



## **Progetto di Interesse strategico NEXTDATA**

Rendicontazione scientifica per il primo anno di attività: **01/01/2012-31/12/2012**

### **WP 1.4 - Dati ambientali e climatici da carote glaciali (Resp. Valter Maggi, Univ. Milano Bicocca)**

Partners: UNIMIB, URT Ev-K2-CNR

#### **1. Attività prevista e risultati attesi**

I ghiacciai che si sviluppano nei loro bacini di accumulo a quote dove le temperature medie annue sono sostanzialmente negative diventano archivi formidabili di informazioni climatiche e ambientali. Negli ultimi 150 anni si è assistito a un costante e inesorabile ritiro di questi ghiacciai, con perdite dal 30 al 70% del volume totale. L'influenza antropica amplifica questo effetto e porta alla necessità di preservare queste informazioni che, anno dopo anno, vengono distrutte. Data l'impossibilità di proteggere l'intero ghiacciaio, si intende recuperare ed archiviare carote di ghiaccio provenienti dai più importanti ghiacciai extra-polari del Pianeta. Sarà avviata, per i ghiacciai che presentano una logistica più semplice o dove esistono già delle attività nell'ambito di questo progetto (per esempio in Himalaya o Karakorum), la misura radar dei bacini di accumulo in modo da definire spessori, stratificazioni interne e fattibilità della perforazione. Qualora, nella raccolta dei dati informativi siano già presenti tutte le informazioni necessarie, sarà possibile iniziare le attività di perforazione già nel primo anno, sia pilota che fino al bedrock.

Milestones:

M2.3.1 (PM6): Disegno della procedura di attività in campo.

M2.3.2 (PM12): Lista di ghiacciai perforabili e programmazione delle attività in campo.

#### **2. Deliverables previsti per il periodo di riferimento**

D1.4.1 (PM12): Relazione sulla definizione delle attività in campo e sui siti di perforazione prescelti.

#### **3. Attività effettivamente svolta durante il periodo di riferimento**

##### **3.1 Attività di ricerca**

Rispetto alle attività previste per il primo anno, che prevedevano la sola definizione delle attività di campo e la scelta dei siti di campionamento, è stata realizzata una missione di perforazione al Colle del Lys con archiviazione delle carote, dedicata alla

verifica in campo degli aspetti logistici, tecnici e gestionali dei carotaggi su ghiacciaio da vedersi nella prospettiva di uno "studio di fattibilità" per attività in aree più remote e di maggiore difficoltà logistica.

I siti di perforazione che permettono di effettuare ricostruzioni climatiche ed ambientali devono necessariamente soddisfare una serie di caratteristiche, di cui almeno due sono fondamentali: 1) la presenza di una topografia generalmente orizzontale che corrisponda ad un bacino di accumulo tipo plateau o sella. In quest'ultima categoria rientrano il Colle del Lys ed il Colle Gnifetti che rappresentano aree di accumulo del Ghiacciaio Gorner (Svizzera) e del Ghiacciaio del Lys (Italia); 2) condizioni medie annue sufficientemente fredde da ridurre o eliminare il rischio di fusione della superficie del ghiacciaio. Le aree alpine con topografie glaciali che siano adeguate non sono moltissime e di solito sono localizzate nella parte centro-occidentale dell'arco alpino, ma se aggiungiamo anche il vincolo della temperatura e dell'altitudine si riducono a poche unità. I migliori siti in questo senso sono il Colle del Lys ed il Colle Gnifetti sul Monte Rosa, ed il Col du Dome sul Monte Bianco (tutti in Valle d'Aosta e Piemonte). La possibilità di perforare siti ad alto accumulo medio annuo permette inoltre di determinare cambiamenti a scala stagionale con la possibilità di confronti più precisi con le serie climatiche strumentali e con i risultati prodotti dai modelli a scala globale e regionale. Inoltre, per definire topografie adatte senza particolari flussi glaciali, è necessario ottenere dati da immagini aeree e satellitari (in collaborazione con il WP 2.4) e survey radar (da fare o già eseguiti). Alcuni siti sono stati presi in considerazione per attività future, come la sella in prossimità del Monte Breithorn, a 3700 m asl (Valle d'Aosta), e il Pian di Neve (3200-3400 m asl) nel gruppo dell'Adamello (Lombardia), ma si tratta di aree glacializzate ben sotto i 4000 m di quota.

