



i quaderni della ricerca

TWISTING THEORY

ATTIVITÀ DI ANALISI E SPERIMENTAZIONE CONDOTTA SUL
TERRITORIO DI CRACO (MT)

SUMMARY

1	Background	2
1.1	Il contesto ambientale.....	2
1.2	l'analisi multi-temporale	2
1.3	Le Informazioni a disposizione	3
2	Metodo di lavoro	3
2.1	L'obiettivo dello studio.....	3
2.2	Il processo di analisi.....	4
2.3	Lo scenario descritto dal modello Twisting Theory.....	4
3	Il sopralluogo a Craco.....	5
3.1	Palazzo Cammarota	6
3.2	Muraglione	6
3.3	Scuola	7
3.4	Centro abitato	8
3.5	Fuori Frana	8
4	Considerazioni finali.....	10

1 BACKGROUND

1.1 IL CONTESTO AMBIENTALE

Il paese di Craco (MT) è minacciato da gravi fenomeni franosi principalmente a causa del contesto geologico e geomorfologico. Il paese è stato interessato da un progressivo abbandono, dopo il verificarsi di frane e terremoti che hanno causato l'interruzione di ampie porzioni di insediamento urbano.

Dalla letteratura sul tema si evince che nel corso degli anni sono stati condotti diversi studi volti a ricostruire l'evoluzione delle dinamiche geologiche e morfologiche che agiscono sul territorio attraverso due approcci distinti. L'analisi di suscettibilità per le frane superficiali è stata attuata con metodi statistici, con un approccio basato su GIS. Di contro, l'analisi dei fenomeni franosi in profondità è stata effettuata con un approccio multi-temporale geomorfologico che è stato possibile attuare grazie all'analisi dei fenomeni di riattivazione di vecchi corpi franosi.

1.2 L'ANALISI MULTI-TEMPORALE

Dall'analisi multi-temporale basata sulle rilevazioni aeree condotte negli anni 1955, 1972 e 1997, è evidente che tutto il territorio è ampiamente interessato da frane attive e quiescenti, e che queste possono essere nuovamente attivate, nel tempo, da fattori scatenanti rappresentati da precipitazioni e comportamenti riconducibili all'attività umana. Il versante meridionale è stato per lo più colpito

da instabilità durante le riattivazioni nel 1959, 1965 e 1971. Questi movimenti hanno gravemente danneggiato gli edifici e le infrastrutture situate all'interno o in prossimità della zona di perimetrale del paese. La grande frana del versante meridionale mostra caratteristiche dinamiche di natura multi-direzionale. Come si evince dalla letteratura sul tema¹, tra il 1955 e il 1972, il fronte principale della frana si è progressivamente spostato verso l'alto di circa 50 m, coinvolgendo vaste aree della città antica, mentre un secondo movimento franoso, di intensità inferiore, si è sviluppato all'indietro in direzione NE coinvolgendo il sito del Convento di San Pietro. In questa zona due movimenti distinti sono stati rilevati in entrambi i versanti che coinvolgono la *sella* dove si trova la struttura.

Nel versante S, riattivatosi con la frana principale, uno slittamento di rotazione ha danneggiato il convento, nel versante N uno slittamento ha interessato la strada e un muro di rinforzo fondato su pali, provocando numerose fratture nelle strutture orizzontali e verticali del convento.

In seguito alla riattivazione dei movimenti franosi, il flusso di grandi dimensioni si è progressivamente spostato verso la valle del fiume (ca. 260 m, tra il 1955 e il 1972, e 100 m tra il 1972 e il 1997). Le foto aeree mostrano un andamento lineare di frane che si sviluppano come estensione o riattivazione della zona instabile.

¹ Integrated approach for landslide risk assessment of Craco village (Italy),
D. Spizzichino & L. Falconi Consorzio Civita, Rome, Italy

G. Delmonaco, C. Margottini, C. Puglisi, *ENEA CR Casaccia, Rome, Italy*

1.3 LE INFORMAZIONI A DISPOSIZIONE

Le informazioni GPS, messe a disposizione dall'Agenzia Spaziale Italiana, sono relative alla longitudine e la latitudine, rilevate in dieci momenti diversi (da T_0 a T_9) in un arco temporale di diciassette mesi solari, dei seguenti cinque siti:

- Palazzo Cammarota (CRAB),
- Muraglione (CRAC),
- Scuola (CRAD),
- Centro abitato (CRAE),
- Fuori frana (CRAF).

