

SISTEMA DI MONITORAGGIO SPERIMENTALE DEL FRONTE GLACIALE DEL GHIACCIAIO DI PLANPINCIEUX ATTIVITÀ SVOLTE NEL 2013



1 Sommario

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO INSTALLATO	5
3. METODOLOGIE DI ANALISI DEI DATI RILEVATI	9
3.1 Analisi qualitativa delle immagini telerilevate	9
3.2 Analisi quantitativa delle immagini telerilevate.....	11
3.2.1 Tecnica change detection.....	12
3.2.2 Tecnica pixel-offset.....	14
4. CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLE ATTIVITÀ DA SVOLGERE NEL 2014	18

AUTORI

Dott. Geol. Daniele Giordan

Dott. Ing. Paolo Allasia

Dott. Ing. Andrea Manconi

1. INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce il report conclusivo delle attività di ricerca svolte nel 2013 nell'ambito del Progetto di Ricerca in essere tra CNR IRPI e Fondazione Montagna Sicura per il monitoraggio sperimentale del fronte glaciale del Ghiacciaio di Planpincieux (AO).

Tale progetto prevede l'installazione di due postazioni di monitoraggio sulla cresta del Mont de La Saxe da parte del Geohazard Monitoring Group del CNR IRPI (GMG). Lo scopo di tale monitoraggio è quello di valutare le possibilità di impiego di immagini ottiche ad alta risoluzione per individuare le dinamiche che regolano l'attività del fronte del Ghiacciaio di Planpincieux e tentare di quantificarne l'entità.

Il 2013 ha visto l'installazione della postazione di monitoraggio sperimentale e la fase di acquisizione automatica delle immagini in alta e media risoluzione. Come da allegato tecnico alla convenzione, il sistema è composto da un modulo fotogrammetrico e da uno di sorveglianza (si rimanda la capitolo seguente per una più dettagliata descrizione del sistema).

Malgrado alcuni ritardi nella fase di approntamento dei supporti per l'installazione degli strumenti di misura, il sistema è pienamente operativo dal 29 agosto 2013 ed ha permesso la registrazione di un dataset completo di immagini ad alta risoluzione sino al 18 novembre, quando il manto nevoso ha temporaneamente interrotto il funzionamento della postazione fotogrammetrica.

Nella presente relazione verranno presentati i dettagli tecnici legati all'installazione ed alla gestione dei sistemi di monitoraggio e si entrerà successivamente nel merito della fase di processamento dei dati. I mesi di ottobre e novembre sono infatti stati dedicati ad uno sviluppo di natura metodologico dei diversi approcci che possono essere impiegati grazie al dataset di immagini disponibile.

Per ogni tipologia di processamento dati verranno brevemente illustrati i concetti principali e i più importanti riferimenti bibliografici e presentati alcuni risultati che dimostrano la bontà del metodo.

Il capitolo finale è invece dedicato alla presentazione delle attività che si intendono svolgere nel 2014 per poter mettere a sistema le procedure sperimentali sviluppate nel 2013 e procedere sia ad un'analisi massiva dei dati già disponibili che alla valutazione circa la possibilità di automatizzare una serie di procedure di pre-elaborazione del dato per i dati che verranno acquisiti nel 2014.



Figura 1.1: la postazione di monitoraggio installata il 28 agosto 2013

2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO INSTALLATO

Nell'ambito del Progetto di Ricerca, sono stati realizzati ed installati di due moduli di monitoraggio ottico basati su fotocamere digitali ad alta e media risoluzione:

A – MODULO FOTOGRAMMETRICO: si tratta di un sistema fotogrammetrico ad alta risoluzione concepito per seguire l'attività del ghiacciaio prevalentemente nel periodo tardo primaverile-estivo finalizzato alla raccolta di un dataset di immagini su cui basare un'analisi di tipo quantitativo;

B – MODULO DI SORVEGLIANZA: si tratta di un sistema fotogrammetrico a più bassa risoluzione concepito per seguire l'evoluzione del ghiacciaio anche nel periodo invernale finalizzato alla raccolta di un dataset di immagini su cui basare un'analisi di tipo qualitativo su di un'area più vasta.

