

MONITORAGGIO GEOTECNICO e TERMICO della CRESTA SUD del MONTE ROCCIAMELONE

**Luca Paro e
Giacomo Re Fiorentin**

Arpa Piemonte, Dipartimento
Tematico Geologia e Dissesto, Torino
luca.paro@arpa.piemonte.it

Christian Ronchi

Arpa Piemonte, Dipartimento
Tematico Sistemi Previsionali, Torino

Il monte Rocciamelone (3538 m) domina le valli di Susa e Cenischia (provincia di Torino) e per secoli la sua vetta è stata ritenuta la più elevata d'Italia.

Nel 2006-2007, parte della cresta Sud, a quota 3200 m circa, è stata interessata da una frana di scivolamento in roccia evoluta in processi di crollo e di colata. Anche se l'evento non ha comportato particolari problemi dal punto di vista della gestione del rischio per l'area antropizzata a valle, l'attenzione posta a questo fenomeno è legata alle potenziali conseguenze che si possono avere qualora si mobilizzassero porzioni maggiori del versante, come indicano gli attuali indizi di instabilità.

Dall'autunno 2007 Arpa Piemonte ha installato lungo la cresta Sud del Rocciamelone (tra le quote 2850 e 3300 m) una rete di monitoraggio geotecnico costituita da basi distanziometriche, capisaldi GPS e da un estensimetro a filo. A partire dal 2013 sono stati anche installati alcuni termometri in roccia e in fratture aperte per verificare le relazioni tra deformazione e temperatura negli ammassi rocciosi. Infatti, negli ultimi anni, sempre più spesso, tali processi in area alpina sono stati messi in relazione con i cambiamenti climatici e con la degradazione del permafrost, anche se la mancanza di dati, soprattutto quelli di temperatura all'interno degli ammassi rocciosi, non consente di stabilire in modo univoco e certo un rapporto di causa-effetto tra il riscaldamento atmosferico, la degradazione del permafrost ed i fenomeni gravitativi.



INTRODUZIONE

Il monte Rocciamelone (3538 m) con la sua forma slanciata e la notevole altezza domina l'intera Valle di Susa (TO), di cui è la montagna simbolo. Alcuni storici fanno coincidere la nascita dell'alpinismo con la data della sua prima ascensione, attribuita al conte Bonifacio Rotario d'Asti che nel 1358, di ritorno dalla crociata in Terra Santa, salì sulla montagna per voto religioso. La vetta di forma piramidale, sulla quale convergono i territori comunali di Mompantero, Novalesa ed Usseglio, rappresenta un importante nodo orografico in quanto da essa si dipartono tre rilevanti dorsali: verso NO quello che separa la Valle Cenischia dalla Vallée du Ribon; verso ESE il lunghissimo spartiacque tra la Valle di Viù e la Valle di Susa; verso SSO il crinale che divide la Comba della Pala dalla Valle Cenischia e lungo il quale si sviluppa la via normale alla vetta (Fig. 1).

Dal 2004, lungo la cresta SSO a quota 3200 m circa, sono stati osservati diversi fenomeni di instabilità di versante che hanno subito una improvvisa accelerazione a partire dal dicembre 2006. Si tratta di una frana di scivolamento in roccia che ha coinvolto, per una lunghezza di circa 250 m, parte della cresta nel tratto compreso tra il rifugio Cà d'Asti e la Crocetta (cfr. Fig. 9). Alcune decine di migliaia di m³ di roccia sono scivolati per decine di metri verso la Val Cenischia. Gran parte dei blocchi mobilizzati sono tuttora visibili sul versante ovest, immediatamente al di sotto della linea di cresta. Il materiale

roccioso e detritico è quindi confluito sul sottostante Pian Marderello per ripetuti processi di crollo e di colata.

La fase parossistica, caratterizzata da elevate velocità di spostamento e ripetuti crolli, si è conclusa nel corso del 2007 e da allora la frana continua a muoversi molto più lentamente. Percorrendo la cresta lungo la via normale alla vetta, nel tratto compreso tra il rudere (3130 m) e la Crocetta (3306 m), risulta particolarmente evidente la presenza di fratture aperte che sottolineano l'arretramento verso Est del crinale, prodotto dal continuo scivolamento in direzione opposta delle porzioni rocciose. Anche se l'evento del 2006-2007 non ha comportato particolari problemi dal punto di vista della gestione del rischio per l'area antropizzata a valle, l'attenzione posta a questo fenomeno è legata alle potenziali conseguenze che si possono avere qualora si mobilizzassero porzioni maggiori del versante, come indicano gli attuali indizi di instabilità. Inoltre, l'area del Pian Marderello, dove si hanno i primi accumuli del materiale proveniente dal settore di cresta, è un'area critica in quanto area sorgente di ingenti quantità di materiale detritico che alimentano i frequenti fenomeni di colata detritico-fangosa del rio Marderello. Tali colate coinvolgono quasi ogni anno il fondovalle della Val Cenischia e per questo motivo il bacino è tenuto sotto osservazione anche dal CNR-IRPI.

Le condizioni di dissesto evidenziate negli ultimi anni nel settore della cresta me-

ridionale del M. Rocciamelone sono ubicate in un contesto geologico-climatico in cui è possibile ipotizzare una relazione tra la dinamica gravitativa e le caratteristiche termiche dell'ammasso roccioso. Infatti, l'attivazione parossistica degli anni 2000 è avvenuta in seguito ad un periodo con marcate anomalie termiche positive della temperatura dell'aria a cui sono stati associati alcuni importanti fenomeni gravitativi nei settori alto alpini (es. crollo lungo la *cheminée* del Cervino nel 2003 e la *rock avalanche* della Thurwieser del 2004). Il riscaldamento atmosferico potrebbe aver influenzato il delicato equilibrio dell'ammasso roccioso e, in particolare, delle condizioni termiche delle fratture e del materiale di riempimento. È noto che la presenza di ghiaccio all'interno delle fratture ha un notevole potere cementante e stabilizzante ma, viceversa, la presenza di sottili film di acqua allo stato liquido al contatto tra roccia e ghiaccio riduce in modo significativo la resistenza al taglio dei materiali. A questo quadro bisogna poi aggiungere lo stress meccanico legato all'alternanza di dilatazione e contrazione che i cicli di gelo e disgelo esercitano sugli ammassi rocciosi, condizionandone la stabilità sul lungo periodo.

È in base a questa ipotesi di lavoro che il Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto di Arpa Piemonte ha deciso di intraprendere alcune attività di monitoraggio termico del settore della cresta meridionale del M. Rocciamelone, da affiancare al monitoraggio geotecnico (effettuato dallo stesso dipartimento continuativamente dal 2007). L'attività di monitoraggio termico rientra nell'ambito delle attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost che il DT Geologia e Dissesto conduce a livello regionale a partire dal 2006 e dal 2009 con le stazioni del permafrost (<https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/geologia-e-dissesto/monitoraggio/monitoraggio-permafrost>).

Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico quasi tutto il Rocciamelone è costituito da una sequen-

Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio.



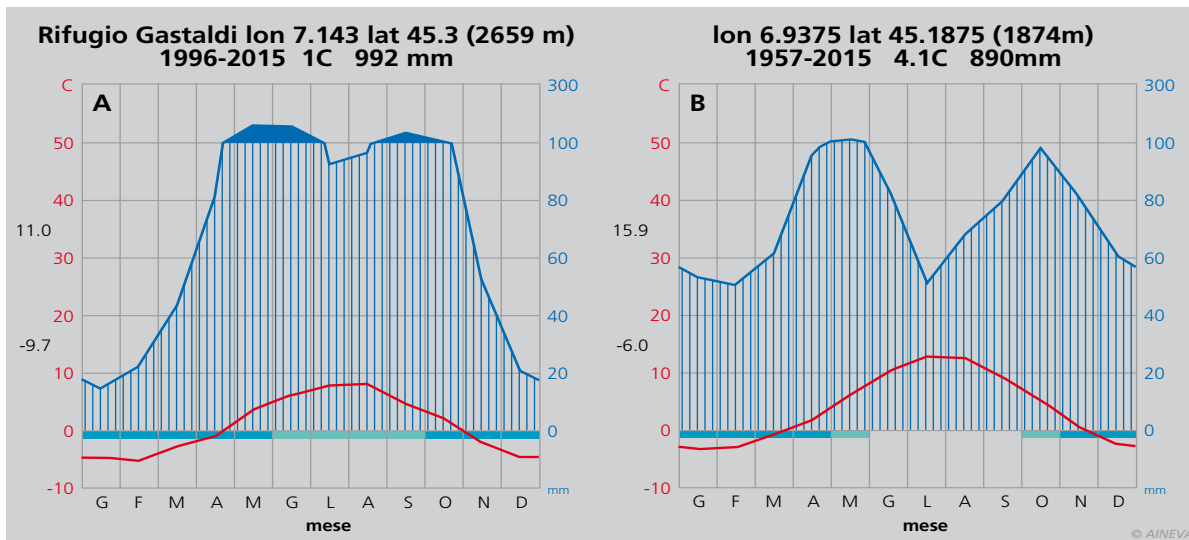


Fig. 2 - Diagrammi climatici di Walter & Lieth (1960-1967) riferiti all'area del Rocciamelone: a sinistra la serie storica del Rifugio Gastaldi e a destra il punto griglia cui afferrisce il rilievo nell'analisi giornaliera.

za piuttosto monotona di calcescisti di colore plumbeo e brunastro e calcescisti marmorei ripiegati in modo pervasivo con intercalazioni di potenza variabile (dal decimetro all'ettometro) di gneiss albitici e subordinate prasiniti. Si riconoscono, inoltre, intercalazioni di marmi e marmi dolomitici grigio biancastri.

