

Emergenza sull'Himalaya



di John Stenmark

Subito dopo il devastante terremoto dell'aprile 2015 in Nepal, gli sforzi si sono concentrati nell'aiuto alle vittime e ai superstiti. Un piccolo team di scienziati ha però lavorato dietro le quinte per mettere in sicurezza alcuni dati utili per investigare le cause del terremoto ed aiutare la popolazione a prepararsi ai prossimi eventuali eventi sismici.

Fig. 1 - Una casa distrutta nei pressi della stazione GPS KKN4. Il terremoto Gorkha ha coinvolto migliaia di abitazioni: i danni sono stati peggiori nelle zone rurali, dove la costruzione non è regolamentata.

È una storia vecchia 180 milioni di anni. L'incessante movimento delle placche crostali in Asia meridionale provocò la subduzione della placca oceanica sotto il Tibet meridionale, più a nord. La collisione tra le due placche corrugò la crosta, spinse verso l'alto la roccia e creò una delle

più grandi catene montuose del pianeta, l'Himalaya. Oggi l'Himalaya domina il nord-ovest dell'India, il Nepal, il Kashmir, il Bhutan e il sud-ovest della Cina, compreso il Tibet. La collisione, che continua ancora oggi, è tutt'altro che leggera. Il subcontinente indiano, scivolando sulla placca oceanica,

si muove verso nord di circa 4 cm all'anno. Il movimento viene per metà assorbito dall'Himalaya, che così accresce le sue montagne, mentre la restante energia schiaccia la roccia lungo i margini delle due placche in corrispondenza della faglia. Di tanto in tanto la roccia rilascia l'energia accumulata e si frantu-



Fig. 2 - Una mappa delle stazioni GPS CORS in Nepal e, in arancione, l'area della frattura provocata dal terremoto Gorkha. I GPS e i sensori sismici all'interno della zona del terremoto hanno permesso di studiare dettagliatamente gli effetti del sisma.



Fig. 3 - Jeff Genrich (Caltech, a sinistra) e Mike Fend (UNAVCO) posano, assieme a Ritu Vayda (a destra), di fronte ai pezzi di ricambio all'interno del laboratorio della Toyota Nepal: Vayda e suo marito Suraj hanno così messo a disposizione un luogo sicuro nei pressi dell'aeroporto. (Foto: John Galetzka)

ma, provocando un terremoto. Il 25 aprile 2015, nel Nepal centrale, 15 chilometri sotto la superficie terrestre e circa 80 chilometri a nord-ovest di Kathmandu si è verificata una frattura del genere. Il terremoto di magnitudo 7.8 che ne è scaturito ha provocato 9000 vittime, 23000 feriti e ha distrutto o danneggiato innumerevoli edifici e case.

Quello dell'aprile 2015 non è stato il primo terremoto ad aver scosso il Nepal e, purtroppo, non sarà l'ultimo. Le caratteristiche del sisma – e il modo in cui potrà essere studiato – rappresentano un'opportunità per comprendere possibili futuri eventi sismici nella regione.

La misura esatta della faglia

Secondo Roger Bilham, geofisico all'Università del Colorado, i terremoti in Nepal non possono certamente essere previsti ma di certo non giungono inattesi. Il terremoto più antico mai registrato in Nepal avvenne nel 1255. Da allora, si sono verificati almeno dieci sismi di magnitudo 6.3 o maggiore. Gli scienziati hanno notato che gli eventi nella regione si verificano ad intervalli più o meno regolari e che, oltre agli epicentri, hanno anche delle caratteristiche in

comune. Bilham fa notare come un terremoto di magnitudo 8.4 registrato nel 1934 sembra effettivamente la ripetizione dell'evento del 1255: i due eventi sismici hanno lo stesso epicentro e hanno prodotto importanti fratture superficiali oltre a danni notevoli. Allo stesso modo, l'evento del 2015 (chiamato anche Terremoto Gorkha), è molto simile ad uno verificatosi nel 1833: quel sisma (stimato di magnitudo 7.7) e il terremoto Gorkha (magnitudo 7.8), possiedono lo stesso epicentro e

