



Permafrost e rockglacier / Permafrost et glacier rocheux

Contributo a cura del dott. geol. L. Paro (Arpa Piemonte, Dip. Rischi Naturali e Ambientali, S.S. Monitoraggio e Studi Geologici)

Il **permafrost** (terreno perennemente congelato) è definito come un geomateriale (suolo, detrito e/o roccia) che ha una temperatura uguale o inferiore a 0 °C per due o più anni consecutivi e può, ma non necessariamente, contenere acqua allo stato liquido o ghiaccio. Il **permafrost** è molto diffuso nelle aree circumpolari, ma è presente anche alle alte quote nelle Alpi. In Piemonte è potenzialmente presente nel 20% dell'area montana.

Tipica forma di questi ambienti e indicatrice del **permafrost** è il **rockglacier** costituito da un mix di detrito e ghiaccio, che fluisce lentamente lungo il pendio. Dal punto di vista idrogeologico, i **rockglacier** sono degli acquiferi porosi (serbatoi d'acqua), contenenti acqua allo stato sia liquido che solido. L'acquifero è alimentato direttamente dalle precipitazioni liquide e dalla fusione nivale (talora da quella glaciale) ma la portata delle sorgenti connesse al **rockglacier** risentono anche dell'evoluzione del **permafrost** e del ghiaccio in esso contenuto.

Nell'ambito del progetto **RESERVAQUA**, ARPA Piemonte intende caratterizzare dal punto di vista qualitativo e quantitativo la risorsa idrica contenuta nel **permafrost** e nei **rockglacier** in particolare.

Per stimare il volume della potenziale risorsa idrica disponibile nei **rockglacier** è necessario dimensionare l'acquifero ma anche caratterizzarlo dal punto di vista

stratigrafico, per conoscerne la porosità e la permeabilità, e del contenuto in acqua liquida e solida. Il bilancio idrologico-idrogeologico dovrà inevitabilmente considerare anche la misura degli afflussi (principalmente pioggia e neve) e dei deflussi (delle principali sorgenti scaturenti direttamente dal *rockglacier*).

Per conoscere gli aspetti idro-geo-chimici delle acque associate ai *rockglacier*, e quindi per effettuare una valutazione qualitativa della risorsa, verranno effettuati campionamenti periodici sia delle acque in ingresso che di quelle in uscita dall'acquifero. Le sorgenti verranno monitorate in continuo con strumenti in grado di fornire alcuni semplici parametri chimico-fisici per valutare la stagionalità delle variazioni qualitative in relazione agli apporti.

In ultimo, si tenterà una correlazione dei dati raccolti nei pochi anni di durata del progetto con quelli disponibili per il contesto alpino a livello locale e regionale, utilizzando la base dati pluridecennale sulle acque alto-alpine dell'Ossola disponibili presso il CNR-IRSA di Pallanza. Queste preziose informazioni consentiranno un'analisi preliminare degli effetti dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica collegata al permafrost ed ai *rockglacier*.

L'obiettivo finale della caratterizzazione quali-quantitativa di questa risorsa idrica è di fornire ai decisori politici ed ai pianificatori del territorio indicazioni utili per la sua gestione, protezione e valorizzazione.

Ulteriori informazioni sono consultabili sulla pagina web di ARPA Piemonte al seguente [link](#).

* * *

*Le **pergélisol** (sol gelé en permanence) est défini comme un matériel géologique (sol, débris et/ou rocher) qui a une température égale ou inférieure à 0 °C pendant deux années consécutives ou plus et qui peut, mais ne doit pas nécessairement, contenir de l'eau liquide ou de la glace. Le pergélisol est très répandu dans les zones circumpolaires, mais il est aussi présent dans les Alpes, en hautes altitudes. Il est potentiellement présent dans les 20% de la zone montagneuse du Piémont.*