Il versante occidentale sottostante la cresta sud è interessato da fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV) con limite superiore posto in prossimità del contatto tra i calcescisti dell'Unità di Puy-Venaus e le bancate di marmi a silicati e marmi filladici dell'Unità del Rocciamelone (Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 154 "Susa"). Tutto il versante è inoltre soggetto a crolli e ribaltamenti diffusi causati dalla disgregazione della parte superiore del versante (marmi e calce-micascisti dell'Unità del Rocciamelone). La frana monitorata da Arpa Piemonte è classificata come frana complessa la cui evoluzione è legata ad una serie di fattori predisponenti tra i quali le particolari condizioni geo-strutturali dell'area, la disgregazione dell'appoggio basale dei livelli marmorei (bancate di marmi a silicati e marmi filladici dell'Unità del Rocciamelone) nonché, in fase di verifica, l'eventuale influenza del rialzo termico a cui gli ambienti alpini sono attualmente soggetti.

Inquadramento termo-pluviometrico

Un inquadramento climatico esaustivo del

monte Rocciamelone necessiterebbe di una o più stazioni di monitoraggio meteorologiche in loco, le quali dispongano di serie storiche di osservazioni lunghe almeno 30 anni. Sfortunatamente, tali punti di misura con caratteristiche adatte a questo scopo, non sono presenti nell'area immediatamente a ridosso del rilievo in esame. D'altro canto, a quote così elevate, la manutenzione continua di una stazione meteorologica rappresenta un'importante sfida dal punto di vista logistico.

Tuttavia, per poter realizzare una caratterizzazione climatica adeguata della zona in esame, si sono presi in considerazione due set di dati disponibili e forniti da Arpa Piemonte attraverso la sua rete di monitoraggio meteorologico:

- dati termo-pluviometrici giornalieri (temperatura massima, minima, media e precipitazione liquida) forniti dalla stazione meteorologica posta al Rifugio Gastaldi (testata della Val d'Ala di Lanzo, quota 2659 m) e che coprono un arco temporale di 27 anni (dal 1989 al 2015) per la temperatura e di 19 anni (dal 1997 al 2015) per la precipitazione;
- analisi interpolata giornaliera prodotta su griglia regolare da Arpa Piemonte (NWIOI) che fornisce, per le medesime due variabili meteorologiche, una serie storica rappresentativa di una porzione di territorio di circa 200 km² e comprendente il Rocciamelone. La quota rappresentativa di questa porzione di territorio è di circa 1900 m.

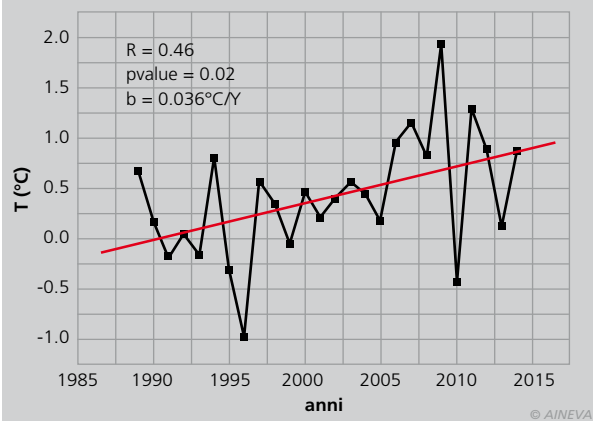
Il sito del Rifugio Gastaldi si trova a circa

12 km a NNO in linea d'aria dalla sommità del Rocciamelone, lungo il crinale interno delle Alpi Graie ed essendo posto a quote comparabili con l'area oggetto di questo studio, presenta caratteristiche climatiche compatibili, al netto delle differenze peculiari determinate dall'orografia locale. D'altro canto, i dati dell'analisi giornaliera su griglia, prodotto del contributo di tutte le stazioni meteorologiche poste nelle vicinanze del Rocciamelone, permettono di offrire uno sguardo più generale sulla climatologia dell'intero rilievo e non necessariamente legato alle quote elevate. Come primo passo, si sono prodotti i climogrammi di Walter & Lieth (1960-1967) che ci permettono di inquadrare l'area dal punto di vista termo-pluviometrico. La Fig. 2 mostra i risultati ottenuti per entrambe le serie storiche (Rif. Gastaldi e analisi su griglia).

Come era lecito aspettarsi, notiamo la somiglianza dei due climogrammi: in particolare i picchi di precipitazione primaverili ed autunnali sono sostanzialmente allo stesso livello. Le differenze principali sono, invece, essenzialmente legate alla quota: nel caso del Rifugio Gastaldi, la precipitazione estiva è quasi sugli stessi livelli dei massimi primaverile ed autunnale, il che fa avvicinare il sito ad un regime climatico subcontinentale, mentre nel caso dell'area più ampia, le precipitazioni estive sono meno accentuate e in linea con quelle invernali, situazione più consona ad un regime climatico prealpino.

L'altra grande differenza, anche qui legata

Rifugio Gastaldi: temperature medie annue



	T media	T max	T min
INVERNO	+0.6°C	+0.8°C	N.S.
PRIMAVERA	+1.9°C	+2°C	+1.8°C
ESTATE	+0.8°C	+1.3°C	N.S.
AUTUNNO	+1°C	+1.4°C	N.S.



Dall'alto verso il basso:

Fig. 3 - Temperatura media annua relativa al sito di osservazione posto nelle vicinanze del Rif. Gastaldi. In rosso è evidenziata la linea di tendenza lineare.

Tab. 1 - Incrementi delle temperature medie, massime e minime in 27 anni (1989-2015) per ciascuna stagione, relativi alla serie storica del punto griglia dell'analisi giornaliera di Arpa Piemonte in cui è inclusa l'area del Rocciamelone. In rosa, le tendenze statisticamente significative al 95%, in arancione quelle al 98%.

Fig. 4 - Novembre 2007: fessura lungo la cresta sud (a) ed evidenti tracce di crolli e ribaltamenti sul versante occidentale del M. Rocciamelone (b).

alla quota, sono i mesi di gelo, ossia i mesi in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore a 0 °C. Nel caso del Rifugio Gastaldi, in 8 mesi su 12 le gelate sono sicure (da gennaio fino a maggio e da ottobre a dicembre) mentre nei restanti 4 mesi sono probabili.

Naturalmente questo contesto ha influenze notevoli non solo sul permafrost presente in zona, ma anche sulla durata e consistenza del manto nevoso al suolo, ovvero sugli scambi energetici che intercorrono tra atmosfera e geosfera e modulati dalla criosfera.

Una volta inquadrata l'area dal punto di vista climatico "statico", si è provveduto ad una analisi sull'andamento di temperature e precipitazioni (liquide o equivalente) utilizzando le due serie storiche a disposizione. In particolare, si è cercato di rintracciare delle tendenze tramite tecniche di regressione lineare, fissando l'intervallo di confidenza al 95%.

Per quanto riguarda le precipitazioni cumu-

late annue e nelle varie stagioni, né la serie storica del Rifugio Gastaldi né quella dell'analisi su griglia hanno mostrato tendenze statisticamente significative. Se il regime pluviometrico è cambiato in questi ultimi 20-25 anni, le differenze vanno ricercate nella tipologia di precipitato meteorico e nella durata e frequenza, e non nei quantitativi cumulati.

Differente, invece, la situazione delle temperature: in entrambi i casi si osserva un aumento significativo compreso tra 1 °C e 1,5 °C in 30 anni circa. La Fig. 3 mostra l'andamento della temperatura media annua per il sito del Rocciamelone mentre la Tab. 1 gli incrementi stagionali (temperatura massima, minima e media) relativi all'analisi su griglia.

Lo studio dei dati mostra come il sito del Rocciamelone negli ultimi 30 anni abbia sofferto di un aumento più marcato delle temperature massime rispetto alle minime, mentre nell'analisi areale (che si riferisce ad una quota inferiore) questa discrepanza non si osserva. Non è da escludersi che fattori come esposizione e altitudine possano essere concausa di tale discrepanza tra le due serie storiche.

