

Geologia II  
(Geologia Strutturale e Tettonica)  
e  
Principi di Rilevamento  
A.A. 2020-2021

corso a erogazione annuale

Lezioni frontali in modalità remota (online, almeno per il primo semestre), esercitazioni/laboratori in presenza, attività sul terreno e «campo» di rilevamento

Docenti

Lorenzo Bonini & Gian Andrea Pini

# Struttura e argomenti del Corso – Parte Prima

## Geologia Strutturale e Tettonica

- ◆ *Introduzione*  
Campi di lavoro della geologia strutturale, concetto di tettonica, differenti scale di osservazione e di approccio metodologico.
- ◆ *Sforzi e Deformazioni*  
Significato geologico di sforzo e deformazione. Relazioni sforzi-deformazioni. Fattori che influenzano il comportamento reologico delle rocce. Deformazione fragile, deformazione duttile. Processi della deformazione fragile, meccanica della fratturazione.
- ◆ *Le strutture tettoniche elementari “fragili”*  
Tipi e nomenclatura.
- ◆ *Le strutture tettoniche elementari “duttili”*  
Tipi e nomenclatura. Processi della deformazione duttile. Ricristallizzazione e cristallizzazione sin-cinematica; deformazione duttile e metamorfismo.
- ◆ *Le strutture tettoniche elementari “fragili-duttili”*  
Tipi e nomenclatura. Evoluzione delle zone di faglia, flusso cataclastico, miloniti, pseudotachiliti, terremoti.

## ◆ *Le pieghe*

Descrizione e nomenclatura, modelli di piegamento, strutture minori associate al piegamento

## ◆ *Associazioni di strutture tettoniche e ambienti geodinamici*

***Ambienti geodinamici divergenti:*** faglie dirette e tettonica estensionale: associazione di faglie dirette, faglie listriche. graben, semigraben, zone di rift, bacini e crosta oceanici, margini continentali passivi, stadi evolutivi e relazioni con la sedimentazione (pre-, sin-, post-rift), subsidenza, modelli alternativi di distensione crostale: taglio semplice, taglio puro.

***Ambienti geodinamici convergenti:*** accavallamenti, sovrascorrimenti, falde e tettonica compressiva. Associazioni accavallamenti-pieghe. subduzione oceanica “B”, margini in erosione e in accrezione tettonica, prismi di accrezione, bacini di retroarco, microcontinenti, terranes, mélanges. Subduzione continentale “A”, sistemi di catene collisionali con esempi, basamento e coperture, ofioliti. Paradosso e meccanica delle falde, cuneo critico, modelli analogici e numerici

***Ambienti geodinamici trasformati:*** oceano-oceano, continente-oceano, continente-continente. Tettonica trascorrente: le faglie trascorrenti e le strutture associate, transpressioni e transtensioni, faglie trasformati.

***Diapirismo:*** tettonica diapirica, diapirismo salino, pseudodiapirismo, diapirismo di argille, vulcani di fango.

# Struttura e argomenti del Corso – Parte Seconda

## Principi di Rilevamento Geologico

Finalità: imparare i fondamentali per il rilevamento dei dati geologici sul terreno, la loro rappresentazione grafica e statistica e la elaborazione di carte e sezioni geologiche

- ◇ Costruzioni grafiche elementari: Giaciture di piani e linee rette. Linee di intersezione tra superfici.
- ◇ L'individuazione della giacitura di un piano con il metodo dei tre punti.
- ◇ Costruzione della linea di affioramento di un piano. Inclinazione reale e apparente di un piano.
- ◇ Relazione tra lo spessore degli strati e l'ampiezza dell'affioramento.
- ◇ Misura dello spessore reale di una formazione. Spessori apparenti di una formazione e loro misura.
- ◇ Sezioni geologiche: principi per la loro costruzione.
- ◇ Proiezioni stereografiche. Tracce ciclografiche di piani e poli di rette. Misure di angoli tra piani, tra rette complanari, tra rette e piani.

