

Dottorando: Adriano ZUPPETTA

Tutor: Prof. Luigi Tortorici

Co-tutor: Prof. Stefano Mazzoli

**PROCESSI DI FAGLIAMENTO NEI LIVELLI CROSTALI SUPERFICIALI E
VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SISMOGENETICO IN APPENNINO
MOLISANO-SANNITA: LA CONCA DI BOJANO.**

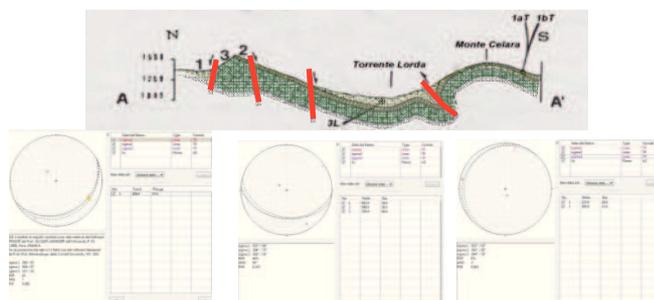
Relazione sulle attività svolte dal Dr. Zuppetta nel corso del triennio 2011-2013

La Conca di Bojano è un bacino intramontano allungato in direzione NO-SE tra il Massiccio del Matese a ovest e i Monti del Sannio a est, e delimitato a sud dalla Sella di Vinchiaturò. Si tratta di un bacino tettonicamente instabile, interessato in tempi storici da una persistente attività sismica che nel 1805 si è concretizzata in un terremoto, il terremoto di Bojano, tra i più disastrosi tra quelli verificatisi nell'Appennino molisano-sannita con la perdita di più di 10000 vite umane oltre ad ingenti danni materiali.

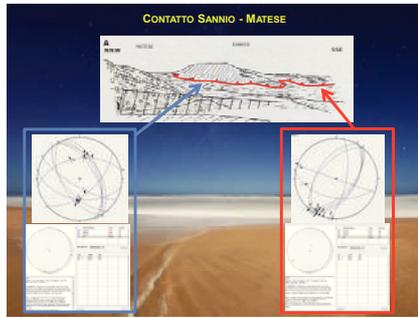
La tesi è stata incentrata su quest'area dove sono state svolte ricerche finalizzate a delineare l'evoluzione tettonica della conca e i legami ivi intercorrenti tra tettonica e sismicità.

- A) Nel settore nord-orientale del Massiccio del Matese affiorano delle successioni carbonatiche mesozoiche di piattaforma s.s. e di transizione tra piattaforma e bacino evolventi verso l'alto a depositi silicoclastici di età Tortoniano superiore-Messiniano unanimemente attribuite all'Unità del Matese.

Le ricerche svolte in quest'area hanno portato a riconoscere in prossimità dell'abitato di Longano, a sud del Torrente Lorda, una struttura a thrust – il *thrust di M. Celara* - che coinvolge la Formazione di Longano (Serravalliano-Tortoniano). L'inversione dei dati raccolti sui sistemi di faglie che dislocano i terreni a tetto e a letto del thrust hanno consentito di mettere in evidenza due fasi compressive post-Tortoniano a direzione NNE-SSO e ENE-OSO materializzate sul terreno rispettivamente in un sistema di faglie inverse e in un sistema di faglie trascorrenti. Le relazioni di simmetria intercorrenti tra gli assi principali del campo di stress e la stratificazione hanno portato a concludere che la compressione ENE-OSO predata la compressione sub-meridiana NNE-SSO.



Verso est i terreni dell'Unità del Matese vengono a contatto con i terreni dell'Unità del Sannio al di sotto dei quali si flettono. Le osservazioni sul terreno mettono infatti in risalto che il contatto descrive accentuate sporgenze e rientranze che in genere marciano contatti di accavallamento a basso angolo e che nello specifico corrispondono al *thrusting* dell'Unità del Sannio sull'Unità del Matese. Il *thrust* post-Messiniano (N.B. il *Flysch di S. Bartolomeo* che chiude verso l'alto la successione sannita ha età *Tortoniano superiore-Messiniano*) sutura tutte le strutture distensive e compressive matesine postdatandole. Un risultato analogo viene ottenuto anche dal trattamento dei dati delle faglie campionate in siti stabiliti nei terreni matesini sottostanti al thrust dell'Unità del Sannio dove sono state rinvenute due associazioni di faglia di cui una formata da faglie normali che accomodano una distensione submeridiana NNE-SSO (riquadro azzurro) che postdata una compressione NE-SO accomodata da un sistema di faglie trascorrenti.