La scelta dei siti di perforazione è determinata anche dalla necessità di avere una risoluzione temporale sufficientemente elevata da poter ottenere record climatici stagionali, anche per un confronto più stretto con i dati climatici da stazioni meteorologiche e da modelli meteo-climatici. E' chiaro che nel caso dell'alto accumulo del Colle del Lys (da 2 a 5 m di neve all'anno, circa 1-3 m acqua equivalente), la possibilità di una risoluzione stagionale (estate-inverno) porta anche ad una minore lunghezza temporale dei record (circa 100 anni). Nell'area Alpina esiste la necessità di ricercare siti posizionati in genere oltre i 4000 m di quota (fig. 1), dove le temperature medie annue sono generalmente inferiori ai  $-10^{\circ}$  e sono assenti fenomeni di fusione superficiale e conseguenti alterazioni del campione delle carote. Il Colle del Lys rappresenta il miglior sito Alpino, tra quelli precedentemente investigati sia dal gruppo di Milano-Bicocca che da gruppi di ricerca stranieri, con queste caratteristiche. La scelta del sito di perforazione è stata fatta anche utilizzando dati di misure radar effettuate in progetti precedenti che hanno permesso di definire/valutare gli spessori di ghiaccio e l'andamento del bedrock. Per quanto siano state previste misure radar all'interno del progetto NEXTDATA, il ritardo del finanziamento non ha permesso di svolgere questa attività, sostituita da un'analisi approfondita dei survey geofisici svolti nel passato. Al Colle del Lys è stato possibile effettuare una trivellazione di 32 m di ghiacciaio con carote di 8 mm di diametro, il campionamento dei chips di scarto per analisi a bassa contaminazione e definizione delle procedure di perforazione in aree montane. Le attività di campo hanno anche permesso di effettuare una verifica sulla strumentazione utilizzata ed i punti critici del sistema di perforazione. La carota prelevata è stata campionata e misurata per la ricostruzione di un log stratigrafico di dettaglio. In particolare sono stati rilevati alcuni livelli di ghiaccio di dimensione decimetrica, ma non sembrano esserci livelli visibili di polvere. Le carote sono state individualmente misurate e pesate, ottenendo dati con i quali è stato ricostruito il profilo di densità. Il profilo permette di evidenziare le due zone di impaccamento dei

cristalli di neve nei primi 11 m superficiali e la parte di sinterizzazione nei successivi 21 metri che arrivano ad una densità di circa  $0.76 \text{ g/cm}^3$ . Grazie al profilo di densità è stato possibile estrapolare la profondità del close-off, profondità alla quale si passa da una porosità diffusa alla produzione di bolle d'aria (passaggio nevato-ghiaccio), che è tradizionalmente posto a  $0,85 \text{ g/cm}^3$ . Questa profondità è stimata a circa 44-46 m, con ovviamente un certo grado di errore, difficilmente stimabile in questa fase preliminare del lavoro. Usando gli accumuli medi calcolati per le perforazioni precedenti del 1996 e del 2003, rispettivamente 150 cm acqua equivalente (w.e.) e 130 cm w.e., è stato possibile ricalcolare una curva profondità età sia per i primi 32 m che per i 120 m previsti nel punto di perforazione. Per i primi 32 m si stima che il nevato sia stato depositato tra il 1994 ed il 2000, mentre per la base del ghiacciaio il range di età è compreso tra la fine degli anni '10 e l'inizio degli anni '30 del XX secolo. Sono stati anche identificati, in collaborazione con il WP 2.3, tre possibili siti di perforazione che potranno essere investigati nei prossimi due anni. Il Colle Gnifetti (4550 m slm), sulle Alpi Europee, non lontano dal Colle del Lys, sempre sul confine Italo-Svizzero; il Ghiacciaio Gasherbrum uno dei bacini collettori del Ghiacciaio Baltoro (6700 m slm), sotto il Monte Gasherbrum I in Karakorum (Pakistan) e, se le difficoltà logistiche lo permetteranno, il Ghiacciaio ChoYou, sull'omonima montagna (7000 m slm) nell'Himalaya (Nepal). Ovviamente i due siti extra-europei presentano differenti difficoltà logistiche e di lavoro e saranno investigati a seguito di survey specifici. Le attività svolte dal WP 1.4, hanno significative interazioni con una serie di iniziative internazionali quali SHARE-Ev-K2-CNR, , IPICS 2K Array (International Partnership in Ice Core Science - Network of ice core climate and climate forcing records for the last two millennia) e HIMICE, un nuovo progetto di perforazione francese in Himalaya.