Dal punto di vista stagionale, invece, l'accordo è molto solido e, in termini infra-annuali, si evidenzia un aumento più marcato delle temperature massime nelle stagioni di transizione (primavera e autunno) che, tra i vari effetti, potrebbe avere un impatto importante sul periodo di permanenza della neve al suolo, oltre a variare il rapporto normalmente atteso tra eventi di precipitazione solida (neve) e liquida.

FRANA DEL 2006-2007 E ATTIVITÀ DI ARPA PIEMONTE

Evento parossistico 2006-2007

Nel periodo autunnale dell'anno 2006, lungo la cresta sud, intorno a quota 3200 m, vennero osservate accentuazioni delle fessure disposte parallele alla linea di cresta già segnalate nell'estate 2004, chiaro indizio morfologico di movimenti in atto del versante.

Il 26 dicembre si verificò un crollo principale, seguito da crolli minori nei giorni

seguenti; l'area di invasione del materiale mobilizzato interessò il versante occidentale (territorio comunale di Novalesa) fino al Pian Marderello, tra le quote 2100÷2400 m. Il fenomeno riprese con crolli saltuari nel giugno 2007 e poi durante l'estate proseguì con crolli pressoché giornalieri.

Ulteriori riattivazioni del fenomeno si ebbero durante l'autunno 2007 a seguito di intense precipitazioni (Fig. 4).

Monitoraggio geotecnico

Nel novembre 2007, Arpa Piemonte installò sul fenomeno franoso un sistema di controllo strumentale per il monitoraggio nel tempo dell'evoluzione del fenomeno franoso, da realizzarsi nell'ambito della Rete Regionale di Controllo dei Movimenti Franosi (ReRCoMF), gestita dall'Agenzia (<https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/geologia-e-dissesto/monitoraggio/rercomf-1/rercomf>).

Vennero così preliminarmente effettuati una serie di sopralluoghi di terreno ed attività di fotointerpretazione al fine di individuare sia la tipologia di strumentazione più idonea al contesto ambientale in cui si andava ad operare, sia i punti più significativi da porre sotto osservazione. Tale attività consentì inoltre di effettuare una prima analisi geomorfologica e geologico-strutturale del settore di cresta sud compreso tra il Rifugio Cà d'Asti (2854 m) e la Crocetta (3306 m).

A seguito di tali approfondimenti venne attivato un sistema di controllo strumentale composto da una rete di capisaldi per misure topografiche GPS e di capisaldi per misure distanziometriche delle discontinuità in roccia più significative (Fig. 5). Entrambe le metodologie ben si prestano al controllo di fenomeni franosi in area alpina, particolarmente estesi e difficilmente raggiungibili, richiedendo la sola installazione, direttamente in roccia, di supporti filettati delle dimensioni di pochi centimetri aventi scarso o nullo impatto visivo.

Una rete locale di controllo GPS prevede in genere da due a tre capisaldi di riferimento esterni alla frana ed una serie di capisaldi installati sul fenomeno franoso; le basi distanziometriche prevedono invece due

ancoraggi installati sulle pareti opposte delle fratture.

Per entrambe le tipologie strumentali l'effettuazione di misure manuali avviene con frequenza di due interventi all'anno.

L'installazione dei capisaldi e la lettura di origine del sistema vennero realizzati nel novembre 2007. Nel luglio 2008 venne effettuata la prima lettura di esercizio della rete strumentale, ottenendo i primi risultati sugli spostamenti in atto. L'analisi dei primi dati di monitoraggio e l'approfondimento delle conoscenze geologico-strutturali dell'area portarono, negli anni successivi, all'integrazione della rete di controllo. Attualmente la rete topografica GPS è costituita da 19 capisaldi (16 installati in frana e 3 di controllo installati fuori dal dissesto) mentre la rete distanziometrica è costituita da 6 basi di misura. Gli strumenti sono distribuiti lungo la cresta sud, nel tratto compreso tra il Rif. Cà d'Asti e la Crocetta (si veda la Fig. 9 di sintesi per l'ubicazione dei capisaldi e degli strumenti installati).

Il sistema di monitoraggio è progettato per il controllo di un settore di versante più ampio rispetto all'area attivata nel 2006-2007. I frequenti fenomeni d'instabilità di cui si è a conoscenza ed un'attenta analisi geologica evidenziano che quanto accaduto nell'inverno 2006-2007 non è nient'altro che un'espressione puntuale di una situazione di dissesto più generalizzata. Infatti, l'intero versante sud-occidentale del Rocciamelone è interessato da una deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV). Le DGPV, molto diffuse in questo settore delle Alpi, sono dei fenomeni franosi che interessano estese porzioni di versante e si evolvono con velocità estremamente lente; questi fenomeni causano un generale deterioramento della qualità della roccia, creando così le condizioni di attivazione di fenomeni ad evoluzione più rapida come crolli e scivolamenti (https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/geologia-e-dissesto/monitoraggio/immagini/poster_frana_rocciamelone).

Monitoraggio termico

Le condizioni geologico - geomorfologiche

e climatiche in cui si sono sviluppati i recenti fenomeni di frana lungo la cresta sud del Rocciamelone sono confrontabili con contesti simili in altre zone alpine in cui i dissesti sono stati messi in relazione con il riscaldamento atmosferico e la degradazione del permafrost. Nell'autunno 2010, Arpa Piemonte ha quindi deciso di effettuare un primo studio di fattibilità per il monitoraggio termico da abbinare al monitoraggio delle deformazioni degli ammassi rocciosi del M. Rocciamelone. Nel corso di questo sopralluogo preliminare, localizzato nella zona di coronamento della frana attivata nel 2006-2007, è stata effettuata una serie di osservazioni e misurazioni speditive in fratture beanti con catena termometrica di 4 m di lunghezza con 4 sensori disposti a distanza regolare.

Nell'autunno 2012 è stato effettuato un secondo sopralluogo finalizzato alla sperimentazione e validazione del metodo di misura termica con termocamera a raggi infrarossi che consente di valutare la distribuzione della temperatura superficiale dei corpi. In considerazione dei buoni risultati ottenuti, tale metodo di misura è stato applicato anche in seguito, durante i sopralluoghi effettuati nel 2013 e nel 2014. Tale metodologia consente non tanto di effettuare un monitoraggio termico dell'ammasso roccioso ma, attraverso la spazializzazione areale della misura, di valutare la distribuzione termica superficiale. Nel caso di superfici in affioramento, tenendo ben presente il disturbo generato dalla esposizione alla radiazione solare, è possibile visualizzare le fratture "fredde" che evidenziano condizioni termiche

particolari. Il metodo di misura con termocamera assume un ruolo particolarmente significativo nel caso di misure effettuate all'interno di fratture beanti, anche e soprattutto di grosse dimensioni come quelle presenti nel settore della cresta sud del M. Rocciamelone, non esposte alla radiazione solare diretta (Fig. 6).

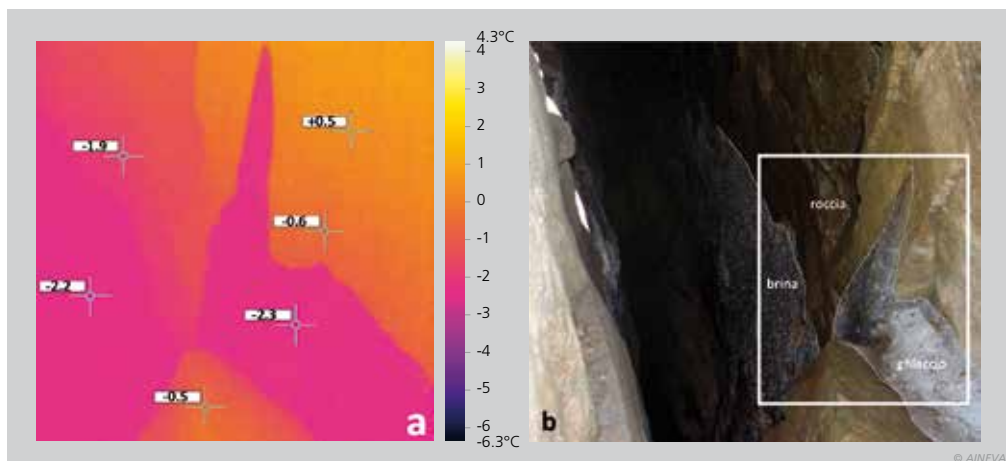
Il monitoraggio termico in continuo con sensori in sito ha preso avvio nel 2013, utilizzando mini *datalogger* a due canali (TINYTAG PLUS 2 TGP4020 della Gemini dataloggers) e sensori termometrici incapsulati (PB 5015, accuratezza linearmente decrescente da 0,3 a 0,2 tra -20 e 0 °C e accuratezza di 0,2 tra 0 e +60 °C).

Nel luglio 2013 sono stati installati due sensori per la misura della T_{max} e T_{min} dell'aria (nelle 24 h) a 1,5 m e a 9 m di profondità all'interno della frattura posta a quota 3200

Dall'alto verso il basso:

Fig. 5 - Misura del caposaldo GPS (sopra) e misura distanziometrica con distanziometro laser (sotto).

