



RISCHI GLACIALI NELLE ALPI OCCIDENTALI
GLARISKALP
RISQUES GLACIAIRES DANS LES ALPES OCCIDENTALES

DOCUMENTO CONCLUSIVO DEL PROGETTO

DOCUMENT FINAL DU PROJET



UNIVERSITE
CHAMBERY
ANNECY SAVOIE



GLARISKALP

- 4** INTRODUCTION
- 5** INTRODUZIONE
- 6** INVENTAIRE DES EXTENSIONS ACTUELLE ET ANCIENNE DES GLACIERS
- 7** INVENTARIO DELLE ESTENSIONI ATTUALI E PASSATE DEI GHIACCIAI
- 8** CARTOGRAPHIE GÉOMORPHOLOGIQUE DES SECTEURS DÉGLACÉS DEPUIS LA FIN DU PETIT ÂGE GLACIAIRE
- 9** CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA DEI SETTORI DEGLACIALIZZATI DALLA FINE DELLA PICCOLA ETÀ GLACIALE
- 10** TYPOLOGIE DES ALÉAS GLACIAIRES
- 11** TIPOLOGIA DEI RISCHI GLACIALI
- 12** ÉVALUATION DE LA PRÉDISPOSITION AUX ALÉAS DES SECTEURS ENGLACÉS ET RÉCEMMENT DÉGLACÉS
- 13** VALUTAZIONE DELLA PREDISPOSIZIONE ALLA PERICOLOSITÀ DI SETTORI GLACIALIZZATI E RECENTEMENTE DEGLACIALIZZATI
- 14** SITE-PILOTE: LE GLACIER DE TACONNAZ (HAUTE SAVOIE)
- 15** SITO PILOTA: IL GHIACCIAIO DI TACONNAZ (ALTA SAVOIA)
- 16** SITE-PILOTE : GLACIER DES GRANDES JORASSES (VALLÉE D'AOSTE)
- 17** SITO PILOTA: IL GHIACCIAIO DELLE GRANDES JORASSES (VALLE D'AOSTA)
- 18** SITE-PILOTE : LE GLACIER DE TÊTE ROUSSE (HAUTE SAVOIE)
- 19** SITO PILOTA: IL GHIACCIAIO DI TÊTE ROUSSE (ALTA SAVOIA)
- 20** SITES-PILOTES : SECTEURS RÉCEMMENT DÉGLACÉS
- 21** SITI PILOTA: SETTORI RECENTEMENTE DEGLACIALIZZATI
- 22** SITE-PILOTE : GLACIER DE L'ARGENTIÈRE (HAUTE SAVOIE)
- 23** SITO PILOTA: GHIACCIAIO DELL'ARGENTIÈRE (ALTA SAVOIA)
- 24** LE RÉSEAU DE COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE SUR LES RISQUES NATURELS EN MONTAGNE
- 25** LA RETE DI COOPERAZIONE TRANSFRONTALIERA SUI RISCHI NATURALI IN MONTAGNA
- 26** CONCLUSIONS
- 27** CONCLUSIONI
- 28** LES PARTENAIRES
- 29** I PARTNER

Cette publication présente la synthèse des travaux de GlaRiskAlp, projet mis en place pour apporter des réponses pratiques et théoriques aux risques causés par la réduction de l'extension des glaciers dans les Alpes occidentales (France et Italie). Commencée il y a un siècle et demi et s'accroissant à partir des années 1980 du fait des conditions climatiques, cette rétraction glaciaire entraîne différentes conséquences pour les territoires d'haute montagne en général, en particulier dans des Alpes. Les effets principaux concernent la stabilité des secteurs glaciaires et périglaciaires.

Afin de rendre plus efficace la planification territoriale et améliorer la gestion des risques dans les zones alpines, ces phénomènes doivent être mieux pris en considération, ce qui exige une amélioration de nos connaissances. Le projet GlaRiskAlp a traité de ces dynamiques, en réunissant plusieurs organismes français et italiens qui étudient la montagne et ses aléas.

Cette brochure présente les activités du projet. La première partie analyse les études menées à l'échelle régionale des Alpes occidentales, tandis que la seconde présente les études réalisées sur les sites pilotes choisis pour le projet. Les descriptions bilingues sont rédigées par les partenaires : Fondation Montagne sûre (chef de file), ARPA Vallée d'Aoste, CNR-Irpi, CNRS (Laboratoires LGGE, GIPSA-Lab, EDYTEM) et Université de Savoie (Laboratoire LISTIC). Des documents détaillant ces études sont disponibles à www.fondms.org/glariskalp.

GlaRiskAlp est un Projet simple dans le cadre du Programme Opérationnel de coopération territoriale européenne «Alcotra», plan de collaboration des régions des Alpes Latines financé par la Commission Européenne via le FEDER et cofinancé par les deux États et les collectivités locales.

Questo documento raccoglie le sintesi di GlaRiskAlp, progetto sviluppato per dare risposte pratiche e teorico-applicative ai rischi causati dalla riduzione della massa e della superficie dei ghiacciai nelle Alpi occidentali. Questa diminuzione, in atto da oltre un secolo, è stata ulteriormente accelerata a partire dagli anni Ottanta a causa dei cambiamenti climatici che stiamo vivendo. Gli ambienti d'alta quota e l'area alpina in particolare si trovano a subire effetti che coinvolgono la stabilità delle aree glaciali e periglaciali, con conseguenze sulle condizioni del territorio delle regioni montane.

Per sviluppare una pianificazione del territorio ragionata e per migliorare la gestione dei rischi in ambito alpino, occorre che questi fenomeni siano presi meglio in considerazione, raggiungendo un livello più approfondito di conoscenza: di questo si è occupato il progetto, che per tre anni ha riunito in un unico tavolo realtà specialistiche italiane e francesi che si occupano di studiare la montagna e le sue pericolosità.

In queste pagine è possibile scoprire le linee lungo le quali si è sviluppato il progetto: la prima parte analizza gli studi condotti sull'intero quadro delle Alpi occidentali, mentre la seconda presenta le azioni condotte sui siti-pilota individuati dal progetto. Le descrizioni bilingui sono redatte dai partner di progetto: Fondazione Montagna sicura (capofila), ARPA Valle d'Aosta, CNR-Irpi, CNRS (Laboratori LGGE, GIPSA, EDYTEM) e Université de Savoie (Laboratorio LISTIC). Il materiale di approfondimento è disponibile sul sito www.fondms.org/clariskalp.

GlaRiskAlp è un progetto semplice inserito nel Programma Operativo di cooperazione territoriale europea transfrontaliera "Alcotra", il piano di cooperazione nell'area delle Alpi Latine finanziato dalla Commissione Europea attraverso il FESR e cofinanziato dai due Stati e dagli enti locali.

INVENTAIRE DES EXTENSIONS ACTUELLE ET ANCIENNE DES GLACIERS

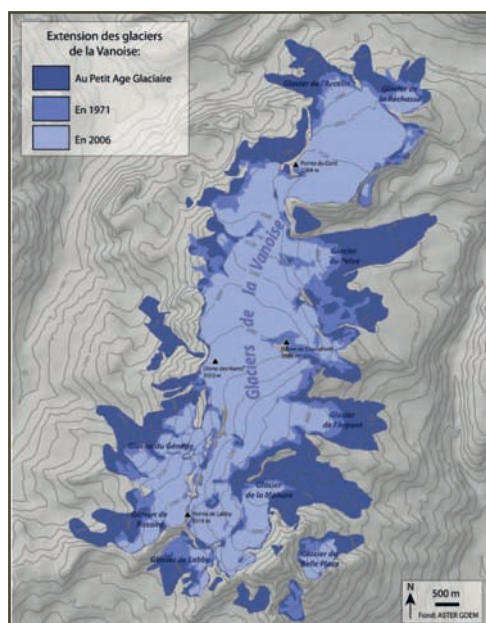
Cet inventaire constitue l'outil de base pour quantifier le retrait général des glaciers dans les Alpes occidentales depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (PAG) et en étudier les modalités. L'ensemble des glaciers est répertorié pour la seconde moitié des années 2000, la fin du PAG (années 1850) et une voire plusieurs dates intermédiaires. La cartographie de chaque période de l'extension du glacier est associée dans un SIG (Système d'information géographique) à un ensemble de données (e.g. nom du glacier, coordonnées géographiques, superficie, périmètre, altitude du front).

L'inventaire des glaciers actuels est établi à partir d'orthophotographies qui datent de la période 2006-2009. Le contour de chaque glacier est relevé sur ces photos aériennes non déformées et très détaillées. Une vérification sur le terrain est parfois nécessaire, par exemple lorsque des débris rocheux masquent la marge du glacier.

L'inventaire des glaciers à la fin du PAG utilise des documents historiques (cartes, photos, gravures), qui sont par contre rares voire inexistantes pour nombre de glaciers, et souvent peu précis. La reconstitution de l'extension des glaciers à partir de l'étude géomorphologique des moraines du PAG combine la cartographie par photo-interprétation des images aériennes récentes et les observations de terrain.

Enfin, les données de l'inventaire italien des glaciers de 1961 ont été intégrées pour le Piémont avec les limites des années 1950 du Catasto dei Ghiacciai Italiani, ainsi que celles de l'inventaire des glaciers de 1975 pour la Vallée d'Aoste.

Les 820 glaciers actuels des Alpes franco-italiennes occidentales couvrent une superficie de 418 km² : 275 km² en France, 135 km² en Vallée d'Aoste et 8 km² en Piémont. Depuis le PAG, ils ont perdu en moyenne plus de 50 % de leur superficie, avec de fortes variations selon les glaciers.



Extensions des glaciers des Dômes de la Vanoise (France) depuis le Petit Âge Glaciaire. Au cours de cette période, ces glaciers ont perdu près de 50 % de leur superficie, qui est passée d'environ 40 km² à 19,6 km². Les petits glaciers du Coin du Goyard, des Nants et du vallon de la Fournache ont disparu. Le retrait glaciaire s'est accéléré au cours des dernières décennies : entre 1971 et 2006, ces glaciers ont perdu près de 13% de leur superficie (plus de 5 km²).

Partenaires impliqués : FondMS, CNR-IRPI (en collaboration avec CNR-IGG), EDYTEM, LISTIC

Liens :

<http://catastoghiacciai.regione.vda.it/Ghiacciai/MainGhiacciai.html>

<http://www.glaciologia.it/>

<http://www.nimbus.it/ghiacciai/glacio.htm>

INVENTARIO DELLE ESTENSIONI ATTUALI E PASSATE DEI GHIACCIAI

Questo inventario costituisce lo strumento di base per quantificare il ritiro generale dei ghiacciai nelle Alpi occidentali dalla fine della Piccola Età Glaciale (PEG) e analizzare secondo quali modalità è avvenuto. L'insieme dei ghiacciai è repertoriato per la seconda metà degli anni 2000, alla fine della PEG (1850) e per una o più date intermedie. Oltre alla cartografia realizzata in GIS (Geographical information system) rappresentante l'estensione dei ghiacciai in diversi periodi storici, vengono anche associate un'insieme di informazioni quali il nome del ghiacciaio, le coordinate geografiche, la superficie, il perimetro, la quota del fronte.

L'inventario dei ghiacciai attuali è stato definito a partire da ortofoto risalenti al periodo 2005-2009. Il contorno di ogni ghiacciaio è rilevato su queste foto aeree, ortorettificate e molto dettagliate. Una verifica sul terreno è talvolta necessaria, come nel caso in cui ci siano detriti rocciosi che mascherano il margine del ghiacciaio.

L'inventario alla fine della PEG utilizza documenti storici (carte, fotografie, incisioni), che però sono rari o inesistenti per un gran numero di apparati, o spesso imprecisi. Inoltre, la ricostruzione dell'estensione a partire dallo studio geomorfologico delle morene della PEG combina la cartografia ottenuta attraverso foto-interpretazione delle immagini aeree recenti e le osservazioni sul terreno.

Infine, i dati dell'inventario sono stati integrati, per il Piemonte, con i limiti dei ghiacciai a fine anni '50 riportati dal Catasto dei Ghiacciai Italiani, per la Valle d'Aosta con l'inventario del 1975.

Gli 820 ghiacciai attuali delle Alpi franco-italiane occidentali coprono una superficie di 418 km²: 275 km² in Francia, 135 km² in Valle d'Aosta e 8 km² in Piemonte. Dalla PEG, la perdita media è stata di oltre il 50% della superficie, anche se con forti variazioni tra i diversi apparati.

The screenshot shows the 'GLARISKALP' web application interface. At the top, there's a header with the 'alco tra' logo and the title 'Catasto informatizzato dei ghiacciai piemontesi'. Below this, the 'DATI UTENTE' section contains fields for 'Nome utente' (Stefania Bertotto), 'Titolo progetto*' (Glariskalp), and 'Responsabile progetto' (Marta Chiarle). The 'IDENTIFICAZIONE' section includes fields for 'Codice CGI*' (1), 'Nome ghiacciaio*' (Ghiacciaio del Clapiér), 'Radattore' (Vanni M.), 'Codice WGI' (H401312001), 'Nome alternativo', 'Fonte (300 caratteri disponibili)' (Catasto dei ghiacciai italiani, vol. II), 'Codice regionale', 'Estinto*' (no), and 'Anno estinzione'. A 'Note' field contains the text: 'Situato in un piccolo circo, alla base della parete NE del Monte Clapiér (3045 m s.m.)'. The 'UBICAZIONE' section includes 'Classif. orografica da catasto CGI*' (Alpi Marittime Gr. Clapiér-Maledia), 'Emissario' (Murajon), 'Comune' (Entracque), 'Classificazione regionale' (Affluente), 'Provincia' (Cuneo), 'Classificazione tradizionale (1926)' (Alpi del Varo), 'Bacino' (Gesso di Entracque), 'Regione' (Piemonte), 'Classificazione SORUSA (2005)', 'Nazione' (Italia), 'Lat. (° decimali N)' (44.1167), 'N (UTM)' (4886771), 'Long. (° decimali E)' (7.4222), 'E (UTM)' (373419), and a 'Note ubicazione' field. At the bottom, it states 'Coordinate geografiche acquisite dal sito WGI coordinate UTM ricavate da GIS mediante CTR'.