## ***Quanto conoscete di queste cose???????????***

Informazioni astronomiche, meteoritiche e geofisiche.  
Discontinuità. Nucleo, mantello e crosta. Isostasia. Astenosfera e litosfera. Campo magnetico terrestre, paleomagnetismo. La “tettonica a zolle”. Le zolle e i tipi di margine. Giunzioni triple, “punti caldi”, “pennacchi”. Cinematica e meccanismi di movimento delle placche. Celle convettive.

# Struttura del Corso: testi

Mercier J. & Vergely P. - *Tettonica* - Pitagora (1995)

Kearey P., Klepeis K.A. & Vine F.J. – *Global Tectonics* – Wiley-Blackwell (2009)

van der Pluijm B. & Marshak S. - *Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics* - WW Norton & Company. Second Edition (2004)

Doglioni C. – *Tettonica delle placche* - PDF dall'Autore pre-print da «Enciclopedia degli Idrocarburi» Treccani

Doglioni C. – *Elementi di Tettonica* – Casa Editrice il Salice (1993)

Suppe J. – *Principles of Structural Geology* - Prentice-Hall Inc. (1985) out-of-print available from author, copyright 2005 John Suppe

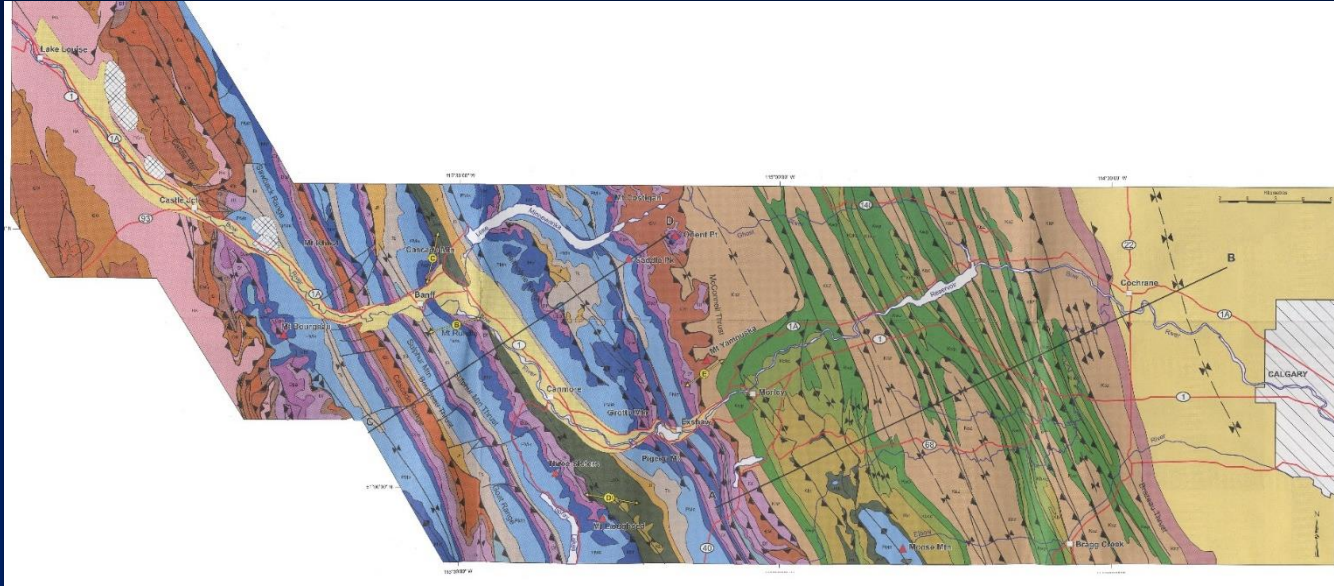
Lisle R., Brabham P. & Barnes J. - *Basic Geological Mapping* - Wiley-Blackwell (2011)