Tutto questo ha portato all'importante conclusione che tra le fasi *tettoniche che predatano il sovrascorrimento dell'Unità del Sannio sull'Unità del Matese è presente almeno una fase tettonica distensiva che predata le fasi compressive*.

- B) Per quanto riguarda l'evoluzione pliocenica, l'assenza nella conca di *terreni di età pliocenica* non ha consentito di investigare gli effetti indotti dalla tettonica fragile su questi terreni.
- C) Per quanto riguarda i *terreni pleistocenici*, l'unica successione presente nell'area affiora sulle pendici matesine, subito a monte dell'abitato di S. Massimo. Si tratta di una successione lacustre potente non più di 300 metri su cui a Serra S. Giorgio è presente un lembo di superficie relitta, unanimemente messa in relazione con la superficie del bacino pleistocenico di S. Massimo, dislocato alla quota di 810 metri dal sistema di faglie di Roccamandolfi.

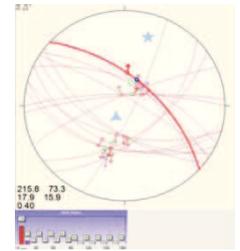
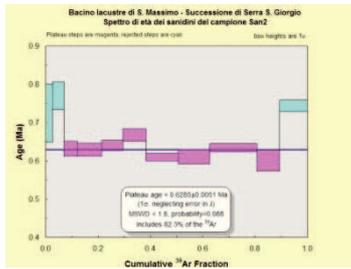
In assenza di reperti paleontologici databili, la successione è stata attribuita sulla base di datazioni radiometriche K-Ar e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ effettuate sui sanidini provenienti da campioni di piroclastiti intercalate ai sedimenti lacustri, rispettivamente da Brancaccio et al. (1979) al Calabriano e da Di Bucci et al. (2005) al Pleistocene medio.

Si tratta di date distanti tra loro più di 400 ka e che quindi pongono problemi non indifferenti in ordine al calcolo dei sollevamenti verticali di lungo periodo e, quando possibile, degli *slip rates* accomodati dalle faglie durante il Pleistocene.

Si è ritenuto pertanto necessario procedere ad una revisione delle datazioni effettuate dagli autori dianzi citati sottoponendole ad un test statistico del χ^2 , revisione che ha indotto al ricalcolo delle età ottenendo una datazione $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ di 0.629 ± 0.005 Ma b.p. statisticamente affidabile. Sulla scorta di questa età si è proceduto a calcolare in 0.5 mm/a il tasso di sollevamento di lungo periodo della superficie relitta di Serra S. Giorgio ben in linea con il tasso di sollevamento medio di lungo periodo di 0.453 mm/a derivato da tutte le superfici relitte correlate nella Conca di Bojano con la superficie del Bacino pleistocenico di S. Massimo. Infine, l'inversione dei dati raccolti sul sistema di faglie di Roccamandolfi ha consentito di legarlo ad una fase tettonica caratterizzata da una distensione sub-meridiana NNE-SSO.

BRANCACCIO L., SPINELLI L., CIPIERRE A., DI BUCCI G., PERRI S. and DI BATTISTO, 1979. Lenti verticali di sollevamento pleistocenico nel sistema sismogeno del Matese, presso S. Massimo. Boll. Soc. Italiana Geologia, 36: 275-284.