In considerazione dell'ingente patrimonio documentale disponibile per i ghiacciai italiani, grazie in particolare all'attività centenaria del Comitato Glaciologico Italiano, in aggiunta al GIS per il Piemonte è stato progettato e realizzato uno specifico database per archiviare, conservare e rendere più fruibili tali informazioni. Si tratta di un database relazionale server-side che può essere consultato e interrogato mediante una semplice e intuitiva interfaccia grafica visualizzabile attraverso i più comuni browser.

Partner coinvolti: FondMS, CNR-IRPI (in collaborazione CNR-IGG), EDYTEM, LISTIC

Link:

<http://catastoghiacciai.regione.vda.it/Ghiacciai/MainGhiacciai.html>

<http://www.glaciologia.it/>

<http://www.nimbus.it/ghiacciai/glacio.htm>

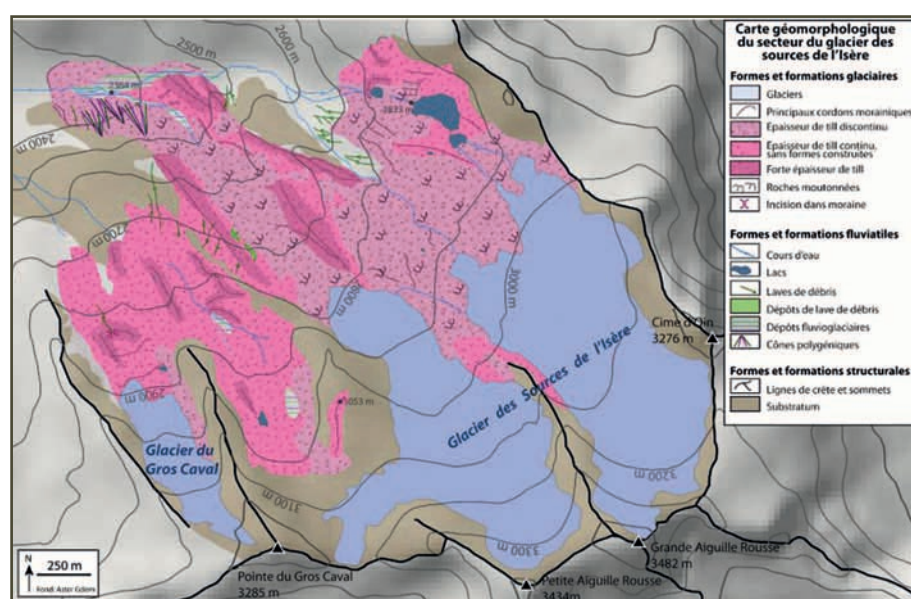
CARTOGRAPHIE GÉOMORPHOLOGIQUE DES SECTEURS DÉGLACÉS DEPUIS LA FIN DU PETIT ÂGE GLACIAIRE

L'étude des secteurs qui étaient englacés au PAG voire dans les années récentes s'est faite principalement par le biais de la cartographie géomorphologique. Elle s'attache à relever les formes (e.g. moraines) et dépôts (e.g. till) qui nous renseignent sur les positions antérieures du glacier. Elle met également en évidence les éléments qui témoignent du fait que ces marges proglaciaires sont propices à l'occurrence d'aléas tels que vidange de lac glaciaire, lave torrentielle ou glissement dans une moraine.

La démarche mise en œuvre comporte plusieurs volets. La photo-interprétation des orthophotographies les plus récentes permet de se familiariser avec le secteur étudié et d'identifier les principaux dépôts et formes, que l'on intègre dans le SIG. Elle permet également de délimiter les incertitudes éventuelles qui ne peuvent être levées que directement sur le terrain afin de compléter la cartographie géomorphologique. Par ailleurs, une chaîne de traitement semi-automatique par télédétection des modifications géomorphologiques a été mise au point pour faciliter la mise à jour de la base de données.

Deux niveaux de précision ont été établis. Certaines marges proglaciaires ont fait l'objet d'une cartographie géomorphologique détaillée qui inclut non seulement les formes et formations glaciaires et fluvio-glaciaires, mais également celles structurales (e.g. escarpement), périglaciaires (e.g. glacier rocheux), fluviatiles (e.g. terrasse) et gravitaires (e.g. glissement). Faute de temps, les autres marges proglaciaires n'ont bénéficié que d'une cartographie succincte qui ne distingue que les formes constituées de sédiment (e.g. moraines) et les dépôts d'une part, les affleurements rocheux d'autre part.

Cette base de données géomorphologiques peut être utilisée pour reconstituer les différentes extensions des glaciers depuis la fin du PAG. Elle sert également de base à l'évaluation de la prédisposition des marges proglaciaires à l'occurrence d'aléas. Elle a permis par exemple la réalisation d'un inventaire des lacs d'origine glaciaire qui sont apparus depuis la fin du PAG, en particulier depuis les années 1980. Cet inventaire est associé à une base de données sur le type de lac, sa superficie, ses caractéristiques principales, dont sa date d'apparition lorsqu'elle est disponible.



Carte géomorphologique du secteur du glacier des Sources de l'Isère (Vanoise, France).

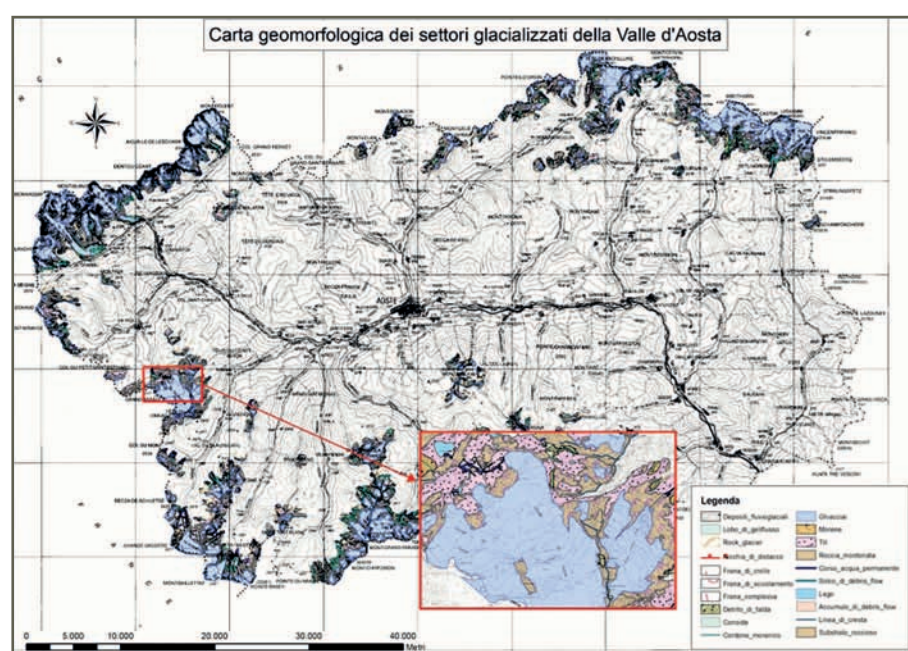
CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA DEI SETTORI DEGLACIALIZZATI DALLA FINE DELLA PICCOLA ETÀ GLACIALE

Lo studio dei settori che erano glacializzati nella PEG o in epoche recenti si è strutturato principalmente attraverso l'utilizzo della cartografia geomorfologica. La realizzazione di tale cartografia parte dal rilievo di forme (come le morene) e depositi (come i till) che ci informano sulle posizioni precedenti del ghiacciaio. Allo stesso modo, lo studio mette in evidenza gli elementi che testimoniano il fatto che questi margini siano predisposti ai rischi, come lo svuotamento di laghi glaciali, le colate detritiche o il collasso di una morena.

Il percorso affrontato si articola su più azioni. La foto-interpretazione delle ortofoto più recenti permette di familiarizzare con il settore studiato e di identificare i principali depositi e forme, che vengono inseriti nel GIS. Questo permette anche di evidenziare le eventuali incertezze che possono essere eliminate unicamente con rilievi di terreno, per completare la cartografia geomorfologica. E' stata inoltre realizzata una catena di trattamento semi-automatico per l'individuazione delle modificazioni geomorfologiche attraverso telerilevamento, per facilitare l'aggiornamento della banca dati.

Sono stati stabiliti due livelli diversi di precisione. Alcuni margini proglaciali sono stati oggetto di una cartografia geomorfologica dettagliata, che include non solo le forme e le formazioni glaciali e fluvio-glaciali, ma anche quelle strutturali (come le scarpate), periglaciali (rock glaciers), fluviali (terrazzi) e di tipo gravitativo (scivolamenti). Per altre aree, gli altri margini proglaciali hanno beneficiato unicamente di una cartografia sommaria che distingue i sedimenti (morene) e i depositi in genere da una parte e gli affioramenti rocciosi dall'altra.

Questo archivio geomorfologico può essere utilizzato per ricostruire le differenti estensioni dei ghiacciai dalla fine della PEG. Allo stesso tempo, il database è utile per la valutazione della predisposizione dei margini proglaciali all'insorgenza di pericolosità: ha permesso per esempio la realizzazione di un inventario dei laghi di origine glaciale che sono comparsi dopo la fine della PEG, in particolare a partire dagli anni Ottanta. Questo inventario è associato a un database che riporta il tipo di lago, la sua superficie e le sue caratteristiche principali, tra le quali la data di comparsa (quando disponibile).

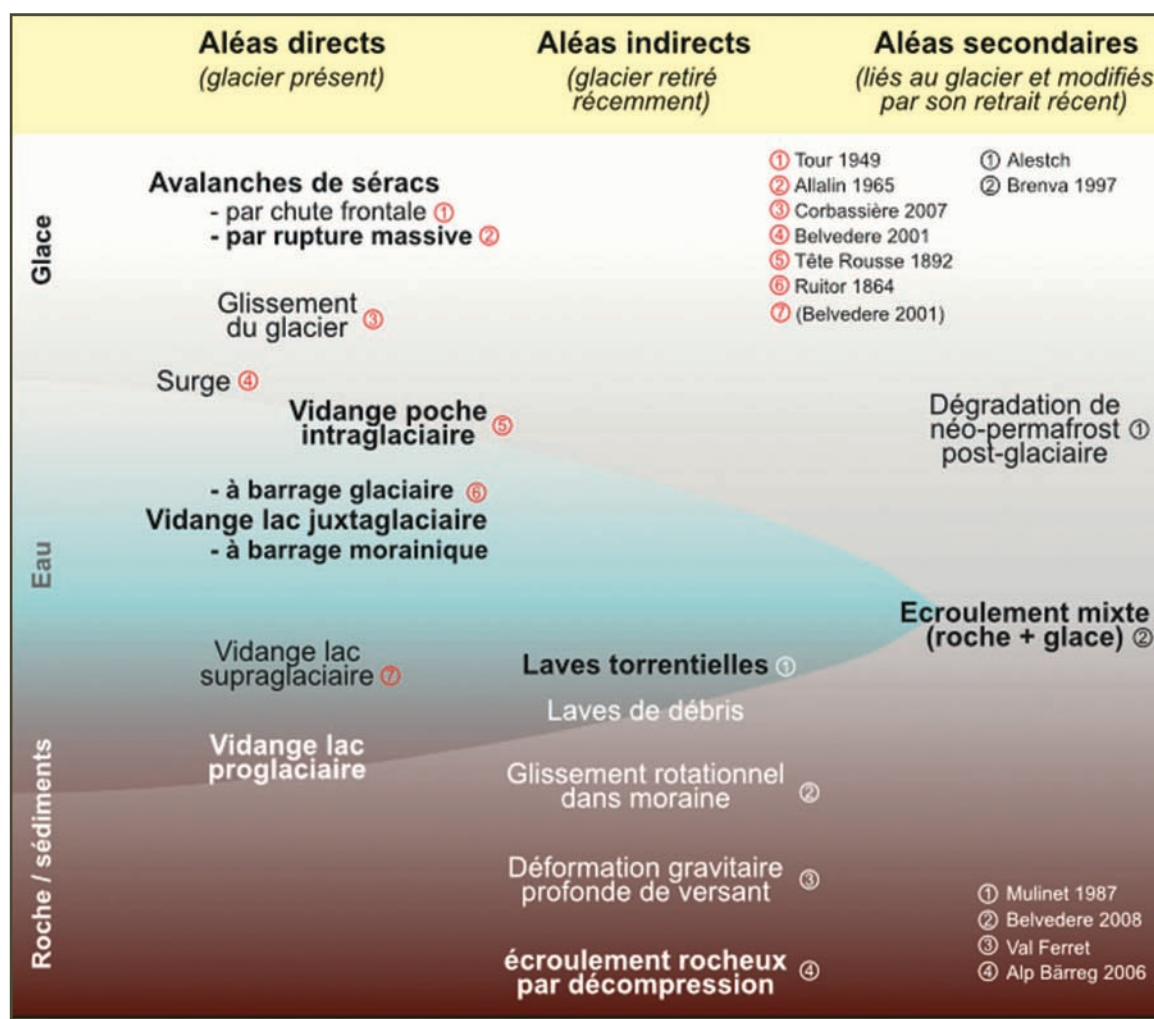


Carta geomorfologica della Valle d'Aosta

TPOLOGIE DES ALÉAS GLACIAIRES

Les aléas glaciaires sont nombreux et diversifiés. Ils résultent de l'action glaciaire directe ou de celle des eaux de fusion, ou des nouvelles conditions créées par le retrait du glacier. Ces aléas peuvent avoir des effets très localisés. Ils peuvent au contraire se propager à une grande distance du fait de la pente du versant et d'un volume important d'eau, de glace, de roche ou de sédiments meubles qui peut être mobilisé. Enfin, un aléa glaciaire peut déclencher d'autres processus, variables selon la saison et qui peuvent se combiner en une chaîne de processus le long d'un versant voire dans le fond d'une vallée.