# Geologia Strutturale e Tettonica

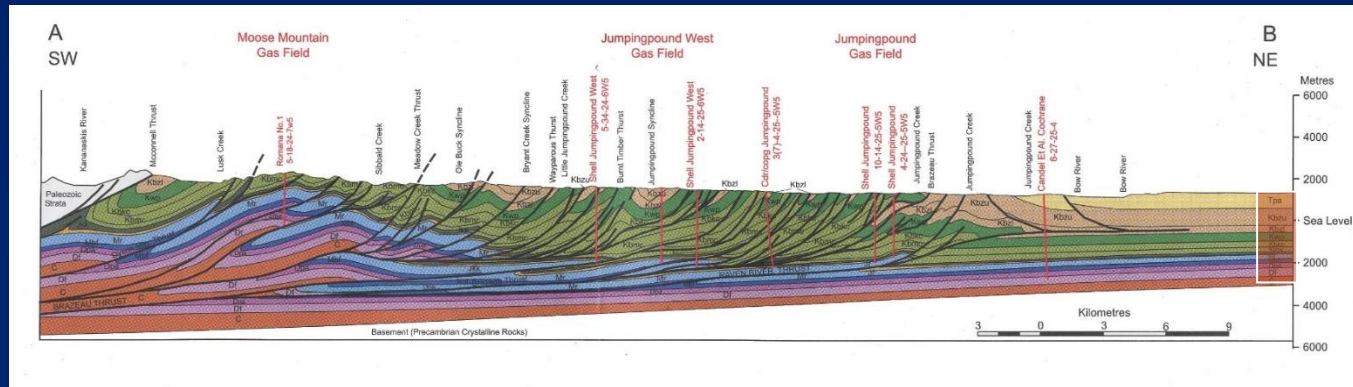
Tettonica = dal greco antico *tekton* (costruttore),  
e *tektonikos* (relativo al costruire)

applicata storicamente alle catene montuose,  
studiando la loro “struttura”,  
ovvero come vari elementi si giustappongono per formare, ad esempio, una  
catena montuosa, vista come un “edificio”.

# Strutture tettoniche (accavallamenti-sovrascorrimenti e pieghe) che deformano un successione stratigrafica (il mattone)



Da Price, 2000; Ollerenshaw, 1978



Da Price, 2000; Ollerenshaw, 1978

Successione non deformata Dal Cambriano al Terziario!!

BANFF AREA STRATIGRAPHIC SUCCESSION								
ERA	PERIOD	EPOCH-STAGE	COLOR	LITHOLOGY and MAP COLOUR	FORMATION	GROUP		
Tert.	Paleo.				PASKAPOO	Tp		
					COALSPUR	Tkc		
Mesozoic	Cretaceous	Maas.			KbZ-u KbZ-1	BRAZEAU		
		Camp.						
		Sant.			WAPIABI		Kwp	ALBERTA
		Cont.			CARDIUM		Kclic	
		Tur.			BLACKSTONE		Kbmc	
		Ceno.					BLAIRMORE Gp.	Kbl
	Albian				CADOMIN			
	Aptian				KOOTENAY	JKk		
	Neo.							
	Jurassic				FERNIE	Jf		
	Triassic				SULPHUR MTN	Ts	SPRAY RIVER	
	Permian				ISHBEL GP.			
	Paleozoic	Penn.				KANANASKIS	PMR	
					TUNNEL MTN			
					ETHERINGTON			
Mississippian		Chest.			MT. HEAD	RUNDLE MR		
		Mera.			LIVINGSTONE			
		Osaq.			BANFF		Mbr	
Devonian		Kinder.			PALLISER	Dpa		
		Fam.			ALEXO			
		Fras.			SOUTHESK	FAIRHOLME DR		
					CAIRN			
				FLUME				
Ordovician				SKOKI	O			
				OUTRAM SURVEY PEAK	Co			
					LYNX CL			
Cambrian	Croik.			ARCTOMYS	Cepa			
				PIKA				
	Alber.			ELDON	EM			
				STEPHEN				
Wauc.			CATHEDRAL	Cwcs				
			MT. WHYTE	Ce				
Precambrian				HA	GOG			
					MIETTIE			