Fig. 6 - Termografia (a destra) del settore di affioramento evidenziato con il riquadro bianco nell'immagine di sinistra. La temperatura evidenziata nella termografia è riferita al crocicchio del puntatore.



m circa (in corrispondenza del sito di misura distanziometrico capisaldi G-H, T3-4 in Fig. 9). In ottobre, sono stati installati altri due sensori nella frattura posta a quota 3000 m circa, in corrispondenza del sito di misura distanziometrico capisaldi M-N, a monte del coronamento della frana storica del Cà d'Asti (T5-6 in Fig. 9).

In questo caso, sono stati inseriti in fori pressoché orizzontali (perpendicolari alla parete rocciosa) due sensori per la misura della T_{max} e T_{min} della roccia (ogni ora) a 2 cm e a 60 cm di profondità, con i sensori posti a circa 15 cm di distanza uno dall'altro (Fig. 7).

Nell'autunno 2014 sono stati re-installati i sensori T3-4 in seguito ai danneggiamenti naturali ed antropici rilevati nel corso dell'estate, inserendoli, questa volta, a 10 cm di profondità all'interno della roccia, sul lato est della frattura aperta, rispettivamente a 4 m e a 5,5 m di distanza verticale dalla apertura sommitale (misura della T_{max} e T_{min} in roccia ogni ora).

È stato, inoltre installato un sensore che registra la T_{media} dell'aria (ogni ora) presso il Rif. Cà d'Asti a quota 2854 m.

Nel corso dello stesso sopralluogo sono stati installati anche un estensimetro a filo

(di proprietà di Regione Piemonte, Settore Protezione Civile e Sistema Antincendi Boschivi) e due sensori di temperatura (rispettivamente E1 e T1-2 in Fig. 9) in corrispondenza del settore di cresta attualmente più attivo, compreso tra le quote 3170 e 3200 m, a controllo di una frattura già strumentata con una base distanziometrica e sui cui margini occidentale ed orientale sono installati due capisaldi GPS. L'estensimetro (Fig. 8) registra la variazione della distanza tra le pareti opposte della frattura ogni 8 ore, mentre i sensori di temperatura (posti a pochi metri di distanza dall'estensimetro su due pareti rocciose con esposizione diversa, a Sud e ad Ovest) registrano ogni ora T_{max} e T_{min} a 2 cm di profondità nella roccia. L'installazione dell'estensimetro a filo è specificatamente finalizzata ad indagare in modo preliminare le possibili relazioni tra gli effetti termici e l'instabilità gravitativa, effettuando correlazioni tra dati acquisiti in continuo dai sensori di temperatura in roccia con dati di spostamento acquisiti in continuo da strumentazione geotecnica. Infine, nell'autunno 2015 sono stati re-installati nella stessa configurazione iniziale i sensori T5-6, danneggiati in modo irreparabile (probabilmente a causa del peso della neve) nell'inverno-primavera precedente.

settore della Crocetta e spostamenti planimetrici verso ovest, di entità relativamente modesta (massimo 5 cm complessivi nel periodo 2007÷2015), a carico dei restanti capisaldi. I dati indicano che la maggior parte dello spostamento è avvenuta nel periodo 2007÷2009 mentre nel periodo successivo si registra una fase di relativa quiescenza del movimento.

Risultanze delle misure distanziometriche
Le sei fratture del substrato roccioso poste sotto controllo strumentale non mostrano particolari tendenze evolutive, ad eccezione della frattura strumentata con la base distanziometrica G-H, che evidenzia un allargamento di circa 20 cm occorso nell'intervallo di tempo agosto 2010÷novembre 2015 (Fig. 11).

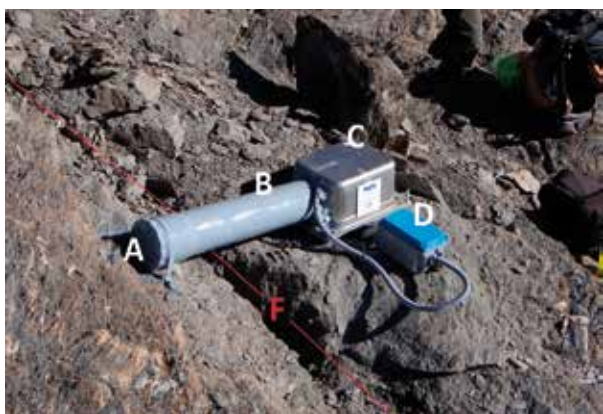
Risultanze delle misure estensimetriche
L'estensimetro ha iniziato a funzionare il giorno 30 ottobre 2014. Per cause di natura tecnica lo strumento non ha memorizzato i dati tra maggio e settembre 2015 (ad esclusione del 20/07/2015, misura puntuale effettuata direttamente dall'operatore) per cui al momento la serie storica è ancora troppo breve e discontinua per consentire l'effettuazione di interpretazioni sul comportamento della frattura posta sotto osservazione. Tuttavia, i dati, benché preliminari e ancora in corso di validazione, indicano alcune tendenze degne di nota. In Fig. 13 sono riportati i valori medi giornalieri delle letture dell'estensimetro ricalcolati come differenziale rispetto alla lettura di zero effettuata alla data di installazione (curva e punti blu) e la temperatura media giornaliera dell'aria misurata al Rif. Cà d'Asti (curva rossa). Ciò che si osserva in prima battuta è che nel periodo novembre 2014÷ottobre 2015 la frattura si è aperta in totale di circa 13 cm, con velocità diverse nel periodo di osservazione:

- ottobre 2014÷maggio 2015: apertura totale 5,3 cm, velocità 0,66 cm/mese;
- maggio÷luglio 2015: apertura totale 10,1 cm, velocità 2,4 cm/mese;
- luglio÷settembre 2015: apertura totale 12,9 cm, velocità 1,4 cm/mese;
- settembre÷ottobre 2015: apertura totale

Dall'alto verso il basso:

Fig. 7 - Sensori termometrici T5 e T6 installati rispettivamente a 2 cm e a 60 cm di profondità in roccia, in corrispondenza della frattura ad apertura metrica in cui sono installati i capisaldi distanziometrici M-N.

Fig. 8 - L'estensimetro E1, installato a fine ottobre 2014 in corrispondenza di una evidente frattura (F) del substrato roccioso lungo la cresta sud (A: punto di ancoraggio, B: tubo di protezione del cavo d'acciaio, C: trasduttore elettromeccanico, D: datalogger).



ANALISI DEI DATI

Dati geotecnici

Fra il novembre 2007 ed il novembre 2015 Arpa Piemonte ha effettuato quindici campagne di misura sugli strumenti a lettura manuale (capisaldi GPS e basi distanziometriche). I dati acquisiti in continuo dall'estensimetro a filo vengono scaricati manualmente in sito due/tre volte l'anno.

Risultanze delle misure topografiche GPS

Le misure sin qui condotte evidenziano la presenza di significativi movimenti nel settore di cresta presidiato dal caposaldo n. 12 (cfr. Fig. 9), installato nell'agosto 2010 a 3200 m di quota, il quale manifesta uno spostamento planimetrico verso ovest di entità pari a 7 cm ed un abbassamento di quota di circa 30 cm (Fig. 10).

Per il resto, si registra assenza di spostamenti significativi per i capisaldi posti nel

12,8 cm, velocità 0 cm/mese.

Dal confronto dei dati estensimetrici con quelli del termometro aria del Rif. Cà d'Asti si può notare come i due parametri sembrano essere direttamente in relazione. Infatti, i picchi e gli incrementi della velocità di movimento della frattura si osservano in corrispondenza di repentini incrementi termici (non sono ancora del tutto chiare le cause dell'andamento oscillatorio della curva dell'estensimetro nel periodo marzo-maggio 2015, forse imputabili a sbalzi di tensione delle batterie di alimentazione, anch'essi dipendenti dalla temperatura e dal livello di carica).

In linea generale i dati strumentali finora acquisiti mettono in evidenza la presenza di un settore di cresta particolarmente attivo, compreso indicativamente tra le quote 3170 e 3200 m, nell'ambito del quale si registrano spostamenti dell'ordine cm/anno (Fig.14).

Nei restanti settori gli unici spostamenti significativi si sono avuti nel periodo novembre 2007-luglio 2009, ovvero nei tre anni successivi all'evento parossistico iniziato nell'autunno 2006, mentre nel periodo seguente risulta una generale stabilità.

Dati termici

I dati termici disponibili fino a questo momento hanno serie storiche molto brevi (12÷15 mesi) e risultano molto disomogenei a causa delle diverse fasi di installazione; una loro analisi non consente al momento di effettuare considerazioni definitive sulle relazioni tra lo stato termico dell'ammasso roccioso e le sue condizioni di stabilità. Tuttavia è possibile effettuare alcune valutazioni, seppur speditive e del tutto preliminari, su alcune caratteristiche termiche della roccia e delle fratture monitorate nel breve periodo, utili a definire un modello iniziale di lavoro sul quale impostare futuri sviluppi del monitoraggio.