Dans le prolongement du projet Glaciorisk (2000/03), une typologie des aléas en contexte de retrait glaciaire a été élaborée qui prend en compte non seulement les aléas d'origine directement glaciaire, mais également ceux qui résultent de la configuration géomorphologique actuelle des secteurs récemment déglacés.



Gras : aléa à grande portée ; numéros : exemples

Partenaires impliqués : FondMS, ARPA VdA, CNR-IRPI, EDYTEM

Liens et références bibliographiques :

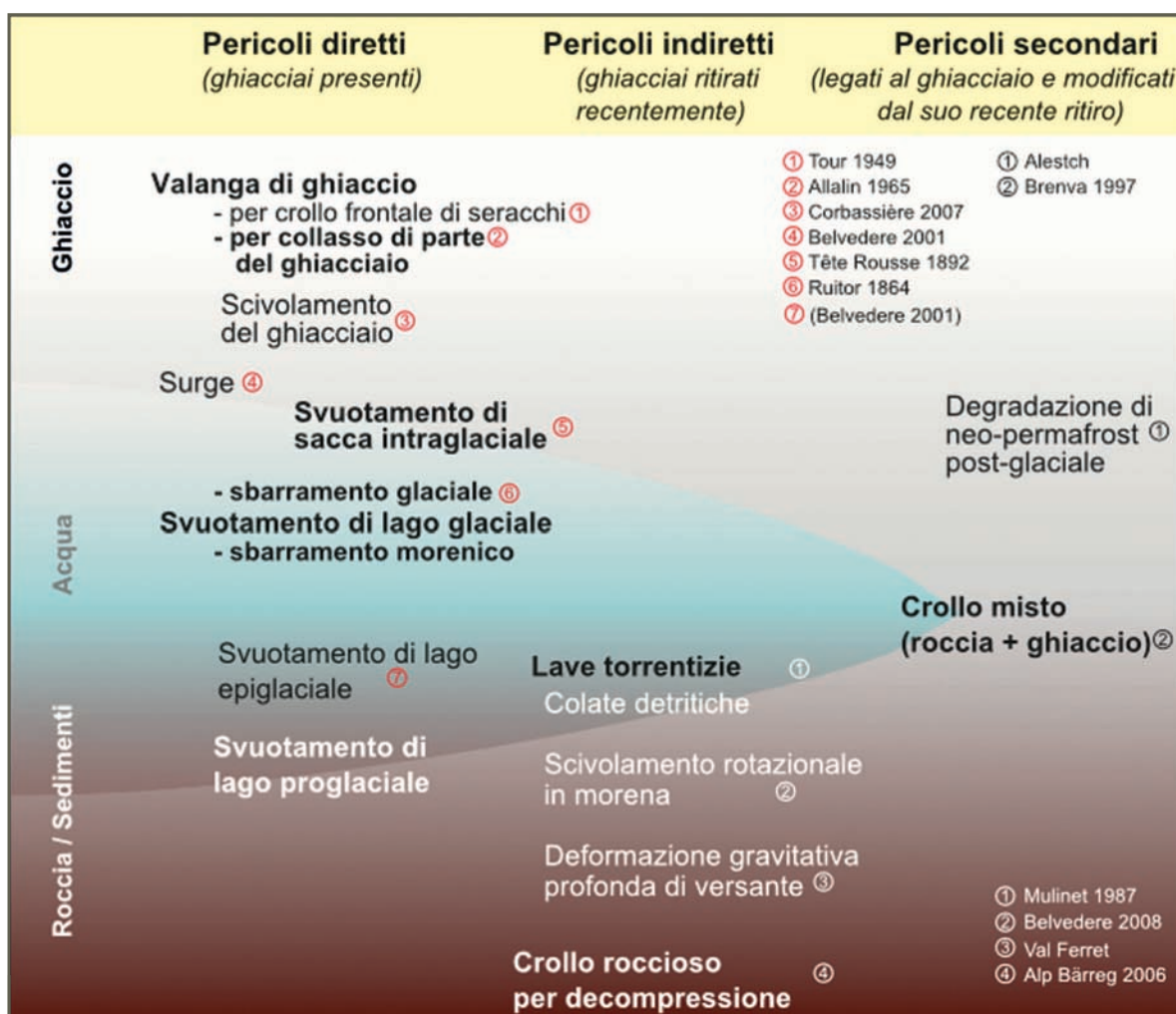
Huggel, C., Haeberli, W., Käab, A., Bieri, D., Richardson, S., 2004. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. Canadian Geotechnical Journal, 41: 1068-1083.

Synthèse ClimChAlp sur les aléas glaciaires (2008) : <http://www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques/pages/docs/synthesis%20glacial%20hazards.pdf>

TIPOLOGIA DEI RISCHI GLACIALI

I rischi glaciali sono numerosi e diversificati: sono i risultati dell'azione glaciale diretta o di quella delle acque di fusione, o di nuove condizioni create dal ritirarsi del ghiacciaio. Questi rischi possono avere effetti molto localizzati, ma anche propagarsi a una grande distanza: a causa della pendenza dei versanti, un volume importante di acqua, di ghiaccio, di roccia o di terreni sciolti può essere mobilitato. Infine, un fenomeno glaciale può scatenare altri processi, variabili in base alla stagione, che possono combinarsi in una catena di effetti lungo un versante e fino al fondovalle.

A completamento di quanto fatto nel progetto Glaciorisk (2000/2003), è stata elaborata una classificazione delle tipologie di pericolosità in un contesto di ritiro glaciale, che tiene conto non solo dei fenomeni di origine direttamente glaciale, ma anche di quelli che risultano dalla configurazione geomorfologica attuale dei settori di recente deglaciazione.



In grassetto i fenomeni di grande portata; i numeri fanno riferimento a eventi realmente accaduti

Partner coinvolti: FondMS, ARPA VdA, CNR-IRPI, EDYTEM

Link e riferimenti bibliografici:

Huggel, C., Haeberli, W., Käab, A., Bieri, D., Richardson, S., 2004. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. Canadian Geotechnical Journal, 41: 1068-1083.

Synthèse ClimChAlp sur les aléas glaciaires (2008) : <http://www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques/pages/docs/synthesis%20glacial%20hazards.pdf>

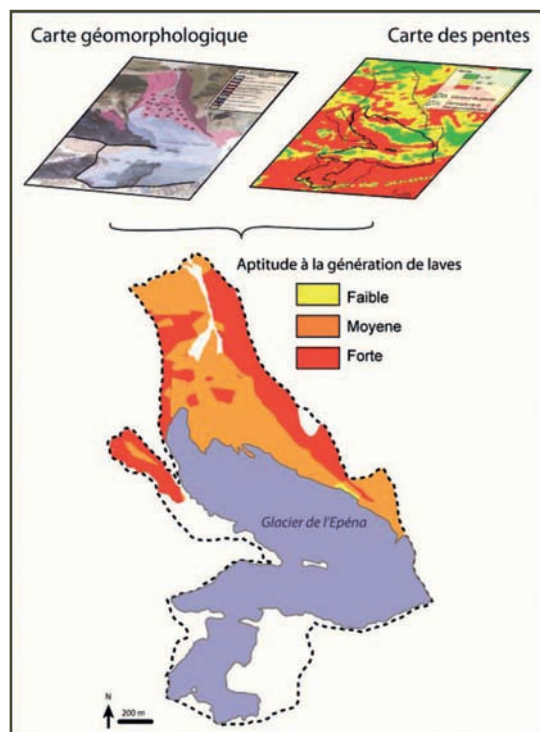
ÉVALUATION DE LA PRÉDISPOSITION AUX ALÉAS DES SECTEURS ENGLACÉS ET RÉCEMMENT DÉGLACÉS

Les données qui composent l'inventaire des extensions actuelles et passées des glaciers des Alpes occidentales et la cartographie géomorphologique des secteurs déglacés servent de base pour la reconnaissance des secteurs susceptibles d'être affectés par des phénomènes d'instabilité. Plusieurs pistes ont été explorées, utilisant les fonctionnalités du SIG qui permettent de croiser les données acquises entre elles ou avec les différents paramètres des Modèles Numériques de Terrain (MNT). Par l'automatisation des requêtes grâce à des routines, des secteurs potentiellement favorables aux aléas glaciaires peuvent être identifiés. Toutefois, un travail manuel complémentaire reste souvent nécessaire.

Ainsi, les secteurs susceptibles d'être affectés par des écroulements rocheux du fait de la décompression postglaciaire correspondent aux parois rocheuses subverticales qui étaient englacées au PAG. Ils sont déterminés en routine dans le SIG par la superposition de l'extension du glacier à cette époque et la cartographie des parois. Une analyse structurale fine (lithologie, tectonique) permet ensuite manuellement d'affiner le zonage.

Une utilisation simplifiée de la méthode Bonnet-Staub (2001) permet de déterminer « l'aptitude à la génération de laves » de débris dans les marges proglaciaires. Un indice de propension à produire des laves de débris est élaboré en prenant en compte les deux principaux facteurs de prédisposition, angle de pente et volume de till mobilisable. Il permet de définir trois classes d'aptitude à la génération de laves de débris : faible, moyenne et forte.

Les secteurs favorables à l'apparition de nouveaux lacs glaciaires sont déterminés à l'aide des deux premiers niveaux de la méthode Frey et al. (2010). Les secteurs de la surface du glacier dont la pente est inférieure à 5° sont d'abord reconnus à partir du MNT. Puis ceux qui présentent une rupture de pente marquée, une diminution de la largeur du glacier et une alternance secteur peu crevassé / secteur crevassé sont sélectionnés manuellement.



Croisement de données géomorphologiques (épaisseur du till) et des valeurs de pente déduites du MNT pour construire une carte d'aptitude à la génération de laves de débris dans la marge proglaciaire du glacier de l'Epena (massif de la Vanoise, France).

Partenaires impliqués : FondMS, ARPA VdA, CNR-IRPI, EDYTEM

Liens et références bibliographiques

Bonnet-Staub, I., 2001. Une méthodologie d'analyse et de cartographie de l'aléa « initiation de laves torrentielles ». Application au torrent du Bragousse (France), Bull Eng Geol Env, 59 : 319-327.
Frey, H., Haeberli, W., Linsbauer, A., Huggel, C., Paul, F. 2010. A multi-level strategy for anticipating future glacier lake formation and associated hazard potentials. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10: 339-352.

VALUTAZIONE DELLA PREDISPOSIZIONE ALLA PERICOLOSITÀ DI SETTORI GLACIALIZZATI E RECENTEMENTE DEGLACIALIZZATI

I dati che compongono l'inventario dell'estensione attuale e passata dei ghiacciai delle Alpi occidentali e la cartografia geomorfologica dei settori deglacializzati servono come base per riconoscere quelle aree che possono essere oggetto di fenomeni di instabilità. Sono state esplorate piste diverse, utilizzando le funzionalità dei GIS che permettono di incrociare i dati acquisiti, fra loro o con i diversi parametri dei modelli digitali del terreno. L'automatizzazione delle operazioni permette di individuare aree predisposte a dare origine a fenomeni di pericolosità, anche se un complemento manuale resta comunque spesso necessario.

In questo modo, le aree a rischio di crolli rocciosi causati dalla decompressione post-glaciale corrispondono alle pareti rocciose subverticali che erano glacializzate nella PEG. Queste aree sono determinate su GIS attraverso la sovrapposizione dell'estensione del ghiacciaio a quell'epoca con la cartografia delle pareti. Un'analisi strutturale di dettaglio (litologia, tettonica) permette quindi di affinare la zonizzazione manualmente.

Un utilizzo semplificato del metodo Bonnet-Staub (2001) permette di determinare "la propensione alla generazione di colate" di detriti nei margini proglaciali. Un indizio di questa tendenza è elaborato prendendo in analisi i due principali fattori di predisposizione: acclività e volume del till mobilizzabile. Questo permette di definire tre classi di propensione alla generazione di colate detritiche: debole, media e forte.

