permeability); the flownet within the rockslide deposit taking into account the complex geological and hydraulic boundary conditions imposed by the palaeovalley morphology and by the numerous springs downstream of the dam which are fed by different aquifers. According to the mentioned objectives, a multidisciplinary research project has been purposely planned and is presently in progress. It is based on both site and laboratory investigations encompassing geological and geomorphological survey, hydrogeological measurements, chemical and isotope analyses, borehole drilling, pumping tests and electrical tomography. In the following sections, after an outline of the geological and hydrogeological setting of the Scanno area, the research methodology and the preliminary results so far acquired are discussed.

Key terms: Natural dam lake, geological model, landslides, geophysical survey, hydrogeological survey

Termini chiave: Lago di sbarramento naturale, modello geologico, frane, indagini geofisiche, indagini idrogeologiche

Riassunto

Il lago di Scanno risulta formato a seguito dello sbarramento del torrente Tasso ad opera di un ingente fenomeno franoso distaccatosi dal versante occidentale del Monte Genzana ed avvenuto tra 12.820 (Bianchi Fasani, 2003) e 2.300 anni BP (Nicoletti *et al.*, 1993). Considerando l'elevata durata dello sbarramento, sono state condotte nell'area indagini multidisciplinari, finalizzate all'individuazione dei fattori che governano la stabilità della diga naturale. Sono infatti i caratteri geometrici (volume e altezza), morfologici, idrogeologici ed idraulici (interazioni sbarramento-processi di filtrazione) a determinare la stabilità e quindi la durata della diga naturale. Un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio dell'area, ha costituito la base sulla quale integrare i risultati di indagini di tipo diretto e geofisiche (tomografia elettrica e SEV). Il modello geologico di riferimento così ottenuto ha permesso di definire la geometria del contatto tra accumulo

detritico e bedrock. In seguito, analisi idrogeologiche hanno evidenziato interazioni idrauliche tra l'invaso lacustre ed il corpo detritico a conferma di come fenomeni gravitativi di elevate dimensioni, oltre a determinare radicali variazioni del paesaggio svolgono un ruolo fondamentale nella variazione degli assetti idrologici superficiali, costituendo inoltre percorsi preferenziali di veicolazione idrica.

Introduzione

Lo sbarramento naturale dalla frana di Scanno (circa 96 10⁶ m³ di materiale coinvolto), ha dato luogo alla formazione dell'omonimo lago, che occupa attualmente la porzione sud-orientale della valle del Sagittario (Fig. 1).

Riguardo all'età dell'evento, Colarossi-Mancini nel 1921 definisce la frana come sismoindotta, mettendola in relazione con il tremendo terremoto, descritto da Tito Livio, dell'anno 217 B.C. (Nicoletti *et al.*, 1993). Il prelievo di un paleosuolo nei pressi dell'abitato di Villalago, di età

precedente al fenomeno, in quanto immediatamente sottostante al deposito di frana, ha fornito una datazione, effettuata presso il Geochron Laboratories (Cambridge, Massachusetts, USA, tramite metodo del radiocarbonio), di circa 12.820 anni (Bianchi Fasani, 2003). Possiamo ritenere tale dato come il limite cronologico inferiore dell'evento.

