

Nuova tecnologia per il monitoraggio: l' IDMS

Paolo Allasia (*), Giorgio Lollino(*), Marco Baldo(*), Daniele Giordan(*), Giorgio Quaglia, (**)

(*) CNR-IRPI, Strada delle Cacce, 73 10135 - Torino Tel. 011/3977811 - Fax. 011/3977820
(paolo.allasia, giorgio.lollino, marco.baldo, daniele.giordan)@irpi.cnr.it
(**) quaglia.giorgio@libero.it

Sommario

Il CNR IRPI da diversi anni sperimenta ed utilizza apparecchiature a tecnologia avanzate nell'ambito del monitoraggio di fenomeni di dissesto. In numerosi casi sono stati applicati sia comuni strumentazioni che innovative apparecchiature appositamente sviluppate per sperimentare nuove metodologie d'indagine. Uno di questi innovativi sistemi è rappresentato dall' Image Detection for Monitoring System (IDMS) sviluppato e brevettato dal CNR IRPI per il monitoraggio dei movimenti di superficie in fenomeni franosi. Questo sistema pur conservando precisioni confrontabili con quelle delle stazioni totali, si differenzia da queste poiché non necessita dell'ausilio di costose mire che risultano spesso di difficile installazione e richiedono manutenzione. Tali caratteristiche rendono il sistema più flessibile e permettono di ampliare e modificare tempestivamente le aree indagate senza particolari difficoltà logistiche e di installazione e senza ulteriori aggravii dei costi. Il sistema brevettato è costituito da una macchina fotografica digitale di tipo reflex che a seconda delle esigenze può essere abbinata ad un distanziometro laser a lunga portata con funzionamento reflector-less. Il tutto è movimentato automaticamente da un sofisticato meccanismo di elevata precisione gestito da un pc a basso consumo. Il principio di funzionamento si basa sull'analisi multitemporale di immagini di aree che, elaborate mediante appositi algoritmi, permette di individuare eventuali spostamenti topografici. Qualora si presenti la necessità, con l'integrazione di un laser distanziometrico è possibile ottenere i valori di spostamento topografico in modo tridimensionale. Il sistema, sperimentato inizialmente con l'impiego di un videocamera, è stato successivamente perfezionato ed ingegnerizzato utilizzando una fotocamera reflex e sviluppando appositi software che hanno consentito di migliorare ulteriormente le prestazioni e di mettere a punto algoritmi per "l'inseguimento" delle aree monitorate. Queste implementazioni, unite al non impiego di bersagli artificiali, aumentano la flessibilità del sistema che può pertanto operare anche in contesti molto dinamici in cui la morfologia del fenomeno può cambiare rapidamente

Abstract

The CNR IRPI, from different years, experiments and uses advanced technology equipments within the monitoring of landslides phenomenons. In lots of cases has also been applied, over the most common instrumentations, innovative equipments developed for experimenting new investigation methodologies. One of these systems are represented by the IDMS developed and patented by our Institute for the monitoring of surface movements over landslides phenomenons. This system, preserving topographic total stations accuracy, has the major difference from these since it doesn't need the aid of expensive reflecting targets, often characterized by the difficulty on their installation and maintenance. These characteristics make the system most flexible allowing to modify the investigated areas without particular logistic difficulties and without further costs. The patented system is constituted by a digital reflex camera that, according to differents needs, can be combined to a long range reflector less laser distantimeter. The resulting assembly is automatically moved by an high accuracy sophisticated positioning mechanism managed by a lower consumption pc.

The principle of operation is based on the analysis of a time series of pictures of an area that, processed using particular algorithms, allow to obtain topographic displacements. If necessary, with the long range laser integration I further possible to get the displacement values in a three-dimensional way.

The system, initially experimented with the use of a cam, has been improved using a reflex camera, developing special software who allowed to improve performances and to set algorithms to seek the monitored areas. These implementations, in addition to the freedom from the needs of reflecting targets, increases the system flexibility that can operate in dynamic contexts where the phenomenon morphology can quickly change.