Le aree predisposte alla comparsa di nuovi laghi glaciali sono determinate con l'aiuto dei due primi livelli del metodo Frey (2010). I settori della superficie del ghiacciaio la cui pendenza è inferiore a 5° sono anzitutto riconosciuti sulla base dei modelli digitali di terreno (DTM – Digital terrain model). In seguito vengono selezionati manualmente quelli che presentano un brusco cambio di pendenza, una diminuzione della larghezza del ghiacciaio e un'alternanza tra settori con pochi crepacci e settori crepacciati.



Il lago alla base del ghiacciaio di Punta Fornet (Valle d'Aosta)

Partner coinvolti: FondMS, ARPA VdA, CNR-IRPI, EDYTEM

Link e riferimenti bibliografici

Bonnet-Staub, I., 2001. Une méthodologie d'analyse et de cartographie de l'aléa «initiation de laves torrentielles». Application au torrent du Bragousse (France), Bull Eng Geol Env, 59 : 319-327.

Frey, H., Haeberli, W., Linsbauer, A., Huggel, C., Paul, F. 2010. A multi-level strategy for anticipating future glacier lake formation and associated hazard potentials. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10: 339-352.

LE GLACIER DE TACONNAZ (HAUTE SAVOIE)

La chute de glace de Taconnaz est susceptible de provoquer des ruptures de séracs très importantes qui peuvent déclencher, en hiver, des avalanches de neige et de glace lorsque le manteau de neige est instable. L'objectif de cette étude était de caractériser la fréquence des ruptures de séracs et leurs volume et de déterminer le régime thermique du glacier, qui en conditionne l'écoulement et la stabilité.

L'analyse des ruptures de séracs a été effectuée via une instrumentation photogrammétrique automatique, qui a été mise en place à proximité du refuge des Cosmiques et qui a permis de mesurer l'évolution géométrique de la zone de séracs à intervalle régulier d'environ 15 jours. Les fluctuations de longueur et d'épaisseur des séracs ont été calculées à partir de ces restitutions. Ces variations de géométrie ont permis d'estimer les volumes de glace issus des ruptures de cette zone de séracs. L'étude montre que, suite à une rupture et un retrait, le front de séracs avance progressivement jusqu'à atteindre une limite qu'il ne peut dépasser. Les chutes de séracs les plus massives se produisent lorsque le front du sérac atteint cette limite. C'est une condition nécessaire mais non suffisante : au cours de quelques événements, le front du sérac peut se désagréger en plusieurs morceaux sans toutefois déclencher de ruptures importantes. Les variations d'épaisseur, calculées sur des profils longitudinaux, ont permis de calculer les variations de volume. La courbe des fluctuations de volume est assez similaire à celle des fluctuations de longueur.

Cette étude photogrammétrique a permis de montrer que le suivi géométrique de cette zone de séracs permet d'estimer la date à laquelle le sérac atteint la limite au-delà de laquelle il ne peut plus se développer. A partir de cette limite, une rupture massive est possible, mais pas obligatoire. Dans cette configuration, le sérac peut se désagréger par morceaux. Dans d'autres cas, le volume issu de la rupture peut dépasser 250.000 m³. Le suivi des variations géométriques constitue donc un bon indicateur pour prédire le seuil à partir duquel une rupture massive peut se produire bien que le comportement de la chute de séracs ne soit pas dicté uniquement par ces variations de géométrie.

Malgré ces résultats pertinents, la méthode photogrammétrique présente des inconvénients liés aux conditions météorologiques et aux lourds moyens mis en œuvre pour la maintenance in situ et les restitutions. Pour pallier à ces inconvénients, un nouveau protocole de mesures devra être imaginé dans le futur. Les instruments LiDAR terrestres ont fait des progrès considérables au cours de ces dernières années, en particulier en ce qui concerne leurs portées. Leur précision est centimétrique, bien meilleure que la précision photogrammétrique à des distances de plusieurs kilomètres.



Le deuxième volet de l'étude concernait le régime thermique du glacier, qui en conditionne la dynamique et la stabilité. L'étude visait à caractériser la structure et le régime thermique afin de savoir si le glacier était tempéré (à 0°C) ou « froid » (à température négative) : les mesures de températures (forages) ont montré que le glacier est « froid ». Une étude reste à conduire pour savoir si et quand est-ce que cette zone glaciaire pourrait devenir tempérée dans le futur. Elle devra être basée à la fois sur des observations et des modélisations numériques.

Évolution des séracs : 9 août 2010 /Evoluzione dei seracchi : 9 agosto 2010

IL GHIACCIAIO DI TACONNAZ (ALTA SAVOIA)

Il ghiaccio di Tacconnaz è predisposto a rotture di seracchi molto importanti, che in inverno possono innescare valanghe di neve e ghiaccio quando il manto nevoso è instabile. L'oggetto dello studio condotto in GlaRiskAlp è stato duplice: da una parte caratterizzare la frequenza delle rotture e il loro volume, dall'altra determinare il regime termico del ghiacciaio, che ne condiziona il movimento e la stabilità.

L'analisi delle rotture di seracco è stata effettuata con una strumentazione fotogrammetrica automatica, che è stata installata nei pressi del rifugio dei Cosmiques e che ha permesso di misurare l'evoluzione geometrica della zona a intervalli regolari di circa 15 giorni. Le oscillazioni di lunghezza e spessore dei seracchi sono state calcolate a partire da questi rilievi. Lo studio dimostra che, in seguito a una rottura, il fronte del seracco avanza progressivamente fino a raggiungere un limite che non può superare. Le cadute di seracchi più massicce si producono quando il fronte raggiunge questo limite. Questa è una condizione necessaria, ma non sufficiente: in alcuni casi, il fronte del seracco può disgregarsi in più pezzi senza tuttavia scatenare rotture importanti. Le variazioni di spessore, calcolate su profili longitudinali, hanno permesso di calcolare quindi le variazioni di volume. La curva delle oscillazioni di volume è molto simile a quella delle variazioni di lunghezza.

Questo studio fotogrammetrico ha permesso di mostrare come lo studio geometrico dell'area di seracchi permette di prevedere la data in cui il seracco raggiunge il limite oltre il quale non può più svilupparsi. A partire da quel limite, una rottura massiccia è possibile ma non obbligatoria: in questa configurazione il seracco può disgregarsi in più pezzi, mentre in altri casi il volume della rottura può superare i 250.000 m³. Lo studio delle variazioni geometriche costituisce quindi un buon indicatore per prevedere la soglia oltre la quale si può verificare un crollo massiccio, anche se la caduta non è dettata unicamente da queste variazioni geometriche.

Malgrado i risultati raggiunti, il metodo fotogrammetrico presenta inconvenienti legati alle condizioni meteorologiche e ai pesanti mezzi necessari per il mantenimento in situ e per le restituzioni. Per rimediare a queste difficoltà sarà necessario immaginare un nuovo protocollo di misure: gli strumenti LiDAR terrestri, per esempio, hanno fatto progressi considerevoli negli ultimi anni, specie per quanto riguarda la portata; la loro precisione è centimetrica, molto migliore della precisione fotogrammetrica a distanza di diversi chilometri.



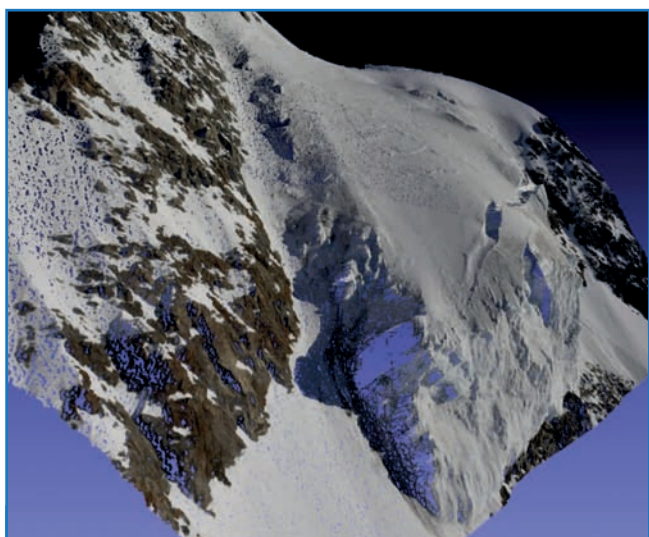
La seconda parte dello studio ha riguardato il regime termico del ghiacciaio, che ne condiziona la dinamica e la stabilità. La ricerca mirava a comprendere se l'apparato fosse "temperato" (temperatura di 0°C) o "freddo" (temperatura negativa). Le misure eseguite in fori hanno dimostrato che il ghiacciaio è freddo. Rimane ancora necessario condurre uno studio per sapere se e quando questa zona glaciale possa divenire temperata, con le implicazioni che ne derivano per la sua stabilità, attraverso misure e modellazioni numeriche.

Evoluzione dei seracchi: 13 agosto 2010 / Évolution des séracs : 13 août 2010

LE GLACIER DES GRANDES JORASSES (VALLÉE D'AOSTE)

Le glacier des Grandes Jorasses est caractérisé par un cycle continu de augmentation et écoulement, qui est précédé par une augmentation progressive de vitesse. L'écroulement de grandes portions de glace est très dangereux pour l'aval, qui est très fréquenté par les touristes. La connaissance de la dynamique d'évolution du glacier comporte l'étude de la vitesse de déplacement, des changements de forme de la surface et la caractérisation du régime thermique, afin de composer une base de données au service de la modélisation et de repérer des facteurs de corrélation. Pour atteindre le but on a choisi d'utiliser des nouvelles techniques de monitoring, qui s'adaptent au site.

Pour suivre l'évolution morphologique du sérac, on a choisi d'en réaliser un modèle 3D à travers la photogrammétrie. Cette technique se base sur la vision stéréoscopique, c'est-à-dire l'observation d'un même objet à partir de différents points de vue, pour laquelle on a développé deux systèmes d'acquisition des photos en automatique. Un prototype de système, installé à l'amont du sérac, a permis de tester avec succès l'instrumentation et de disposer d'un suivi qualitatif de proximité du glacier, en continuité, pour plus d'une année (une image prise chaque heure). L'analyse des changements morphologiques a été basée sur des relevés photogrammétriques par hélicoptère qui permettent de réaliser les modèles 3D sur lesquels on peut effectuer le calcul des vitesses de déplacement du sérac et la mesure des changements de forme (écroulements de glace, neige cumulée, etc.).



Le glacier suspendu des Grandes Jorasses

Pour contrôler constamment la vitesse du sérac, on a adopté deux technologies capables de fournir des données de manière continue (jour et nuit, dans toute condition météo) : un réseau de 3 GNSS (Global Navigation Satellite System) capable de repérer des données de déplacement avec une précision centimétrique et avec une fréquence quotidienne, et un sismographe pour la caractérisation de l'activité sismique du sérac (le mouvement de la glace cause des microséismes avec une fréquence proportionnelle à la vitesse de la glace). Enfin, pour étudier la relation entre la température de la surface du substrat et les mouvements du sérac, on a installé dans le rocher à 4.100 m d'altitude deux capteurs sur la face sud et un capteur sur la face nord des Grandes Jorasses. Ces informations ont permis de contrôler et évaluer constamment la

dangereusité du site et de fournir des données supplémentaires pour supporter les décisions concernant la protection de la zone. Les études faites permettront d'analyser les évolutions futures du glacier, en développant un modèle de méthodes et techniques qui peuvent être utilisées sur d'autres sites.

Pour dépasser les limites des systèmes classiques de suivi topographique (théodolite et prismes de mesures placées sur des balises sur le corps glacial), qui ne fournissent pas de données avec le mauvais temps ou le manque de visibilité, dès le commencement du projet on a mis en place une WSN (Wireless sensor network) composée par trois récepteurs GNSS économiques. Les prototypes installés sur le glacier sont capables d'acquérir constamment les données GNSS et de les transmettre chaque demi-heure à un nœud central installé sur un rocher à une distance de 400 mètres. Ce nœud transmet les données à l'aval (4 km), où elles sont envoyées à travers internet au serveur central. C'est ici qu'une procédure automatisée s'occupe chaque jour du calcul des différences des coordonnées de chaque capteur, les envoyant ensuite par courrier électronique. La technique GPS différentielle permet, grâce aux stations GNSS permanentes dans la zone (Ferrachet et Villa Cameron), de calculer avec précision centimétrique la position de chaque récepteur. Le résultat, même avec des capteurs économiques (qui pourraient être perdus ou s'endommager), est celui d'avoir des données très précises grâce au logiciel utilisé.

IL GHIACCIAIO DELLE GRANDES JORASSES (VALLE D'AOSTA)

Il ghiacciaio sospeso delle Grandes Jorasses è caratterizzato da un andamento ciclico di crescita e crollo, preceduto da un aumento progressivo di velocità. Il crollo di ingenti porzioni di ghiaccio risulta particolarmente pericoloso per il fondovalle, ad alta frequentazione turistica. La conoscenza della dinamica evolutiva del ghiacciaio implica lo studio delle velocità di spostamento, dei cambiamenti di forma della superficie nel tempo e la caratterizzazione del regime termico al fine di costruire una consistente base di dati a servizio della modellazione e per individuare fattori di correlazione. Per raggiungere tale obiettivo sono state messe in campo innovative tecniche di monitoraggio che meglio si adattavano al sito in oggetto.