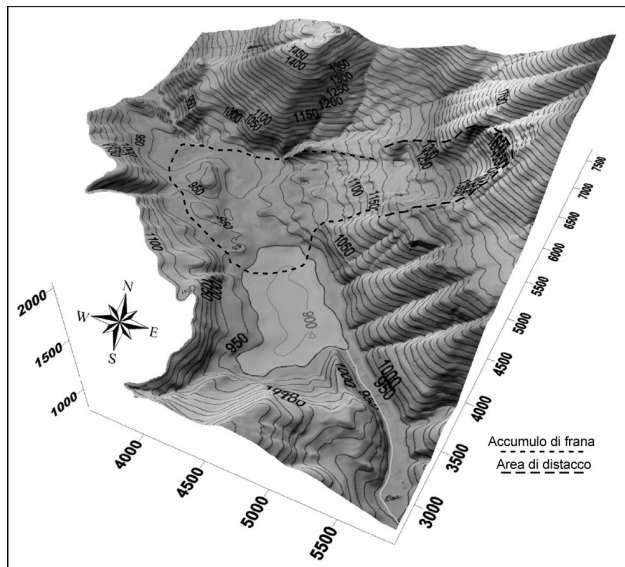


Fig. 1: Modello tridimensionale della valle del Sagittario (distanze e quote sono espresse in metri)
Digital elevation model of the Sagittario Valley (distances and elevations are expressed in meters)

La frana, intersecando il corso del Paleotasso, ha dato origine ad una diga naturale che, secondo la classificazione di Swanson *et al.*, (1986) può essere ritenuta sia del II che del III tipo, ovvero una frana che, attraversando l'intero fondovalle, ha depositato parte del materiale sulle pendici del versante opposto a quello di distacco ed è inoltre caratterizzata da un espandimento laterale avvenuto all'interno della paleovalle.

Sino ad oggi, malgrado gli apporti del torrente Tasso (flusso di base di circa 350 l/s), si è giustificata la stazionarietà idrometrica del lago attraverso il processo di evaporazione, benché per soli 30 giorni l'anno ci siano temperature superiori ai 30° C. Si devono pertanto ipotizzare perdite operate attraverso la diga naturale in direzione delle gole del Sagittario. In tale ottica, la valutazione di tale regime idraulico riveste primaria importanza per la definizione delle condizioni di stabilità della diga naturale stessa (Scarascia Mugnozza *et al.*, 2004). A tale scopo si è proceduto alla delimitazione del corpo di frana mediante indagini geofisiche e perforazioni meccaniche, nonché alla caratterizzazione dell'acquifero tramite indagini idrogeologiche.

Inquadramento geologico

La valle del Tasso-Sagittario, che nel settore tra Scanno e

l'omonimo lago è impostata sui depositi silicoclastici messiniani, è compresa tra i rilievi del Monte Genzana ad E e del Monte Argatone ad W; il primo costituito da sedimenti calcareo-marnosi in facies di transizione, mentre il secondo da calcari in facies di piattaforma riferibili al dominio laziale-abruzzese. Dal punto di vista geologico-strutturale si tratta di una complessa zona d'incontro dove la tettonica polifasica, esplicatasi su importanti direttrici orientate principalmente NNW-SSE, ha messo a contatto differenti domini paleogeografici (Miccadei, 1993).

L'elemento tettonico principale che contraddistingue l'area è rappresentato dalla faglia del Genzana, una master fault orientata circa NNW-SSE ed immergente a WSW di circa 70°. Questa agendo con diversi cinematismi durante le differenti fasi tettoniche, ha condizionato l'evoluzione recente del paesaggio ponendo a contatto termini terrigeni (a tetto) con calcari marnosi di transizione (a letto). Il quadro litologico dell'area è completato da estesi affioramenti di breccie di versante, cementate e clinostratificate, che risultano sospese sull'attuale fondovalle in conseguenza delle variazioni del livello di base riferibile ad un'ulteriore attività quaternaria della faglia del Genzana.

Indagini geonostiche e geofisiche

Nei mesi di Maggio e Luglio 2004, sono state condotte due campagne di indagini basate su metodologie di prospezione dirette ed indirette, finalizzate a caratterizzare dal punto di vista stratigrafico, fisico e geometrico il corpo di frana, nonché a definire i rapporti tra quest'ultimo ed il basamento rappresentato dalla paleovalle del Tasso-Sagittario. A tal proposito sono stati eseguiti due sondaggi meccanici di taratura ed una serie di indagini geofisiche basate su quattro linee elettriche multielettrodiche e due S.E.V..