“I dati a 5Hz, di fondamentale importanza per comprendere l'evento sismico, andavano scaricati subito dopo il terremoto, prima che venissero sovrascritti”

hanno entrambi prodotto uno spostamento di 3.5 m. Per eseguire le loro analisi, Bilham e gli altri scienziati si affidano a dei sensori in grado di raccogliere dati sul movimento della crosta. Dagli anni Novanta, una rete di più di due dozzine di stazioni di riferimento GPS continue (CORS) raccoglie informazioni sui movimenti delle placche in Nepal. *“Tutto ciò che sappiamo sui terremoti passati è grazie all'analisi dei danni agli edifici o all'osservazione delle fratture formatesi in superficie,”* afferma Bilham. *“Oggi, grazie alla tecnologia GNSS e ad altri sistemi, siamo in grado di misurare vi-*



Fig. 4 - Roger Bilham accanto ad una fessura nel terreno di quasi 1 metro prodotta dal terremoto del 25 aprile. Data l'entità del sisma, Bilham si aspettava danni maggiori. (Foto: John Galetzka).

brazioni e movimenti". I sensori sismici sono ottimi per rilevare movimenti leggeri e per individuare movimenti relativamente piccoli ad alte frequenze, ma calcolare gli spostamenti sulla base dei dati di accelerazione non può definirsi una scienza esatta. Inoltre, i sensori sismici tendono a saturarsi in presenza di movimenti più ampi, come durante un grande terremoto. Sfruttando il GPS per misurare gli spostamenti nell'ordine dei centimetri o superiori, i ricercatori hanno a disposizione sensori complementari grazie ai quali ottenere un quadro d'insieme dei movimenti tettonici e degli effetti dei terremoti; solitamente, i sensori sismici e le stazioni GNSS vengono posizionati assieme.

Sebbene la presenza di reti GNSS e di sensori sismici presso le aree soggette a terremoti sia una cosa abbastanza comune, la rete GNSS dispiegata in Nepal presenta delle caratteristiche uniche che permettono di misurare gli effetti dei terremoti lungo le zone di subduzione. Bilham fa infatti notare come, nei recenti terremoti in Giappone, in Cile e a Sumatra, le fratture nella faglia siano avvenute lungo le coste, dove non era possibile usare la tecnologia GNSS per misurare il movimento sui margini della

faglia. Ma in Nepal, dove mare non ce n'è, i sensori GNSS disposti sulla placca indiana e quella asiatica sono invece in grado di misurare con esattezza gli spostamenti provocati dai terremoti.

Al fine di ottenere un quadro generale degli spostamenti, i ricevitori GNSS posizionati in Nepal acquisiscono e immagazzinano infatti dati a differenti velocità. Quelli acquisiti ad intervalli di 15 secondi sono utili per fornire informazioni sul normale, lento movimento della placca nei mesi e negli anni. Ma i dispositivi in Nepal sono anche in grado di eseguire acquisizioni a 5Hz, ovvero 5 volte al secondo, al fine di ottenere informazioni dettagliate sul terremoto proprio mentre questo si verifica. Purtroppo, però, quando il terremoto Gorkha ha colpito e si è avuto urgentemente bisogno dei dati, le frane e i danneggiamenti da esso provocati hanno reso il recupero dei dati praticamente impossibile. E l'unica persona in grado di farlo si trovava dall'altra parte del pianeta.

Un recupero di dati sotto pressione

Se cercate qualcuno disposto a viaggiare verso luoghi remoti per lavorare con dispositivi elettronici avanzati in condizioni

estreme, allora John Galetzka è l'uomo che fa per voi. Con alle spalle un addestramento militare nel corpo dei Rangers degli Stati Uniti e una laurea in Scienze della Terra, Galetzka ha installato reti GNSS in tutto il mondo. Allo USGS (U.S. Geological Survey), Galetzka è stato artefice della creazione del California Integrated GPS Network (SCIGN). Ha collaborato con l'Osservatorio sulla Tettonica del Caltech (California Institute of Technology) lavorando sulle reti GNSS di Sumatra, del Nepal, del Cile e del Perù. Nei 10 anni passati in Nepal, Galetzka ha installato 28 stazioni GNSS per il Caltech più una ventinovesima per un centro di ricerca francese (all'incirca altre 20 stazioni CORS in Nepal vengono gestite da altri enti, sempre sotto l'egida del Dipartimento di Geologia e delle Miniere nepalese).