### 3.2 Sviluppi applicativi, tecnologici e informatici

Nel primo anno è stato possibile effettuare un primo test di costruzione di un campo remoto su ghiacciaio al Colle del Lys, preliminare alle future attività di perforazione in Himalaya o Karakorum. Inoltre è stata verificata la possibilità di utilizzare pannelli solari per produzione di energia elettrica ad alta quota. Questa parte prevede di migliorare il sistema di accumulo dell'energia, attraverso nuovi sistemi di batterie ad alta efficienza.

### 3.3 Attività di formazione

Durante le attività al Colle del Lys sono stati ospitati due tecnici provenienti dal Nepal e dal Pakistan con lo scopo di addestrarli sugli aspetti tecnici e logistici delle perforazioni in ghiaccio. Questo ha permesso di costruire un iniziale gruppo di lavoro per le future attività nell'Himalaya e nel Karakorum.

In quest'ottica sono stati attivati tre dottorati di ricerca presso il Dip. di Scienze dell'Ambiente e del Territorio e della Terra, dell'Università di Milano Bicocca, che svolgeranno attività di ricerca nei WP 1.3 e 2.3:

- 1) **Modellizzazione, evoluzione ed interpretazione climatica dei bilanci di massa di ghiacciai Alpini ed Himalayani nell'ambito del progetto Nextdata.** Il tema di dottorato prevede di esplorare le informazioni climatiche contenute nel record di fluttuazioni di massa di ghiacciai dell'arco Alpino e dell'Himalaya che sono oggetto di studio nell'ambito del progetto del CNR NextData. Al fine di comprendere la risposta dinamica dei ghiacciai ai cambiamenti climatici a partire, quando possibile, dalla Piccola Era Glaciale, dovrà essere utilizzata una combinazione di un modello energetico per il calcolo del bilancio di massa dei ghiacciai e un modello di flusso lineare. I dati dovranno poi essere messi in confronto con i risultati provenienti dai modelli climatici regionali e globali.
- 2) **Integrazione e sviluppo di banche dati glaciologiche atte allo studio e alla**

**individuazione di ghiacciai perforabili, nell'ambito del progetto di interesse NextData.** Il progetto prevede la verifica delle banche dati glaciologiche esistenti riguardanti sia gli aspetti geometrici sia le perforazioni e le successive analisi operate sullo stesso. Tali dati andranno censiti, organizzati e strutturati in funzione dei requisiti di NextData creando un apposito geodatabase. Il progetto di dottorato prevede che successivamente vengano sviluppate delle metodologie di analisi, di tipo statistico-probabilistiche, atte ad individuare quali ghiacciai siano idonei alla perforazione di carote significative per l'analisi dei cambiamenti climatici.

- 3) Sviluppo di una procedura per la determinazione di ghiacciai perforabili mediante indicatori ottenuti da telerilevamento multisorgente e parametri morfometrici.** L'attività di ricerca è volta alla definizione di una procedura per la selezione e localizzazione dei ghiacciai perforabili a differenti scale di indagine. Mediante approccio empirico applicato a piccola scala e basato su sistemi a punteggio e cluster analysis saranno definite delle classi di probabilità alla perforazione e quindi valutate alla luce dei *dataset* esistenti di informazioni acquisite durante la perforazione. Limitatamente ad alcuni ghiacciai selezionati saranno infine valutati indicatori dei ghiacciai mediante immagini satellitari ad alta risoluzione temporale.

### **3.4 Attività di disseminazione e divulgazione**

La perforazione al Colle del Lys è stata oggetto di forte attenzione mediatica che ha fornito un significativo risalto alle attività del progetto NextData.

### **3.5 Partecipazione a conferenze**

Nessuna, salvo le riunioni legate al progetto.

## **4. Risultati ottenuti durante il periodo di riferimento**

### **4.1 Risultati specifici (banche dati, risultati delle misure, output di modelli, etc)**

Definizione del layout di un campo su ghiacciaio per perforazioni in aree remote. Valutazione delle problematiche di perforazione in aree di alta montagna e test del sistema di alimentazione elettrica per sonde di perforazione.