I sondaggi meccanici sono stati realizzati in una delle aree depresse presenti all'interno dell'ammasso detritico nell'assunzione, che in tale sito si fosse in presenza di uno spessore minimo.

Dal punto di vista stratigrafico, sino ad una profondità di circa 5 m dal piano campagna sono presenti limi argilloso-sabbiosi con abbondante sostanza organica (frustoli vegetali), mentre materiale detritico del corpo di frana, calcareo e calcareo marnoso è presente sino alla profondità di 60 m. Da segnalare inoltre, che dalla profondità di 60 m dal piano campagna, sino alla massima raggiunta (63 m), nel cutting sono state rilevate abbondanti particelle di argilla attribuibili al flysch che in tale settore costituisce il substrato sul quale si è depositato il corpo di frana.

La profondità della superficie della falda freatica è di circa 5 m dal piano campagna.

In corrispondenza del corpo di frana sono state inoltre effettuate quattro linee multielettrodiche, indicate rispettivamente con le sigle ERT1, ERT2, ERT3 ed ERT4 di cui tre (ERT1, ERT2 ed ERT3) trasversali ed una longitudinale (ERT4) alla direzione di trasporto della frana

(Fig. 2).

Due sondaggi elettrici verticali, denominati S_1 ed S_2 , sono stati posti rispettivamente lungo la linea multielettrodica ERT1 e tra questa e le due linee sovrapposte ERT2 ed ERT3.

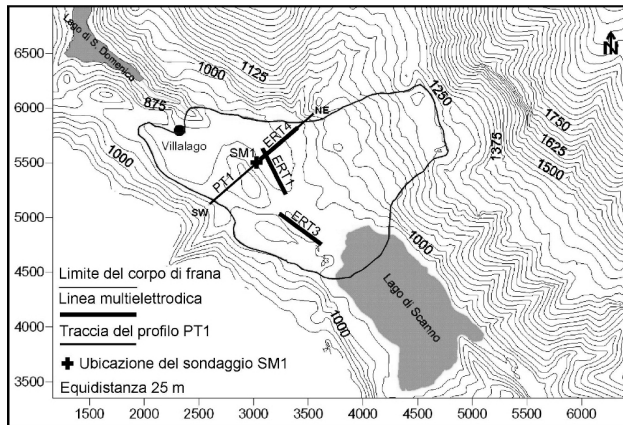


Fig. 2: Ubicazione delle indagini e traccia del profilo PT1
Probes location and topographic profile PT1

Le indagini di tomografia elettrica sono state eseguite ponendo gli elettrodi ad un'interdistanza di 10 m, per una lunghezza totale di ogni stendimento di 470 m (Fig. 2).

I SEV, infine, sono stati eseguiti con il metodo Schlumberger, con un $AB/2$ massimo di 150 m.

I valori di resistività acquisiti in campagna sono stati in seguito elaborati mediante il programma Res2Dinv (Loke, 2003).

I risultati delle indagini multielettrodiche e dei SEV possono essere così sintetizzati:

- nel profilo di resistività ottenuto lungo la linea ERT1, sia con dispositivo polo-dipolo che dipolo-dipolo, è possibile individuare, fino ad una profondità massima di circa 25 m, un layer superficiale (resistività $< 50 \Omega\text{m}$), attribuibile ai limi-argillosi fluvio-lacustri depositi in questo settore dall'emissario del lago; tra i 25 ed i 30 m i valori di resistività passano, dall'alto verso il basso, da $100 \Omega\text{m}$ a $200 \Omega\text{m}$, probabile porzione superiore del corpo di frana. A profondità maggiori e fino almeno ai 90 m (dato ottenuto dal SEV S_2) i valori di resistività si attestano intorno ai $1000-1500 \Omega\text{m}$, evidenziando un corpo costituito da materiali altamente resistivi e formato probabilmente da blocchi carbonatici e marnosi, immersi in matrice ghiaioso-sabbioso-limosa (è infatti questo l'aspetto del corpo di frana in affioramento). Le indicazioni del SEV pongono inoltre in evidenza che a 90 m di profondità si verifica una brusca diminuzione di resistività attribuibile alla presenza del flysch che costituirebbe in questo settore il bedrock.
- Nella sezione, ERT3 acquisita con dispositivo polo-dipolo, sono presenti, sino ad una profondità di circa 40-45 m (parte centrale della linea), materiali più resistivi. Tra le progressive 150 e 320 m si evidenziano alti valori