In Fig. 15 sono riportati i dati relativi alla prima installazione dei sensori per la misura della temperatura dell'aria nella frattura beante posta a quota 3200 m (sensori T3-4 in Fig. 9). La serie storica riporta un anno di dati (dal 01.08.2013 al 31.07.2014) relativi a sensori posti rispettivamente a 1,5 m (curva

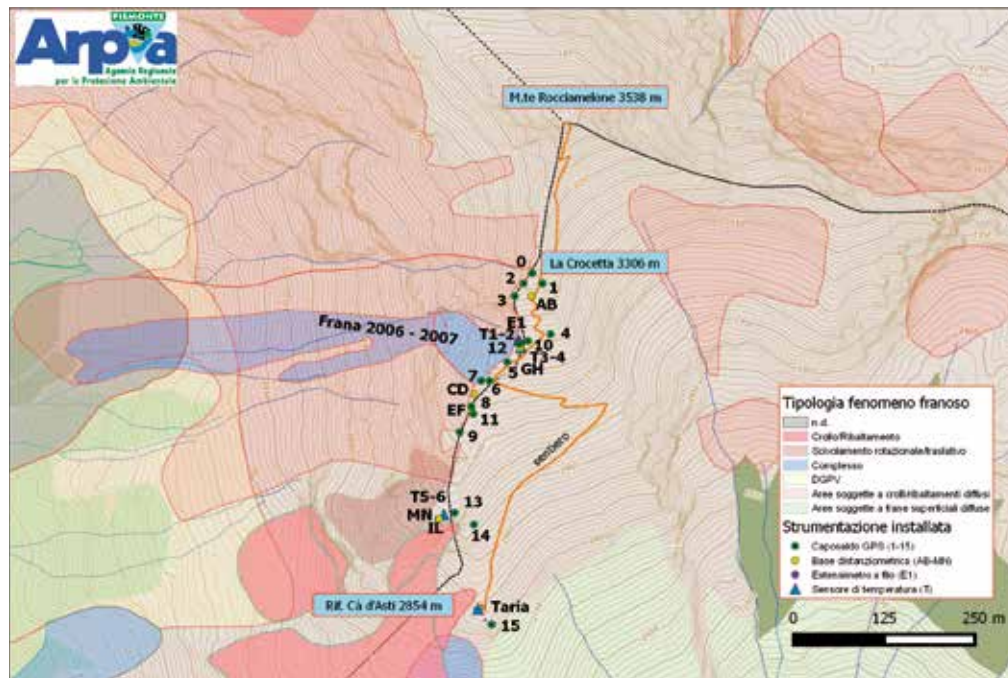


Fig. 9 - Inquadramento cartografico della strumentazione installata e dei fenomeni franosi presenti lungo la cresta sud del M. Roccamelone.

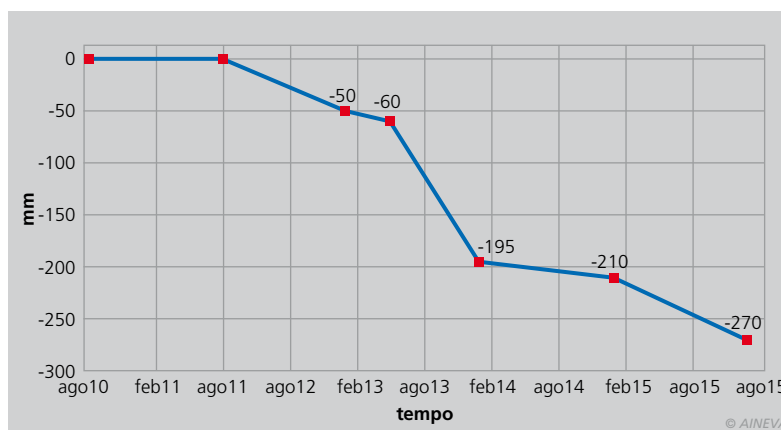


Fig. 10 - Variazione di quota del caposaldo GPS n.12 (periodo 2010÷2015).

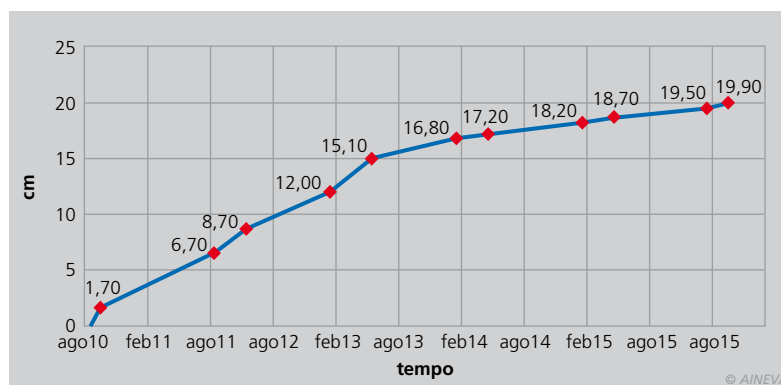


Fig. 11 - Variazione di apertura della frattura monitorata dalla base della distanza metrica G-H. L'apertura della frattura comporta un progressivo abbassamento del margine occidentale della stessa, lo stesso sul quale è installato il caposaldo GPS n.12 (Fig. 12).

di colore rosso) e a 9 m (curva di colore blu) di distanza verticale dall'apertura sommitale. I valori riportati sono stati sintetizzati nei valori medi giornalieri calcolati a partire dai valori di T_{max} e T_{min} che vengono registrate giornalmente da ciascun sensore. Ciò che si evidenzia in prima battuta è che nel periodo agosto-ottobre 2013 il sensore posto a 1,5 m di profondità risente delle oscillazioni di temperatura dell'aria

mentre il sensore posto a 9 m di profondità presenta una temperatura costante di 0 °C. Tale configurazione è legata alla probabile presenza di neve residua all'interno della frattura che è stata osservata anche in occasione della installazione dei sensori (luglio 2013) a partire da circa 5 m di profondità.

A partire dal 07.10.2013, entrambe le curve registrano valori di temperatura uguali

Fig. 12 - La base distanziometrica G-H nel luglio 2015 (capisaldi evidenziati dalle frecce rosse). Si noti l'abbassamento del margine sinistro (occidentale) della frattura (in origine, nel 2010, i capisaldi erano allineati orizzontalmente), lo stesso sul quale è installato il caposaldo GPS n.12 (identificabile grazie alla targhetta bianca in alto a sinistra indicata dalla freccia bianca).



a 0 °C, a causa del seppellimento anche del sensore posto a 1,5 m di profondità al di sotto della nuova coltre di neve. Dopo circa un mese, lo stesso sensore inizia a registrare un graduale raffreddamento che raggiunge il suo valore minimo di -4,5 °C a fine gennaio 2014 per poi ricominciare gradualmente ad aumentare riportandosi sui valori costanti di 0 °C dal 12.04 al 08.06.2014, mentre il sensore posto a 9 m di profondità registra costantemente 0 °C per tutto il periodo. Questa situazione è sempre attribuibile alla presenza della neve ed alle sue trasformazioni legate ai vari passaggi di stato dell'acqua come evidenziato dallo *Zero-Courtain Effect* autunnale (dal

7.10 al 7.11.2013) e primaverile (dal 12.04 all'8.06.2014). Dall'8.06.2014, in modo pressoché istantaneo, entrambi i sensori registrano valori positivi ma il sensore posto a 9 m di profondità indica valori fuori scala. Ciò è probabilmente dovuto al danneggiamento del sensore avvenuto a causa della trazione esercitata dal movimento verso il basso della colonna di neve residua all'interno della frattura. In seguito, si è pertanto resa necessaria l'installazione di nuovi sensori secondo una nuova configurazione i cui dati sono sintetizzati in Fig. 16.

Il grafico in Fig. 16 riporta i dati di *Tmedia* giornaliera dei due sensori (sempre T3-4 in Fig. 9) installati nella stessa frattura benante nella nuova configurazione, ossia con sensori inseriti a 10 cm di profondità nella parete esposta a NO, posti rispettivamente a 4 m (curva rossa) e a 5,5 m (curva blu) di distanza verticale dalla apertura sommitale. Nello stesso grafico è anche riportata la *Tmedia* giornaliera dell'aria (curva arancione) registrata al Rif. Cà d'Asti (2854 m), ad una quota inferiore di circa 300 m rispetto alla quota della frattura.