Ricostruzione del log stratigrafico, profilo della densità e datazione preliminare di 32 m di carota di ghiaccio.

Definizione di altri possibili siti di perforazione nelle Alpi Europee, Karakorum, Himalaya.

### **4.2 Pubblicazioni**

Nessuna pubblicazione scientifica nel periodo di riferimento.

### **4.3 Disponibilità di dati e output modellistici (formato, supporto, etc)**

Nessuno nel periodo di riferimento, come previsto.

### **4.4 Deliverables completati**

D1.4.1: Relazione sulla definizione delle attività in campo e sui siti di perforazione prescelti. Completata.

## **5. Commento su eventuali scostamenti fra attività/risultati/deliverables previsti ed effettivamente realizzati**

Rispetto al Deliverable previsto per il primo anno, che prevedeva la sola definizione delle attività di campo, è stata realizzata una missione di perforazione al Colle del Lys con archiviazione delle carote e alla verifica in campo degli aspetti logistici, tecnici e gestionali dei carotaggi su ghiacciaio. Sono stati costruiti i record preliminari della densità e di datazione. Sono stati definiti alcuni siti di perforazione per le attività dei prossimi anni.

## **6. Attività previste per il periodo successivo**

Misure delle polveri fini minerali della carota di ghiaccio prelevata nel 2012; programmazione della prossima perforazione al Colle Gnifetti (Valle d'Aosta), programmazione di misure geofisiche sul Ghiacciaio Baltoro (Karakorum, Fig.3) e verifica delle possibilità logistiche per il ChoYou (Himalaya, Fig.4). Log stratigrafico, profilo della densità e datazione preliminare della carota che verrà prelevata dal Colle Gnifetti nel 2013 (Fig.2). Il Colle Gnifetti permetterà di aumentare la lunghezza dei record climatici (300-1000 anni e oltre), permettendo di allacciarsi a serie climatiche provenienti da perforazioni Groenlandesi (GRIP, GISP II, NGRIP, EEM). La minore risoluzione è legata in particolare al minore accumulo rispetto il Colle del Lys con valori intorno al metro di neve all'anno (ca 40 cm acqua equivalente). Si tratta anche in questo caso di una sella topografica posizionata a 4450 m slm, appartenente al bacino di accumulo del Ghiacciaio Gorner (Svizzera), già perforata nei decenni scorsi da gruppi Svizzeri e Tedeschi (fig. 2).

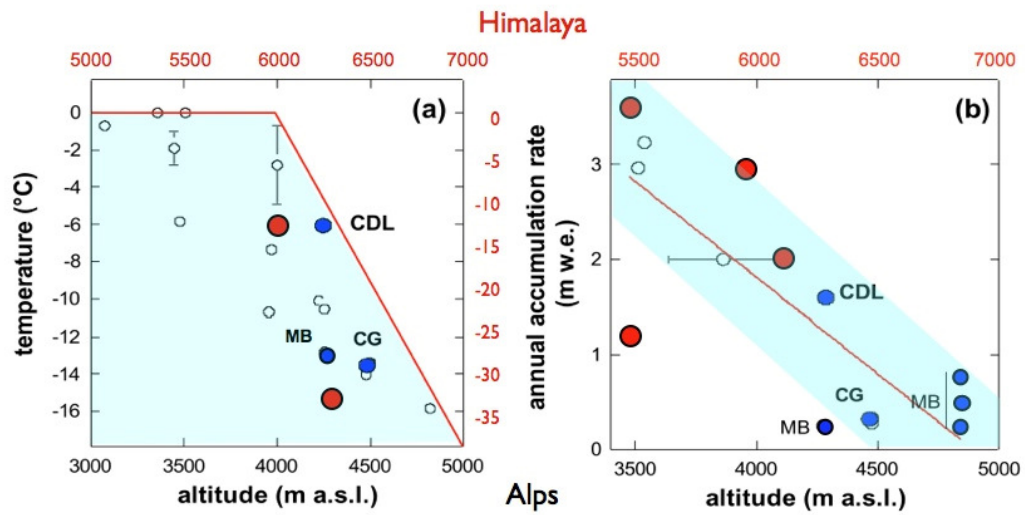
Come per i ghiacciai alpini, posti all'interno della fascia dei venti occidentali e quindi fortemente influenzati dalla North Atlantic Oscillation (NAO), anche i ghiacciai del Karakorum sono fortemente influenzati dalle precipitazioni invernali associate ai Western Weather patterns provenienti dal Mediterraneo e dal Medio Oriente. Al contrario, i ghiacciai Himalayani sono principalmente influenzati dal sistema monsonico indiano. Per questo motivo, è importante determinare la relazione tra la parte Himalayana della catena, completamente all'interno del sistema monsonico, e la parte del Karakorum, raggiunto dagli effetti più orientali dei venti occidentali (Fig. 5). Anche se i modelli di circolazione possono fornire i dati di traiettoria delle masse d'aria a scala regionale, la complicata topografia dei gruppi montuosi può modificare significativamente le traiettorie dei trasporti dalle regioni limitrofe. Se questo è meno significativo per la parte Himalayana, completamente immersa nel sistema monsonico, per il Karakorum la topografia può influenzare fortemente le deposizioni sui ghiacciai. Inoltre, le perforazioni in ghiaccio possono fornire informazioni sulle deposizioni del passato, andando a fornire dati sul rapporto antropogenico/naturale in queste aree. A valle dei survey previsti, sarà possibile determinare dove e quando avverranno le perforazioni nelle varie parti della catena. Nel frattempo, durante le fasi di studio delle aree glacializzate, in collaborazione con il WP 2.3, saranno definiti altri siti di possibile perforazione nel transetto Alpi-Karakorum-Himalaya.