Introduzione

Le tecniche attualmente più diffuse per il monitoraggio di movimenti di superficie sono basate principalmente su stazioni totali, su rilevamenti geodetici GPS, su sistemi LiDAR e su apparati che sfruttano tecniche interferometriche. Le prime, comportano l'installazione di una serie di prismi riflettori e consentono pertanto misurazioni in un numero limitato di punti; tali elementi devono inoltre essere posizionati in aree accessibili sia per il primo posizionamento che per la necessaria manutenzione. Tale tipologia di indagine presenta pertanto una serie di criticità legate proprio alla presenza di questi riflettori che diventano spesso inutilizzabili anche solo quando presentano un assetto non congeniale (inclinazioni/rotazioni a seguito dei movimenti del dissesto oppure a causa di accumulo di neve etc.). Anche per le tecniche di geodesia satellitare (GPS) è possibile formulare osservazioni analoghe in quanto l'antenna GPS costituisce l'elemento fondamentale del monitoraggio che deve però essere installato sul corpo frana in punti ritenuti rappresentativi dal punto di vista geologico ma anche per quanto concerne la copertura satellitare. Spesso non è possibile soddisfare tale combinazione in quanto la morfologia delle aree in frana non garantisce una visibilità satellitare adeguata (presenza di ostacoli naturali quali rocce, valli strette, vegetazione etc.). Per quanto concerne i sistemi LiDAR, attualmente non sono ancora indicati per il monitoraggio in continuo a causa di una serie di difficoltà legate principalmente al processamento automatico dei dati ma anche all'accuratezza e ripetibilità delle misure. La strumentazione basata sull'utilizzo di metodi interferometrici radar invece consente di raggiungere elevatissime risoluzioni lungo una determinata direzione (Line Of Sight), ma non fornisce alcuna indicazione lungo le direzioni ortogonali a tale direttrice. L'Image Detection for Monitoring System è stato sviluppato per creare un'alternativa alle tecniche di monitoraggio attualmente utilizzate. Il sistema, basato sull'analisi multi temporale di immagini riprese da una fotocamera digitale, non necessita di bersagli artificiali ma sfrutta la capacità di riconoscere elementi invarianti nelle successive riprese fotografiche e di calcolarne gli eventuali spostamenti. Per consentire un campo visivo ottimale, l'apparecchiatura ottica di ripresa è stata integrata con una coppia di tavole rotanti di alta precisione che consentono rotazioni sul piano orizzontale e sul piano verticale rispettivamente.

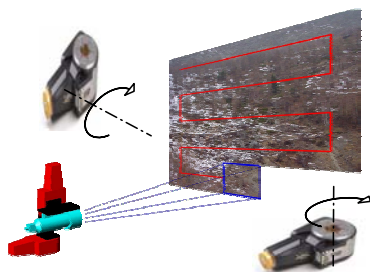


Fig.1 – Schema del funzionamento dell'apparecchiatura

Funzionamento della strumentazione

L'apparecchiatura messa a punto è stata sviluppata per superare una delle principali limitazioni legate all'utilizzo di riflettori artificiali. Le esperienze condotte con le stazioni totali hanno infatti

evidenziato come la presenza di tali elementi possa creare problemi di continuità di monitoraggio, di costi di gestione e manutenzione. Infatti, salvo alcuni rari casi, in presenza di fenomeni di dissesto caratterizzati da variazioni morfologiche significative, non è possibile seguire l'evoluzione del fenomeno proprio perché i bersagli non sono più collimabili a causa di disallineamenti o di rottura del riflettore. Considerazioni analoghe possono essere effettuate per le aree di cantiere o di estrazione mineraria (open pit), in quanto la progressione delle lavorazioni spesso non è compatibile con la presenza continuativa dei bersagli sia per il rischio di rottura sia perché possono risultare un vero e proprio intralcio per il cantiere. Per quanto concerne i costi di gestione e manutenzione è evidente che per garantire un monitoraggio estensivo il numero di riflettori deve essere necessariamente elevato con conseguente aggravio dei prezzi anche per la necessaria manutenzione.