Solo a titolo di esempio si riporta nel seguito un estratto del data base di riferimento:

Data	Lat	Lon
T_0	40° 22' 37.592803"	16° 26' 22.373662"
T_1	40° 22' 37.592832"	16° 26' 22.373282"
T_2	40° 22' 37.592886"	16° 26' 22.373851"
T_3	40° 22' 37.592674"	16° 26' 22.373460"
T_4	40° 22' 37.593391"	16° 26' 22.374729"
T_5	40° 22' 37.593244"	16° 26' 22.374705"
T_6	40° 22' 37.593205"	16° 26' 22.374705"
T_7	40° 22' 37.593345"	16° 26' 22.374637"
T_8	40° 22' 37.593248"	16° 26' 22.374699"
T_9	40° 22' 37.593089"	16° 26' 22.374569"

Va subito rilevato che il sito noto con l termine *Convento* non è nell'elenco dei siti forniti e che quindi questo, seppur particolarmente interessante per la duplice natura dei fenomeni di slittamento precedentemente descritti, non concorre all'analisi effettuata per la messa a punto del nuovo modello denominato *Twisting Theory*.

2 METODO DI LAVORO

Nel corso della sperimentazione si è cercato di mutuare degli studi effettuati con successo in altri ambiti scientifici attraverso l'uso di un approccio in grado di simulare dinamiche

complesse, come quelle ambientali, geologiche e geofisiche, con l'uso di matematiche e tecnologie che realizzano Sistemi Artificiali Adattivi (SAA) in grado di conservare nelle loro rappresentazioni matematiche, le stesse dinamiche implicite nei dati di misura disponibili dei fenomeni oggetto di studio.

Si è pertanto ipotizzato che partendo da alcune informazioni iniziali fornite da sensori GPS posti su siti specifici all'interno di Craco, rilevati per un periodo di circa due anni, si potesse realizzare un modello SAA in grado di poter rappresentare almeno una parte delle dinamiche cui il territorio di Craco è sottoposto da circa una cinquantina di anni. Tale modello è denominato *Twisting Theory* ed è uno dei brevetti di cui CSI Ricerca & Ambiente è proprietaria.

2.1 L'OBIETTIVO DELLO STUDIO

L'obiettivo dello studio svolto è stato quello di valutare se i dati disponibili sul territorio di Craco potessero confortare la prosecuzione dello studio e della realizzazione del modello *Twisting Theory*. In tal modo una volta terminato tale modello si potrà pensare di analizzare l'evoluzione geomorfologica di una qualsiasi zona dinamica, come quella di Craco, col fine di dare un efficace supporto decisionale a chi definisce e pianifica interventi e politiche di gestione e mitigazione dei rischi del territorio.

Il disporre di modelli SAA affidabili, in grado di poter analizzare il rischio, prevedere dinamiche evolutive, e classificare categorie di comportamenti a rischio, potrà permettere alle autorità competenti in merito alla tutela, conservazione e recupero del patrimonio culturale di un qualsiasi territorio, una ottimale e agevole pianificazione e organizzazione di tutte le attività umane da svolgere sul territorio interessato.

2.2 IL PROCESSO DI ANALISI

Il paradigma adottato è riconducibile nello scenario dell'architettura SAA che prevede l'implementazione di alcuni passi logici, non necessariamente da attivare sequenzialmente, tra i quali spicca l'attività di:

- identificazione del modello (o dei modelli) più rappresentativi per la descrizione del fenomeno,
- pre-processing finalizzato alla normalizzazione dei dati affinché possano essere fruibili dal SAA,
- categorizzazione non supervisionata delle informazioni,
- costruzione degli scenari dinamici,
- evidenza dei dati nascosti a partire dalle relazioni tra le informazioni,
- rappresentazione grafica dei risultati del modello.