## Modelli sperimentali in sabbia (sand o clay box)

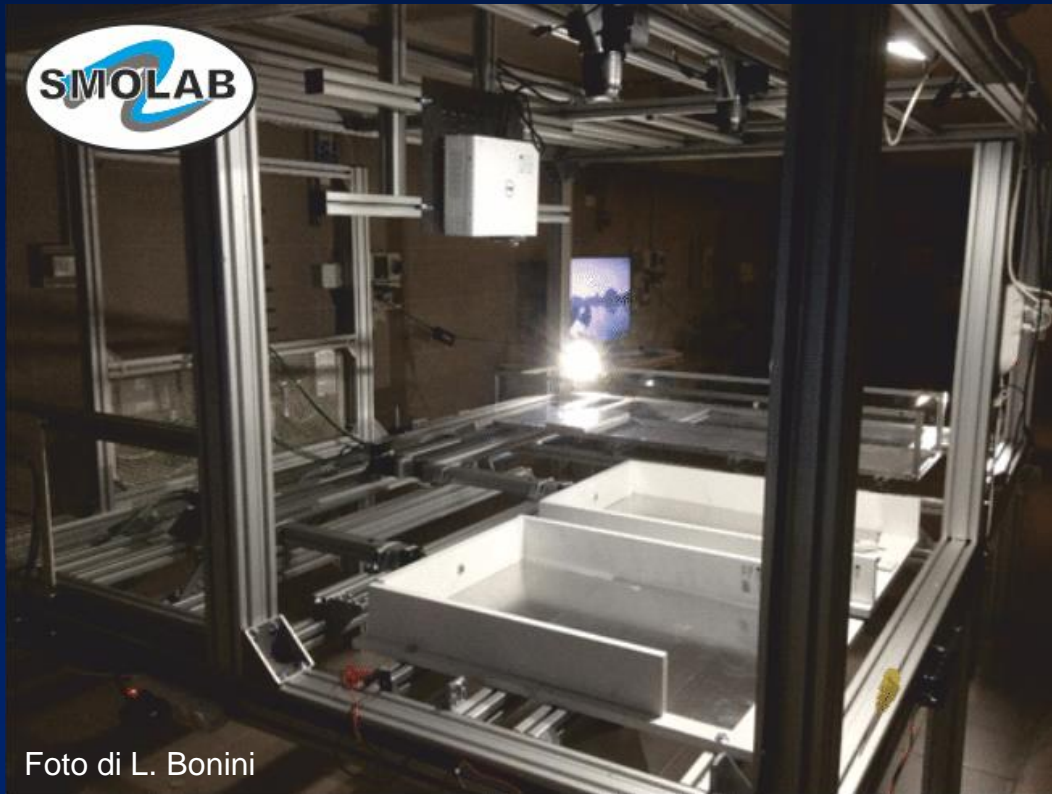


Foto di L. Bonini

Smolab, Università di Trieste

# Geologia Strutturale e Tettonica

da “**struttura**” → Geologia Strutturale,  
cioè quella branca della Geologia che studia le deformazioni delle  
rocce e della crosta terrestre, le loro conseguenze (strutture tettoniche)  
e cerca di capire come e quando si sono generate, di ricostruire la  
situazione pre-deformazione (retrodeformazione).