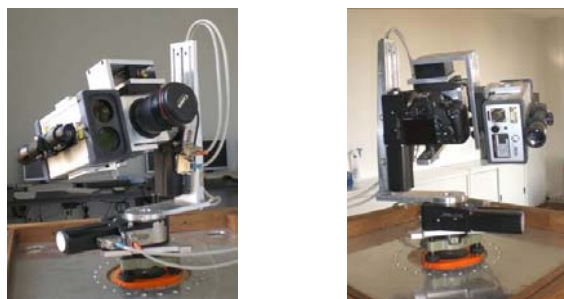


Fig. 2 - Vista anteriore e posteriore del prototipo dell'IDMS

L'IDMS, concepito proprio per superare tali problematiche, consente di realizzare un monitoraggio dei movimenti di superficie senza l'utilizzo di bersagli artificiali. Il sistema, basato sull'elaborazione di immagini riprese da una macchina fotografica digitale, permette misurazioni senza bersagli artificiali analizzando una serie di punti caratteristici dell'immagine individuati su acquisizioni digitali riprese in istanti diversi. Lo spostamento misurato sull'immagine è riconducibile allo spostamento reale in un piano parallelo al sensore immagine se si conoscono le caratteristiche del sistema di ripresa (calibrazione) e la sua distanza dalla regione osservata, mediante la formula $M = s \cdot D / f$, dove D è la distanza del punto da misurare ed f è la lunghezza focale dell'obiettivo della fotocamera.

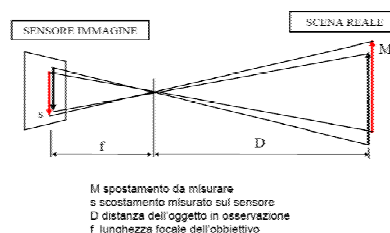


Fig. 3 - Schema del principio di misurazione

Dalla suddetta formula si deduce che la misura sarà tanto più precisa quanto più piccole saranno le dimensioni del pixel e quanto più grande sarà la lunghezza focale. Estremamente importante per migliorare le prestazioni del sistema è la possibilità di misurare gli spostamenti tra le immagini con risoluzioni inferiori al pixel. Lo spostamento viene misurato nelle sue componenti secondo gli assi x e y che si sviluppano nel piano immagine. Durante lo sviluppo sono stati testati diversi algoritmi per effettuare la misura di eventuali spostamenti. L'algoritmo che ha fornito le migliori prestazioni è basato sull'analisi della correlazione esistente tra le fasi della trasformata di Fourier delle due immagini da confrontare. La correlazione di fase è, infatti, un approccio veloce per stimare traslazioni di un'immagine o misurare spostamenti tra immagini simili (De Castro, Morandi, 1973). Poiché nel nostro caso si deve operare per tempi di misura anche relativamente lunghi (funzione del numero di settori scelti), per ridurre eventuali inconvenienti dovuti a differenti condizioni di ripresa