Prima di entrare nel merito dei dettagli costruttivi del sistema è necessario evidenziare alcune soluzioni migliorative apportate dal GMG rispetto a quanto preventivato in fase di stipula della convenzione:

1) Inizialmente il modulo A era stato concepito e progettato per funzionare esclusivamente durante il periodo estivo prevedendone anche una possibile rimozione in autunno. Durante la fase di progettazione il sistema è tuttavia stato migliorato, portando a termine un'installazione permanente che dovrebbe essere in grado di superare anche il periodo invernale. Al momento non è quindi più stata prevista la fase di disinstallazione autunnale nella speranza che le migliorie tecniche apportate siano in grado di garantirne un funzionamento prolungato sino ad un suo probabile seppellimento da parte della coltre nevosa.

2) Per quanto riguarda il modulo B si è optato per una fotocamera ad alta risoluzione (scelta migliorativa rispetto all'iniziale scelta di una videocamera), integrando il sistema con una serie di sensori atti al monitoraggio dei parametri meteorologici (pressione e temperatura, altezza neve, direzione ed intensità del vento). Anche queste migliorie sono state decise dal GMG senza un aumento dei costi della Convenzione, nell'ottica della realizzazione di una postazione di monitoraggio multisensore. Se i risultati dei primi mesi di installazione daranno esiti positivi, tale installazione potrebbe infatti essere ulteriormente incrementata con altri sensori sperimentali (i cui costi non potranno essere inclusi nell'attuale accordo) trasformando questa postazione in un laboratorio in grado di analizzare sia dinamiche connesse all'evoluzione del manto nevoso che dei processi glaciali.

Le migliorie introdotte hanno quindi portato alla definizione della seguente configurazione che è stata installata sulla cresta del Mont de La Saxe il 28 agosto 2013:

A – MODULO FOTOGRAMMETRICO: questo modulo è composto da una macchina fotografica Canon EOS 600D con obiettivo ZOOM 100-400 mm (attualmente impostato a 300mm) comandata da un pc industriale e in comunicazione con il server GMG di Torino per mezzo di un modem UMTS. L'alimentazione è garantita da pannelli fotovoltaici a cui si sta valutando di affiancare anche un mini generatore eolico. Il sistema prevede l'esecuzione automatica di un numero di predefinito di scatti durante la fase diurna ed il contestuale upload dei file sul server GMG. Per la realizzazione della postazione di monitoraggio è stata progettata e fatta realizzare un'apposita pedana metallica compatibile con le attività di cantiere in atto per la realizzazione delle opere frangivento; in questo modo è stato possibile utilizzare la perforatrice già presente in loco, evitando onerosi di getti di calcestruzzo. Inoltre, le modalità di installazione scelte rendono minimo l'impatto in caso di disinstallazione della stessa.

Modulo	Sensore/Risoluzione	Lungh. focale (35 mm equiv.)	Zoom remotizzato	Messa a fuoco	ISO utilizzata (max)
A	CMOS 18 MPixel	297 mm	NO	AF su 9 punti	200 (6400)
B	CCD 1/1,8" 10 MPixel	28-170 mm	SI	AF su 6 punti	Auto (1600)



Figura 2.1: visione d'insieme delle due postazioni di monitoraggio; in primo piano a sinistra è visibile la postazione A con relativi pannelli solari, sullo sfondo la postazione B



Figura 2.2: particolare costruttivo del Modulo A

Per quanto riguarda il modulo B si è optato per una soluzione costruttiva che prevedesse anche in questo caso una fotocamera e non una videocamera per poter aumentare la qualità delle immagini registrate. Il sistema è provvisto di una suite di trasmissione dati ed alimentazione autonoma ed è quindi totalmente indipendente e ridondante rispetto al modulo A. Anche in questo caso la componentistica scelta risulta di classe *industrial* al fine di garantire un'opportuna resistenza in particolare alle escursioni termiche. Rispetto alla configurazione prevista da Convenzione, al momento sono già stati aggiunti i sensori meteorologici

Il sistema è stato progettato per riprendere l'area studiata più volte al giorno. La scelta di una fotocamera bridge e non reflex ha permesso di poter gestire uno *scheduling* che preveda anche lo scatto di foto con zoom diversi: in ogni sessione di acquisizione vengono scattati tre fotogrammi rispettivamente con zoom minimo, medio e massimo.



Figura 2.3: dettagli realizzativi del modulo B; data la quota di installazione si è optato per un anemometro che dovrebbe in grado di resistere alle rigide condizioni invernali; a sinistra è visibile anche il sensore di altezza neve installato nel mese di novembre.