## **Cosa studiano Geologia Strutturale e Tettonica?**

**Geometrie (disposizione delle strutture tettoniche nello spazio, rapporti tra di loro e le strutture non tettoniche)**

**Cinematica (modalità di enucleazione e movimento delle strutture nel tempo)**

**Dinamica (forze e lavoro..... Geodinamica)**

G.A. Pini



**Strutture tettoniche**

**fragili**



Da Ramsay & Huber, 1987

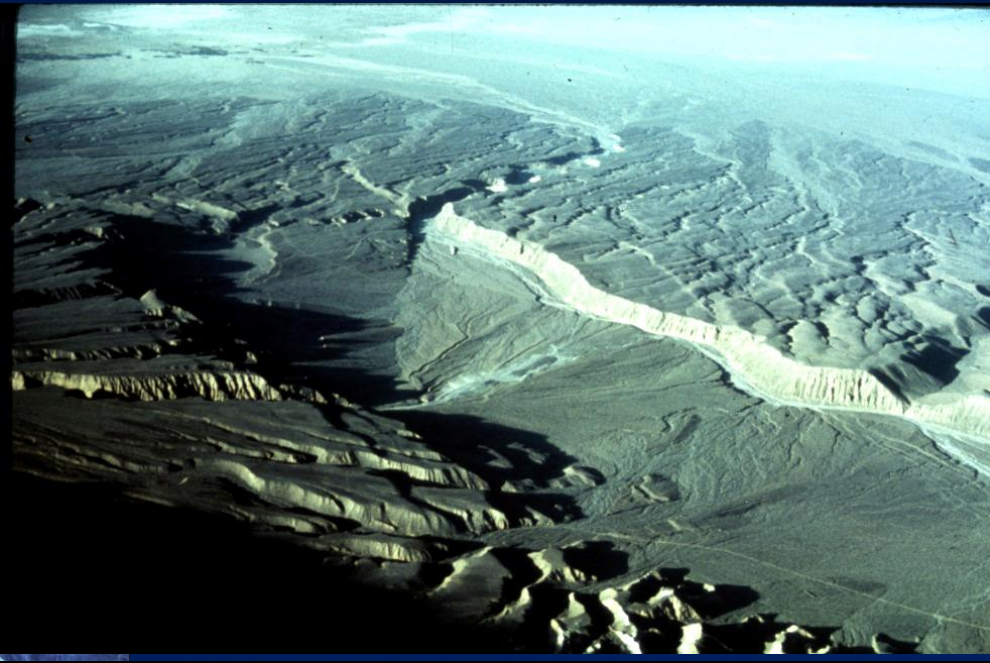
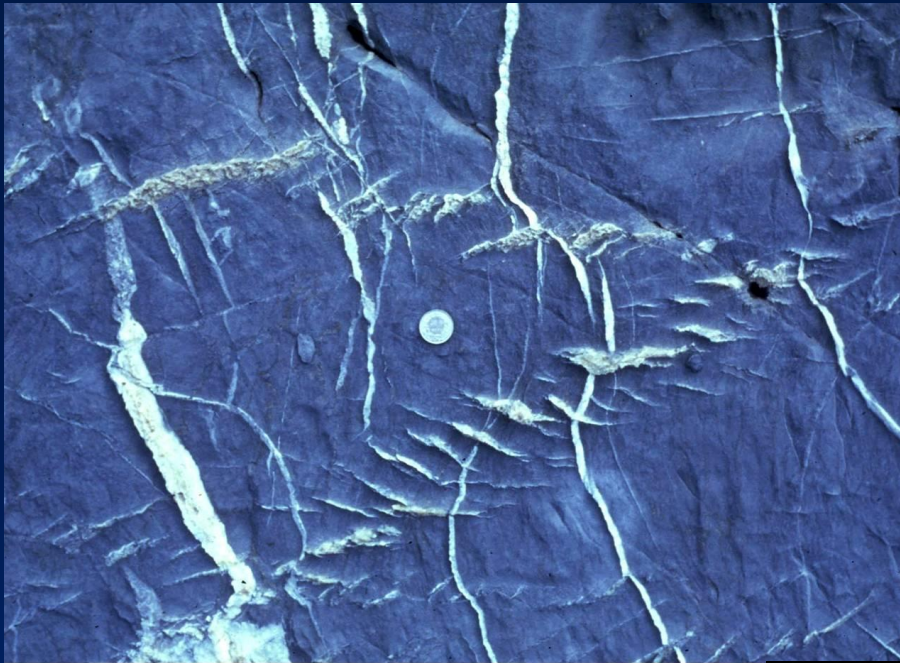