Nel 2013 Galetzka, sapendo che i fondi a disposizione del Caltech sarebbero presto terminati, passò un anno ad installare nuove batterie e a modernizzare le stazioni GNSS del Caltech in Nepal (le stazioni erano equipaggiate con ricevitori Trimble® NetRS, NetR8 e NetR9). Col permesso del governo nepalese, Galetzka installò dei modem basati su rete cellulare per inviare i dati raccolti dai GPS ai server negli Stati Uniti via FTP. I dati raccolti con una cadenza di 15 secondi potevano essere age-



Fig. 5 - Vista dall'elicottero dei danni subiti dalla stazione GPS francese GUMB. Né il ricevitore GPS né l'antenna hanno subito danni.

“Non ci era mai capitato di avere a disposizione dati simili”

volmente inviati tramite la rete cellulare ma il volume dei dati a 5Hz era troppo grande per la ridotta banda a disposizione. Galetzka configurò così una parte della memoria dei ricevitori Trimble per archiviare settimane di dati acquisiti a 5Hz. La restante memoria fu destinata all'archiviazione delle acquisizioni a 15 secondi nel caso che la rete cellulare fosse andata giù durante un terremoto. *“In presenza di un evento sismico, i dati di spostamento acquisiti ogni 15 secondi sarebbero rimasti a disposizione anche dopo settimane o mesi,”* spiega Galetzka. *“Quelli a 5Hz, di fondamentale importanza per comprendere l'evento sismico, avrebbero invece occupato la memoria molto rapidamente. Era necessario dunque scaricarli subito dopo il terremoto, prima che venissero sovrascritti da dati più recenti.”*

Nel periodo tra l'ultima visita di Galetzka e il terremoto Gorkha la connessione alla rete cellulare di molte stazioni CORS si era intanto interrotta. Al momento del terremoto solo nove stazioni stavano effettivamente inviando dati, lo stato delle altre era sconosciuto. Al fine di comprendere l'esatto comportamento della faglia, gli scienziati – oltre a dover recuperare i dati a 5Hz prima che venissero sovrascritti – avevano quindi bisogno di ottenere anche i dati relativi alle acquisizioni a 15 secondi. Quando il terremoto Gorkha colpì, Galetzka si trovava in Messico per conto del suo nuovo datore di lavoro, la UNAVCO, un consorzio non-profit che promuove la ricerca e la formazione in scienze della Terra attraverso la geodesia. *“Guardai il telefono e notai una serie di piccoli terremoti in Nepal,”* ricorda Galetzka. *“Continuai a scorrere fino a che individuai la scossa più grande. Se ricordo bene, all'inizio l'USGS lo definì come un evento di magnitudo 7.9. Svegliai il mio*