*Une forme typique du pergélisol, et un des indicateurs de sa présence, est le **glacier rocheux**, formation constituée d'un mélange de débris et de glace, qui s'écoule lentement le long de la pente. D'un point de vue hydrogéologique, les glaciers rocheux sont des aquifères poreux (réservoirs d'eau), contenant de l'eau à la fois liquide et solide. L'aquifère est alimenté directement par les précipitations liquides et par la fusion nivale (parfois par la fonte des glaciers). Cependant, le débit des sources reliées au glacier rocheux est également affecté par l'évolution du pergélisol et par la glace qu'il contient. Dans le cadre du projet **RESERVAQUA**, ARPA Piemonte prévoit de caractériser d'un point de vue qualitatif et quantitatif la ressource en eau contenue dans le pergélisol et dans les glaciers rocheux en particulier.*

Pour estimer le volume de la ressource en eau potentiellement disponible dans

les glaciers rocheux, il est nécessaire de dimensionner et de caractériser l'aquifère du point de vue stratigraphique, pour en connaître la porosité et la perméabilité, et son contenu en eau liquide et solide. L'équilibre hydrologique-hydrogéologique doit également impérativement tenir compte de la mesure des apports (principalement pluie et neige) et des sorties d'eau (principalement les sources directement issues du glacier rocheux).

Pour connaître les aspects hydrogéochimiques des eaux associées aux glaciers rocheux, et donc réaliser une évaluation qualitative de la ressource, des échantillonnages des eaux, tant à l'entrée qu'à la sortie de l'aquifère, seront périodiquement effectués. Les sources seront surveillées en continu avec des outils capables de fournir des paramètres chimiques et physiques simples pour évaluer, par rapport aux apports, la saisonnalité des variations qualitatives.

Enfin, en utilisant la base de données hébergée au CNR-IRSA de Pallanza, qui est riche de plusieurs décennies de mesures sur les eaux alpines des Vallée d'Ossola, une corrélation pourra être recherchée entre les données collectées durant ce projet et celles disponibles en contexte alpin au niveau local et régional. Ces précieuses informations permettront une analyse préliminaire des effets du changement climatique sur la ressource en eau liée au pergélisol et aux glaciers rocheux.

L'objectif final de la caractérisation qualitative et quantitative de cette ressource en eau est de fournir aux décideurs et aux personnes en charge de la planification du territoire des informations utiles pour sa gestion, sa protection et sa valorisation.

Plus de informations sont disponibles sur le portail web de l'ARPA Piemonte à [l'adresse suivante](#).