di resistività (da 400 a $> 1000 \Omega\text{m}$), attribuibili al materiale della paleofrana. Al di sotto si passa ad un materiale conduttivo con valori di resistività molto bassi, inferiori ai $10 \Omega\text{m}$, interpretato come materiale flyschoidale.

- La linea ERT4, posta perpendicolarmente alle precedenti, mostra tra le progressive 160 e 470 m elevati valori di resistività, che si estendono dalla superficie sino ad una profondità di circa 40 m. Fra la progressiva 0 e 160 gli stessi valori di resistività si ritrovano al di sotto di un materiale di copertura più conduttivo (resistività di $30-35 \Omega\text{m}$); tale andamento è correlabile con quello riscontrato nella linea ERT1. Fra le progressive 160 e 240 m, ad una profondità di 40-45 m, si passa invece a valori di resistività minori (intorno ai $100 \Omega\text{m}$) che diminuiscono ulteriormente con la profondità sino ad arrivare a valori $< 10 \Omega\text{m}$ verso i 60 m, imputabili anche in questo caso alla presenza di flysch.

Ricostruzione del modello geologico

Le informazioni acquisite sono state utilizzate per la ricostruzione dell'andamento della superficie della paleovalle e, quindi, per una valutazione del volume dello sbarramento.

A tale scopo è stato preso in riferimento un profilo topografico orientato in direzione SW-NE (PT1 Fig. 3), la cui traccia si sovrappone alla linea multielettrodica ERT4 ed al sito di ubicazione del sondaggio meccanico SM1. La scelta della sezione è stata condizionata dal maggior numero di informazioni presenti, desunte per mezzo dei diversi metodi di prospezione.

Nel settore NE del profilo PT1 (Fig. 3), sulla base dei dati forniti dalla linea ERT4 ed al fine di valutare l'andamento della topografia della paleovalle, è stato tracciato il livello indicatore dei valori di resistività $< 100 \Omega\text{m}$, in quanto ritenuto rappresentativo del contatto tra il corpo di frana e la superficie preesistente. Per tale ricostruzione sono state fondamentali le interpretazioni delle pseudosezioni relative alle linee ERT1 ed ERT3, del sondaggio meccanico SM1 ed i dati derivati dal rilevamento geologico relativi al contatto frana-bedrock affiorante all'estremità SW della sezione.

E' interessante notare come la posizione della paleovalle, nell'ultimo tratto del profilo, risulti compatibile con la morfologia di superficie. Infatti, come si può osservare dal profilo topografico, al di sopra del tratto in questione si trova parte dell'originario ridge frontale del corpo di frana, formatosi a causa del brusco rallentamento operato dalle pendici del Monte Argatone nei confronti della massa di frana in movimento; in questo settore la pendenza relativamente elevata della paleovalle ben si accorda con l'ipotesi di un controllo morfologico sulle modalità di messa in posto della frana stessa.

Una volta ricostruita l'originale sezione valliva, è stato

possibile quantificarne l'area, circa $41 \cdot 10^3 \text{ m}^2$. Da tale dato si è infine desunto l'attuale volume dello sbarramento, pari a circa $82 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (considerando una lunghezza dello sbarramento di circa 2 km).