Schematicamente:

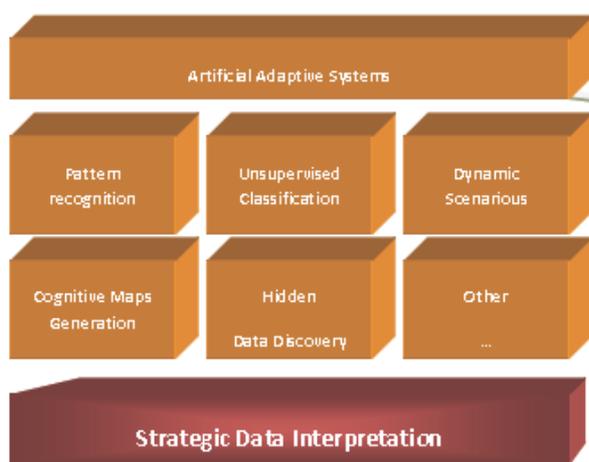


Figura 1 Architettura SAA

In questo contesto, una volta enumerati cardinalmente i punti da 1 a 5, la fase di pre-processing ha fornito come risultato una normalizzazione della posizione dei siti, rilevata originariamente da latitudine e longitudine,

secondo il seguente schema, nel seguito evidenziato, a titolo esplicativo, per la sola rilevazione temporale **t8**:

Sito	X	Y
P1(t8)	6838.06	6646.729
P2(t8)	7013.28	7248.579
P3(t8)	7048.638	7088.309
P4(t8)	6949.031	6835.183
P5(t8)	6893.47	6708.139

Va subito rilevata la rappresentazione bidimensionale del modello che, almeno in questa fase dello sviluppo non tiene conto delle quote in altezza.

Il modello *twisting* realizzato, è inoltre adattabile a livello di variabili rappresentative delle caratteristiche morfologiche del territorio che, in questo caso essendo assenti, sono state impostate come *costanti*, immaginando una natura omogenea del terreno, cosa in parte effettivamente riscontrata in fase di sopralluogo presso Craco.

2.3 LO SCENARIO DESCRITTO DAL MODELLO TWISTING THEORY

La rappresentazione fornita dal modello suddivide l'intero territorio adiacente i siti (dei quali sono note le posizioni geografiche iniziali e quelle successive nel tempo) in celle di lato noto. Le dimensioni dei lati di tali celle sono un parametro variabile del sistema che definisce così *la risoluzione* della sua rappresentazione grafica. La peculiarità di tale modello è quella di considerare ogni punto fisico, adiacente il punto del quale sono note sia la posizione iniziale che il "delta" di spostamento in tempi successivi, essere un elemento attivo che propaga gli spostamenti che gli arrivano dai siti adiacenti. In tal modo gli effetti della propagazione vanno a cumularsi in modo non lineare a causa delle mutue relazioni che ciascun punto fisico ha con gli altri. Ciò genera delle deformazioni del

grigliato che in alcune parti prendono la forma di *curve di livello*. Tali deformazioni sono indicative di come tutti i punti hanno propagato gli spostamenti generati dalle tensioni associabili agli spostamenti noti nel tempo dei punti rilevati col GPS.

A seguito della elaborazione si ottengono delle deformazioni del grigliato che sono più o meno accentuate in funzione delle caratteristiche delle posizioni successive e del tempo trascorso tra una rilevazione e quella successiva.

La dinamicità del movimento viene poi evidenziata attraverso le *curve di livello* che potrebbero essere rappresentative sia degli spostamenti avuti sia degli *accumuli di energia*. Tali curve possono essere di colore nero o bianco in funzione dell'accumulo o della rarefazione di energia, ovvero a seconda se si sta misurando un innalzamento o uno sprofondamento del territorio.

Di seguito si riporta il grigliato dei siti considerati:

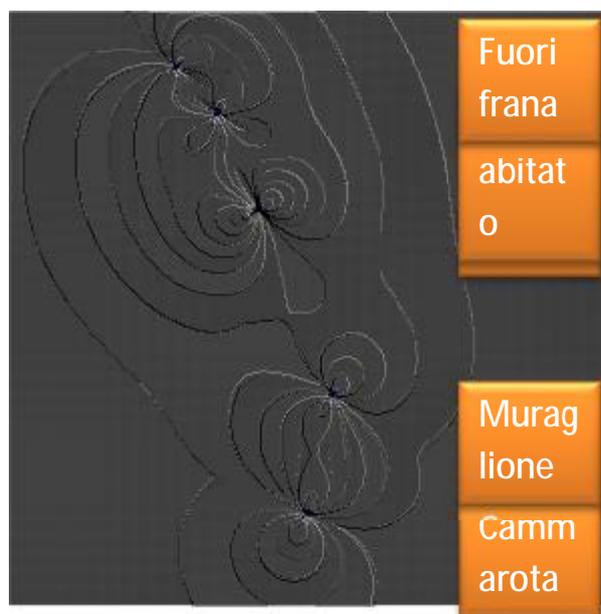


Figura 2 Craco *twisting grid*

Al fine di poter effettuare delle misurazioni sul terreno, è stata svolta un'attività finalizzata a determinare il rapporto di scala tra la rappresentazione grafica del grigliato output del modello matematico, e le posizioni, in termini di latitudine e di longitudine a disposizione. Il lavoro di normalizzazione ha prodotto uno scenario sinteticamente riportato nella seguente tabella:

Distanze metri	F	B	C	D	E
CracF	0	626,8	489,2	218,7	82,7
CracB	626,8	0	164,1	418,3	553,6
CracC	489,2	164,1	0	272,0	410,6
CracD	218,7	418,3	272,0	0	138,7
CracE	82,7	553,6	410,6	138,7	0

A seguito di ulteriore processo di elaborazione, si è potuto stabilire che il rapporto di scala è:

$$1 \text{ mm grigliato} = 3,98 \text{ m reali.}$$

3 IL SOPRALLUOGO A CRACO

Al fine di avere un riscontro visivo a quanto rappresentato dal modello, si è concordato con le autorità locali del comune di effettuare un sopralluogo che desse riscontro alla dinamicità descritta dal modello. Va infatti evidenziato che tutta l'attività di analisi e di realizzazione del modello matematico della *twisting theory* è stata effettuata senza la conoscenza del territorio reale.

Inoltre, il modello disponeva delle posizioni iniziali di soli cinque punti noti, e delle loro evoluzioni temporali campionate in dieci momenti. Pertanto, l'unica opportunità che potesse confortare sulla prosecuzione dell'attività di studio di tale modello era il verificare se, lungo quelle che il modello disegnava come *curve di livello*, ci fosse evidenza di dinamiche particolari, ad esempio fratture, innalzamenti del suolo, oppure subsidenze.

Il sopralluogo è stato effettuato il 29 aprile 2010 assieme alle autorità locali e la presenza di alcuni tecnici ASI.

3.1 PALAZZO CAMMAROTA

A Palazzo Cammarota (figura 3), poco distante dal sito Convento, sono state effettuate due verifiche: la prima volta ad individuare una dinamicità del movimento del terreno (B) in senso ortogonale (direzione NE) rispetto al fronte frana (direzione S, punto A della figura 3), la seconda per misurare la lunghezza del fronte di scivolamento (B-C, *circa 28 m reali, 7mm nel grigliato*).

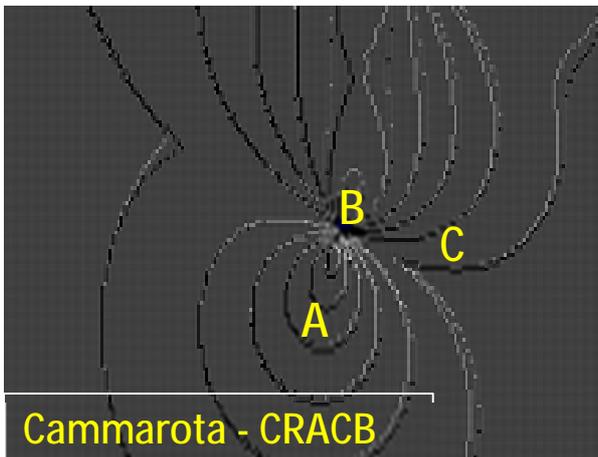


Figura 3 Palazzo Cammarota twisting grid

La prima rilevazione è stata suffragata dal sopralluogo e, tra l'altro, ben si raccorda con altre rilevazioni di natura geologica effettuate dal Comune, anche se in questo caso il sito preso a riferimento è *Convento*, poco distante da palazzo Cammarota e di cui il modello twisting non aveva i parametri longitudine, latitudine da usare come input.