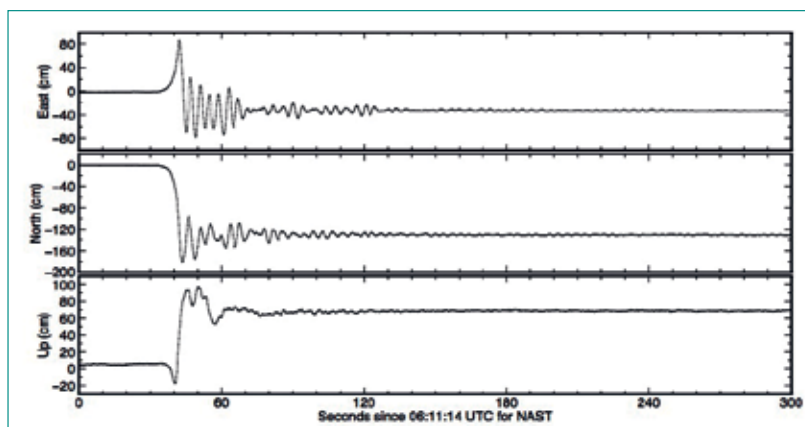


Fig. 6 - I dati GPS a 5Hz della stazione NAST mostrano un grande spostamento iniziale ed una conseguente vibrazione. (I dati GPS sono stati forniti da Jianghui Genge, Yehuda Bock e il gruppo di studio GPS Scripps Institution of Oceanography (progetto finanziato dalla NASA AIST) sulla base dei dati del Caltech Tectonics Observatory/Nepal National Seismological Centre GPS stations).

collega, Luis Salazar, ed entrambi rimanemmo scioccati dalla forza del terremoto. Mi fermai per qualche secondo poi dissi a Luis: *‘Devo andare in Nepal’*. Quattro giorni dopo Galetzka sarebbe arrivato a Kathmandu. Nel frattempo che Galetzka si organizzava per andare in Nepal, la macchina degli aiuti internazionali si era già messa in moto. I paesi del mondo inviavano verso la regione colpita dal terremoto squadre di soccorso, scorte sanitarie e di cibo e ripari. Contemporaneamente agli aiuti umanitari, la comunità scientifica iniziava ad organizzare il personale e gli equipaggiamenti necessari per mettere al sicuro i dati di natura geofisica. Una delle risposte più efficaci giungeva dalla Trimble, che mise a disposizione i fondi necessari per permettere che un elicottero raggiungesse le stazioni GNSS più remote. L'azienda donò anche sette stazioni di riferimento GNSS Trimble NetR9 per rimpiazzare l'equipaggiamento datato o rovinato e svolgere così il monitoraggio post-sismico. Fu Mike O'Grady della Trimble, che vanta una grande esperienza in Asia, a portare a mano i dispositivi a Kathmandu ed a partecipare alle operazioni. Nei giorni immediatamente successivi al terremoto, le

esigenze umanitarie ebbero la priorità rispetto a quelle scientifiche. Elicotteri privati e militari furono impegnati in moltissime missioni. Migliaia di persone si rifugiarono sotto le tende, non perché le loro case fossero state distrutte, ma per paura di altre scosse. La paura aumentò quando, il 12 maggio, un terremoto di magnitudo 7.3 con epicentro a nord-est di Kathmandu, uccise più di 200 persone e diede il via a un nuovo sciame sismico. Galetzka, ormai in Nepal, fu tempestato di domande di amici e persone per strada: *“Cosa accadrà oggi? Ci saranno altri terremoti e altri sciame? La scossa principale deve ancora arrivare? Cosa ci dicono i dati GNSS?”* I primi giorni di Galetzka in Nepal furono molto confusi. Tipicamente, la giornata cominciava verso le due o le tre del mattino. *“Ricordo che all'inizio mi svegliai a causa del fuso orario. In seguito accadeva a causa della tensione. Una scossa secondaria poteva svegliarti nel cuore della notte e ti impediva di riaddormentarti. Pensavi solo al da farsi.”* Ogni mattina presto Galetzka e i suoi colleghi andavano all'aeroporto per verificare la disponibilità dei velivoli. Se uno degli elicotteri non era impegnato in attività umanitarie lo

usavano qualche ora per raggiungere una stazione GNSS e scaricarne i dati. Se la stazione non trasmetteva dati la riparavano e la rimettevano online. Se non riuscivano a risolvere il problema la sostituivano con un nuovo dispositivo e portavano quello difettoso a Kathmandu da O'Grady il quale, in un laboratorio messo a disposizione dal rivenditore locale della Toyota, riusciva a recuperare i dati e ad aggiornare il ricevitore in modo da renderlo disponibile per la missione successiva.