Al fine di seguire l'evoluzione morfologica del seracco ci si è affidati alla sua ricostruzione tridimensionale tramite la fotogrammetria. Tale tecnica si basa sul concetto della visione stereoscopica, ovvero l'osservazione di uno stesso oggetto da punti differenti: per questo sono stati sviluppati due sistemi di acquisizione automatica delle immagini. Un prototipo di questo sistema, installato a monte del seracco, ha permesso di testare con successo la strumentazione e di disporre di un monitoraggio qualitativo di prossimità del ghiacciaio in continuità, per oltre un anno (un'immagine ogni ora). L'analisi dei cambiamenti morfologici è stata basata sui rilievi fotogrammetrici da elicottero, che permettono di realizzare modelli tridimensionali sui quali è possibile effettuare il calcolo delle velocità di spostamento, oltre a misure delle variazioni di forma (crolli di ghiaccio, accumulo nevoso, ecc.).



Il sistema di monitoraggio installato sul ghiacciaio delle Grandes Jorasses

Affiancate alla fotogrammetria, al fine di monitorare costantemente la velocità del seracco, si sono adottate due tecnologie in grado di fornire dati in continuo (giorno e notte, in qualsiasi condizione meteo): una rete di 3 GNSS (Global navigation satellite system), in grado di fornire dati puntuali di spostamento con precisione centimetrica e a cadenza giornaliera, e un sismografo per la caratterizzazione dell'attività sismica del seracco (il movimento del corpo del ghiacciaio genera microsismi con frequenza proporzionale alla velocità del ghiaccio). Infine, per indagare la relazione tra temperature superficiali del substrato e movimenti del seracco sono stati installati, alla quota costante di 4100 metri, due sensori sulla parete sud e un sensore sulla parete nord. Tali informazioni hanno permesso di monitorare e valutare costantemente la pericolosità del sito e fornire dati di supporto all'iter decisionale per

i fini di protezione civile. Gli studi eseguiti saranno utili per l'analisi di future evoluzioni del ghiacciaio e rappresentano un modello di metodologie e tecniche applicabile ad altri siti.

Al fine di superare il limite dei sistemi classici di monitoraggio topografico (teodolite e prismi di misura su paline posizionate sul corpo glaciale) di non fornire dati in condizioni di cattivo tempo o scarsa visibilità, fin da inizio progetto si è realizzata e messa in campo una WSN (wireless sensor network) composta da tre ricevitori GNSS a basso costo. I prototipi installati sul seracco sono in grado di acquisire continuamente i dati GNSS grezzi e trasmetterli ogni 30 minuti a un nodo centrale posto su roccia a una distanza di 400 metri da essi; questo li inoltra nel fondo valle (a 4 km) dove vengono inviati via internet al server centrale. Qui una procedura automatizzata si occupa giornalmente del calcolo differenziale delle coordinate dei singoli ricevitori e dell'invio di report dettagliati via mail. La tecnica differenziale (DGPS) permette, appoggiandosi a stazioni GNSS permanenti presenti in zona (stazione di Ferrachet e stazione di Villa Cameron), di calcolare con precisione centimetrica la posizione di un singolo ricevitore GNSS. Il risultato è che nonostante siano stati utilizzati sensori dal basso costo (poiché potrebbero potenzialmente andare persi o danneggiarsi) grazie al software si è riusciti a ottenere ottime precisioni.

LE GLACIER DE TÊTE ROUSSE (HAUTE SAVOIE)

La rupture d'une poche d'eau contenue dans le glacier de Tête Rousse avait été à l'origine d'une catastrophe en 1892 (175 morts). Entre 2009 et 2010, une poche d'un volume d'environ 55.000 m³ a été détectée dans ce glacier grâce à une combinaison de méthodes géophysiques (Radar, RMP – Résonance Magnétique des Protons, forages, niveaux piézométriques) mises en œuvre conjointement par trois laboratoires grenoblois (LGGE, ISTerre-ex LGIT et LTHE). C'est la première fois qu'une poche d'eau intra-glaciaire de cette importance a été détectée dans un glacier alpin avant une rupture. Cette poche représentait une menace pour Saint-Gervais les Bains, puisque 3.000 personnes étaient potentiellement menacées en 2010.

Les autorités publiques ont été alertées le 13 juillet 2010 et cette poche d'eau a été vidangée artificiellement entre août et octobre. Les programmes d'observation et d'analyse conduits entre 2010 et 2012 avaient pour objectifs la surveillance et la compréhension des mécanismes de remplissage de la poche d'eau, l'étude du risque d'effondrement de la cavité et l'évolution du régime thermique du glacier. La poche d'eau a été à nouveau vidangée le 28 septembre 2011.

Les niveaux d'eau ont été mesurés à l'aide de capteurs piézométriques. Grâce aux mesures météorologiques, aux mesures ultrason et aux mesures des balises d'ablation, la fonte journalière a été déterminée au cours de la saison estivale de 2011. La comparaison des vitesses de remplissage avec les données de fonte journalière permet de conclure qu'il existe une très bonne corrélation entre le remplissage de la cavité et la fonte et qu'il existe un débit permanent qui alimente la cavité indépendamment de la fonte en surface.



Cavité inférieure de la poche d'eau de 1892. La partie frontale du glacier a été arrachée. Cliché Pelloux. Septembre 1892.

Les mesures de déformation en surface, les mesures sonar et les mesures GPR (Ground Penetrating Radar) ont permis d'identifier les facteurs responsables du changement de la géométrie de la cavité. Le fluage contribue à la fermeture rapide mais partielle de la cavité lorsqu'elle est vide d'eau. Par ailleurs, les mesures indiquent, en 2011, un amincissement du plafond de la cavité lié à d'importants effondrements de la partie interne du toit de la cavité. Ces effondrements sont confirmés par la présence de blocs de glace identifiés au fond des forages.

Les observations menées entre 2010 et 2011 montrent qu'une cavité partiellement vide se remplit très rapidement alors qu'une cavité remplie d'eau s'agrandira lentement car son expansion

dépendra du fluage induit par la pression d'eau dans la cavité. La géométrie de la cavité évolue rapidement dans le temps en fonction de son remplissage et du fluage de la glace. Suite à une vidange artificielle, elle peut se fermer partiellement et il n'est pas exclu qu'elle puisse se former ailleurs. Dans tous les cas, et quelles que soient les opérations envisagées dans le futur, il sera indispensable de surveiller l'évolution du volume d'eau.

L'étude du régime thermique, appuyée sur de nombreux forages en profondeur et sur des mesures de températures, permet de conclure que la rétention de l'eau est due à la langue froide de la partie aval du glacier. Il s'avère que les températures de la glace évoluent essentiellement au gré de l'épaisseur du manteau neigeux. Paradoxalement, une augmentation de la fonte en période de réchauffement conduit à un refroidissement du glacier. Les simulations numériques comparées aux observations indiquent que la poche d'eau actuelle a dû se former progressivement et lentement sur plusieurs dizaines d'années. L'étude thermique montre également que la langue froide continuera très probablement de s'étendre vers l'amont dans les décennies à venir mais que ce processus est très lent.

Les mesures GPR ont ensuite permis de construire un modèle numérique de terrain (MNT) fiable du lit rocheux, avec incertitude à +/-10 mètres.

IL GHIACCIAIO DI TÊTE ROUSSE (ALTA SAVOIA)

La rottura di una sacca d'acqua contenuta nel ghiacciaio di Tête Rousse è stata all'origine di una catastrofe nel 1892 (175 vittime). Tra il 2009 e il 2010, una sacca di circa 55.000 m³ è stata rilevata all'interno di questo ghiacciaio, grazie a una combinazione tra metodi geofisici (radar, RMP – Risonanza Magnetica a Protoni, fori, livelli piezometrici) messi in atto in contemporanea da tre laboratori di Grenoble (LGGE, ISTerre-ex LGIT e LTHE). E' la prima volta che una sacca d'acqua intra-glaciale di tale importanza viene individuata in un ghiacciaio alpino prima che si verifichi una rottura: nel 2010, questa sacca rappresentava una minaccia per i 3.000 abitanti di Saint-Gervais les Bains.

Le autorità pubbliche sono state avvisate il 13 luglio 2010, e la sacca è stata svuotata artificialmente tra agosto e ottobre. I programmi di osservazione e analisi condotti tra il 2010 e il 2012 hanno avuto come obiettivo il monitoraggio e la comprensione dei meccanismi di riempimento della sacca d'acqua e del rischio di collasso della cavità e lo studio dell'evoluzione del regime termico del ghiacciaio. La sacca è stata nuovamente svuotata il 28 settembre 2011.

I livelli d'acqua sono stati misurati con l'aiuto di sensori piezometrici. Grazie alle misure meteorologiche, a quelle con ultrasuoni e a quelle delle paline di ablazione, la fusione giornaliera è stata determinata nel corso della stagione estiva 2011. Il confronto tra velocità di riempimento e dati di fusione giornaliera permette di concludere che esiste un'ottima correlazione tra i due fattori, e che esiste un flusso permanente che alimenta la cavità indipendentemente dalla fusione in superficie.



Il ghiacciaio di Tête Rousse

Le misure della deformazione superficiale, quelle sonar e quelle GPR (Ground Penetrating Radar) hanno permesso di identificare i fattori responsabili del cambiamento della geometria della cavità. Il flusso del ghiaccio contribuisce alla chiusura rapida ma parziale della cavità, quando questa è vuota. D'altro canto le misure indicano, nel 2011, una riduzione dello spessore del soffitto della cavità legata agli importanti crolli della parte interna del tetto, confermati dalla presenza di blocchi di ghiaccio identificati in fondo ai fori.

Le osservazioni condotte tra il 2010 e il 2011 mostrano che una cavità parzialmente vuota si riempie molto rapidamente, mentre una cavità piena d'acqua si ingrandisce

lentamente, perché la sua espansione dipende dallo scorrimento del ghiaccio indotto dalla pressione dell'acqua nella cavità. La geometria della sacca evolve rapidamente, in funzione del suo riempimento e dello scorrimento del ghiaccio. In seguito a uno svuotamento artificiale, può chiudersi parzialmente e non è escluso che possa formarsi altrove. In ogni caso, e qualunque siano le operazioni previste per il futuro, è ancora indispensabile sorvegliare l'evoluzione del volume d'acqua.

Lo studio del regime termico, basato su numerosi fori in profondità e su misure della temperatura, permette di concludere che la ritenzione dell'acqua è dovuta alla lingua fredda della parte a valle del ghiacciaio. Le temperature del ghiaccio evolvono essenzialmente in funzione dello spessore del manto nevoso: paradossalmente, un aumento della fusione della neve in un periodo di riscaldamento porta a un raffreddamento del ghiacciaio. Le simulazioni numeriche confrontate con le misure indicano che la sacca d'acqua attuale si è formata progressivamente e lentamente, nel corso di decine di anni. Lo studio termico mostra poi come la lingua fredda continuerà molto probabilmente a svilupparsi verso monte nei prossimi anni, anche se il processo è molto lento.

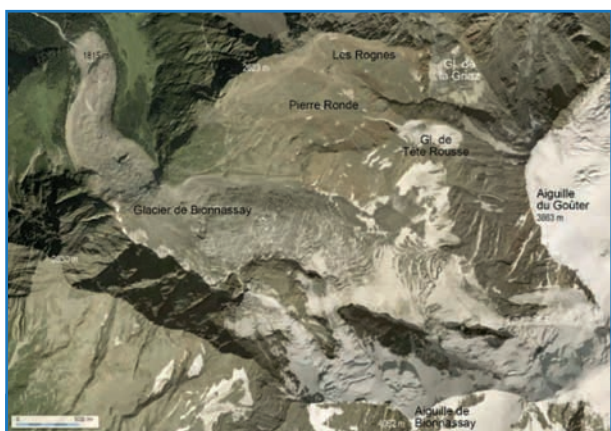
Le misure GPR hanno permesso di costruire un modello digitale del terreno affidabile, con un'incertezza di +/- 10 metri.

SECTEURS RÉCEMMENT DÉSENGLACÉS

Développée dans des marges proglaciaires en partie ou totalement déglacées depuis quelques décennies voire depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, cette action visait à tester des méthodes qui permettent de : (i) recenser de manière détaillée les processus passés et actuels et leurs combinaisons éventuelles, générateurs d'aléas ; (ii) quantifier le volume de matériaux mobilisés/mobilisables ; (iii) caractériser ces matériaux, en particulier du point de vue de leur stabilité.

Les quatre sites-pilotes retenus sont les marges proglaciaires des secteurs suivants :

1. Bionnassay-Tête Rousse-Griaz (massif du Mont Blanc, Haute-Savoie). En partie situé immédiatement à l'aval du site-pilote de Tête Rousse, ce site a été étudié du point de vue de (i) la formation de lave en cas de vidange d'une poche d'eau intraglacière du glacier de Tête Rousse ; (ii) la vidange du lac proglaciaire de Bionnassay ; (iii) la déstabilisation potentielle de glaciers suspendus par dégradation du permafrost ;
2. Tzanteleina (haut Val de Rhêmes, Vallée d'Aoste). Ce site est caractérisé par une fusion glaciaire très active avec par conséquent un retrait du front rapide. Le secteur analysé compte plusieurs lacs proglaciaires et des dépôts abondants. Les données ont été collectées à l'aide d'une station météorologique automatique, puis analysées en vue de la caractérisation géotechnique du secteur en lien avec les variations environnementales ;
3. Verra Grande (haut Val d'Ayas, Vallée d'Aoste). Ce site dans la partie distale du système morainique du PAG du glacier de Verra Grande est caractérisé par la présence du Lago Blu, un lac de barrage morainique de formation récente. Des analyses de terrain et en laboratoire ont également été réalisées sur ce site pour la caractérisation mécanique de ses matériaux ;
4. Capra et Ciardoney (haut Val d'Orco, Piémont). Le Val d'Orco compte certains des glaciers les plus importants du secteur piémontais concerné par le projet. Les deux secteurs ont été choisis pour leur accessibilité (Capra) ou leur grand nombre de données glaciologiques et climatiques disponibles (Ciardoney). Sur ces deux sites des méthodes de suivi topographique ont été appliquées pour identifier (à l'aide d'analyses diachroniques) de possibles variations de surface indicatrices des processus morphodynamiques actuels ou passés.