La seconda rilevazione, trattando un ordine di grandezza delle decine di metri, è avvenuta utilizzando la classica fettuccia ed ha dato come misurazione un fronte di circa trenta metri, in accordo con la scala del grigliato.

Di seguito si riportano a carattere di documentazione fotografica, quanto riscontrato.



Figura 4 Fronte ortogonale SE Cammarota (punto B)



Figura 5 Il fronte ortogonale (punto B)

3.2 MURAGLIONE

Muraglione (figura 6), sul versante N, è stato il secondo dei siti oggetto di attenzione.

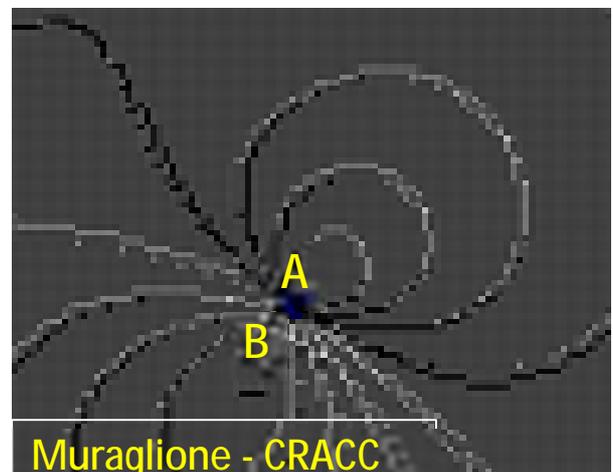


Figura 6 Muraglione twisting grid

In questo sito, il fronte della frana cambia completamente direzione predisponendosi sul versante SE, cambiamento ben evidenziato dal modello matematico.



Figura 7 versante SE del sito Muraglione

A valle del muraglione, circa trenta metri, si può notare un fronte costituito da una *lingua* di cemento che corrisponde, in scala, al punto B del grigliato del modello matematico.

Ad una distanza di centoventi metri dal sito, percorrendo la strada principale, ci si imbatte in una significativa subsidenza che si estende fino al sito denominato Scuola. Nel grigliato del modello, la sacca è evidenziata in figura 8.

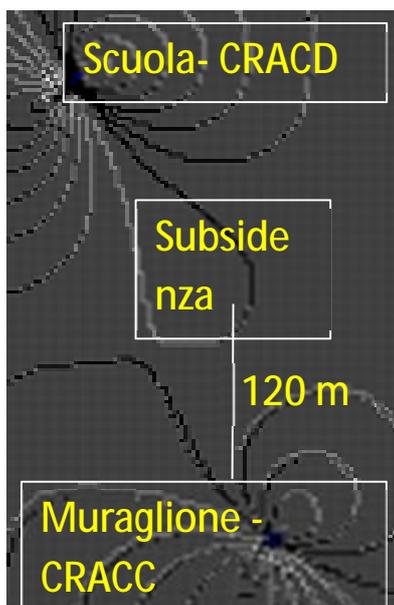


Figura 8 Subsidenza twisting grid



Figura 9 Area della subsidenza

3.3 SCUOLA

Il sito Scuola (figura 10), si estende per 40 m circa ed è rappresentato da un edificio che si estende in lunghezza sulla direttrice S/N. Una volta calcolato il rapporto in scala, è immediato riconoscere il sito (punto A) sulla griglia del modello:

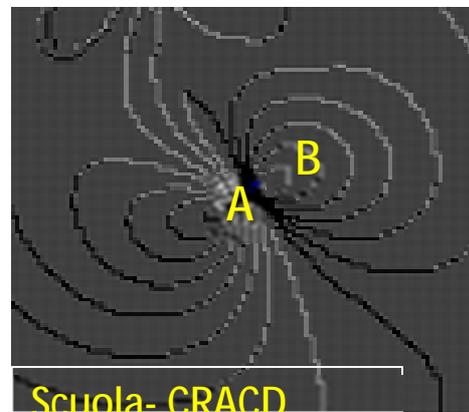


Figura 10 Scuola twisting grid

Il contesto del territorio ha anche permesso di effettuare la misurazione della distanza dal sito del primo fronte frana (punto B) che si trova ad una distanza di circa 24 m (6 mm sulla griglia del modello) ed è rappresentato da un muro di cinta.