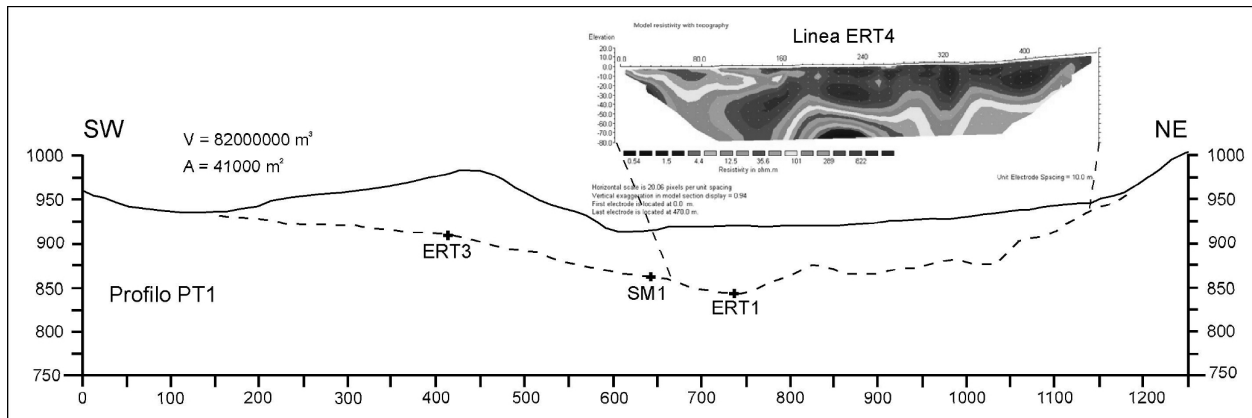


Fig. 3: Ricostruzione della probabile topografia della paleovalle lungo il profilo topografico PT1
 Reconstruction of the probable paleovalley topography along the profile PT1