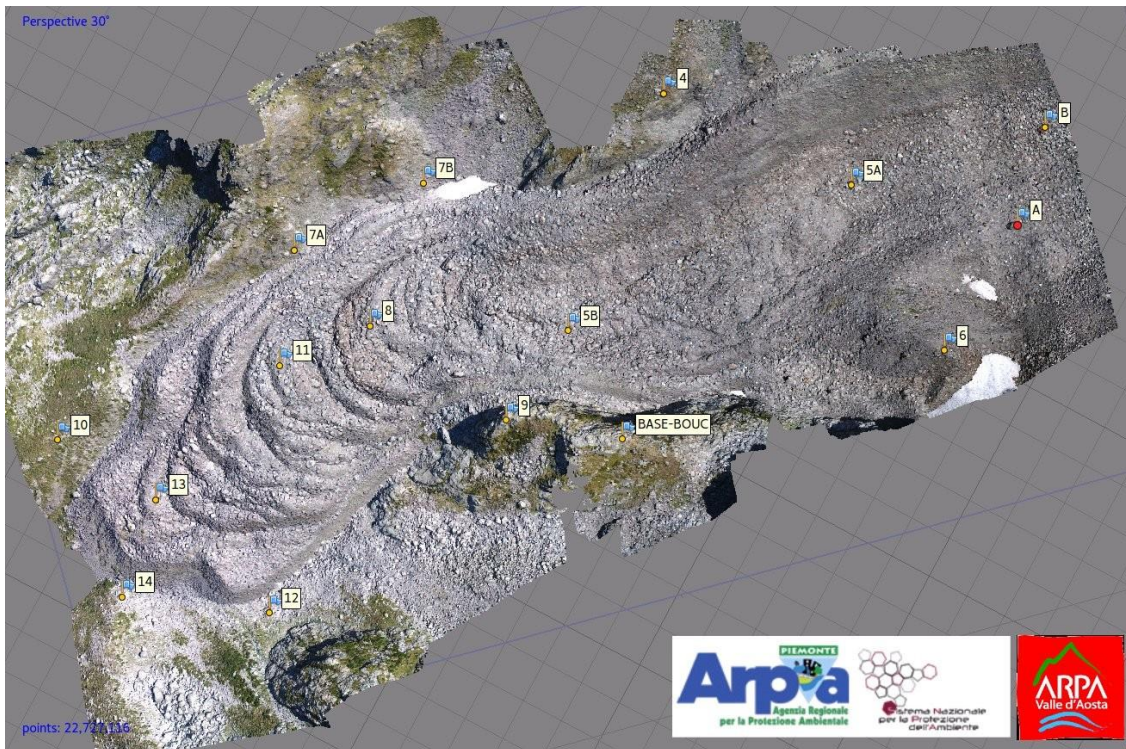


Fig.1 - Ripresa fotogrammetrica del rockglacier del Vej del Bouc (Alpi Marittime) realizzata tramite drone dall'Arpa Valle d'Aosta (vista zenitale). / *Prise de vue photogrammétrique du glacier du Vej del Bouc (Alpes Maritimes) réalisée par drone depuis l'Arpa Valle d'Aosta (vue zénithale).*

Applicazione di un **modello 3D idrogeologico per i rock glacier**

Contributo alla valutazione quali-quantitativa della risorsa idrica

Contributo alla conoscenza del ciclo idrologico in alta quota

Contributo alla definizione della governance di gestione e tutela delle risorse idriche in alta quota nel contesto del cambiamento climatico

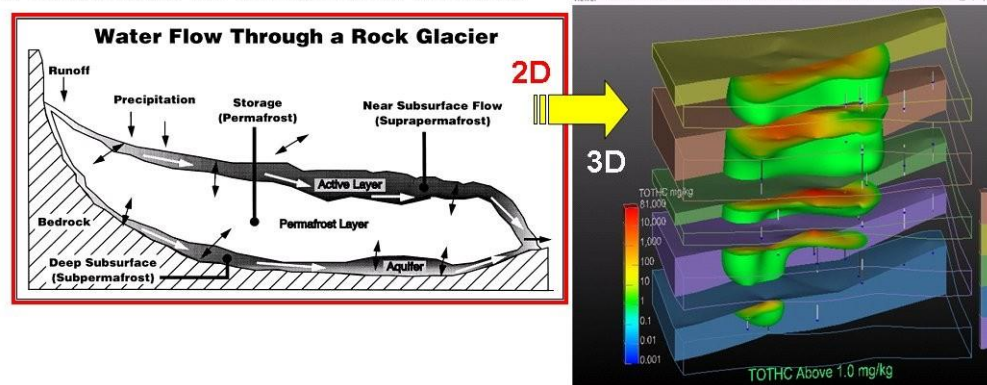


Fig.2 - Schema dell'attività sui rockglacier di ARPA Piemonte nell'ambito del progetto Reservaqua. / *Schéma de l'activité d'ARPA Piémont sur les glaciers rocheux dans le cadre du projet RESERVAQUA.*

Les glaciers rocheux, une ressource en eau potentielle? Cas du glacier Bonnard (Suisse) / *Rock glaciers, una potenziale risorsa idrica? Caso del Ghiacciaio Bonnard (Svizzera)*

Contribution du Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin (CREALP)

Comme l'attestent les observations du réseau suisse de monitoring du pergélisol (PERMOS), le réchauffement climatique actuel a une conséquence directe sur l'évolution du pergélisol en Suisse. Outre la déstabilisation des versants rocheux à haute altitude et une accélération des mouvements des glaciers rocheux, la fonte induite par le relèvement de l'altitude moyenne de l'isotherme 0° peut favoriser la remobilisation de nouvelles masses d'eau qui pourraient être vues comme une potentielle ressource en eau.