Al fine di procedere ad una condivisione dei dati, tutte le immagini scattate vengono salvate su un ftp IRPI e rese disponibili anche al Personale di Fondazione Montagna Sicura.

Per quanto riguarda i dati meteorologici, al momento è in fase di sviluppo una pagina dedicata di visualizzazione in chiaro sul sito GMG I

3. METODOLOGIE DI ANALISI DEI DATI RILEVATI

Le immagini registrate dalle postazioni di monitoraggio e trasferite sull'ftp del GMG hanno un'alta frequenza di campionamento e consentono quindi di valutare, soprattutto nel periodo diurno, quali siano stati i processi in atto ed i relativi tempi di accadimento. In base ai dati raccolti è quindi possibile sia un approccio di tipo qualitativo, mirato ad un'analisi visiva dei dati che ad uno quantitativo.

3.1 Analisi qualitativa delle immagini telerilevate

Attraverso un'analisi sequenziale delle immagini rilevate è possibile individuare delle macro variazioni legate per lo più a processi gravitativi di natura impulsiva.

Analizzando il dataset a disposizione emerge chiaramente come l'andamento delle ombre influenzi notevolmente l'immagine e la percezione dei dettagli. Per questo motivo è stata individuata la condizione migliore di illuminazione nelle ore centrali della giornata, tra le 10 e le 11.30. Per un'analisi comparativa la procedura migliore sembra essere la realizzazione di una foto sequenza di immagini riprese in giorni successivi alla medesima ora. Una volta identificata la presenza di macro variazioni, sarà possibile procedere successivamente all'analisi di tutte le immagini disponibili per giungere ad una migliore definizione del tempo di accadimento.



Figura 3.1: comparazione tra l'immagine ripresa dal modulo A alle ore 10 del 29/8/2013 e quella delle ore 10 del 3/8/2013. Al momento il periodo compreso tra le 10 e le 12 sembra essere il più favorevole per le condizioni di illuminazioni dell'area ripresa dal modulo A.

A titolo di esempio vengono presentate nelle figure 3.2 e 3.3 due fotosequenze che mettono a confronto le

immagini rilevate in tempi successivi.

Nell'immagine 3.2 le immagini si riferiscono al periodo compreso tra il 6 e il 7 settembre. A partire dalle immagine delle ore 13 del 7 settembre è possibile riconoscere l'effetto del distacco di una porzione del fronte glaciale.

Da un'analisi dettagliata di tutto il dataset a disposizione è possibile restringere il periodo in cui è avvenuto il crollo all'intervallo tra le ore 8 e le 13 di 7 settembre. Non è possibile disporre di una precisione maggiore in quanto le immagini delle ore 9 - 12 sono rese inutilizzabile dalla nebbia presente in quel determinato intervallo di tempo.



Figura 3.2: comparazione tra l'immagine ripresa dal modulo A alle ore 10 del 6/7/2013 e quella delle ore 13 del 7/9/2013. In blu l'indicazione dell'area in cui sono chiaramente riconoscibili gli effetti del crollo di una porzione del fronte glaciale.

Nell'immagine 3.3 le immagini si riferiscono al primo di settembre e consentono di datare con una buona approssimazione il distacco di due blocchi di ghiaccio nell'intervallo di tempo compreso tra le 9 e le 10 del mattino.



Figura 3.3: comparazione tra l'immagine ripresa dal modulo A alle ore 9 e 10 del 1 settembre 2013. In blu l'indicazione dell'area in cui sono chiaramente riconoscibili gli effetti del crollo di una due blocchi di ghiaccio.

3.2 Analisi quantitativa delle immagini telerilevate

Prima di entrare nel merito dei processi di analisi dei dati rilevati è opportuno effettuare una preliminare e molto sommaria distinzione dei processi morfologici che possono essere riconosciuti nell'area oggetto del monitoraggio. Tale analisi è importante per poter definire a priori quali possano essere le modalità di trattamento dati più indicate in funzione della tipologia di processo e della sua cinematica.

I processi morfologici che interessano la fronte glaciale possono essere distinti, dal punto di vista del monitoraggio, in processi impulsivi e progressivi.

Per quanto riguarda i processi di natura impulsiva, si tratta di processi che portano a cambiamenti repentini nell'area oggetto del monitoraggio fotogrammetrico e che possono essere chiaramente riconosciuti da un confronto di immagini acquisite in tempi successivi. In tale categoria sono ovviamente da ascrivere i fenomeni di crollo che interessano la massa glaciale, ma anche le precipitazioni (soprattutto di carattere nevoso) che causano delle forti variazioni nelle condizioni dell'immagine rilevata ed una conseguente perdita di correlazione tra immagini successive.