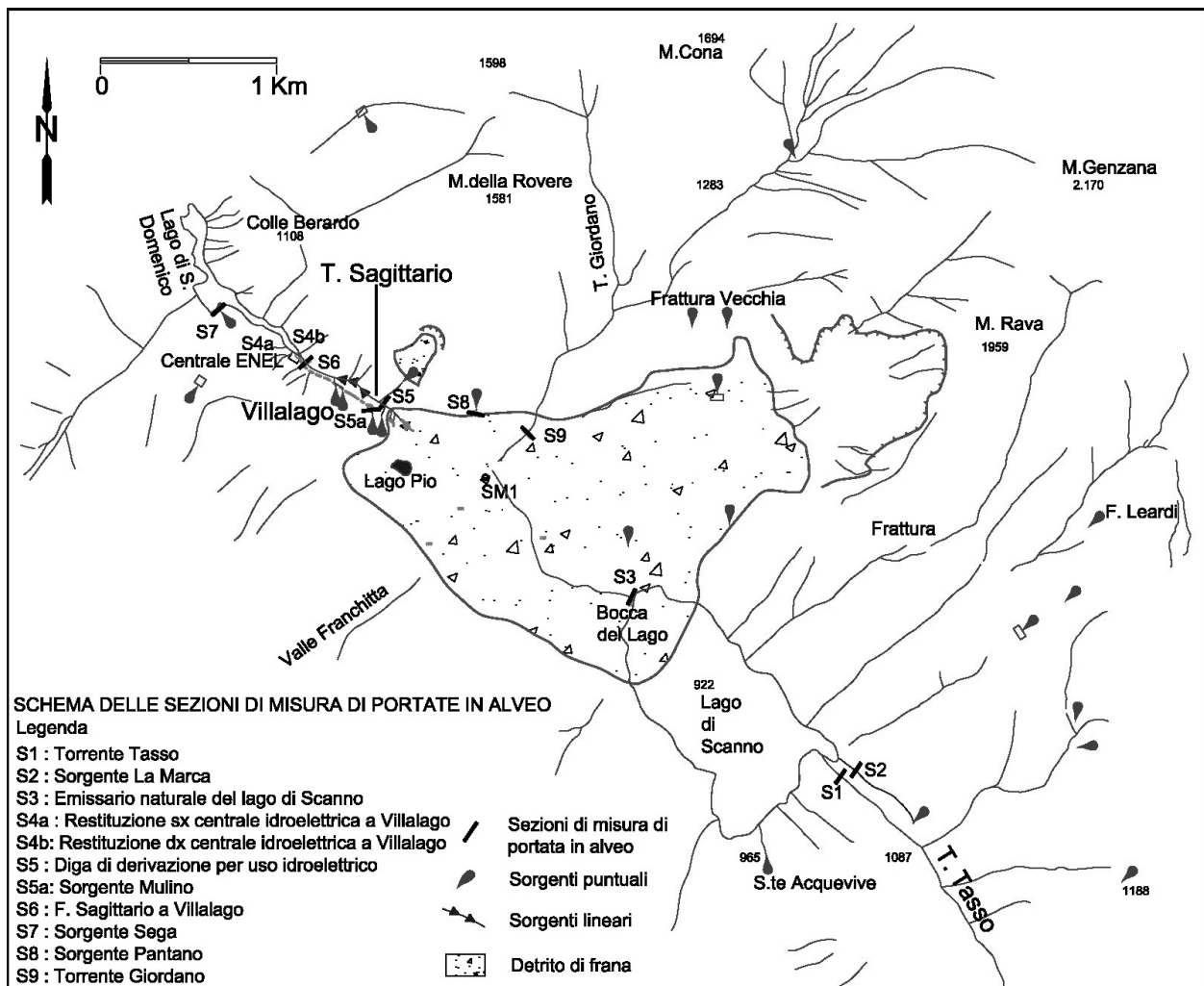


Fig. 4: Ubicazione delle misure di portata svolte nella valle del Sagittario
 Sagittario valley sketch map with location of measured discharge

Indagini idrogeologiche

Nel periodo Gennaio 2004 – Settembre 2004 sono state effettuate misure di portata finalizzate alla comprensione dei rapporti esistenti tra il regime di portata del torrente Tasso e le portate delle sorgenti poste immediatamente a valle dell'accumulo di frana, situate presso l'abitato di Villalago (Fig. 4). Di quest'ultime è stato possibile solo valutare il trend di variazione, dal momento che incondottate in corrispondenza dell'emergenza sono restituite insieme alle acque del fiume Sagittario presso la centrale ENEL di S. Domenico. Tale operazione di scorporo è resa possibile poichè, in tale settore, il Sagittario è alimentato, oltre che dalle sorgenti di Villalago, da sorgenti lineari e puntuali contraddistinte da una circolazione profonda caratterizzata da flussi di base pressochè costanti nel tempo. Questa osservazione consente quindi di attribuire le variazioni di portata misurate in prossimità della restituzione ENEL (Fig. 5) principalmente alle variazioni di portata delle sorgenti di Villalago, a loro volta concordi con le variazioni di portata del torrente Tasso.

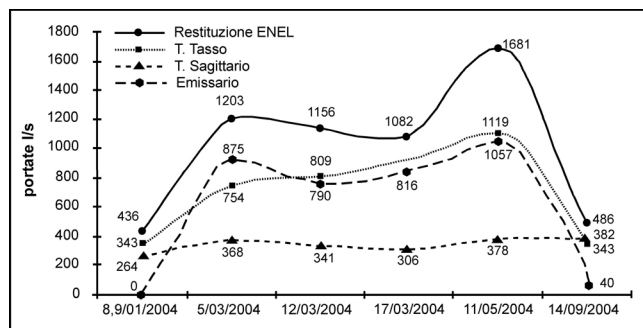


Fig. 5: Confronto tra le portate misurate nelle stazioni del T. Sagittario, T. Tasso, emissario naturale del lago e restituzioni della centrale ENEL

Comparison between the measured discharge along the Sagittario river, Tasso river, Scanno lake outlet and the ENEL site