Le glacier Bonnard est un glacier couvert situé entre 2'700m et 3'100m d'altitude, localisé dans le Val d'Anniviers, au-dessus du village de Zinal, dans le Canton du Valais (Suisse). Depuis une dizaine d'années, ce site a fait l'objet de nombreuses investigations (forages, campagnes géophysiques, mesures GPR et GNSS, etc.) qui ont permis de caractériser la structure de ce système périglaciaire en mettant notamment en évidence l'existence de circulations d'eau internes. En 2013, le glacier Bonnard a été intégré au programme d'étude pilote de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) intitulé « Adaptation aux changements climatiques ». Dans une première phase (2013-2016), ce projet s'est attaché au développement d'indicateurs météorologiques pour une détection précoce du danger de lave torrentielle lié à la fonte du permafrost. La seconde phase, actuellement en cours (projet MIHM – Monitoring des Instabilités de Haute Montagne), vise à renforcer la définition de ces indicateurs ainsi qu'à acquérir une meilleure compréhension des écoulements souterrains en vue d'évaluer leur possible rôle dans le déclenchement des laves torrentielles. Pour cela a été déployé durant l'été-automne 2019, un réseau de mesures pour permettre un suivi quantitatif et qualitatif des écoulements. Les variations de débit, température, conductivité électrique et de la turbidité des eaux peuvent constituer des indicateurs caractéristiques des changements d'état au sein du système hydrologique. Ces mesures, complétées par des analyses chimiques et isotopiques ainsi que des essais de traçage, permettront de caractériser la minéralisation, l'origine et les temps de transit des eaux circulant au sein du glacier rocheux et d'élaborer ainsi un modèle conceptuel des circulations aquifères à l'interne de celui-ci.

Come dimostrano le osservazioni della Rete svizzera di monitoraggio del permafrost (PERMOS), l'attuale riscaldamento globale ha un impatto diretto sullo sviluppo del permafrost in Svizzera. Oltre alla destabilizzazione dei pendii rocciosi ad alta quota e all'accelerazione dei movimenti dei rock glacier, lo scioglimento indotto dall'innalzamento dell'altitudine media dell'isoterma a 0° può favorire la rimobilizzazione di nuovi corpi idrici che potrebbero essere visti come una potenziale risorsa idrica.

Il Ghiacciaio Bonnard è un ghiacciaio coperto situato tra i 2700-3100 m di altitudine, situato nella Val d'Anniviers, sopra il villaggio di Zinal, nel Canton Vallese (Svizzera). Negli ultimi dieci anni, questo sito è stato oggetto di numerose indagini (trivellazioni, campagne geofisiche, misurazioni GPR e GNSS, ecc.) che hanno permesso di caratterizzare la struttura di questo sistema periglaciale evidenziando l'esistenza di una circolazione interna dell'acqua. Nel 2013 il Ghiacciaio Bonnard è stato inserito nel programma di studio pilota "Adattamento ai cambiamenti climatici" dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). In una prima fase (2013-2016), questo progetto si è concentrato sullo sviluppo di indicatori meteorologici per il rilevamento precoce del pericolo di colate detritiche dovute al permafrost in fusione. La seconda fase, attualmente in corso (progetto MIHM - Monitoring of High Mountain Instability), mira a rafforzare la definizione di questi indicatori e ad acquisire una migliore comprensione dei flussi sotterranei al fine di valutare il loro possibile ruolo nell'innescare di colate detritiche torrenziali. A tal fine, nel corso dell'estate-autunno 2019 è stata installata una rete di misurazioni per consentire un monitoraggio quantitativo e qualitativo dei flussi. Le variazioni di portata, temperatura, conducibilità elettrica e torbidità dell'acqua possono essere indicatori caratteristici dei cambiamenti di stato all'interno del sistema idrologico. Queste misure, integrate da analisi chimiche e isotopiche e da prove di tracciatura, permetteranno di caratterizzare i tempi di mineralizzazione, origine e transito dell'acqua che circola all'interno del rock glacier e quindi di sviluppare un modello concettuale della circolazione della falda acquifera al suo interno.