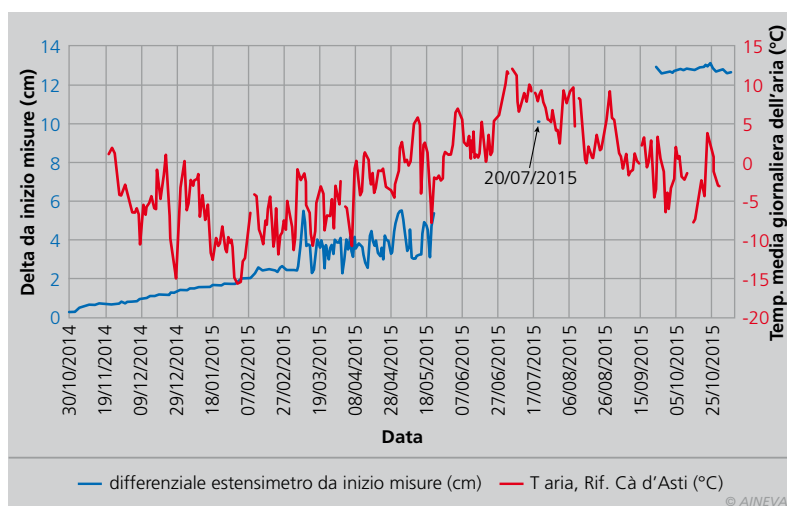
Anche in questo grafico è possibile osservare come la presenza della neve all'interno della frattura influisca sull'andamento termico della roccia. Ai primi di novembre 2014, la prima abbondante nevicata della stagione porta nel giro di pochi giorni entrambi i sensori alla isoterma a 0 °C. Lo *Zero-Courtain Effect* autunnale ha una durata variabile per i due sensori: 40 giorni circa per quello posto più vicino all'apertura sommitale (a 4 m di profondità nella

frattura), circa 60 giorni per l'altro sensore (posto a 5,5 m di profondità). Il sensore più superficiale registra un progressivo raffreddamento a partire da fine dicembre 2014 e raggiunge il minimo di -1,7 °C nella seconda decade di febbraio 2015; il sensore più profondo invece raggiunge il picco negativo di -1,4 °C nella seconda metà di marzo.

Il periodo di *Zero-Courtain* primaverile inizia in corrispondenza di un marcato innalzamento delle temperatura dell'aria che inizia a registrare anche valori medi positivi e, inaspettatamente, il sensore più profondo raggiunge l'isoterma di 0 °C con qualche giorno di anticipo rispetto al sensore più superficiale. Quest'ultimo, invece, registra il termine del periodo di fusione della neve con circa 20 giorni di anticipo rispetto al sensore più profondo, come nelle attese. Durante la calda estate 2015, in cui la *Tmedia* dell'aria supera i +10 °C a 2850 m di quota nel mese di luglio, i sensori in roccia raggiungono la *Tmax* di +7,2 °C (sensore più superficiale) e di +4,2 °C (sensore più profondo), oscillando in modo coerente sia tra di loro, sia con l'andamento termico dell'aria. Ciò che si osserva in questo periodo è che gli scostamenti maggiori tra i due sensori vengono registrati durante le fasi di riscaldamento dell'aria mentre durante le fasi di raffreddamento le differenze tra le misure dei due sensori si riducono sensibilmente. Ai primi di ottobre 2015, la prima nevicata della stagione porta nuovamente i sensori prossimi alla isoterma di 0 °C.

Anche il grafico in Fig. 17 riporta la *Tmedia* giornaliera di due sensori in roccia (T5-6 in Fig. 9) ma in questo caso si trovano alla stessa quota e a profondità diverse, inseriti rispettivamente a 2 cm (curva rossa) e a 60 cm (curva blu) di profondità. I sensori sono disposti in modo circa orizzontale, in fori realizzati perpendicolarmente alla parete della frattura posta a circa 3000 m di quota ed esposta a Nord. La serie di dati inizia con la data di installazione (18.10.2013) e si interrompe a causa della rottura dei sensori (avvenuta probabilmente per il peso della neve) il 03.01.2015 (per il sensore a 2 cm di profondità) ed il 22.04.2015 (per il sensore a 60 cm di profondità), evenienza che ha

Fig. 13 - Grafico dei dati dell'estensimetro E1 (a quota 3200 m) in relazione con l'andamento della temperatura dell'aria misurata al Rif. Cà d'Asti (a quota 2854 m). Dettagli nel testo (dati medi giornalieri nel periodo novembre 2014-ottobre 2015).



reso necessaria una nuova installazione nel settembre 2015. In questo caso risulta poco significativo il confronto tra i dati dei sensori in roccia con quelli dell'aria in quanto il termometro aria è stato installato al Rif. Cà d'Asti nel novembre 2014.

Con questa configurazione dei sensori in roccia si può osservare l'inerzia termica dell'ammasso nel trasferire il calore dalla superficie ai livelli più interni. Infatti, il sensore più superficiale, rispetto a quello più profondo, presenta delle oscillazioni più ampie (differenza massima tra T_{max} e T_{min} rispettivamente di 24,5 °C e 11,9 °C) e una temperatura media annua inferiore (T_{media} rispettivamente di +1,0 °C e di +1,5 °C nell'anno 2014). Dall'analisi dei dati orari, è possibile osservare come i picchi massimi e minimi dei due sensori siano sfasati di alcune ore tra loro (anche di 10-12 ore) per cui mentre il sensore superficiale registra il valore minimo notturno, il sensore a 60 cm di profondità registra il picco di T_{max} giornaliera e viceversa.

Anche in questo grafico è possibile osservare come la neve isola dall'atmosfera la superficie nella quale sono inseriti i sensori, condizionando la temperatura della roccia. La prima nevicata abbondante nell'autunno 2013 interrompe le oscillazioni termiche di entrambi i sensori e le temperature diminuiscono gradualmente fino a raggiungere contemporaneamente il 3 febbraio 2014 il valore minimo di -2,0 °C (sensore superficiale) e di -2,3 °C (sensore profondo). Da questo punto le temperature riprendono gradualmente a risalire fino a raggiungere l'isoterma di 0 °C il 16 aprile e la fase di fusione nivale, evidenziata dallo *Zero-Curtain Effect*, perdura fino all'8 giugno. I due sensori rispondono quasi contemporaneamente alle condizioni atmosferiche ma, inaspettatamente, ha una risposta più rapida e di entità maggiore il sensore più profondo. Le condizioni attese (maggiori oscillazioni del sensore superficiale e sfasamento di circa 10 ore tra i picchi dei due sensori) si ripresentano a partire dalla fine di giugno.

La prima abbondante nevicata dell'autunno 2014 arresta nuovamente le oscillazioni dei due sensori che in questo caso presentano

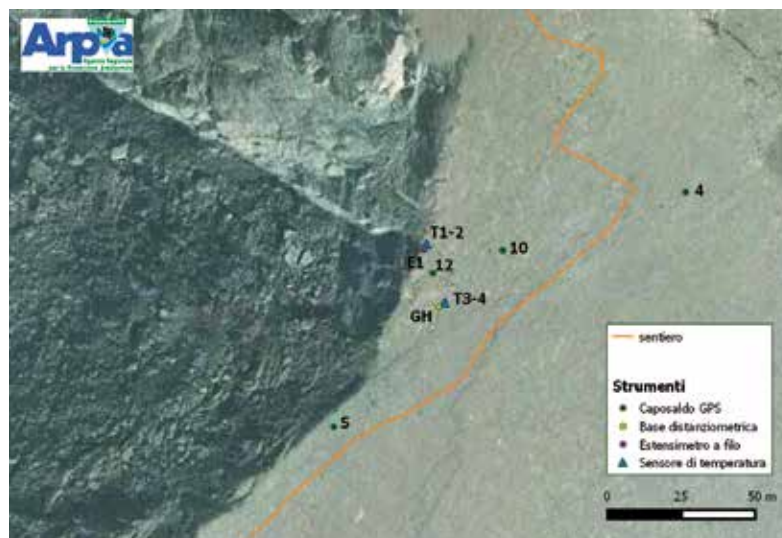


Fig. 14 - Particolare del settore di cresta più attivo. Si noti la presenza dell'evidente frattura sulla quale sono stati installati la base distanziometrica G-H e l'estensimetro a filo E1. Sul margine occidentale della discontinuità è presente il caposaldo GPS n.12.