Per quanto riguarda invece i processi di natura progressivi, i principali agenti attivi nell'area in esame sono legati all'ablazione della massa glaciale ed ai suoi movimenti di origine gravitativa. Tali processi causano una progressiva variazione che può essere rilevata ed eventualmente misurata sulle immagini ottiche acquisite in tempi successivi, a condizione che tali immagini mantengano una buona "coerenza" nel periodo considerato. In questo contesto specifico, la coerenza tra due immagini viene mantenuta se le variazioni occorse non modificano sostanzialmente le proprietà morfologiche della scena acquisita.

Qui di seguito verranno descritti i concetti principali degli algoritmi che possono essere presi in considerazione sia per l'analisi semi-quantitativa e quantitativa di immagini ottiche telerilevate. Vengono inoltre riportati i risultati preliminari ottenuti sul dataset acquisito dal modulo A di monitoraggio fotogrammetrico durante il mese di Settembre 2013.

3.2.1 Tecnica change detection

Per "change detection" si intende il processo di identificazione dei cambiamenti in un oggetto o in un fenomeno presente in un dataset di immagini che vengono acquisite in un intervallo temporale. Tale identificazione può essere fatta in maniera semi-automatica e assistita oppure totalmente automatizzata e non assistita per mezzo di algoritmi e procedure che sono state sviluppate in vari settori che vanno dal telerilevamento dell'ambiente alla diagnostica medica. Per una approfondita descrizione dei vari algoritmi e delle performance della tecnica di change detection si rimanda all'articolo scientifico Radke et alii, (Image change Detection algorithms: A systematic survey, 2005, IEEE Trans. On Image Processing, vol. 14, n.3)

Se si considera la tecnica di change detection applicata alle immagini fotografiche acquisite sul ghiacciaio per mezzo dei moduli di monitoraggio oggetto del presente report, è necessario preliminarmente esplicitare un paio di presupposti importanti: i) perché il sistema possa portare ad un risultato, è necessario che ad un cambiamento della superficie osservata corrisponda anche un cambiamento di risposta spettrale radiometrica; ii) il cambiamento spettrale deve essere sensibilmente più rilevante rispetto ai cambiamenti dovuti ad altri fattori, quali le condizioni atmosferiche al momento delle acquisizioni, o l'umidità dei suoli o ancora differenze nelle condizioni di acquisizione dei dati telerilevati.



Figura 3.4: Immagini acquisite dal modulo A alle ore 12 del 6, 9 e 12 settembre 2013, alle quali è stato applicata la tecnica del change detection (vedi Figura 3.5)

In questo contesto specifico, l'obiettivo principale dell'applicazione del change detection è quello di identificare le variazioni generate da eventi impulsivi, quali ad esempio i crolli di blocchi di ghiaccio. In questa relazione vengono presentati a titolo di esempio i risultati preliminari dell'applicazione di un algoritmo molto semplice di change detection che ha portato al riconoscimento di eventi occorsi nell'area rilevata.

In particolare, il processo di analisi prevede in primo luogo di operare su ogni immagine convertendo dai tre canali RGB in un singolo canale "Grayscale" a 256 livelli (o toni) di colore e, successivamente, di effettuare una differenza aritmetica pixel per pixel considerando tra coppie di immagini. Nella figura 3.5 vengono presentati i risultati relativi alle coppie di immagini 06/09-09/09/2013 e 09/09-12/09/2013.

Questo tipo di approccio ha permesso di evidenziare le variazioni "positive" o "negative" in termini di variazioni di livelli di grigio tra l'immagine acquisita al tempo t1 rispetto ad una acquisita al tempo t2. Le variazioni positive indicano che i pixel dell'immagine t2 hanno subito un incremento di livello di grigio (appaiono quindi più chiari), mentre le variazioni "negative" indicano un processo (i pixel appaiono quindi più scuri). I risultati riportati in figura 3.5 evidenziano come a variazioni positive possano corrispondere sia fenomeni di crollo di blocchi di ghiaccio, sia la rinnovata presenza di una coltre nevosa, come avvenuto per esempio nell'immagine acquisita il 12/09. È interessante inoltre notare come nell'immagine sia possibile identificare con la tecnica del change detection anche delle variazioni positive o negative del ruscellamento dell'acqua di fusione alla base della fronte glaciale.