Fig.1 - Légende (de gauche à droite et de haut en bas) :

1. Glacier Bonnard: vue de la surface du glacier rocheux.
2. Station de mesure de hauteur de neige sur le glacier Bonnard.
3. Détail du glacier couvert.
4. Exutoire du glacier Bonnard.

Legenda (da sinistra a destra e dall'alto verso il basso):

1. Ghiacciaio Bonnard: vista dalla superficie del rock glacier.
2. Stazione di misura dell'altezza neve sul Ghiacciaio Bonnard.
3. Dettaglio del ghiacciaio coperto.
4. Uscita del Ghiacciaio Bonnard.

RESERVAQUA "ThoulaLab": un laboratorio glaciologico a cielo aperto sul Massiccio del Monte Bianco (Italia) / RESERVAQUA "ThoulaLab": un laboratoire glaciologique en plein air sur le Massif du Mont Blanc (Italie)

Contributo a cura del dott. geol. M. Frasca (consulente tecnico presso Fondazione Montagna sicura - Montagne sûre)

Nell'ambito del progetto RESERVAQUA, la Fondazione Montagna sicura ha

recentemente avviato, **sul versante valdostano del Massiccio del Monte Bianco, il "ThoulaLab"**, un laboratorio glaciologico a cielo aperto che intende rappresentare un sito privilegiato di studio della criosfera e del cambiamento climatico con i seguenti obiettivi:

- **il miglioramento delle conoscenze sulla disponibilità della risorsa idrica potenzialmente immagazzinata nei ghiacciai alpini ed il loro contributo al ciclo dell'acqua in ambito montano;**
- **la divulgazione di una "cultura dell'acqua" finalizzata ad un uso più responsabile e sostenibile in un contesto di cambiamento climatico.**

L'idea di un laboratorio sperimentale a cielo aperto nasce dalla volontà di coniugare questi obiettivi valorizzandoli attraverso la condivisione di un sito maestro dove svolgere attività di ricerca e di sperimentazione di tecnologie e tecniche innovative (ad es. elaborazione di immagini satellitari VHR, rilievi da drone, stima del bilancio di massa annuale da "DEM difference", indagini radar GPR, ecc.). Il sito designato a tale scopo è il Ghiacciaio del Thoula (Courmayeur, Valle d'Aosta). Questo ghiacciaio alpino è stato selezionato in primo luogo per i suoi aspetti logistici, vista la sua funzione di laboratorio scientifico, poiché il facile e rapido accesso, garantito in gran parte dalla funivia Skyway Monte Bianco, assicura la possibilità di trasporto di strumentazione ed attrezzature durante la quasi totalità dell'anno. Tuttavia, non sono da dimenticare gli aspetti chiave di visibilità e rilevanza internazionale dell'area. Il Ghiacciaio del Thoula si trova infatti a breve distanza dalla vetta del Monte Bianco, dal Ghiacciaio del Miage (primo ghiacciaio valdostano per estensione) e dal Ghiacciaio della Brenva (quarto ghiacciaio valdostano per estensione); luoghi di inestimabile valore ambientale, paesaggistico e culturale.