Orthophotographie du site-pilote 1

Différentes méthodes ont été appliquées sur les 4 sites-pilotes. L'épaisseur des matériaux susceptibles d'être mobilisés à Pierre Ronde (site 1) lors d'une vidange brutale depuis le glacier de Tête Rousse a été mesurée par tomographie électrique, une méthode géophysique qui renseigne aussi sur la présence éventuelle de glace et donc sur la cohésion du dépôt. Des mesures géophysiques ont également eu lieu sur les sites 2 et 3, complétées par des levés photogrammétriques. La caractérisation géotechnique des matériaux de la marge proglaciaire du site 2 a été obtenue par le suivi du contenu en eau, du flux de chaleur et de la température du sol entre 2 et 50 cm, complété par les données météorologiques de l'air relevées par une station automatique ; en plus des tests géotechniques et géophysiques ont été menés en laboratoire. Le suivi du site 4 a été réalisé par LiDAR terrestre, GNS, photogrammétrie digitale aérienne et terrestre, pour la détection de changements topographiques liés aux processus d'instabilité. Enfin, la modélisation de la distribution spatiale de la température annuelle moyenne à la surface des parois rocheuses a permis d'évaluer la stabilité des glaciers suspendus à base froide présents sur le site 1.

D'un emploi simple et rapide, les méthodes géophysiques permettent de caractériser les dépôts en profondeur, en particulier dans un milieu influencé par le permafrost. De même, la répétition de levés par laserscan terrestre autorise commodément un suivi précis des processus actifs. Enfin, la modélisation permet une première évaluation d'un phénomène potentiel à l'échelle d'un bassin glaciaire, préalable à une étude plus ciblée.

En revanche, l'instrumentation d'un site ne peut être mise en œuvre que sur des sites pour lesquels la récurrence d'aléas a été observée, afin de réunir les données nécessaires à leur analyse et de permettre une meilleure prévision de leur occurrence potentielle.

Partenaires impliqués : FondMS, ARPA VdA, CNR-IRPI, EDYTEM

Liens et références bibliographiques :

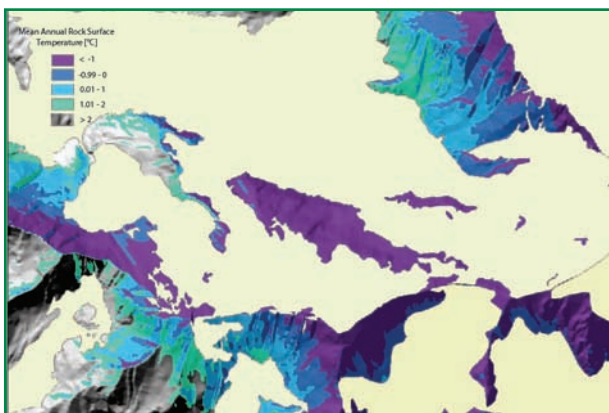
Bosson, J.-B et al., 2013. Results of geoelectrical tomography in Les Rognes sector (Mont-Blanc, France). 8th IAG Conference, Paris.

SETTORI RECENTEMENTE DEGLACIALIZZATI

Sviluppata nei margini proglaciali in parte o totalmente deglacializzati da qualche decennio o dalla fine della PEG, questa azione mirava a testare metodi che permettano di recensire in maniera dettagliata i processi passati e attuali (e le loro possibili combinazioni) generatori di rischio. A questo si aggiunge la quantificazione del volume dei materiali mobilizzabili e la caratterizzazione dei materiali stessi, in particolar modo dal punto di vista della loro stabilità.

I quattro siti pilota scelti sono i margini proglaciali delle seguenti aree:

1. Bionnassay-Tête Rousse-Griaz (massiccio del Monte Bianco, Alta Savoia). In parte situata immediatamente a valle del sito pilota di Tête Rousse, quest'area è stata studiata dal punto di vista di: (i) formazione di colate detritiche in caso di svuotamento di una sacca d'acqua intraglaciale; (ii) svuotamento del lago proglaciale di Bionnassay, (iii) destabilizzazione potenziale di ghiacciai sospesi per degradazione del permafrost;
2. Tzanteleina (alta Val de Rhêmes, Valle d'Aosta). Questo sito è caratterizzato da un forte tasso di fusione glaciale con conseguente arretramento della fronte. L'area di studio è situata sul margine proglaciale dove sono presenti più laghi di neoformazione e di potenti depositi detritici. Sono stati raccolti diversi parametri ambientali, mediante una stazione meteorologica, e sono state eseguite indagini geofisiche sui campioni appositamente raccolti, per ottenere la caratterizzazione geotecnica dei materiali al variare dei parametri ambientali;
3. Verra Grande (alta Val d'Ayas, Valle d'Aosta). Il sito è localizzato nella parte terminale dell'imponente apparato morenico della PEG del Ghiacciaio di Verra Grande, in corrispondenza del Lago Blu, lago di sbarramento morenico di neoformazione. Come per il sito della Tzanteleina anche in questo caso sono state eseguite delle indagini in situ e analisi in laboratorio finalizzate alla caratterizzazione meccanica dei materiali.
4. Capra e Ciardoney (Valle Orco, Piemonte). La Valle Orco ospita alcuni degli apparati glaciali più significativi dell'area piemontese di interesse del progetto. I due settori sono stati scelti rispettivamente per l'accessibilità (Capra) e per la considerevole mole di dati glaciologici e climatici disponibili (Ciardoney). Sui due siti sono state impiegate tecnologie avanzate per il rilievo delle superfici topografiche, con lo scopo di identificare, mediante un approccio multi temporale, eventuali differenze topografiche indicative di processi morfodinamici in atto o passati.



Modellizzazione della temperatura annuale media sulla superficie delle pareti rocciose del sito 1

GNSS, fotogrammetria digitale aerea e terrestre, per il riconoscimento di modificazioni topografiche imputabili a processi d'instabilità. Inoltre, la modellizzazione della distribuzione spaziale della temperatura annuale media in superficie delle pareti rocciose ha permesso di valutare la stabilità dei ghiacciai sospesi a base fredda presenti sul sito 1.

Di impiego semplice e rapido, i metodi geofisici permettono di caratterizzare i depositi in profondità, specie in un contesto influenzato dal permafrost. Allo stesso modo, la ripetizione di rilievi con laserscanner terrestre consente un monitoraggio dei processi attivi. Infine, la modellizzazione permette una prima valutazione di un fenomeno potenziale alla scala del bacino glaciale, preliminare a uno studio più mirato.

D'altro canto, la strumentazione e il monitoraggio di un sito non possono essere adoperati che su siti per i quali è stata osservata una ricorrenza di eventi, per raccogliere i dati necessari alla loro analisi e permettere una previsione migliore della loro eventuale occorrenza.

Partner coinvolti: FondMS, ARPA VdA, CNR-IRPI, EDYTEM

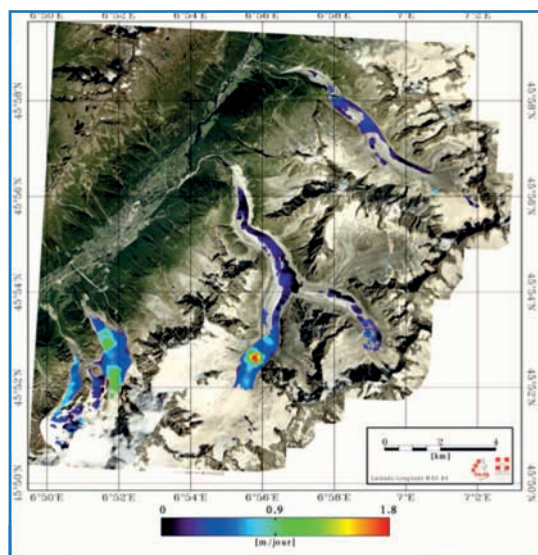
Link e riferimenti bibliografici:

Bosson, J.-B et al., 2013. Results of geoelectrical tomography in Les Rognes sector (Mont-Blanc, France). 8th IAG Conference, Paris.

GLACIER DE L'ARGENTIÈRE (HAUTE SAVOIE)

L'observation, la compréhension et la prédiction de l'évolution des glaciers à l'échelle d'un massif nécessitent d'exploiter différentes sources d'informations. Ainsi, parallèlement à l'acquisition et l'analyse de données in situ, très précises mais très localisées et peu fréquentes pour des raisons de coût matériel et humain, ce projet a comporté un volet dédié à l'exploitation de données de télédétection fournies régulièrement par des systèmes satellitaires radar. L'ensemble des informations que l'on a été capable d'extraire des données satellitaires, par des traitements évolués d'analyse d'images, a été mis en forme afin d'être exploitable par les spécialistes de la surveillance de l'environnement. L'objectif de cette action était d'intégrer l'ensemble des informations disponibles (connaissances des experts et issues des images radars) afin de construire des cartes de déplacements des glaciers.

Pour valider par des mesures au sol les traitements et les mesures obtenus à partir des images radar des nouveaux satellites, on a choisi le site expérimental du glacier d'Argentière dans la vallée de Chamonix. Le glacier est actuellement équipé d'un « coin réflecteur » et de trois GPS permanents qui permettent d'en mesurer en continu le déplacement. La maintenance de cette expérimentation avait été financée dans le cadre du projet ANR EFIDIR (Extraction et Fusion d'Informations pour la mesure de Déplacement par Imagerie Radar). GlaRiskAlp a permis de prolonger les mesures pour deux années supplémentaires et compléter ainsi une série de données uniques.



Champs de déplacements 3D à la surface des glaciers de la vallée de Chamonix obtenus à partir des images TerraSAR-X (descendantes : 14-25/08/2012, ascendantes : 16-27/08/2012)

Le projet a permis d'étudier la précision des mesures de déplacements des glaciers par imagerie satellitaire sur le site expérimental et la généralisation à l'espace du massif du Mont-Blanc. Les activités réalisées ont porté à la définition des recommandations pour la détection et le suivi des glaciers à « risques » à partir des images satellitaires ; on est également arrivés à la définition des programmations des nouveaux satellites (orbite, angle de visée, répétitivité, etc.) nécessaires pour le suivi et la surveillance des glaciers. Pour tester les algorithmes développés sur le site de l'Argentière on a ensuite réalisé des actions spécifiques sur les glaciers suspendus des Grandes Jorasses et de Taconnaz.

Les résultats du projet ont permis de suivre la dynamique des glaciers à partir des images satellitaires radar à haute résolution spatiale, surveillant les glaciers l'été et l'hiver, de jour comme de nuit. L'activité a permis de produire des cartes multi-temporelles de l'évolution de la dynamique des glaciers, de déduire les vitesses moyennes 2D ou 3D mesurées à 11 jours, de valider les mesures satellitaires avec les mesures GPS in situ et d'obtenir

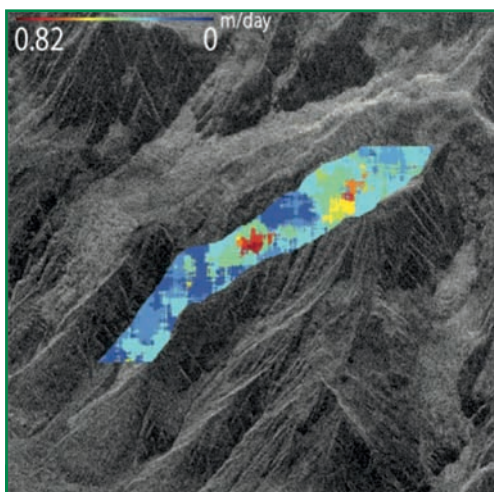
une relation entre l'accélération de la vitesse en surface d'un glacier froid à risque et la chute des séracs dans sa partie aval.

On peut en conclure qu'il est possible de suivre la dynamique des glaciers à risque grâce à l'imagerie satellitaire et d'avoir une première évaluation d'un indicateur potentiel de la prévision des chutes de séracs. Plus généralement il est possible d'obtenir des champs de vitesse bi-dimensionnelle ou tri-dimensionnelle de la surface de l'ensemble des glaciers de la vallée, ceci pouvant servir à la modélisation et à l'amélioration de la connaissance de leurs dynamiques, et au suivi et à la surveillance des évolutions des vitesses de surface.