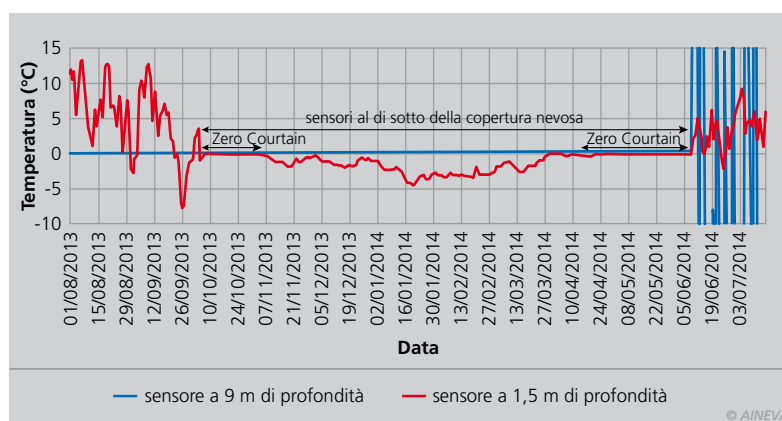


Fig. 15 - Temperatura media giornaliera dell'aria registrata dai sensori T3-4 disposti in verticale nella frattura G-H (per l'ubicazione cfr. figura 9) rispettivamente a 1,5 e a 9 m di profondità (periodo 01.08.2013 al 31.07.2014). Dettagli nel testo.

un periodo di *Zero-Curtain* nella prima metà di dicembre, legato, probabilmente, ad un rialzo termico dell'aria che ha comportato una parziale fusione del manto nevoso. Dalla seconda metà di dicembre, i sensori registrano un graduale raffreddamento che per il sensore più superficiale si interrompe ai primi di gennaio 2015 a causa della rottura del sensore. Il sensore più profondo raggiunge il minimo di -2,5 °C l'8 febbraio per poi riprendere gradualmente a riscaldarsi fino a raggiungere la temperatura di 0 °C il 22 aprile quando anch'esso interrompe la registrazione a causa della sua rottura.

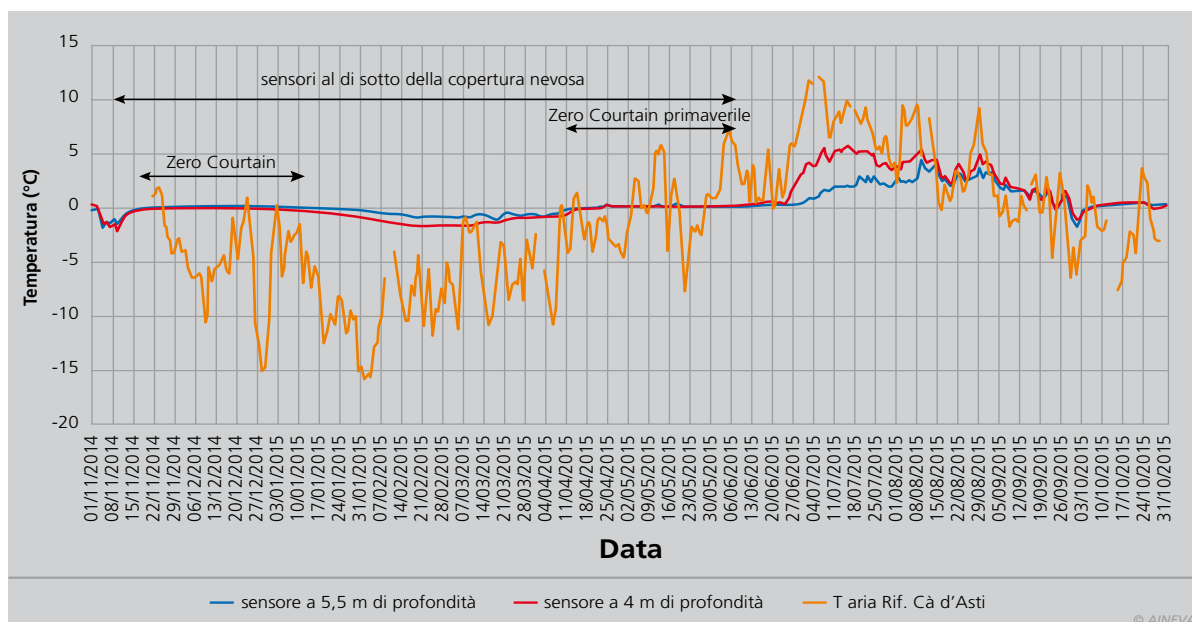
Dall'analisi dei pochi dati di temperatura dell'aria disponibili per il periodo gennaio-aprile 2015 (termometro sito al Rif. Cà d'Asti), risulta che entrambi i danneggiamenti corrispondono a repentini riscaldamenti dell'aria che probabilmente hanno comportato un assestamento della coltre nevosa con conseguente trazione, fino a rottura, dei cavi dei sensori.

In prossimità dell'estensimetro a filo (E1 in

Fig. 9), sono stati installati anche due sensori di temperatura (T1-2 in Fig. 9) entrambi posti a 2 cm di profondità nella roccia, su versanti con diversa esposizione, per verificare l'andamento termico superficiale nell'intorno dello strumento geotecnico. Nel grafico in Fig. 18 sono riportati i dati di T_{media} giornaliera dei sensori installati sul versante inclinato di 45° verso ovest (curva rossa) e sul versante inclinato di 30° verso sud (curva blu). Come si vede dal grafico, un malfunzionamento del *datalogger* ha purtroppo comportato la perdita dei dati nel periodo 21.07÷24.09.2015 anche se il picco estivo probabilmente è stato misurato. Per poter confrontare i dati in roccia, nello stesso grafico è riportato anche l'andamento della T_{media} giornaliera dell'aria (curva arancione) misurata al Rif. Cà d'Asti a partire dal 21.11.2014.

Come si può osservare, gli andamenti termici dei due sensori in roccia hanno prevalentemente comportamenti analoghi o confrontabili e tutto sommato armonici con l'andamento della temperatura dell'aria. In

Fig. 16 - Temperatura registrata dai sensori T3-4 inseriti a 10 cm di profondità nella roccia nella frattura G-H (per l'ubicazione cfr. figura 9) rispettivamente a 4 e a 5,5 m di profondità e temperatura dell'aria registrata al Rif. Cà d'Asti (dati medi giornalieri, periodo 01.11.2014 al 31.10.2015). Dettagli nel testo.



generale si osserva che la temperatura media giornaliera della roccia è quasi sempre maggiore della temperatura dell'aria e che il sensore posto sulla parete sud è mediamente più caldo del sensore posto sulla parete ovest (benché la serie sia incompleta, nei 12 mesi riportati la T_{media} del sensore a sud è di $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ mentre la T_{media} del sensore a Ovest è di $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e la T_{media} dell'aria è di $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Il sensore posto sul versante Ovest, rispetto all'altro sensore, presenta alcuni periodi senza oscillazioni giornaliere, situazioni probabilmente imputabili alla presenza di neve che isola la superficie del versante dall'atmosfera. In ogni caso, le temperature medie giornaliere risultano praticamente sempre negative nel periodo da inizio novembre 2014 ad inizio aprile 2015 (a parte tre oscillazioni positive del sensore del versante Sud a metà novembre 2014 e a marzo 2015) e sempre positive a partire da fine maggio 2015.

CONCLUSIONI

I fenomeni gravitativi della cresta Sud del M. Rocciamelone si inseriscono in un contesto generale di instabilità caratteristico delle aree alto alpine. Negli ultimi anni, sempre più spesso, tali processi sono stati messi in relazione con i cambiamenti climatici e con la degradazione del permafrost, anche se la mancanza di dati, soprattutto quelli di temperatura all'interno degli ammassi rocciosi, non consente di stabilire in modo univoco

e certo un rapporto di causa-effetto tra il riscaldamento atmosferico, la degradazione del permafrost ed i fenomeni gravitativi. Tuttavia è innegabile che i dati termo-pluviometrici storici locali e, in generale, relativi all'area alpina, mostrino un cambiamento in atto nel regime climatico, una tendenza che si esprime in modo più evidente con un generale aumento della temperatura atmosferica, seppur con differenti caratteristiche stagionali.

A questa tendenza media, si aggiungono episodi particolarmente anomali, come ad esempio l'estate calda del 2015 (la seconda più calda in Piemonte negli ultimi 60 anni) che forniscono un ulteriore fattore di stress climatico al sistema atmosferico-geosfera.

È con l'obiettivo di colmare questa lacuna conoscitiva che Arpa Piemonte ha intrapreso negli ultimi anni un monitoraggio geotecnico e termico del settore del Rocciamelone interessato da una frana nel 2006-2007, monitoraggio che consentirà di valutare le relazioni tra deformazione degli ammassi rocciosi e loro caratteristiche termiche.

I dati geotecnici (misure con GPS, distanziometro ed estensimetro a filo) indicano un generale rallentamento delle velocità di deformazione del tratto di cresta posto sotto osservazione (da quota 3000 a quota 3300 m circa) a parte un ristretto settore (tra le quote 3170 e 3200 m circa) che evidenzia invece una discreta attività (dell'or-

dine dei cm/anno). I dati di temperatura, benché con serie storiche assai limitate e discontinue, non consentono di formulare conclusioni definitive sulle relazioni con la deformazione, tuttavia nel 2015 si è riscontrata una relazione diretta tra velocità di apertura della frattura monitorata con estensimetro a filo e l'andamento delle temperature dell'aria e della roccia. I tempi di risposta rapida dell'ammasso roccioso all'incremento delle temperature indicano condizioni di instabilità superficiali, legate prevalentemente alle dinamiche di infiltrazione delle acque di fusione nivale. Anche la maggiore velocità di apertura della frattura nel periodo maggio-luglio rispetto al periodo successivo confermerebbe tale ipotesi. Non è infatti possibile, in questo caso, richiamare condizioni di degradazione del permafrost per giustificare una tale dinamica.