(differenti luminosità dovute alla rotazione della terra o alle differenti condizioni meteorologiche) si è provveduto a filtrare le due immagini con il filtro di Sobel (Sobel, Feldman, 1973), in grado di evidenziare le variazioni di luminosità dovute alla struttura degli oggetti ripresi (immagini di gradiente) trascurando gli effetti dovuti alla luminosità media dell'intera immagine. Il programma di elaborazione è stato articolato in due fasi. Nella prima, in cui si procede alla scelta dei settori più rappresentativi del fenomeno che si intende indagare, per ogni area di interesse vengono memorizzate le immagini (immagini di riferimento), l'orientamento del sensore, nonché la trasformata di Fourier della relativa immagine di gradiente. La seconda fase è la fase di misura vera e propria, durante la quale il sensore di misura viene riposizionato esattamente in corrispondenza delle immagini di riferimento, viene ripresa una nuova immagine, che sarà filtrata anch'essa con Sobel e della quale si calcola la trasformata di Fourier. Dalla correlazione tra questa trasformata e quella dell'immagine di riferimento si valutano gli eventuali spostamenti (De Castro, Morandi, 1973). Tali spostamenti, misurati nel piano immagine, possono essere ridotti ad un piano verticale mediante l'utilizzo dell'angolo di inclinazione della movimentazione verticale. Il sistema è stato organizzato in modo da effettuare l'analisi su una serie di sottoscene (da 2 a 10 attualmente) in modo da ottimizzare l'analisi in termini di distribuzione spaziale e di rappresentatività dei risultati. Le sottoimmagini, individuate in fase di setup o a seguito di movimenti elevati, sono di forma quadrata con lato variabile da 32 sino a 512 pixel. Tali valori, totalmente personalizzabili, sono stati scelti per ragioni computazionali legati al calcolo della trasformata di Fourier (FFTW). La scelta di più sottoimmagini consente inoltre di valutare eventuali rotazioni della scena che possono rivelarsi particolarmente utili nel campo del monitoraggio di manufatti e cantieri in genere. Il sistema, inizialmente sviluppato per misura dei soli movimenti ortogonali alla LOS, è stato successivamente integrato da un distanziometro laser Relflector-less. Tale misuratore è preposto alla misura della distanza tra la strumentazione ed il baricentro delle varie sottoscene. La distanza misurata accoppiata alle misurazione sull'immagine e alle eventuali variazioni angolari (misurate mediante le movimentazioni) può consentire la valutazione della risultante di spostamento nelle 3 dimensioni. In tale ambito è in corso di valutazione l'utilizzo di apparecchiature di tipo SAR (terrestre) in luogo del distanziometro laser.

L'IDMS ha subito negli ultimi anni una serie di sviluppi che hanno apportato migliore e risolto le principali criticità emerse durante la sperimentazione. Dal punto di vista hardware la versione attuale, diversamente dalla precedente che utilizzava una telecamera con relativa scheda di acquisizione (Lollino et al, 2007), prevede come elemento di ripresa fotografica una fotocamera digitale di tipo Reflex. Tale apparato, una CANON EOS 450D, è caratterizzata da un sensore CMOS standard APS/C con 12 MPixel di risoluzione e pixel quadrati da $\sim 5.2 \mu\text{m}$. Per quanto concerne gli obiettivi essi dovranno garantire una completa intercambiabilità mantenendo inalterata la funzionalità di messa a fuoco automatica anche nel caso si utilizzino moltiplicatori di focale. Il sistema, nell'ambito di una completa modularità e compattezza di dimensioni, è infatti tipicamente caratterizzato da un obiettivo a focale fissa di grande luminosità (200 mm f/2.8) al quale viene accoppiato, a seconda delle tipologie di evento da monitorare, un moltiplicatore di focale (1.4x, 2x, 3x). Per quanto concerne le movimentazioni attualmente installate sul prototipo, esse sono caratterizzate da una risoluzione e ripetibilità entro $0,0002^\circ$ mentre la versione in fase di realizzazione, grazie all'utilizzo di controller più performanti, consente di raggiungere ripetibilità inferiori a $0,0001$. In questo caso, nominalmente è possibile raggiungere un'incertezza di puntamento di circa 2 mm a 500 di distanza. Tali valori, considerando un range di distanza di indagine di $200 \div 1000$ m, appaiono compatibile con le tipiche esigenze di monitoraggio di fenomeni di dissesto. Per quanto concerne il sistema distanziometrico laser opzionale, dopo una serie di test si è optato per l'apparecchiatura RIEGL mod. LD90-31K-HiP. Tale sistema, di tipo reflector-less, è caratterizzato da un range di funzionamento e da un'accuratezza che sono risultate compatibili con le esigenze tipiche dell'IDMS. Per quanto riguarda invece le modalità operative del monitoraggio, il ciclo tipo prevede la collimazione di uno o più settori di riferimento individuati in aree stabili per poi proseguire in successione con la collimazione dei vari settori scelti. Tale approccio è stato

seguito per consentire di minimizzare l'influenza delle variazioni dei parametri atmosferici (temperatura, pressione etc...) che possono diminuire la precisione complessiva del risultato. Dal punto di vista delle tecniche implementate nel sistema di gestione dell'apparecchiatura, l'esperienza pluriennale con sistemi di misura automatici ha consentito di organizzare il software di gestione in modo da garantire la massima continuità di misurazione. L'applicativo è stato infatti sviluppato tenendo conto delle principali criticità legate alla non collimabilità dei settori d'indagine che se non correttamente gestite possono provocare falsi allertamenti/allarmi. Infatti, le attività di monitoraggio di fenomeni franosi che si sviluppano in aree abitate o all'interno di aree di cantiere rappresentano una realtà operativa complessa e di difficile gestione.