GHIACCIAIO DELL'ARGENTIÈRE (ALTA SAVOIA)

L'osservazione, la comprensione e la previsione dell'evoluzione dei ghiacciai alla scala di un massiccio montuoso necessitano l'utilizzo di diverse fonti di informazione. In questa direzione, parallelamente all'acquisizione e all'analisi di dati in situ (molto precisi ma molto localizzati e rari, per il loro costo materiale e umano), questo progetto ha comportato un'attività dedicata allo sfruttamento dei dati di telerilevamento forniti regolarmente dai sistemi satellitari radar. L'insieme delle informazioni che è stato possibile estrarre dai dati satellitari, attraverso trattamenti evoluti di analisi d'immagine, è stato costruito per essere sfruttabile dagli specialisti della sorveglianza del territorio. L'obiettivo di questa attività è stato quello di integrare l'insieme delle informazioni disponibili (conoscenze degli esperti e risultati delle immagini radar) per costituire una cartografia degli spostamenti dei ghiacciai.

Per valLiDARe attraverso misure sul terreno i trattamenti e le misure ottenute attraverso il radar dei nuovi satelliti, è stato scelto come sito sperimentale quello del ghiacciaio dell'Argentière, nella valle di Chamonix. Il ghiacciaio è stato equipaggiato con un prisma riflettente e tre GPS permanenti, che permettono di misurare con costanza lo spostamento. La manutenzione di questa sperimentazione era stata finanziata nel quadro del progetto ANR EFIDIR (Extraction et Fusion d'Informations pour la mesure de Déplacement par Imagerie Radar). GlaRiskAlp ha permesso di proseguire le misurazioni per altri due anni, completando così una serie di dati unica.



Ghiacciaio di Taconnaz, spostamenti 2D di superficie, ottenuti a partire da due immagini Radar-sat del 29/01/2009 e del 18/03/2009

Il progetto ha permesso di studiare la precisione delle misure di spostamento dei ghiacciai attraverso immagini satellitari, generalizzando i risultati alla scala del massiccio del Monte Bianco. Le azioni realizzate hanno portato alla definizione di indicazioni per l'individuazione e il monitoraggio dei ghiacciai "a rischio" a partire da immagini satellitari; si è inoltre arrivati alla definizione della programmazione dei nuovi satelliti (orbite, angolo di scatto, cadenza, ecc.), necessaria per la prosecuzione del monitoraggio. Per testare gli algoritmi sviluppati sul sito dell'Argentière, altre azioni specifiche sono state realizzate sui ghiacciai sospesi delle Grandes Jorasses e di Taconnaz.

I risultati del progetto hanno permesso di seguire la dinamica dei ghiacciai attraverso immagini satellitari radar ad alta risoluzione, sorvegliando i ghiacciai in estate e inverno, di giorno come di notte. L'attività ha permesso di produrre delle carte multi-temporali dell'evoluzione della dinamica, di dedurre le velocità medie in 2D e 3D misurate a 11 giorni, di convaliDARe le misure satellitari con

le misure GPS sul terreno e di ottenere una relazione tra l'accelerazione della velocità in superficie di un ghiacciaio freddo e la caduta dei seracchi.

Si può concludere che è possibile seguire la dinamica dei ghiacciai a rischio grazie all'analisi di immagini satellitari, avendo una prima valutazione di un indicatore potenziale per la previsione delle cadute di seracchi. Più in generale, è possibile ottenere dei modelli di velocità bidimensionale e tridimensionale della superficie dell'insieme dei ghiacciai della valle, elemento che può servire alla modellizzazione e al miglioramento della conoscenza della loro dinamica e al monitoraggio e alla sorveglianza delle evoluzioni delle velocità di superficie.



LE RÉSEAU DE COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE SUR LES RISQUES NATURELS EN MONTAGNE

Les secteurs englacés et récemment déglacés se caractérisent par une dynamique extrême, due à la sensibilité des glaciers aux changements climatiques, même si faibles. Ces secteurs présentent une vaste gamme de processus géomorphologiques qui modèlent le paysage de haute montagne tout en engendrant des risques pour les sociétés humaines installées dans ces milieux. Si certains phénomènes sont indépendants de l'évolution des glaciers, d'autres sont étroitement associés aux phases d'avancement ou de retrait glaciaire. En prenant en compte les scénarios climatiques pour le XXI^e siècle du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), les Alpes avec leurs secteurs englacés sont l'une des régions européennes les plus exposées à ces changements à venir, qui sont porteurs de nouveaux défis pour la gestion des risques qui en dériveront.

De part et d'autre des Alpes, les risques naturels et leur gestion sont semblables. Le climat et la morphologie (vallées aux versants raides) sont identiques : les aléas ne connaissent pas de frontière nationale. La spécificité des risques naturels qui caractérisent l'environnement des Alpes a conduit à aborder ce thème à un niveau transfrontalier, à travers des projets de coopération territoriale dans lesquels les techniciens, les scientifiques, les administrateurs et les politiciens confrontent leurs approches et collaborent pour aboutir à des modèles communs concernant la prévention. La mise en commun de données, l'harmonisation de la cartographie de la dangerosité ou les échanges sur les meilleures pratiques sont ainsi à la base de la démarche. Le réseau risques naturels, né suite à de nombreux projets, a été renforcé par le projet stratégique Alcotra RiskNat. Son but est la création d'une réflexion stratégique commune sur des éléments comme la « culture du risque » et le « risque acceptable ». Chaque institution de l'espace transfrontalier des Alpes occidentales a ainsi augmenté ses compétences.

La nécessité de la confrontation est plus forte encore pour des sujets très spécifiques, comme les aléas d'origine glaciaire et périglaciaire, qui nécessitent des connaissances pointues et des compétences scientifiques, techniques et opérationnelles rares. Le projet GlaRiskAlp, né sous les auspices du projet stratégique RiskNat, a réuni des experts du monde scientifique et technique pour comprendre les niveaux de dangerosité qui peuvent être envisagés dans le futur pour les milieux englacés et récemment déglacés, et les analyses, suivis et gestion à mettre en œuvre en cas de danger. Pour cela, les expériences des sites-pilotes ont permis d'approfondir les connaissances sur ces aléas réunissant les compétences acquises par les partenaires en matière de risques glaciaires, dans le cadre d'un renforcement des rapports entre les différents acteurs de la mise en sécurité du territoire transfrontalier.

Le aree glaciali e di recente deglaciazione si caratterizzano per la loro estrema dinamicità, dovuta alla prontezza con cui le masse glaciali rispondono ai cambiamenti climatici (variazioni di precipitazioni e temperatura), anche se minimi. Questi settori sono caratterizzati da una vasta gamma di processi morfogenetici che modellano il paesaggio di alta montagna e allo stesso tempo comportano dei rischi per l'uomo, le infrastrutture e le attività che insistono in tali aree. Alcuni fenomeni si verificano indipendentemente dal momento evolutivo delle masse glaciali, mentre altri si associano specificamente a fasi di avanzata o di regresso. Alla luce dell'attuale contesto climatico e degli scenari futuri (rapporto IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), che prevedono una prosecuzione nel corso del XXI secolo del trend di riscaldamento, le Alpi e in particolare i settori glacializzati appaiono come una delle zone europee più esposte a tali cambiamenti che possono indurre l'acuirsi o l'instaurarsi di nuove sfide nella gestione dei rischi che ne derivano.

Da un lato e dall'altro delle Alpi i pericoli naturali e le difficoltà nella loro gestione sono simili: il clima e la morfologia (caratterizzata da valli e versanti ripidi, con spazi ristretti per gli abitati) sono gli stessi, e i fenomeni naturali non hanno confini nazionali. Le peculiarità dei pericoli naturali che caratterizzano l'ambiente alpino ha portato ad affrontare questo tema a livello transfrontaliero, mediante progetti di cooperazione territoriale in cui tecnici, scienziati, ma anche amministratori e politici si confrontano e collaborano per arrivare a procedure condivise, con l'obiettivo comune della prevenzione dei rischi naturali: lo scambio di dati, l'armonizzazione delle cartografie di pericolosità, lo scambio di best practices ne sono un esempio. La rete rischi naturali, nata grazie ai numerosi progetti, si è definitivamente consolidata con il progetto strategico Alcotra RiskNat. La rete ha come obiettivo la creazione di una riflessione strategica comune su concetti quali la "cultura del rischio" e il "rischio sostenibile", in una prospettiva di sviluppo sostenibile. Ogni istituzione dello spazio transfrontaliero delle Alpi occidentali ha grazie ad essa allargato al di là dei propri limiti lo spettro delle competenze alle quali fare appello nel quadro delle proprie attività.

La necessità di confrontarsi è ancora maggiore quando si trattano problemi molto specifici, quali i rischi di origine glaciale e periglaciale, che comportano conoscenze e competenze a livello scientifico, tecnico e operativo "di nicchia". Così il progetto GlaRiskAlp, nato sotto l'egida del progetto strategico RiskNat, ha riunito esperti del mondo tecnico e scientifico con l'obiettivo di individuare quali pericolosità sono da attendersi nel futuro in questi settori e come poter analizzare, monitorare e gestire i casi di rischio, sulla base delle esperienze fatte su alcuni siti pilota, approfondendo le conoscenze su tali fenomeni e rendendo più fruibili le competenze acquisite in materia di rischi glaciali, il tutto consolidando i rapporti tra i diversi attori coinvolti nella messa in sicurezza del territorio transfrontaliero.

Les aléas d'origine glaciaire sont typiques du territoire des Alpes et demandent une stratégie d'action spécifique.

Le séminaire technique organisé récemment par le Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN), auquel plusieurs partenaires du projet ont participé, a permis aux experts de différentes disciplines et aux gestionnaires du territoire de confronter leurs idées et pratiques pour une gestion intégrée (de la prévention jusqu'à la gestion de l'urgence) des risques d'origine glaciaire. Ce rendez-vous (<http://tinyurl.com/glarisk>) a défini les éléments centraux à considérer pour ce type de risques, avec une insertion du projet GlaRiskAlp dans cette réflexion.

Les aléas d'origine glaciaire sont complexes. Ils concernent en effet des matériaux différents et présentent des dynamiques très variables : écoulement de séracs, chute de portions de glacier, rupture de poches d'eau ou de lac glaciaire, lave de débris depuis les secteurs récemment déglacés. Cette complexité nécessite un traitement pluridisciplinaire qui associe des experts en glaciologie, écoulements rocheux, avalanches, hydrogéologie, géomorphologie, nivologie, télédétection et modélisation 3D et numérique.

Ces aléas sont généralement caractérisés par une basse fréquence et une grande intensité, qui pourraient augmenter du fait du changement climatique. C'est par exemple le cas des glaciers à base froide qui, avec l'augmentation de la température, peuvent devenir tempérés et donc instables. S'agissant d'aléas rares et qui se développent en position souvent éloignée des secteurs vulnérables (villages et infrastructures), leurs études sont peu nombreuses. Des recherches sont donc nécessaires pour mieux comprendre leur dynamique, s'appuyant sur la collaboration d'experts de disciplines et nationalités différentes. Les projets de collaboration comme GlaRiskAlp permettent d'enrichir et de renforcer ce type de réseaux, et ce au-delà des frontières.

Si le déclenchement de ces aléas se produit généralement dans des secteurs éloignés des lieux de vie et d'activité quotidiennes des hommes dans les Alpes, la configuration morphologique (raideur des pentes par exemple) engendre néanmoins de événements qui peuvent menacer directement les fonds de vallée. Le projet a permis d'établir un inventaire de l'extension actuelle des glaciers des Alpes occidentales, dont les caractéristiques ont été réunies dans une base de données qui est fondamentale pour l'étude des glaciers. Cet inventaire a été complété par celui de l'extension glaciaire à la fin du Petit Âge Glaciaire et dans les années 1960-1970. Les marges proglaciaires ont également été cartographiées afin de mieux connaître les processus qui les ont affectées et qui continuent à avoir des effets sur elles.

L'étude de sites-pilotes dans un projet tel que GlaRiskAlp permet d'effectuer des recherches en « temps de paix », activités qu'il n'est guère possible de développer en situation d'urgence : les temps de l'action et de la recherche sont rarement compatibles, même si les ressources (en particulier économiques) ne sont généralement disponibles qu'au moment d'une crise. GlaRiskAlp a ainsi permis d'approfondir la connaissance de ces sites spécifiques présentant des risques. Des techniques et méthodes ont également été testées et validées, qui pourront être transférées lorsque des situations semblables se présenteront dans le futur.

En « temps de crise », il est nécessaire d'avoir toutes les ressources disponibles de manière immédiate, c'est-à-dire des méthodes d'analyse et d'instrumentation testées et efficaces et les personnes capables de les mettre en œuvre et formées à l'interprétation des données, afin de fournir des résultats utiles aux prises de décision face à l'urgence.

Une communication et une collaboration efficaces entre techniciens et scientifiques sont également nécessaires, surtout en « temps de paix ». Les outils issus de la recherche doivent être transmis aux gestionnaires du territoire, tandis que leur interaction doit se développer le plus en amont possible pour favoriser une opérativité fondamentale en temps de crise.

I rischi di origine glaciale sono fenomeni tipici dell'ambiente alpino che richiedono una strategia particolare di azione.

Un recente seminario tecnico, organizzato dal Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN), cui hanno preso parte diversi partner del progetto, ha messo a confronto esperti di diversi ambiti tecnici e scientifici e gestori del territorio per delineare le indicazioni per arrivare a una gestione integrata efficace (dalla prevenzione alla gestione dell'emergenza) dei rischi di origine glaciale. Questo appuntamento (<http://tinyurl.com/glarisk>) ha permesso di chiarire quali sono i punti chiave che devono essere presi in considerazione quando si tratta di questo tipo di rischio, e come il progetto GlaRiskAlp si inserisce all'interno di questa riflessione.