Figura 11 Il muro di cinta della Scuola

3.4 CENTRO ABITATO

Il sito Centro Abitato presenta, sotto il profilo della rappresentazione del modello matematico, la particolare singolarità di porsi al centro di un *quadrivio* (figura 12).

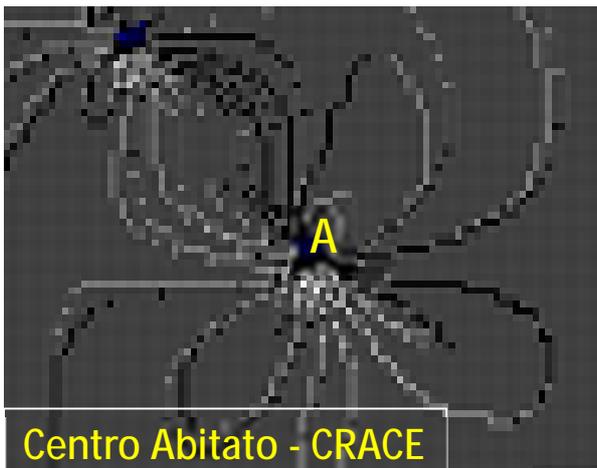


Figura 12 Centro Abitato twisting grid

In effetti, il rilevatore GPS è posto su un muretto che si trova all'incrocio di quattro strade che evidenziano inclinazioni differenti.



Figura 13 Il quadrivio del sito Centro Abitato

3.5 FUORI FRANA

Il sito Fuori Frana (figura 14), si trova in prossimità del Centro Abitato ed è quello in cui storicamente non si rilevano significativi spostamenti. Il rilevatore GPS (punto A) si trova in una piana adiacente ad uno stabile adibito al culto religioso (figura 15).

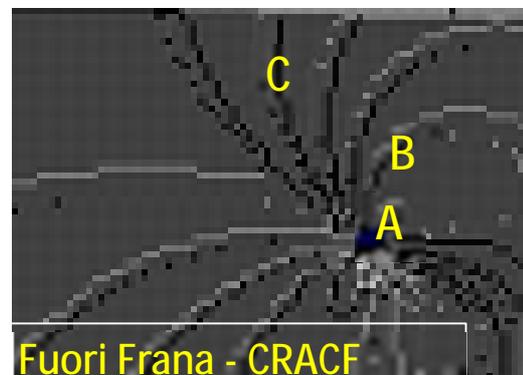


Figura 14 Fuori Frana twisting grid



Figura 15 Fuori Frana GPS sensor



Figura 17 muro a 80 m da Fuori Frana

La natura del terreno ha permesso di effettuare dei rilievi nei punti B e C del grigliato. Una volta effettuato il rapporto in scala, si è potuto constatare che a 40 m e ad 80 m dal sensore GPS in effetti c'è la presenza di muri di cinta interessati ai fenomeni di slittamento, come evidenziato nelle successive figure 16 e 17.



Figura 16 muro a 40 m da Fuori Frana

4 CONSIDERAZIONI FINALI

I risultati ottenuti fino a questo momento sono incoraggianti per proseguire le attività di ricerca al fine di generalizzare la modellistica progettata così da consentire il doppio obiettivo di descrizione e delimitazione dello scenario di osservazione e la conseguente previsione temporale dell'evoluzione delle dinamicità presenti sul territorio.

In quest'ottica, CSI continua ad impostare il suo lavoro di ricerca su un approfondimento delle tematiche del contesto ambientale e dell'algoritmica più adatta alla sua descrizione, con particolare riferimento a:

- caratterizzazione geofisica del territorio,
- individuazione dei parametri maggiormente utili per specializzare i modelli matematici utilizzati (dati climatici, informazioni sismiche, rilevazioni da telerilevamento, etc.),
- individuazione di un percorso teso a definire le modalità di verifica e validazione dei risultati ottenuti (sia di natura scientifica, sia di natura amministrativa, magari congiuntamente alle autorità territoriali).