Da tali prime considerazioni, unitamente al fatto che le caratteristiche chimico-fisiche e chimiche delle sorgenti di Villalago risultano simili a quelle del lago, si può dedurre che il corpo di frana ospita una circolazione idrica sotterranea alimentata, oltre che dagli apporti zenitali, dall'invaso lacustre. Il livello piezometrico rilevato in corrispondenza del sito di sondaggio è pertanto da attribuire a tale circolazione idrica in equilibrio idrodinamico con le variazioni del livello del lago. Solo occasionalmente, allorché il corpo di frana non è in grado di smaltire gli ingenti apporti idrici che dal torrente Tasso si riversano nel lago si attiva l'emissario naturale, con portate anche nell'ordine del m^3/s (Fig. 5), che però si riversano in un'ampia depressione morfologica nell'ambito dell'accumulo (sito di ubicazione di SM1) dove vengono riassorbiti per infiltrazione nel detrito di frana stesso.

Stabilità dello sbarramento e considerazioni conclusive

La stabilità della diga naturale di Scanno è stata valutata mediante l'utilizzo di parametri morfometrici: altezza e volume dello sbarramento ed area del settore del bacino idrografico del torrente Tasso sottesa a monte della diga naturale (circa $95 km^2$). Per quanto riguarda l'altezza è stato considerato il valore di 60 m, in quanto tale valore rappresenta sia la profondità del basamento, in corrispondenza del sito di sondaggio, nonché il dislivello esistente tra la quota del sondaggio SM1 e la testata del fiume Sagittario (punto di principale emergenza delle sorgenti di Villalago).

I suddetti parametri sono stati elaborati per il calcolo dell'indice di occlusione adimensionale (DBI) (Ermini, 2003; Ermini & Casagli, 2003); la frana di Scanno, in tal senso, si annovera tra i casi di sbarramento stabile (DBI pari a 1,84) (Fig. 6).

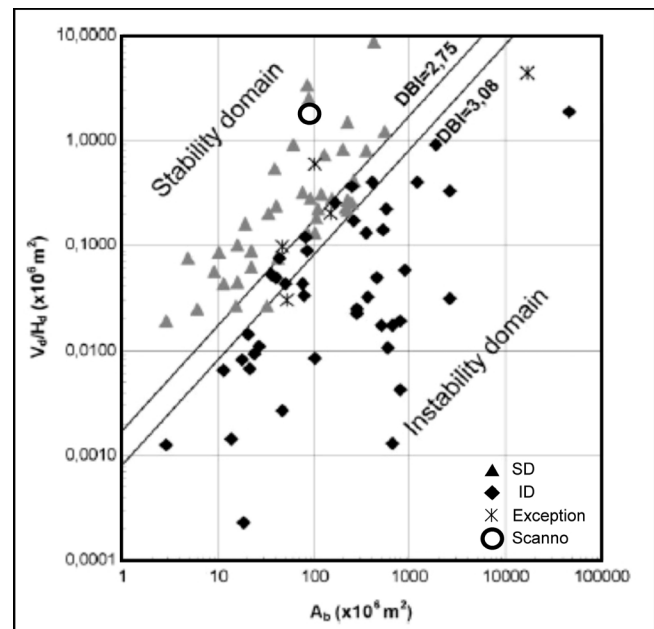


Fig. 6: Valutazione della stabilità degli sbarramenti naturali mediante l'utilizzo di parametri morfometrici (DBI) (da Ermini e Casagli, 2003)

Stability dam evaluation by means of morphometric parameters (DBI) (from Ermini e Casagli, 2003)

In particolare, la stabilità di tale diga naturale trova la sua spiegazione nell'elevato valore del volume, rispetto alle dimensioni che definiscono l'ampiezza della valle sbarrata (che è in media di 1 km nelle immediate vicinanze del settore occluso). L'ingente volume dello sbarramento ha un comportamento simile a quello delle dighe in terra, opponendo la propria inerzia alla spinta operata dal volume d'acqua retrostante (Lago di Scanno). Per quanto concerne l'influenza dell'altezza si può concludere che anche le dimensioni di questo parametro sono a favore di una

condizione di stabilità. Infatti, il valore considerato di 60 m risulta modesto se paragonato al valore della lunghezza dello sbarramento, tanto da conferire a quest'ultimo una forma livellata e caratterizzata da un paramento di monte poco inclinato, ed un paramento di valle con inclinazione media di circa 20°.