Si tratta di fenomeni complessi, che coinvolgono materiali di tipo diverso e presentano dinamiche molto varie: crolli di seracchi, collassi di porzioni di ghiacciaio, rotte glaciali derivanti da sacche d'acqua interne al corpo glaciale o da laghi glaciali superficiali, eventi di colata detritica originati da zone periglaciali recentemente deglaciate. Questa complessità necessita un approccio multidisciplinare, che coinvolge esperti di diversi settori: glaciologia, geomorfologia, nivologia, telerilevamento, modellizzazione 3D e digitale.

Questi fenomeni sono caratterizzati da una scarsa frequenza e una grande intensità, che per effetto dei cambiamenti climatici potrebbero aumentare, come nel caso di ghiacciai che attualmente sono freddi e che, con l'aumento delle temperature, potrebbero diventare temperati e andare incontro a instabilità. Vista la scarsa frequenza e la loro posizione remota rispetto agli elementi vulnerabili (centri abitati e infrastrutture di origine antropica), si tratta di eventi naturali non molto studiati. Sono molte, quindi, le incertezze e le carenze nella comprensione della loro dinamica: per questo sono necessarie ulteriori ricerche, che prevedano la collaborazione di esperti di diversi campi del mondo scientifico anche di nazioni diverse. Progetti di cooperazione transfrontaliera quali GlaRiskAlp permettono di ampliare e rafforzare le reti di questi soggetti, allargandole oltre i confini.

Sebbene si tratti di fenomeni in genere "lontani" dall'uomo sulle Alpi, vista la morfologia del territorio, si sono verificati diversi eventi con danni a persone o cose e alcune situazioni di potenziale rischio sono state individuate. Di fondamentale importanza per lo studio dei ghiacciai e l'analisi dei fenomeni di rischio correlati risulta l'inventario dei ghiacciai delle Alpi occidentali, comprendente l'estensione attuale e quella alla fine della PEG, oltre a quella degli anni Sessanta e Settanta. Sono stati inoltre cartografati i margini proglaciali, per conoscere meglio i processi che li hanno coinvolti e che continuano ad avere effetti su di loro.

Lo studio di siti pilota nell'ambito di un progetto come GlaRiskAlp permette di effettuare ricerche "in tempo di pace" che durante la gestione di un'emergenza non è possibile fare: non solo è stato possibile approfondire la conoscenza su quei siti specifici, dove dei rischi esistono, ma si è riuscito a testare e validare tecniche che potranno essere trasferite e utilizzate in casi simili che si dovessero presentare nel futuro.

Infatti "in tempo di crisi" è necessario avere tutte le risorse necessarie disponibili immediatamente: strumentazioni funzionanti e testate così come persone addestrate a gestirle e formate per interpretare correttamente le misure e fornire i risultati utili alla gestione dell'emergenza. I tempi dell'emergenza e i tempi della ricerca non sono spesso compatibili, seppure si verifichi spesso che le risorse (soprattutto in termini economici) si rendano disponibili solo al momento della crisi.

E' inoltre necessario che vi sia una efficace comunicazione ed efficiente collaborazione tra mondo tecnico e mondo scientifico, anche in "tempo di pace". Gli strumenti che le ricerche mettono a disposizione devono essere trasmessi ai gestori del territorio, e sempre più l'interazione deve avvenire in corso d'opera, volta a finalizzare gli studi verso un'operatività che in tempo di crisi è fondamentale.

Capofila: Fondation Montagne sûre

Fondazione Montagna sicura – Montagne sûre est une institution sans but lucratif ayant son siège à Courmayeur, qui intervient en qualité de centre opérationnel et de recherche appliquée sur le monde de la montagne. Ses objectifs sont les suivants : étude des phénomènes climatiques, météorologiques, mais également environnementaux, qui conditionnent la vie en montagne; analyse du risque hydrologique; promotion du développement durable ; promotion de la sécurité et de la prévention des risques naturels en montagne. Dans le cadre de son activité de recherche, la Fondation mène des actions conjointes en tant que centre de documentation sur la haute montagne et centre de formation et d'information sur les thèmes de la sécurité en montagne, des risques naturels et du milieu alpin. Elle a été créée par la Région autonome Vallée d'Aoste, la Commune de Courmayeur, le Secours alpin valdôtain, l'Union valdôtaine des guides de haute montagne et l'USL de la Vallée d'Aoste.

ARPA Vallée d'Aoste

L'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Valle d'Aosta a été créée pour mettre en place des activités de connaissance et de prévention concernant l'environnement. L'ARPA compte parmi ses compétences: contrôle des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des éléments de l'environnement : air, eau, sol; monitoring sur le territoire régional des effets des dynamiques liées aux changements climatiques; support technique-scientifique à l'Administration régionale en matière de protection de l'environnement et de prévention des risques naturels; activité d'analyse et technique pour supporter les fonctions de vigilance et d'inspection du Corps Forestier Valdôtain; mesure et évaluation de l'impact sur l'environnement pour des sujets privés; diffusion des informations sur les thématiques de l'environnement qui la concernent, également à travers la rédaction de rapports techniques et de la Relation sur l'état de l'environnement.

CNR – Irpi

L'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica di Torino (IRPI Torino) a démarré son activité en 1970 en tant qu'institut local étant part du circuit du Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). En 2002 il est devenu une section de l'Istituto Nazionale per la Protezione Idrogeologica, ayant son siège à Perugia. Ses activités se développent le long des axes suivants: étude des conditions géo-hydrologiques et de l'évolution des bassins hydrologiques du système des Alpes et de la Pianura Padana; analyse des phénomènes d'érosion, transport et dépôt des fleuves, en relation avec importants phénomènes météo-hydrologiques; monitoring, prévision et prévention des phénomènes d'instabilité naturelle, spécifiquement en un contexte glacial et périglacial; étude de méthodologies concernant la collection, l'archivage et l'élaboration à travers des procès informatiques et GIS; recherche de photo-interprétation comparée, appliquée aux problèmes d'instabilité des versants et du réseau hydrographique; intervention pour l'étude sur les lieux frappés ou menacés par crues et éboulements.

LISTIC

Officiellement créé en 2002 par l'Université de Savoie, le Laboratoire d'Informatique Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance (LISTIC) a été reconnu par le Ministère chargé de la Recherche en 2003. Les travaux qui y sont menés visent à la mise au point d'outils méthodologiques pour la spécification, la conception, la réalisation et l'exploitation de systèmes de fusion d'informations. Les activités du LISTIC se développent suivant des axes qui s'identifient avec ces mots-clés: méthodes de fusion d'informations- représentation des informations et incertitudes, transformations et équivalences (probabilités, possibilités, sous-ensembles flous), combinaison, fonctionnalités explicatives; systèmes et répartition- modélisation, analyse, contrôle des systèmes répartis (RdP, automates), formalisation des mécanismes de mesure et traitement, outils de prototypage rapide; logiciels et systèmes évolutifs- adaptation architecturale et Web services, ré-ingénierie et maintenance; ingénierie de la connaissance- modélisation et représentation des connaissances, extraction semi-automatique d'ontologies, représentations semi-formelles; méthodologie orientée application.

CNRS

Le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) participe à GlaRiskAlp à travers l'activité de trois laboratoires spécialisés sur les thématiques du projet: le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE), qui a bâti sa renommée scientifique sur l'étude du climat et de la composition de l'atmosphère, donne sa contribution à travers ses savoirs-faire centrés sur la neige et la glace, comme l'étude physique et mécanique du matériau glace, les échanges chimiques air-neige ou encore l'acquisition de données sur le terrain et par satellite ; le Laboratoire Environnements Dynamiques et Territoires de Montagne (EDYTEM) est un centre de recherche interdisciplinaire qui développe son activité grâce à la fusion de disciplines différentes : géologie, hydrogéologie, géomorphologie, géographie, économie de l'environnement; le GIPSA-lab est un laboratoire pluridisciplinaire développant des recherches fondamentales et finalisées sur les signaux et systèmes complexes. Il est reconnu internationalement pour ses recherches en Automatique, Signal et Images, Parole et Cognition et développe des projets dans les domaines stratégiques de l'énergie, de l'environnement, de la communication, des systèmes intelligents, de la santé et de l'ingénierie linguistique.

Capofila: Fondazione Montagna sicura

Fondazione Montagna sicura – Montagne sûre è un ente senza scopo di lucro con sede in Courmayeur, che opera in qualità di centro operativo e di ricerca applicata sul mondo della montagna con i seguenti scopi: lo studio dei fenomeni climatici e meteorologici, nonché di quelli ambientali che condizionano la vita in montagna; l'analisi del rischio idrogeologico; la promozione dello sviluppo sostenibile; la promozione della sicurezza e della prevenzione dei rischi naturali in montagna; l'analisi e lo studio degli impatti dei cambiamenti climatici sulla criosfera e sui territori di alta quota in generale. Nell'ambito dell'attività di ricerca, la Fondazione sviluppa interventi sinergici in veste di centro di documentazione sull'alta montagna e di centro di formazione e divulgazione sulle tematiche della sicurezza in montagna, dei rischi naturali e dell'ambiente alpino. È promossa dalla Regione autonoma Valle d'Aosta, dal Comune di Courmayeur, dal Soccorso Alpino Valdostano, dall'Unione valdostana Guide di Alta Montagna e dall'Azienda Usl della Valle d'Aosta.

ARPA Valle d'Aosta

L'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Valle d'Aosta è un ente strumentale della Regione autonoma che svolge attività conoscitive, di prevenzione e di tutela in campo ambientale: istituita nel 1995, è operativa dal 1997. Tra le sue attività, l'ARPA assicura il controllo dei fattori fisici, chimici e biologici che caratterizzano l'ambiente nelle sue diverse componenti, si occupa del monitoraggio sul territorio regionale degli effetti del cambiamento meteo-climatico, assicura l'attività di supporto tecnico-scientifico all'Amministrazione regionale in materia di tutela dell'ambiente e di prevenzione dei rischi ambientali, effettua misure e valutazioni di impatti in ambiente di vita su richiesta di soggetti privati, assicura la diffusione delle informazioni sui temi ambientali di propria competenza, anche attraverso la redazione di rapporti tecnici e della Relazione sullo stato dell'ambiente.

CNR – Irpi

L'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica di Torino (IRPI Torino) ha iniziato la sua attività nel 1970 come istituto a carattere locale, facente parte del circuito del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR): nel 2002 è diventato una sezione dell'Istituto Nazionale per la Protezione Idrogeologica, con sede a Perugia. Le attività dell'IRPI comprendono: studio delle condizioni geo-idrologiche e dell'evoluzione morfologica dei bacini idrografici afferenti al sistema alpino-padano; analisi dei fenomeni di erosione, trasporto e deposito fluviali, in relazione a significativi eventi meteo-idrologici, monitoraggio dei fenomeni d'instabilità naturale; studio di metodologie relative a elaborazione dati mediante procedure informatiche e GIS; ricerche di fotointerpretazione comparata, applicata a problemi di instabilità dei versanti e della rete idrografica; interventi di studio in località colpite o minacciate da piene e frane, anche a seguito di specifiche richieste da parte di Enti pubblici.

LISTIC

Creato ufficialmente nel 2002 dall'Université de Savoie, il Laboratoire d'Informatique Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance (LISTIC) è stato riconosciuto dal Ministère de la Recherche nel 2003: le sue attività mirano a mettere a punto strumenti metodologici per la specificazione, la concezione, la realizzazione e l'utilizzo di sistemi di fusione di informazione. L'operato del LISTIC si sviluppa lungo assi che rispondono alle seguenti parole-chiave: metodi di fusione d'informazioni- rappresentazione di informazioni e incertezza, trasformazioni ed equivalenze (probabilità, possibilità), combinazioni; sistemi e ripartizioni- modellizzazione, analisi, controllo di sistemi suddivisi, strumenti di creazione rapida di prototipi; programmi e sistemi evolutivi- adattamento di architetture e servizi web, re-ingegnerizzazione e mantenimento; ingegneria della conoscenza- modellizzazione e rappresentazione delle conoscenze; metodologia orientata alla pratica.

CNRS

Il Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) partecipa a GlaRiskAlp attraverso l'attività di tre laboratori specializzati sulle tematiche del progetto: il Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE), che ha costruito la propria reputazione scientifica sullo studio del clima e della composizione dell'atmosfera, contribuisce al progetto attraverso le proprie competenze riguardanti la neve e il ghiaccio; il Laboratoire Environnements Dynamiques et Territoires de Montagne (EDYTEM) è un centro di ricerca interdisciplinare che sviluppa la propria attività grazie alla fusione di competenze e approcci diversi: geologia, idrogeologia, geomorfologia, geografia, economia dell'ambiente; il GIPSA-lab è un laboratorio pluridisciplinare che sviluppa ricerche di base incentrate sui segnali e i sistemi complessi: è riconosciuto a livello internazionale per i suoi studi su Automatizzazione, Segnale e Immagini, Parola e Conoscenza e sviluppa progetti nei campi strategici dell'energia, dell'ambiente, della comunicazione, dei sistemi intelligenti, della salute e dell'ingegneria linguistica.



Unione Europea
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

INSIEME OLTRE
I CONFINI ENSEMBLE
PAR-DELA LES FRONTIERES



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur



Région Autonome
Vallée d'Aoste
Regione Autonoma
Valle d'Aosta

Rhône-Alpes ^{Région}



CONSEIL GENERAL



www.fondms.org/glariskalp