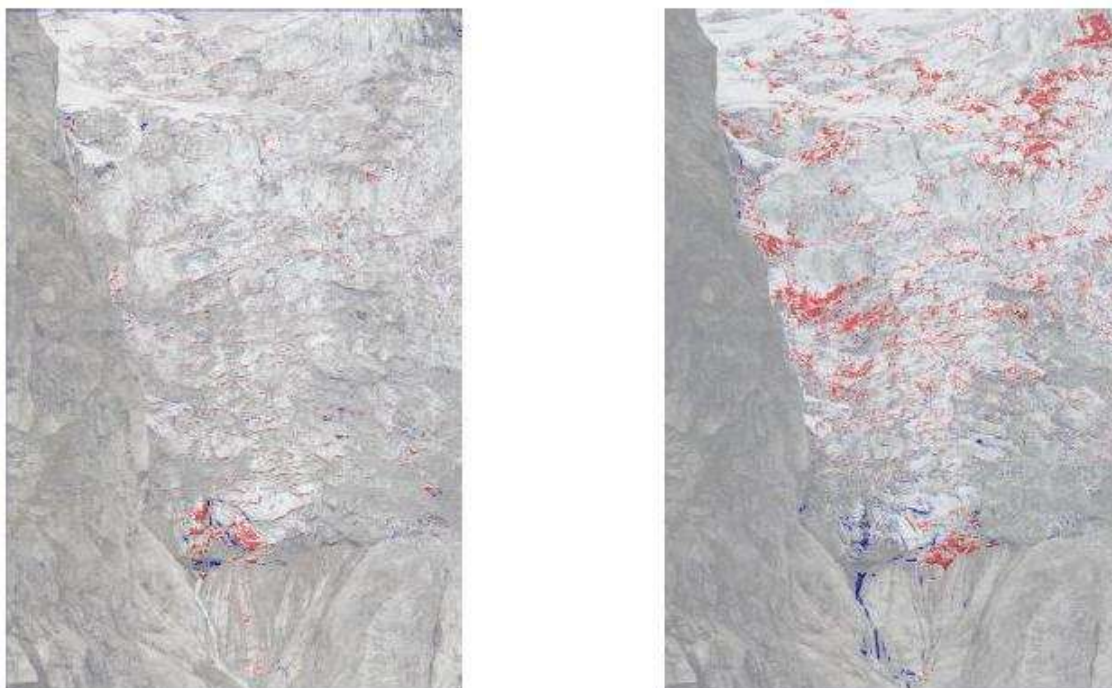


Figura 3.5: Risultati preliminari ottenuti applicando la tecnica del change detection alle immagini presentate in figura 3.4. In rosso le variazioni "positive" più rilevanti, in blu quelle "negative". A sinistra, risultati relativi alla coppia 06/09-09/09/2013, a destra la coppia 09/09-12/09/2013.

Questi risultati preliminari sono stati ottenuti applicando un algoritmo di change detection molto semplificato ed eseguito in maniera semiautomatica. I dati evidenziano come variazioni simili possano essere generate da processi differenti e che quindi sia comunque necessaria una fase di analisi e validazione dei risultati al fine di non confondere effetti diversi. La tecnica del change detection può tuttavia essere considerata come un sistema semi automatico di supporto dell'analisi visuale e delle differenze occorse tra immagini acquisite in tempi diversi che, di fatto, diminuisce in maniera rilevante il ruolo di un operatore chiamato ad analizzare le differenze occorse concentrando le sua attenzione già su un prodotto demi-lavorato.

Al fine di poter caratterizzare meglio i processi in atto e di incrementare le potenzialità della parte automatica di processamento del dato, saranno portati a termine ulteriori esperimenti che considereranno algoritmi più complessi in modo da poter calibrare degli indici di variazione utili all'analisi semi-quantitativa e sistematica dei cambiamenti evidenziati dalle acquisizioni multitemporali eseguite per mezzo del modulo A.

3.2.2 Tecnica pixel-offset

Il GMG ha, nel tempo, maturato diverse esperienze di applicazione della tecnica pixel offset su immagini telerilevate acquisite sia da sensori ottici (installati in situ, aerotrasportati o satellitari) che da altre tipologie di sensore (ad esempio radar). In particolare, il modulo software del [brevetto CNR](#) denominato Image Detection Monitoring System (IDMS) registrato dal GMG nel 2008 si basa appunto sull'applicazione della tecnica pixel offset su immagini ottiche acquisite da foto e/o videocamera.