Se si considera il problema della stabilità in termini di interazione tra processi gravitativi e fluviali, si può asserire che un contributo sostanziale alla stabilità può essere individuato innanzitutto nella modesta estensione areale del settore del bacino idrografico del torrente Tasso posto a monte dello sbarramento. In effetti la portata media annua del torrente Tasso (circa 350 l/s) appare piuttosto modesta per permettere al corso d'acqua di operare un processo erosivo intenso e repentino dello sbarramento tale da condurlo al collasso per sormonto.

Un contributo alla stabilità della diga naturale va infine ricercato nelle proprietà dei materiali che lo costituiscono.

Dal rilevamento geologico e dalle informazioni acquisite attraverso i differenti metodi di prospezione, sembra evidente che i materiali che costituiscono il corpo di frana siano eterogenei, visto che è stata messa in luce la presenza del flysch, dei depositi fluvio-lacustri e del corpo di frana composto dai diversi litotipi che costituiscono l'ossatura del versante occidentale del M. Rava. Le dimensioni granulometriche di questi materiali sono inoltre molto variabili, ma con una prevalenza della porzione granulometrica da ghiaiosa a sabbioso grossolana. Tali caratteristiche, che conferiscono al corpo di frana buone proprietà idrauliche ed in particolare elevata permeabilità, possono essere considerate sfavorevoli rispetto a fenomeni di collasso per piping o intensa filtrazione.

Ulteriori indagini finalizzate alla definizione dei parametri idrodinamici dell'acquifero sono attualmente in corso.

Bibliografia

- Bianchi Fasani G., 2003. Grandi Frane in roccia: fenomenologia ed evidenze di terreno. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- Colarossi-Mancini, A., 1921. Storia di Scanno e guida della Valle del Sagittario. L'Aquila. Ristampato nel 1983 dalla biblioteca comunale di Scanno, 382 pp.
- Ermini L., Casagli N., 2003. Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. *Earth Surface Processes and Landforms*, pp. 31-47.
- Ermini L., 2003. Gli sbarramenti fluviali causati da frane: criteri speditivi per la stesura di scenari evolutivi derivanti dalla loro formazione. I Congresso Associazione Italiana Geologia Applicata. Chieti, 19-20 Febbraio 2003, pp. 355-367.
- Loke, M.H. 2003. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Copyright (1996-2002) M.H. Loke, 123 pp.
- Nicoletti, P.G., Parise, M. e Miccadei, E., 1993. The Scanno rock avalanches (Abruzzi, South-Central Italy), *Boll. Soc. Geol. It.*, vol. 112, pp. 523-535.
- Miccadei, E., 1993. Geologia dell'Alto Sagittario-Alto Sangro (Abruzzo, Appennino centrale). *Geologica Romana*, vol. 29, pp. 463-481.
- Scarascia Mugnozza G., Petitta M., Bianchi Fasani G., Esposito C., Barbieri M., Cardarelli E., 2004. The importance of the geological model to understand and predict the life span of rockslide dams: the Scanno Lake case study, Central Italy. In: *Security of natural and artificial rockslide dams, extended abstract volume*, pp. 157-163. Nato Advanced Research Workshop, Bishkek, Kyrgyzstan, June 8-13, 2004.
- Swanson, F.J., Oyagi, N., Tominaga, M., 1986. Landslide dams in Japan. In: Schuster, R.L., ed., *Landslide dams – processes, risk and mitigation: American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publications 3*, n° 3-4, pp. 216-242.