Area	X	Y	Z	X ₀	Y ₀	Z ₀	dx	dy	dz
1a	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1b	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1c	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1d	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1e	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1f	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1g	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1h	50.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Area: Cantalupo - S. Massimo - Roccamandolfi

Faglia: Direzione Immersione Inclinazione Angolo di pitch delle strae normale 309° 039° 55° 65° W

Marker diobato della faglia: Superficie del diobato di S. Massimo Serra S. Giorgio

Età del marker (anni p.p.)	-1 σ	Età	+1 σ
	5100	628500	5100

Quota attuale del marker (m s.l.m.): minimo medio massimo

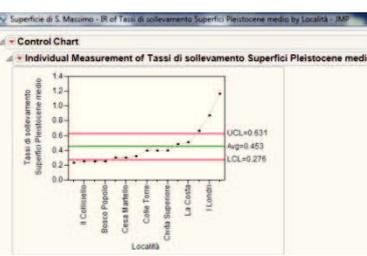
Quota della base del versante (m): 805 810 815

Differenza tra la quota del marker e la quota della base del versante (m): 290 290 290

Tasso di sollevamento verticale di lungo periodo accomodato dalla faglia (mm/anno): minimo medio massimo

Tasso di accorciamento (slip rate) di lungo periodo accomodato dalla faglia (mm/anno): 0.458 0.5 0.465

Tasso di accorciamento (slip rate) di lungo periodo accomodato dalla faglia (mm/anno): 0.617 0.6 0.627



Località Tassi di sollevamento Superfici Pleistocene medio

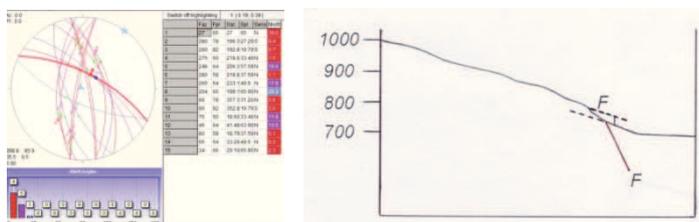
1 Cava di Pietra	0.2
2 Il Collicello	0.3
3 Cava Marotta	0.3
4 Basso Ripetto	0.3
5 Roccamandolfi	0.3
6 Cava Marotta	0.3
7 Cava Marotta	0.3
8 Cava Marotta	0.4
9 S. Maria Maddalena	0.4
10 Cava Superiore	0.4
11 Serra S. Giorgio	0.5
12 La Costa	0.5
13 Colle Arso	0.7
14 L'Orto	0.9
15 La Pianella	1.2

D) Per descrivere l'evoluzione tettonica olocenica della conca, si sono svolte ricerche sui depositi continentali del conoide di Campochiaro. Sulla base di log stratigrafici effettuati lungo le pareti verticali presenti nelle cave aperte nel conoide gli autori vi hanno distinto una serie di unità. Tutte queste unità sono dislocate da faglie che il dr. Zuppetta ha campionato e da cui ha tratto dati che gli hanno permesso di legare le faglie ad un campo di stress caratterizzato da una distensione NNO-SSE. Dal momento che l'unità continentale più recente del conoide UCON3, cui Guerrieri et al. (1999) attribuiscono un'età ^{14}C tardiglaciale compresa tra 17110 e 10960 B.P. (*Older and Younger Dryas*), verso NO è interdigitata eteropicamente con i sedimenti di riempimento della piana di Bojano (*Unità ULAC* in Guerrieri et al., 1999), a loro volta raccordati alle breccie di pendio che regolarizzano il versante che sovrasta Bojano, la scarpata di faglia corrispondente alla rottura di pendio osservabile lungo quasi tutto il versante che sovrasta Bojano e lungo cui sono state dislocate le breccie ha sicuramente accomodato dislocazioni dovute a fasi tettoniche successive alla regolarizzazione e quindi attivatesi durante l'Olocene.



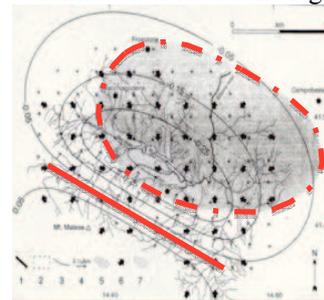
Il trattamento dei dati raccolti sul sistema di faglie di Bojano indica una distensione in direzione N50 responsabile di una dislocazione verticale di breve periodo che valutata in un profilo topografico di dettaglio ortogonale alla scarpata di faglia è risultata dell'ordine di 1.0 mm/anno.