Le attività connesse al ThoulaLab consentiranno la ricostruzione storica dell'evoluzione "recente" del Ghiacciaio del Thoula, sia da un punto di vista morfologico (superficie, lunghezza, volume, quota di arretramento della fronte, quota annuale dell'ELA a fine stagione estiva, ecc.) sia per quanto riguarda il bilancio di massa annuale storico. Quest'ultimo dato in particolare, integrato con quelli già esistenti ed elaborato sotto forma di serie storica, risulterà fondamentale per quantificare con maggiore precisione l'effettivo contributo idrico stagionale (*input*) fornitori ghiacciai al ciclo dell'acqua in ambiente montano, fornendo un utile ed accurato dato ai fini del progetto.

Grande importanza sarà inoltre data alla divulgazione, sia quella rivolta al mondo scientifico che quella dedicata al grande pubblico. Verranno sviluppati strumenti ed iniziative di comunicazione innovativi, integrati con le altre parti del progetto RESERVAQUA, per fare del ThoulaLab non solo un punto di riferimento per il mondo scientifico ma un luogo prioritario per la sensibilizzazione al cambiamento climatico.

Per saperne di più è possibile consultare la pagina *web* dedicata al ThoulaLab

sul sito di Fondazione Montagna sicura - Montagne sûre al seguente [link](#).

* * *

Dans le cadre du projet RESERVAQUA, Fondazione Montagna sicura - Montagne sûre a récemment lancé, **sur le versant valdôtain du Massif du Mont-Blanc, le "ThoulaLab"**, un laboratoire glaciologique à ciel ouvert destiné à constituer un site privilégié pour l'étude de la cryosphère et celle du changement climatique, avec les objectifs suivants :

- **améliorer les connaissances sur la disponibilité des ressources en eau potentiellement stockées dans les glaciers alpins et sur leur contribution au cycle de l'eau en montagne;**
- **diffuser une "culture de l'eau" visant à une utilisation plus responsable et durable dans un contexte de changement climatique.**

L'idée d'un laboratoire expérimental en plein air découle de la volonté de conjuguer ces objectifs, en les valorisant par le partage d'un site de référence. Sur ce site auront lieu des activités de recherche qui permettront d'expérimenter des technologies innovantes et de nouvelles méthodes d'étude (ex: traitement d'images satellite VHR, levés UAV, bilan de masse des différences DEM, enquêtes GPR, etc.).

Le site choisi est celui du Glacier de Thoula (Courmayeur, Vallée d'Aoste). Il a d'abord été sélectionné pour des aspects logistiques, en tenant compte de sa fonction de laboratoire scientifique. Un accès facile et rapide y est largement garanti par le téléphérique Skyway Monte Bianco, lequel assure la possibilité de transporter des outils et des équipements pendant presque toute l'année. Les aspects liés à la visibilité et à l'importance internationale de ce site ne doivent cependant pas être oubliés. Le Glacier de Thoula est, en effet, situé à une courte distance du sommet du Mont Blanc, du Glacier du Miage (le glacier le plus étendu de la Vallée d'Aoste) et du Glacier de la Brenva (le quatrième glacier le plus étendu de la Vallée d'Aoste); des lieux d'une valeur environnementale, paysagère et culturelle inestimable.

Les activités liées au ThoulaLab permettront la reconstruction historique de l'évolution "récente" du Glacier de Thoula, tant d'un point de vue morphologique (surface, longueur, volume, part de recul frontal, etc.) que de celui de son bilan de masse annuelle. Ces données, intégrées à celles déjà existantes et élaborées sous la forme d'une série historique, seront fondamentales pour quantifier avec plus de précision la contribution saisonnière des glaciers au cycle de l'eau en milieu montagneux. Elles fourniront une information utile et précise qui s'inscrit pleinement dans les objectifs du projet.

Une grande importance sera également accordée à l'information, tant pour le monde scientifique que pour le grand public. Des outils et initiatives de

communication innovants seront développés, intégrés aux autres volets du projet RESERVAQUA, et feront du ThoulaLab non seulement une référence pour le monde scientifique mais également un lieu emblématique de la sensibilisation au changement climatique.