La tecnica di image processing nota come "pixel-offset" (o anche feature-tracking) viene invece utilizzata per riconoscere eventuali spostamenti (offset) tra immagini acquisite in tempi successivi.

Concettualmente, il processo di analisi di pixel offset prevede i seguenti passaggi:

- i) vengono prese in considerazione due immagini (a titolo di esempio le immagini riportate nella Figura 3.6) acquisite in tempi successivi: la prima (master) viene considerata l'immagine di riferimento acquisita al tempo t_0 , mentre la successiva (slave) è stata acquisita ad un tempo t_i ;
- ii) la coppia di immagini deve essere in primo luogo co-registrata, ovvero le immagini devono essere allineate considerando dei punti fissi in aree note che non hanno subito spostamenti e/o variazioni morfologiche durante il periodo di osservazione.
- iii) si considera una porzione (frame) dell'immagine master e si cerca di identificare con una procedura iterativa la eventuale sua nuova posizione sulla immagine slave. Se l'immagine master e slave sono state allineate correttamente e al tempo t_i ci sono stati degli spostamenti sul piano focale (piano xy) che non hanno compromesso la morfologia complessiva del frame in analisi, è possibile quantificare a quanti pixel di distanza (nelle direzioni x e y) si trova tale frame rispetto alla sua posizione iniziale in t_0 .

A seconda degli algoritmi utilizzati è possibile identificare spostamenti in xy pari alla dimensione del pixel o inferiori. In ogni caso, è importante sottolineare come con questa tecnica non sia possibile identificare spostamenti che avvengono nella direzione della linea di vista della camera fotografica (avvicinamento o allontanamento), ma solo gli spostamenti che avvengono ortogonalmente alla linea di vista.

In questo report non si intende entrare nel dettaglio degli algoritmi, i quali sono ampiamente descritti in letteratura e di cui si può trovare una descrizione approfondita e delle applicazioni in Scambos et alii., 1992, Remote Sensing of Environment, vol 42, pag 177-186; Sicairos et alii, 2008, Optics Letters vol. 33, pag. 156-158.

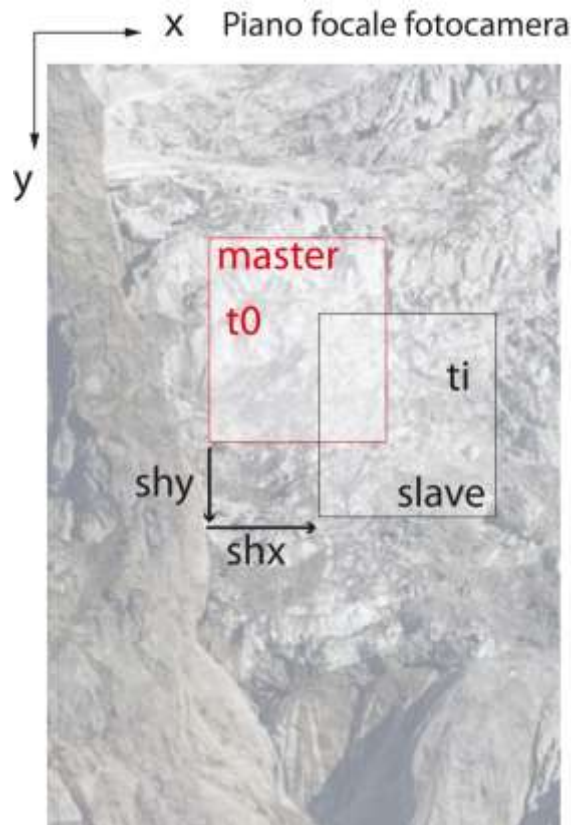


Figura 3.6: Schema esemplificativo della tecnica pixel-offset

Nel contesto specifico del monitoraggio del ghiacciaio Planpincieux, è stata portata a termine un'analisi preliminare degli spostamenti considerando le immagini acquisite dal modulo A nel periodo di Settembre 2013. In tale periodo le condizioni meteorologiche di visibilità sono state ottimali, consentendo di acquisire una immagine ogni ora durante la fase diurna della giornata. In questa analisi, sono stati condotti alcuni test preliminari per stabilire l'intervallo temporale minimo per cui è possibile eseguire la fase di processamento dei dati impiegando questa tecnica.