Beneficiando dei dati derivanti dal survey geofisico previsto nel 2013 nell'ambito del progetto SHARE-PAPRIKA nell'area glaciale del Baltoro e tenuto conto di esperienze alpinistiche pregresse che hanno permesso di garantire la fattibilità e l'esecuzione in sicurezza delle operazioni di perforazione, è stato identificato come primo sito di campionamento extra-alpino nell'ambito di NextData il ghiacciaio South Gasherbrum.

E' prevista una fase di sviluppo tecnologico per ridurre l'impatto delle attività in ghiaccio sui ghiacciai di alta quota attraverso lo sviluppo di un sistema di produzione energetica con pannelli solari ad alta efficienza. Inoltre si intende sviluppare sistemi che permettano di effettuare misure direttamente sul ghiaccio, senza campionamento e senza fusione. In particolare sono due i settori di sviluppo: la misura di proprietà dielettriche del ghiaccio e la

misura attraverso radiazione infrarossa. Si tratta quindi di ridurre al minimo il consumo di una risorsa che ci si propone di preservare, pur ottenendo da essa preziose informazioni.

Figura 1



Relationship between altitude of the drill sites and -10 m temperature (a) and annual accumulation rate (b). CDL: Colle del Lys; CG: Colle Gnifetti; MB: Mont Blanc (from Haerberli, 1983, modify) (Maggi pers. comm.)