Un *pattern* morfostrutturale comparabile è stato da me lungo il versante di Colli della Defenza che sovrasta l'abitato di Campochiaro, un versante con orientazione subparallela al versante che sovrasta Bojano. Un profilo topografico di dettaglio eseguito ortogonalmente alla direzione del versante ha infatti consentito di mettere in evidenza una rottura del pendio associata ad una scarpata di faglia di 18m lungo cui sono state dislocate breccie di pendio che nel Tardiglaciale regolarizzavano il versante. L'inversione dati raccolti sul sistema di faglie di Colli della Defenza ha consentito di legarlo ad un campo di stress caratterizzato da una distensione NNO-ESE responsabile di una dislocazione verticale di breve periodo che dal profilo topografico eseguito normalmente alla direzione del versante sono risultati ancora dell'ordine di 1.3 mm/ anno.



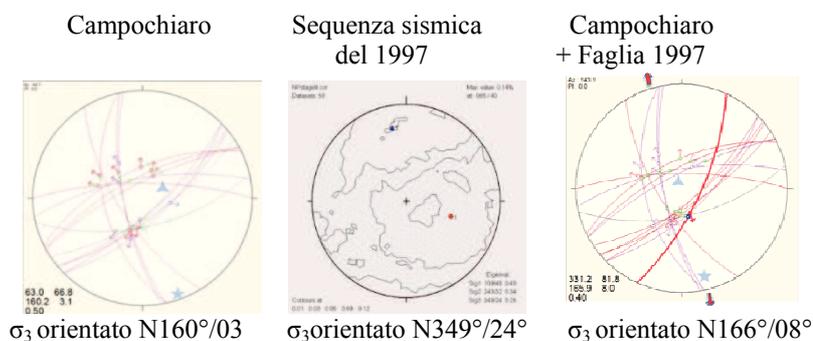
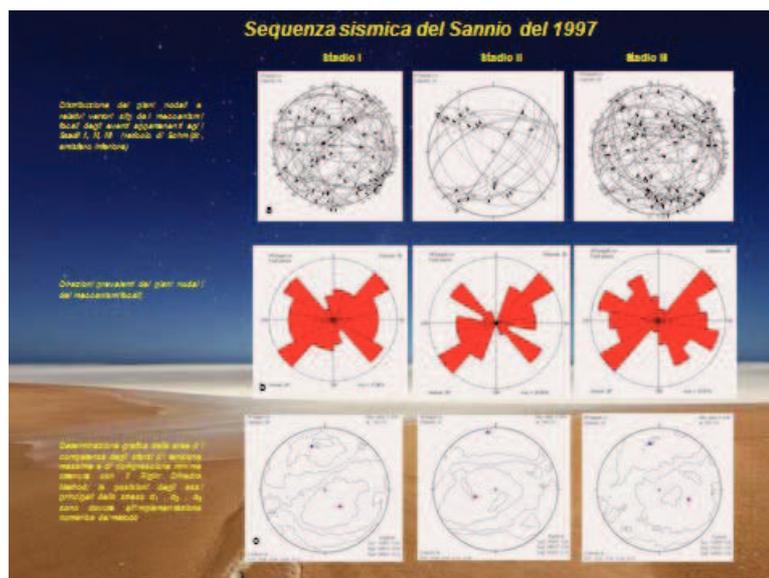
E' da sottolineare che alla base di alcuni dei piani di faglia del sistema di Bojano si sono rinvenute delle fasce più chiare attraversate da *slickenlines*, dello spessore variabile da 10 a 30 cm, che sono state associate a slip cosismici accomodati di recente dalle faglie. Il sistema è allungato per 20 km in direzione ONO-ESE ed è esteso in profondità per 15 km (Cucci et al., 1996 e lavori citati). Partendo da questi dati è stata effettuata, per valori diversi dell'ampiezza della struttura sismogenetica e per valori dello slip cosismico coincidenti con quelli dedotti dai piani di faglia, una stima della magnitudo momento attesa $M_{w,exp}$ per un terremoto che dovesse essere accomodato ex novo dalla "faglia di Bojano" quantificandola in valori compresi nell'intervallo (5.4 – 6.3). Inoltre, sulla scorta del campo di deformazione costruito da Cucci et al. (1996) e dello slip cosismico dedotto dalle osservazioni effettuate sui piani di faglia in affioramento, si è confinato nell'intervallo 3.5-10.5 cm la dislocazione verticale massima che verrebbe accomodata al tetto della faglia.