Da questa analisi è emerso che un intervallo temporale di 3 giorni è un buon compromesso in termini di coerenza tra la sequenza di immagini e la possibilità di rilevare degli spostamenti. Per intervalli temporali inferiori gli spostamenti rilevati sono dell'ordine delle accuratezze attese per la tecnica presa in esame (circa ± 1 pixel). per contro, per intervalli temporali superiori la coerenza tra l'immagine master e quella slave varia in maniera rilevante e non permette di identificare degli spostamenti che possano essere considerati attendibili. Vista la distanza della stazione di monitoraggio (circa 3.5 km in linea di vista), la geometria di acquisizione e le limitazioni intrinseche della tecnica, gli spostamenti rilevabili sono principalmente quelli che avvengono nella direzione y del piano focale. Per poter convertire la misura della distanza dall'unità di riferimento dell'immagine (pixel) ad un sistema metrico, in questa fase preliminare si è proceduto ad una stima della dimensione del pixel che si basa sui parametri geometrici di acquisizione dell'immagine e su un modello digitale del terreno ottenuto dal database SRTM (risoluzione a terra circa 80 metri). Con tale procedura, la dimensione media del pixel nella scena acquisita risulta essere di circa 5 centimetri. È in programma un ulteriore affinamento della procedura che prevede l'utilizzo di un modello digitale del terreno aggiornato e con risoluzione a terra dell'ordine di 1-2 metri.