**Figura 2.** Siti di perforazione al Colle del Lys e al Colle Gnifetti

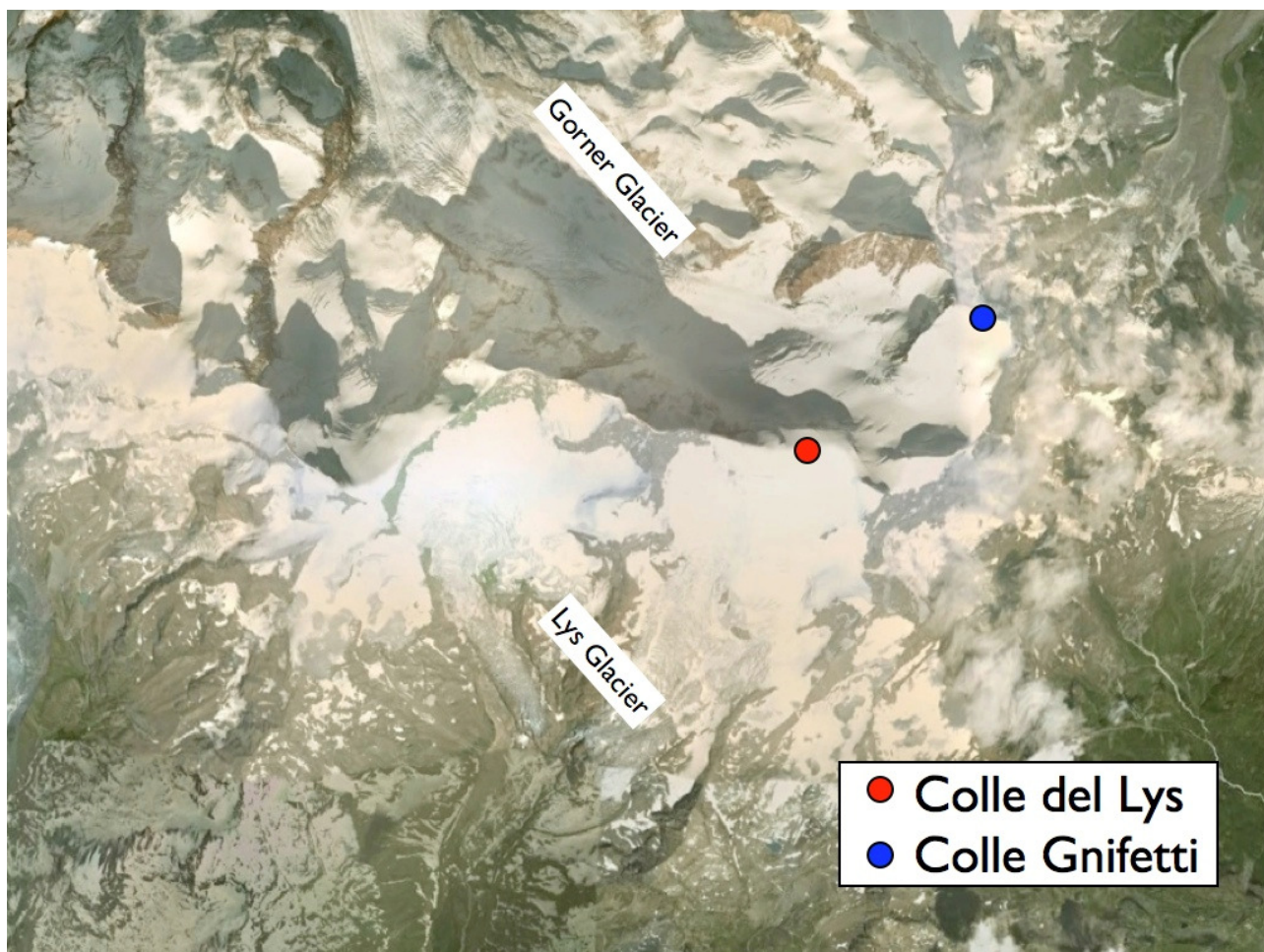




Figura 3 . Possibile sito di perforazione al Gasherbrum

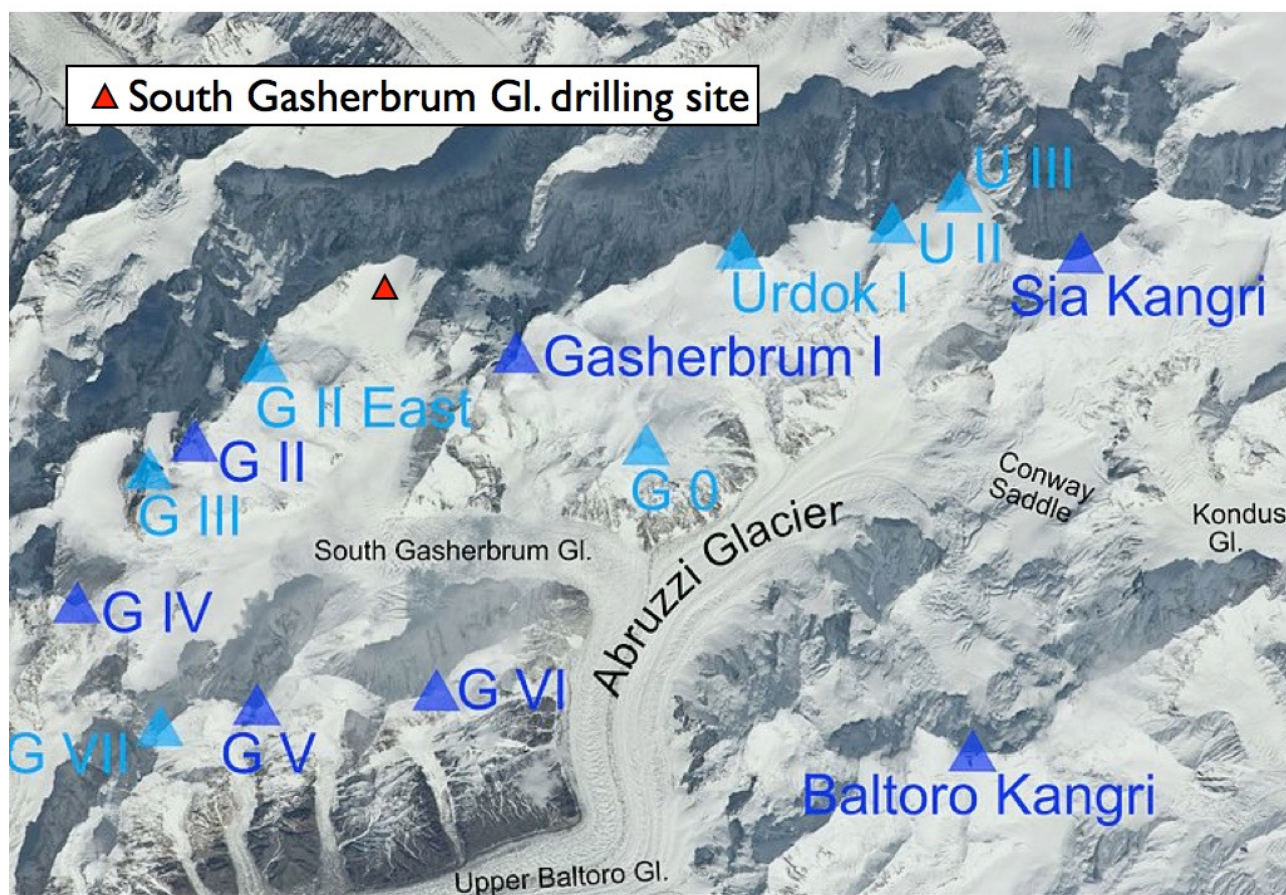
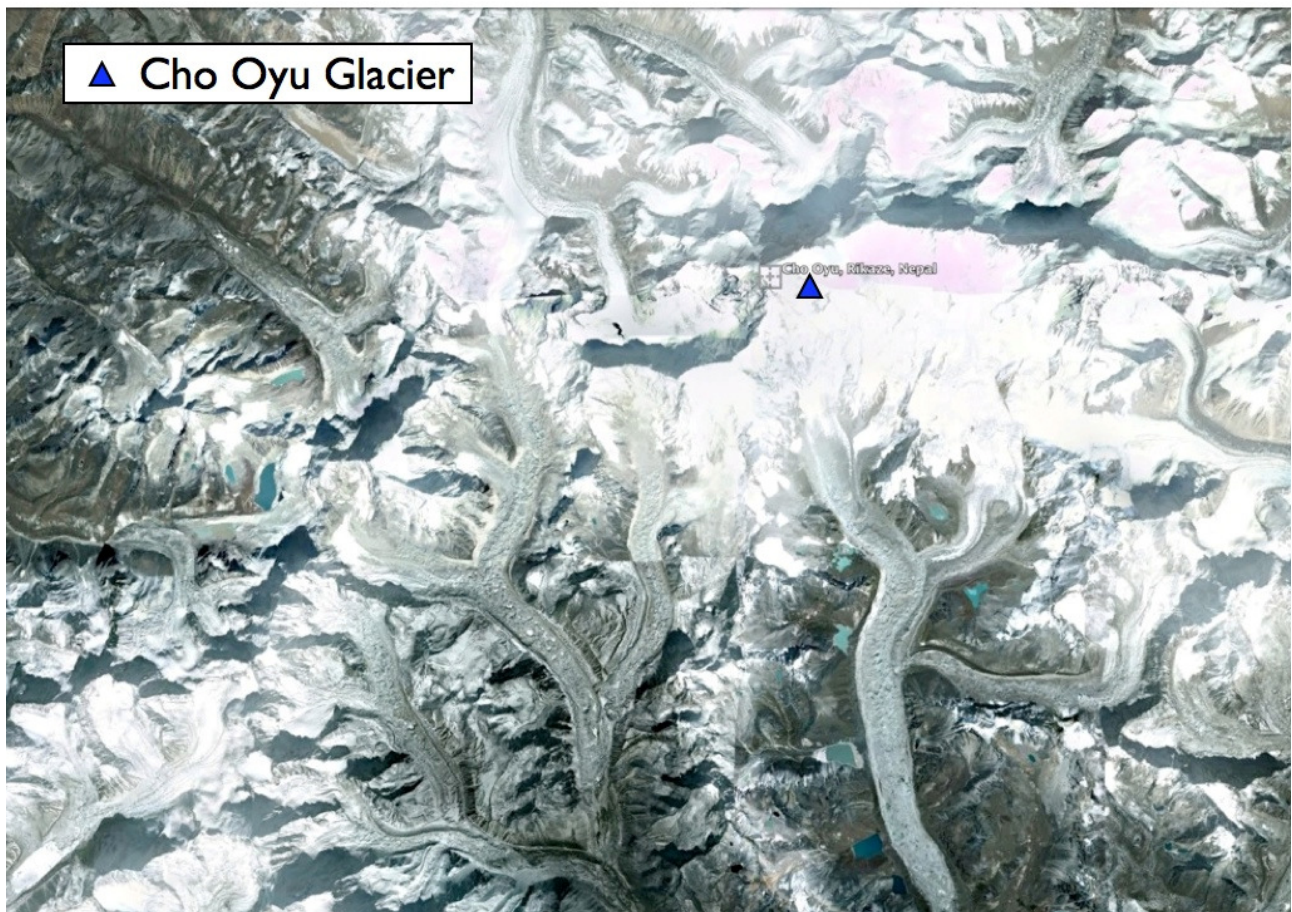
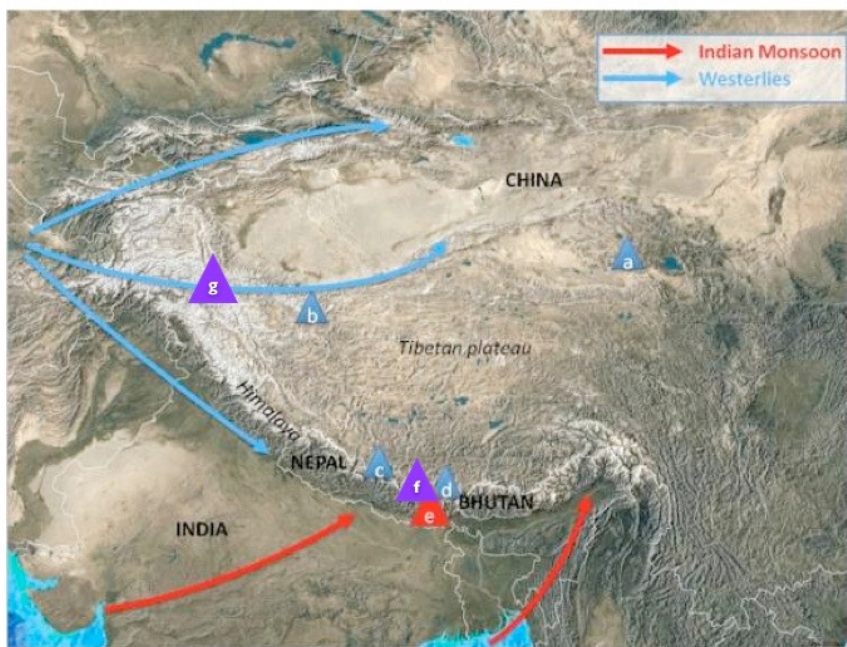




Figure 4 . Possibile sito di perforazione al plateau del ghiacciaio Cho Oyu



**Figura 5** . Il pattern dei venti nella catena Himalaya-Karakorum e i siti di perforazione glaciale. I triangoli blu indicano i principali siti dove sono state effettuate perforazioni. Il triangolo rosso indica il sito della collaborazione HIMICE. I triangoli viola indicano i due possibili siti di perforazione del progetto NextData.



Karakorum-Himalaya drilling sites

- a - Dunde ice cap
- b - Guliya ice cap
- c - Dasuopu Glacier
- d - Mt Everest-East Rongbuk
- e - Mera Peak Glacier (HIMICE)
- f - Cho You Glacier (plateau)
- g - South Gasherbrum Gl.