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page web dédiée au ThoulaLab hébergée sur le site de la Fondazione Montagna sicura - Montagne sûre: [link](#).

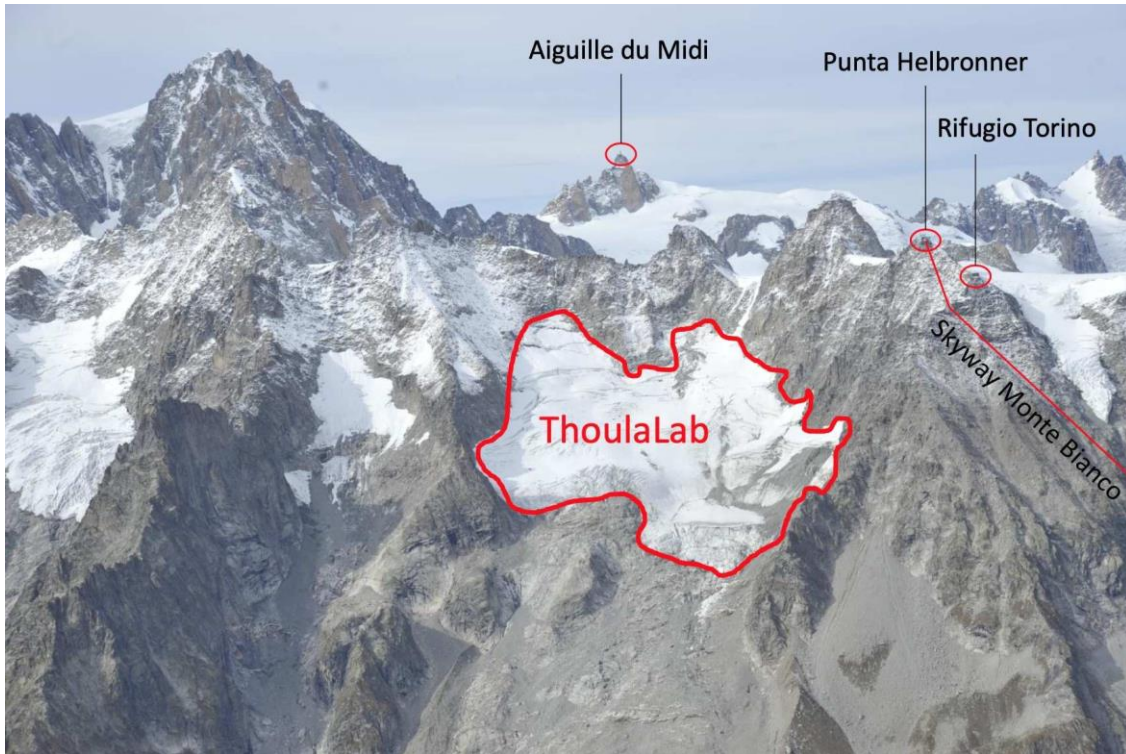


Fig.1 - Ghiacciaio del Thoula (Massiccio del Monte Bianco, Courmayeur). / *Glacier de Thoula (Massif du Mont-Blanc, Courmayeur).*

Eventi / Événements

- **Giornata dell'acqua 2020 a Sion / Journée de l'eau 2020 à Sion:**
<https://www.eaudesion.ch/>

Cultura dell'acqua / Culture de l'eau

- Rapporto mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche, dedicato quest'anno al tema "Acqua e cambiamenti climatici" / *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, consacré cette année au thème «eau et changements climatiques»*:

<https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2020/>

- Animazione / Animation:

["Je suis de l'eau"](#)

Partner del progetto RESERVAQUA / *Partenaires du projet RESERVAQUA*



POLITECNICO
DI TORINO



Copyright © 2020 RESERVAQUA, All rights reserved.

Our mailing address is:
reservaqua@fondms.org

Want to change how you receive these emails?
You can [update your preferences](#) or [unsubscribe from this list](#).