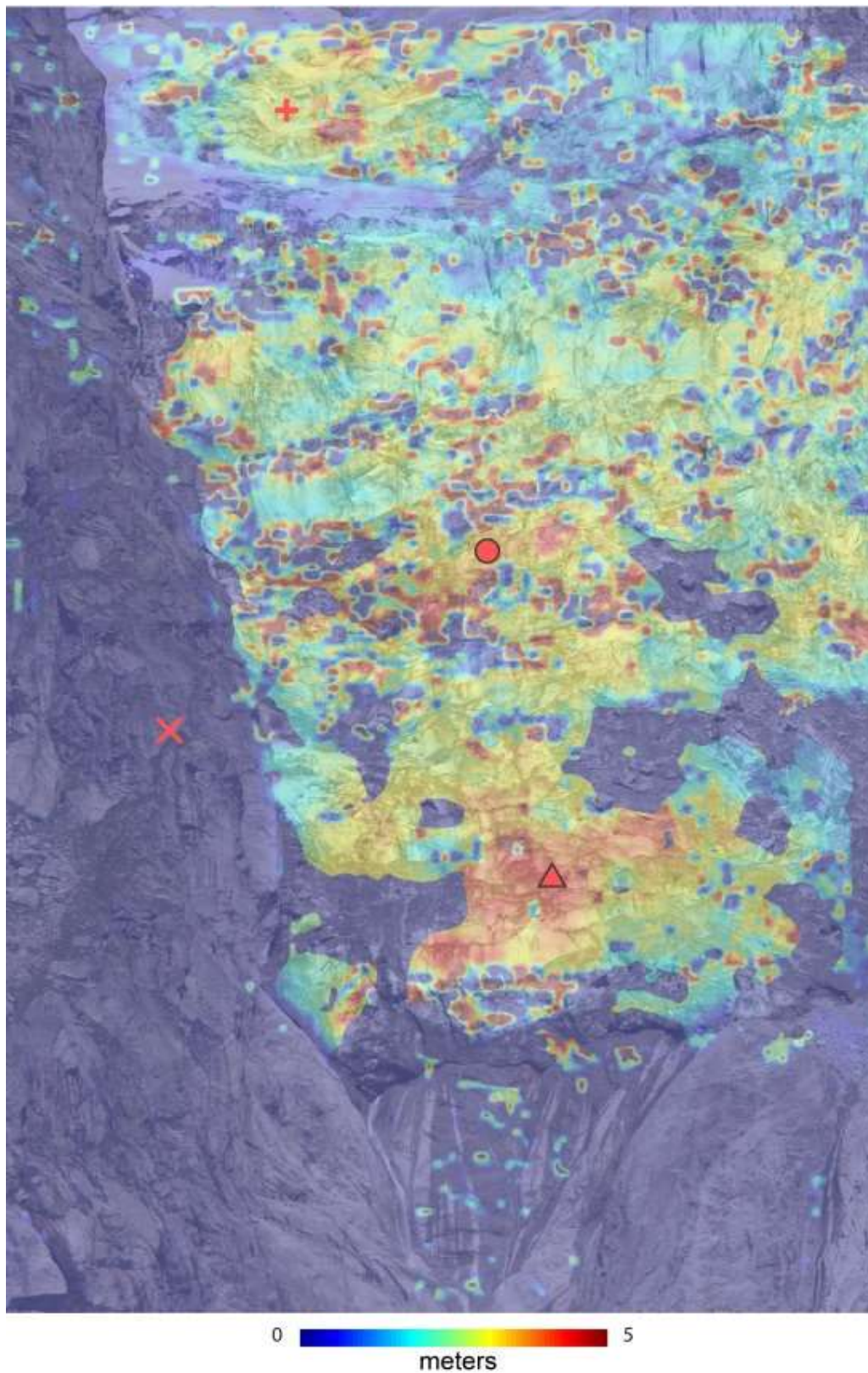


Figura 3.7: Spostamento cumulato calcolato sull'asse y del piano focale applicando la tecnica pixel offset sulle immagini acquisite dal modulo fotogrammetrico A nel mese di Settembre 2013. Le aree in blu scuro hanno subito spostamenti inferiori alle accurattezze attese o variazioni in termini di coerenza nel periodo in esame, restituendo quindi dei risultati non affidabili.

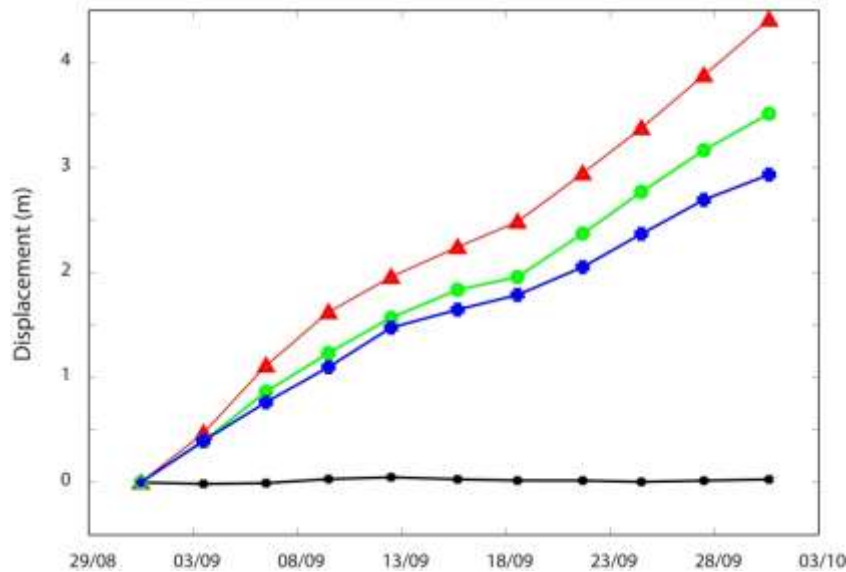


Figura 3.8: Serie temporale dello spostamento occorso sull'asse y del piano focale nel mese di Settembre 2013 in alcuni punti rilevanti del ghiacciaio. La posizione dei punti per i quali è disponibile la serie temporale è riportata in figura 3.7. Si noti che la serie temporale calcolata nel versante roccioso mostra spostamenti apparenti che oscillano nell'intorno ± 5 cm (linea in nero), ovvero entro il range di accuratezza stimato in questo contesto specifico.

4 CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLE ATTIVITÀ DA SVOLGERE NEL 2014

Upgrade delle postazioni di monitoraggio in funzione delle indicazioni sul funzionamento raccolte durante il periodo invernale

Valutazione componente di movimento complessivo che tenga conto anche della componente ortogonale alla LOS

Analisi dei dati di spostamento registrati al fine di identificare la componente reale di movimento rispetto all'effetto legato all'ablazione

Utilizzo integrato di tecniche di monitoraggio LiDAR, Radar, Georadar, e IDMS per la creazione di un dataset complessivo delle dinamiche che caratterizzano il ghiacciaio di Planpincieux finalizzato alla messa a punto di un modello numerico (attività non considerata nell'ambito della presente convenzione)

Valutazione delle modalità di automazione dei processi di analisi quantitativa delle immagini ad alta risoluzione finalizzata alla messa a punto di un sistema di pre-processamento del dato

Torino, 12 dicembre 2013