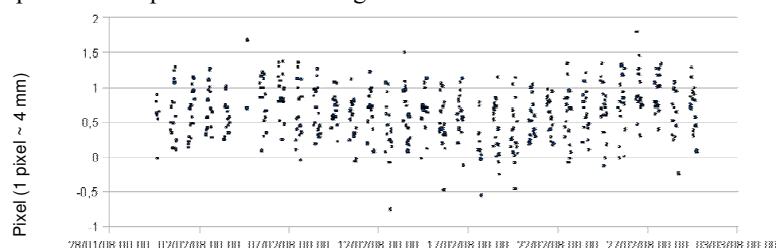


Fig. 4 - Misura compensata sulla base di 2 settori di riferimento

Rispetto ad altri contesti meno antropizzati, infatti, il sistema di monitoraggio deve tener conto anche delle attività antropiche e di come queste possano potenzialmente essere di impedimento alla corretta esecuzione delle misure. Inoltre, i continui cambiamenti nella topografia possono costituire un altro importante fattore di criticità che può rendere a volte difficile l'individuazione di settori che siano in grado di garantire una continuità di misura. Queste criticità di base devono necessariamente essere tenute in considerazione se si vuol rendere il sistema idoneo al monitoraggio anche di queste realtà. La filosofia con il quale è stato realizzato l'applicativo è quella di poter gestire le misure in maniera rapida e versatile in modo da poter reagire dinamicamente ad eventuali problemi di esecuzione delle misure; rispetto ai tipici applicativi commerciali che gestiscono le stazioni totali, ad esempio, tale applicativo consente di processare i dati mano a mano che questi si rendono disponibili. Una volta fissati i settori di riferimento e iniziata la fase di misura sui punti in frana è infatti possibile attivare una contestuale attività di elaborazione dei dati acquisiti che diminuisce drasticamente il ritardo tra la fase di misura e la disponibilità del dato elaborato. Spesso, infatti la gestione delle attività di misura e di elaborazione dei dati è organizzata secondo tempistiche separate che presuppongono la fine del ciclo di misura prima di procedere all'elaborazione e compensazione. Utilizzando invece un sistema composito, i dati sono resi disponibili progressivamente, consentendone quindi un'analisi durante il ciclo di misura. Inoltre, la messa a punto di un sistema misto risolve anche un altro problema, quello dei punti non misurati. Le operazioni di cantiere, ad esempio, possono far sì che parte dei settori d'interesse non siano temporaneamente visibili durante il ciclo di misura; in questo caso, la mancata misurazione di tali aree costituisce una criticità in quanto potrebbe essere connessa ad un macro movimento ma anche ad un semplice problema temporaneo di collimabilità. Tale problematica, se non opportunamente gestita, è generatrice di una moltitudine di falsi positivi, in cui il sistema di elaborazione dati rileva erroneamente una condizione di allarme. La soluzione può consistere nella creazione di un sistema esperto che sia in grado innanzitutto di ripetere la misurazione dopo un certo tempo ma anche che si basi su un'analisi per gruppi di settori. Così operando, solamente un movimento complessivo di più punti porta alla generazione di allarmi, mentre la mancata lettura di un settore costituisce semplicemente un elemento che deve essere verificato solamente se questo si reitera nel tempo. Questo approccio seppur complesso, mette in evidenza le potenzialità dell'IDMS che non necessitando di bersagli artificiali consente una elevata versatilità di scelta delle aree da indagare, di modifica ed di integrazione senza dovere accedere all'area instabile che spesso, tra l'altro, risulta di

difficile accessibilità. La disponibilità delle immagini fotografiche consente inoltre una più semplice e approfondita valutazione dell'evoluzione del dissesto e delle eventuali condizioni di allarme. Tale valore aggiunto, non di piccola portata, può consentire di migliorare notevolmente la capacità di interpretazione a distanza dello stato di attività del dissesto.