Il resto della giornata veniva impiegato a pianificare il da farsi per il giorno o la settimana successiva, si organizzavano missioni motorizzate per scaricare i dati delle stazioni più accessibili oppure si dava una mano su altri progetti. Ad esempio, Galetzka era uno dei pochi a conoscere l'accelerometro per movimenti forti dello USGS installato all'American Club e gestito dall'ambasciata americana. Fu lui a recuperare i dati dallo strumento, che si rivelarono poi fondamentali durante l'analisi della scossa a Kathmandu. Altri, compreso Bilham, eseguivano valutazioni sui danni, cercavano segni in superficie e aiutavano a recuperare i dati GNSS.

La vista dagli elicotteri era impressionante. *“Nelle zone rurali, i danni ai villaggi erano molto pesanti,”* racconta O'Grady.

“Le case di argilla e fango erano crollate. La maggior parte delle vittime erano concentrate nei villaggi montuosi”. Le missioni in elicottero verso le stazioni GNSS comprendevano anche la consegna di provviste, scorte sanitarie e tende. *“Il pilota conosceva la zona e atterrava dove credeva ci fosse bisogno d'aiuto. Lì scaricavamo i beni di prima necessità e poi proseguivamo verso i punti GNSS”.*

Quando le squadre raggiungevano una postazione GNSS, c'erano danni vari, ma in generale l'integrità dei dati era buona. *“I*

ricevitori avevano ricevuto qualche colpo ma nessuno di essi era stato messo offline dal terremoto”, afferma Galetzka. *“Niente fa pensare che sia stato il sisma ad aver messo fuori uso un ricevitore o che ne abbia danneggiato l'antenna. I piccoli monumenti che avevamo usato erano molto solidi e hanno funzionato bene fornendo misure accurate dei movimenti del terreno. Abbiamo ottenuto degli ottimi risultati. Questo anche perché alcune delle stazioni si trovano proprio sul margine della faglia. Non ci era mai capitato di avere a disposizione dati simili”.* Subito dopo il recupero i dati venivano preparati per una prima analisi. Bilham stabilì così che il terremoto iniziò a nord dove, molto in profondità la faglia subì uno spostamento di 5-6 metri. Quando la roccia rilasciò l'energia accumulata si scatenò il sisma. Quando raggiunse Kathmandu, lo spostamento era dell'ordine di qualche centimetro. Galetzka sfruttò queste informazioni per affinare la sua strategia di recupero dei dati GNSS. Visto che il terremoto provocò movimenti minimi nel Nepal dell'ovest, diede alle stazioni GNSS lì dislocate una priorità minore.

Risultati inaspettati

I dati GNSS e quelli ottenuti grazie ai sensori sismici sono stati usati per esaminare il comportamento del terremoto e i suoi effetti. Allo USGS, Gavin Hayes ha sfruttato l'accelerometro per grandi movimenti e i dati GNSS a 5Hz per determinare che, in meno di 5 secondi, la valle di Kathmandu si è sollevata di 60 cm e si è mossa verso sud-ovest di 1,5 m con velocità che hanno toccato i 50 cm/s. Nei successivi 60 secondi i sedimenti della valle hanno oscillato lateralmente con periodi di 4 secondi e un'ampiezza tra i 20 e i 50 cm. La scossa ha creato delle fratture nel terreno in prossimità dell'aeroporto.

Alcuni video girati durante il terremoto hanno mostrato persone in difficoltà nel rimanere in piedi. Le analisi di Hayes hanno rivelato come le superfici che prima della scossa erano disposte orizzontalmente dopo si fossero inclinate verso sud-ovest, anche se per meno di un grado. La pista dell'aeroporto di Kathmandu, ha notato Bilham, si è alzata di circa 50 cm e inclinata di 12 cm.

C'è un aspetto del terremoto Gorkha che ha sorpreso gli scienziati. Secondo il Dott. Ken Hudnut, geofisico allo USGS, la scossa a Kathmandu non è stata così violenta e devastante se si considera la tensione rilasciata durante la rottura della faglia. Data l'energia coinvolta e le modalità di costruzione in uso nella zona, la maggior parte degli edifici ha subito danni sorprendentemente ridotti. Per Hudnut c'è ancora bisogno di lavoro al fine di comprendere il movimento superficiale collegato al sisma e come il movimento dei sistemi di faglie sul piano possa tradursi in spostamenti superficiali. È inoltre importante comprendere se il terremoto Gorkha abbia aggiunto ulteriori stress alle altre faglie presenti in zona, cosa che potrebbe contribuire al verificarsi di futuri terremoti.