N.	W	L	α	β	Δu_v	Δu_f	A	μ	M_0	$M_{w,exp}$
	spessore dello strato sismogenetico	lunghezza della faglia	inclinazione della faglia	angolo di pitch delle strie	slip cosismico verticale	slip cosismico lungo il piano di faglia	area della rottura	modulo di taglio	momento sismico	magnitudo momento massima attesa
	(m)	(m)	(°)	(°)	(m)	(m)	(m ²)	(N/m ²)	(Nm)	
1	2000	10000	55°	65°	0.1	0.13	2.0E+07	3.2E+10	8.6E+16	5.2
2	2000	10000	55°	65°	0.3	0.40	2.0E+07	3.2E+10	2.6E+17	5.5
3	9000	10000	55°	65°	0.1	0.13	9.0E+07	3.2E+10	3.9E+17	5.7
4	9000	10000	55°	65°	0.3	0.40	9.0E+07	3.2E+10	1.2E+18	6.0
5	10000	10000	55°	65°	0.1	0.13	1.0E+08	3.2E+10	4.3E+17	5.7
6	10000	10000	55°	65°	0.3	0.40	1.0E+08	3.2E+10	1.3E+18	6.0
7	18000	10000	55°	65°	0.1	0.13	1.8E+08	3.2E+10	7.8E+17	5.9
8	18000	10000	55°	65°	0.3	0.40	1.8E+08	3.2E+10	2.3E+18	6.2



Infine, dall'analisi delle foto aeree è stato individuato poco più a sud di Campochiaro un lineamento morfologico classificato come sismogenetico in quanto coincidente con la distribuzione della sismicità. Il lineamento è ubicato con direzione NNE-SSO a nord dell'abitato di Sassinoro al confine tra Molise e Campania e sulla sua traccia è allungata la sequenza sismica del 1997. Le ricerche svolte sul terreno hanno consentito di rinvenire solo poche tracce di rotture superficiali da cui non è stato possibile ricavare dati significativi atti a parametrizzare il campo di stress legato alla fratturazione riconosciuta. Una sola di queste fratture per le caratteristiche osservate è stata associata ad un piano di faglia normale a componente destra inclinato di 60° verso SE.

L'inversione dei dati dei meccanismi focali ha però consentito di ricostruire il campo di stress della sequenza sismica del 1997 caratterizzato da un asse σ_3 , orientato in direzione NNO-SSE (N349) in contrasto con l'orientazione NE-SO riportata da *Milano et alii (1999)* e da *Vilardo et al. (2003)*. Le orientazioni degli assi principali dello stress ricavate dai meccanismi focali sono risultate perfettamente confrontabili con quelle ottenute per le faglie che hanno dislocato i depositi del conoide di Campochiaro, caratterizzate da un asse σ_3 posizionato nel quadrante di NO. Sono pertanto dell'idea che il lineamento individuato rappresenti l'espressione superficiale di una struttura sismogenetica profonda attualmente a debole espressione energetica, ma che potrebbe riattivarsi in futuro per accomodare l'attività anche di forti terremoti.



In definitiva, sono giunto alla convinzione che la sismicità recente e attuale, in uno con le associazioni di faglie con essa coincidenti, è legata a partire dal Tardiglaciale a fasi tettoniche caratterizzate da assi σ_3 responsabili di una distensione **sia** in direzione NE-SO (Conoide di Campochiaro e Sequenza sismica del 1997), **sia** NO-SE (Faglie di Bojano e di Colli della Defenza).

Altre attività

Nel corso del triennio 2011-2013 sono state svolte attività complementari alle attività di ricerca consistenti in: partecipazione a seminari organizzati dai Dipartimenti geologici dell'Università di Catania, dell'Università del Sannio e dell'Università di Napoli "Federico II"; uno stage sulla tettonica fragile presso il Department of Earth Science and Engineering dell'Imperial College, London, U.K.; partecipazione al Meeting of the Americas dell'AGU tenutosi in Messico nel 2013.

Catania, 3 ottobre 2013

Prof. Luigi Tortorici

A handwritten signature in black ink on a light yellow background. The signature is written in a cursive style and appears to read "Luigi Tortorici".