I sensori di temperatura in roccia T5-6 (frattura M-N a 3000 m di quota, inseriti a poca distanza l'uno dall'altro a 2 e a 60 cm di profondità) evidenziano che se la propagazione del calore avviene per conduzione attraverso la roccia è necessario un certo intervallo di tempo affinché l'onda termica raggiunga i livelli più interni. Infatti, in questo sito, è evidente come i picchi massimi dei due sensori siano sfasati di circa 10-12 ore. Ciò potrebbe spiegare l'evento parossistico della frana 2006-2007 che si è attivata in pieno inverno coinvolgendo un cospicuo spessore

di roccia: l'onda termica delle calde estati 2003 e 2004 ha impiegato mesi prima di raggiungere un livello profondo in condizioni di equilibrio critico.

I dati termici indicano, inoltre, che le condizioni di innevamento locali e generali influiscono in modo sensibile sulle condizioni superficiali e profonde della roccia, complicando il modello interpretativo. La neve, in tale contesto morfoclimatico, costituisce un elemento di grande incertezza in quanto difficilmente misurabile ed estremamente variabile, sia temporalmente che arealmente. Anche la presenza di fratture di notevole apertura modifica la distribuzione e la durata del manto nevoso all'interno degli ammassi rocciosi rispetto alle condizioni superficiali, situazione che conseguentemente condiziona la propagazione del calore e la circolazione idrica nelle rocce.

Al fine di migliorare il modello interpretativo delle relazioni tra deformazioni ed andamento termico nel sito della cresta

sud del M. Rocciamelone, nell'estate 2016 (nell'ambito del progetto europeo Interreg ALCOTRA I-F "PrévRiskHauteMontagne" di cui Arpa Piemonte è partner) verrà realizzata una nuova stazione di monitoraggio multiparametrico dotata di una sonda costituita da inclinometri e termometri disposti ogni metro, inserita in un pozzo verticale profondo 30 m. Grazie a questa stazione, che sarà dotata anche di alcuni sensori meteorologici e che implementa la rete strumentale superficiale, sarà possibile definire un modello tridimensionale della propagazione del calore nell'ammasso roccioso, migliorando le conoscenze del sito e sperimentando nuove tecnologie per la gestione dei rischi naturali in alta quota nel contesto del cambiamento climatico attuale e futuro.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento per la realizzazione di questa sintesi va a tutti i colleghi del Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto

di Arpa Piemonte che negli anni hanno collaborato ai rilievi ed al monitoraggio del M. Rocciamelone, ai settori Protezione Civile e Geologico di Regione Piemonte ed al Soccorso Alpino e Speleologico Piemontese. Un ringraziamento particolare alle Guide Alpine per il supporto tecnico-logistico e, nello specifico, a Pier Mattiel, Emanuele Foglia e Andrea Ghiardi. A quest'ultimo, recentemente scomparso, è dedicato il presente lavoro.

Bibliografia

- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (2002) - Foglio 154 "Susa", Regione Piemonte.
- Isabellon, M., Morra di Cella, U., Filippa, G., Pogliotti, P., Cremonese, E. & Freppaz, M. (2015) – Effetto del manto nevoso sulla temperatura superficiale del suolo, Neve e Valanghe, n. 86 – dicembre 2015, AINEVA
- Paro, L. & Guglielmin, M. (2013) – Sintesi e primi risultati delle attività di Arpa Piemonte su ambiente periglaciale e permafrost nelle Alpi piemontesi, Neve e Valanghe, n. 80 – dicembre 2013, AINEVA
- Turconi, L., Tropeano, D., Tuberga, S. & Savio, G. (2007) – Manifestazioni di instabilità geomorfologica nel gruppo montuoso del Rocciamelone (Val Cenischia, Alpi Graie). Nota preliminare, Geingegneria Ambientale e Mineraria, anno XLIV, n. 2, agosto 2007; pp.13-32
- Walter, H. & Lieth, H. (1960 - 1967) - Klimadiagramm-Weltatlas, G. Fisher, Jena.

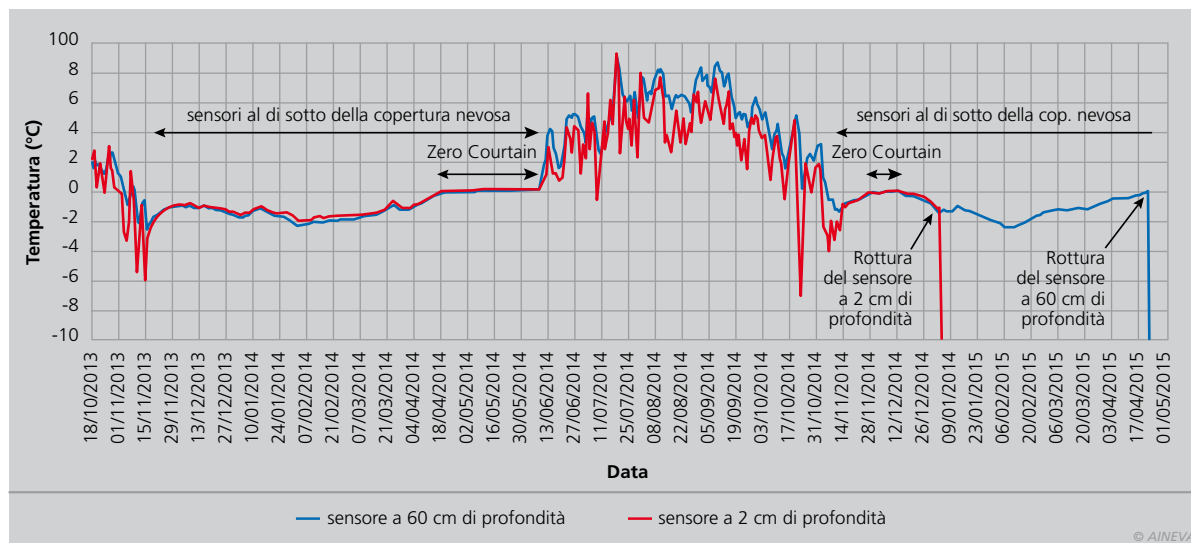


Fig. 17 - Temperatura media giornaliera registrata dai sensori T5-6 inseriti rispettivamente a 2 e a 60 cm di profondità nella roccia nella frattura M-N (per l'ubicazione cfr. figura 9) (periodo 18.10.2013 al 22.04.2015). Dettagli nel testo.

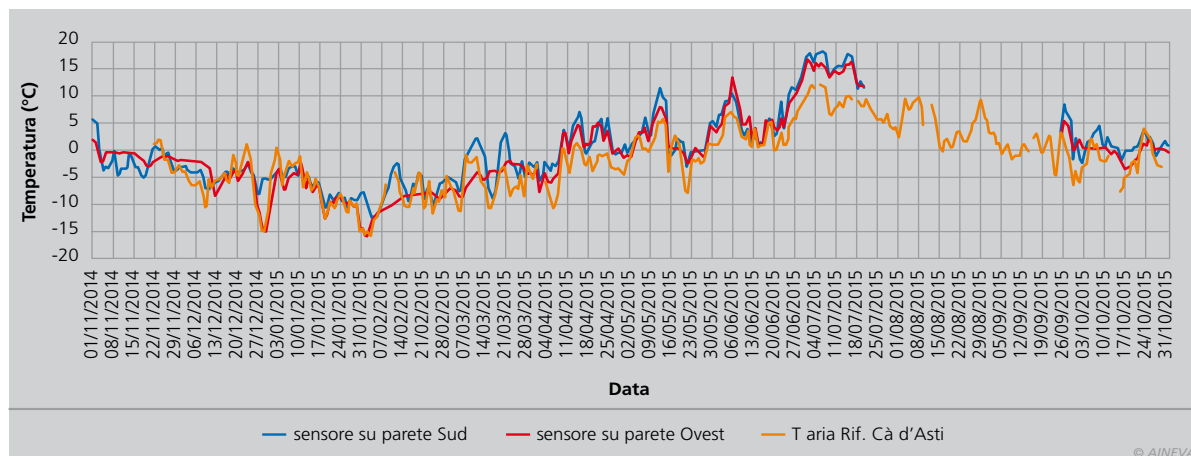


Fig. 18 - Temperatura registrata dai sensori T1-2 inseriti a 2 cm di profondità nella roccia in prossimità dell'estensimetro a filo E1 (per l'ubicazione cfr. figura 9), su pareti esposte rispettivamente a Sud e ad Ovest, e temperatura dell'aria registrata al Rif. Cà d'Asti (dati medi giornalieri, periodo 01.11.2014 al 31.10.2015). Dettagli nel testo.