Gli sforzi di Galetzka e degli altri serviranno per ottenere le informazioni di cui ha bisogno Hudnut. Dal momento che la maggior parte dei dispositivi GNSS precedentemente installati era in buono stato, le squadre hanno sfruttato i ricevitori GNSS donati dalla Trimble per stabilire dei nuovi punti di monitoraggio in luoghi altrimenti inaccessibili al solo segnale GPS. *“Non potendo arrivare in cima alle montagne, prima eravamo costretti ad installare le stazioni in vallate molto profonde. Le funzionalità GNSS dei nuovi ricevitori ci hanno permesso di acquisire, oltre al GPS, anche segnali*

GLONASS, Galileo e Beidou,” ha spiegato Galetzka. “Avere sempre a disposizione un numero sufficiente di satelliti ha aumentato la precisione dei dati acquisiti”. Un team dell’Università di Cambridge è al momento al lavoro per installare dei sensori sismici in corrispondenza delle stazioni CORS.

Le stazioni GPS e GNSS si stanno rivelando anche un vantaggio per gli ingegneri e i topografi nepalesi. Prima del terremoto, la rete geodetica nazionale era costituita da punti di controllo basati su rilievi tradizionali. Gli spostamenti superficiali provocati dal sisma hanno però reso inutilizzabili tutti i precedenti punti di riferimento. I topografi potranno ora impiegare i dati delle stazioni CORS per misurare nuovamente i punti e stabilire nuove coordinate legate ad un sistema di riferimento globale. La rete GPS del Nepal continua a monitorare i movimenti tet-

tonici. I dati GPS permettono ai ricercatori di creare modelli relativi all’accumulo di energia lungo i margini della faglia al fine di stimare la forza dei prossimi terremoti. Bilham, sottolineando l’impossibilità di prevedere futuri sismi, lavora basandosi sulle informazioni relative alle modalità di accumulo dell’energia durante il terremoto Gorkha. “Si è trattato di un banco di prova in previsione di eventi futuri,” afferma Bilham. “Gorkha ha coinvolto una piccola parte dell’Himalaya e ha portato all’attenzione la necessità di rinforzare case ed edifici. Non si è trattato del peggior evento che può accadere ma sicuramente del peggiore che si verificherà nei prossimi venti anni”. I geofisici potranno sfruttare le informazioni ricavate dal terremoto Gorkha per spingere le autorità locali ad adottare delle buone pratiche costruttive al fine di mitigare i danni e le vittime. Galetzka è d’accordo. “Si tratta

sicuramente di una tragedia, ma ho ragione di credere che Kathmandu stavolta abbia schivato il colpo,” dice. “La gente lo sa. C’è un sacco di energia tettonica ancora accumulata in quella parte di Nepal e che non è stata rilasciata durante il terremoto Gorkha. Per questo per me è importante comprendere cosa sia veramente successo e cosa questo significhi per la futura gestione del rischio terremoti in Nepal”.

PAROLE CHIAVE

TERREMOTO; GNSS; GPS; GESTIONE DEL RISCHIO; GEOFISICA;

ABSTRACT

Following April 2015’s major earthquake in Nepal, massive efforts focused on providing aid to victims and survivors. Working behind the scenes, a small team of scientists scrambled to secure perishable data that could both explain how the quake occurred and help people prepare for the next one.

AUTORE

JOHN STENMARK
JOHN@STENMARK.US



WWW.SISTER.IT

SERVIZI ED INNOVAZIONE DA OLTRE 20 ANNI

Sistemi Informativi Geografici



comprendere
e gestire il territorio

Geo Business Intelligence



analizzare i dati
per decidere meglio

Web Semantico, Big e Open Data



la conoscenza
al servizio di tutti

Public Utilities



più efficienti e competitivi
con le tecnologie GIS & BI