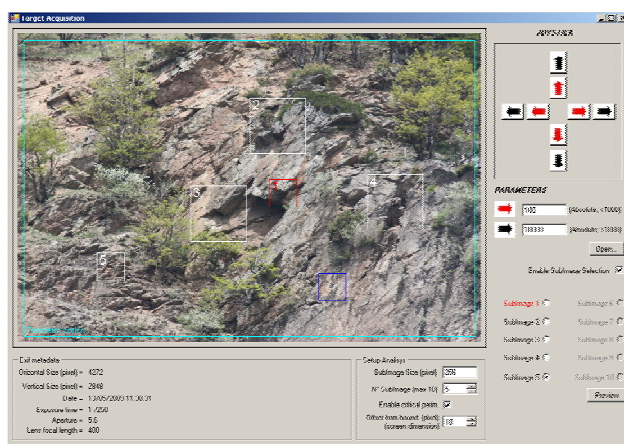


Fig. 5 - Screenshot della maschera in cui è possibile scegliere e memorizzare le sottoscene da analizzare. Nell'esempio riportato la distanza media era di circa 480 m

Conclusioni

L'Image Detection for Monitoring System, rappresenta un importante punto di partenza per lo sviluppo di sistemi di monitoraggio che non utilizzano riflettori artificiali. Tale peculiarità incrementa in modo tangibile le potenzialità del monitoraggio stesso che se correttamente strutturato può godere di una versatilità inimmaginabile per i sistemi con prismi (o mire). Le esperienze condotte sulla prima versione (Lollino et al, 2007) hanno consentito di migliorare il sistema sia dal punto di vista dell'hardware utilizzato che per gli aspetti di calcolo e gestione. Infatti, la telecamera precedentemente utilizzata è stata sostituita con una più performante e versatile Reflex digitale. Tale apparato, non vincolante a livello di marca e modello, consente una più ottimale gestione della ripresa ed inoltre, appartenendo ad un settore tecnologico molto attivo, può godere delle continue evoluzioni che periodicamente si succedono. L'IDMS è stato dotato, opzionalmente, di un distanziometro elettronico che ha completato ed esteso la possibilità di monitorare in modo completo tutta una serie di fenomeni caratterizzati da componenti di movimenti significativi lungo la L.O.S. A questo riguardo è inoltre in corso di valutazione l'integrazione dell'IDMS con sistemi SAR terrestri. Tali caratteristiche sono comunque ad oggi rese opzionali in quanto per un gran numero di fenomeni non appare di fondamentale importanza e consente inoltre una diminuzione complessiva dei costi. L'IDMS viene gestito in modo automatico da un pc a basso consumo dotato di tutte le principali periferiche di comunicazione; mediante tali apparati è possibile controllare per via remota tutte le funzionalità della macchina. Il ridotto consumo elettrico dell'apparecchiatura e del pc permette inoltre una pressochè totale autonomia di alimentazione grazie all'utilizzo di pannelli fotovoltaici dotati di batteria tampone.

Riferimenti bibliografici

- Lollino G., Allasia P., Rivarossa C., Denasi S., Quaglia G. (2007), "Monitoraggio di fenomeni di dissesto naturale mediante elaborazione in tempo reale d'immagini". *11ª Conferenza Nazionale ASITA*. 6 – 9 novembre 2007. Atti Volume II pp. 1383-1388
- E. De Castro, C. Morandi (1987) "Registration of Translated and Rotated Images Using Finite Fourier Transforms", *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*
- Sobel, I., Feldman, G., (1973) "A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing", presented at a talk at the Stanford Artificial Project in 1968, unpublished but often cited, orig. in *Pattern Classification and Scene Analysis*, Duda, R. and Hart, P., John Wiley and Sons, '73, pp271-278