**Strutture tettoniche duttili**

Da Ramsay & Huber, 1987



Da Ramsay and Huber, 1987

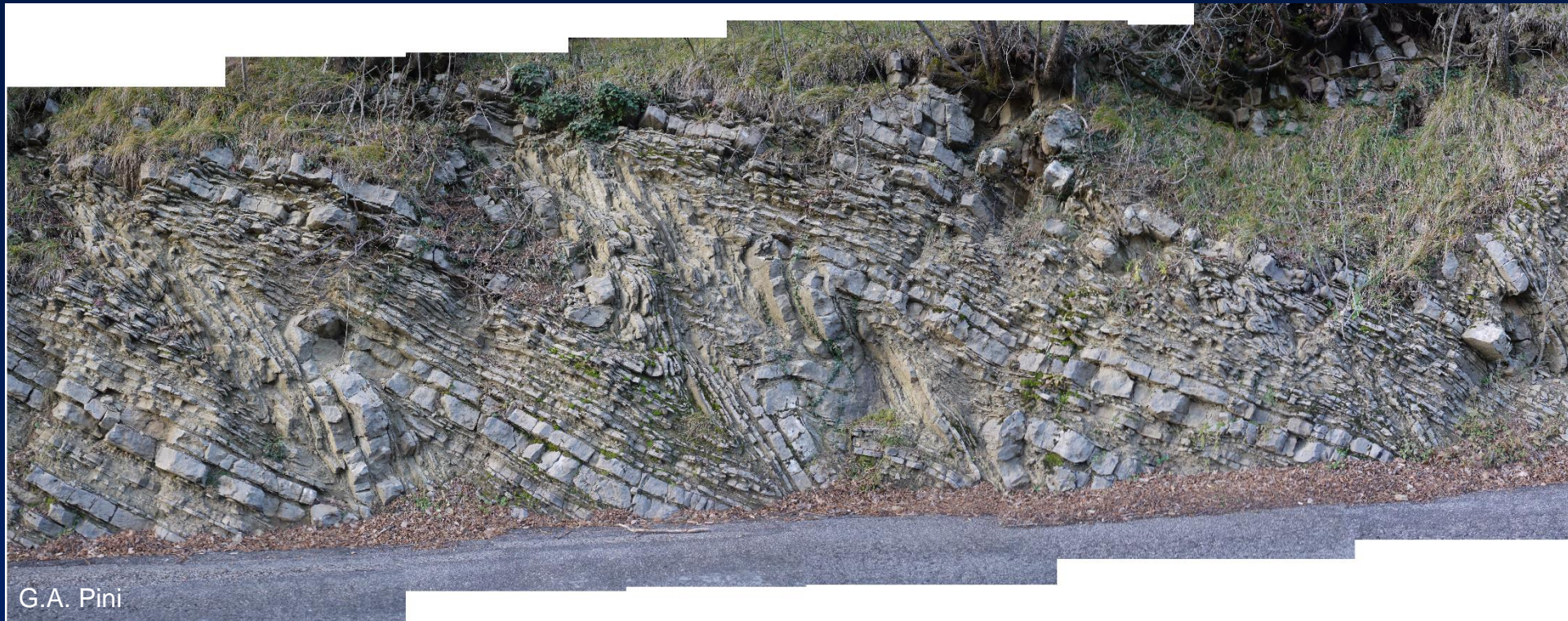


Da Ramsay and Huber, 1987



Foto di L. Selli





## Strutture tettoniche fragili:

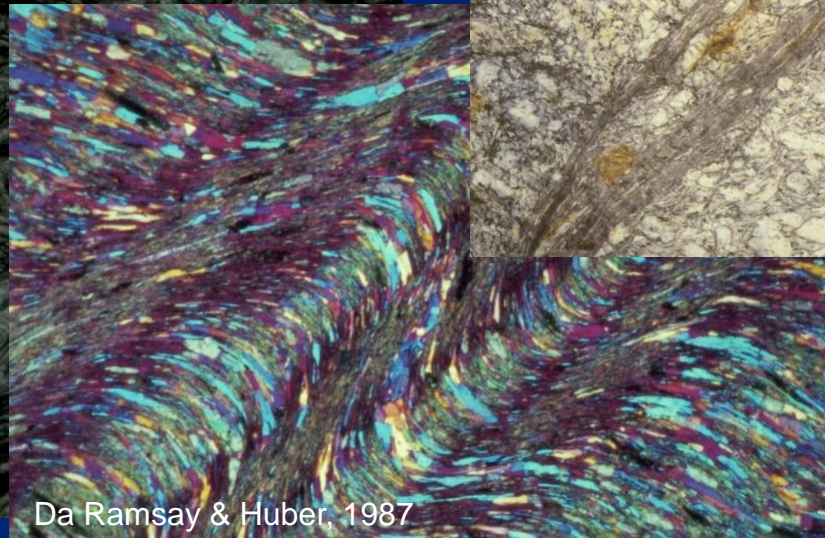
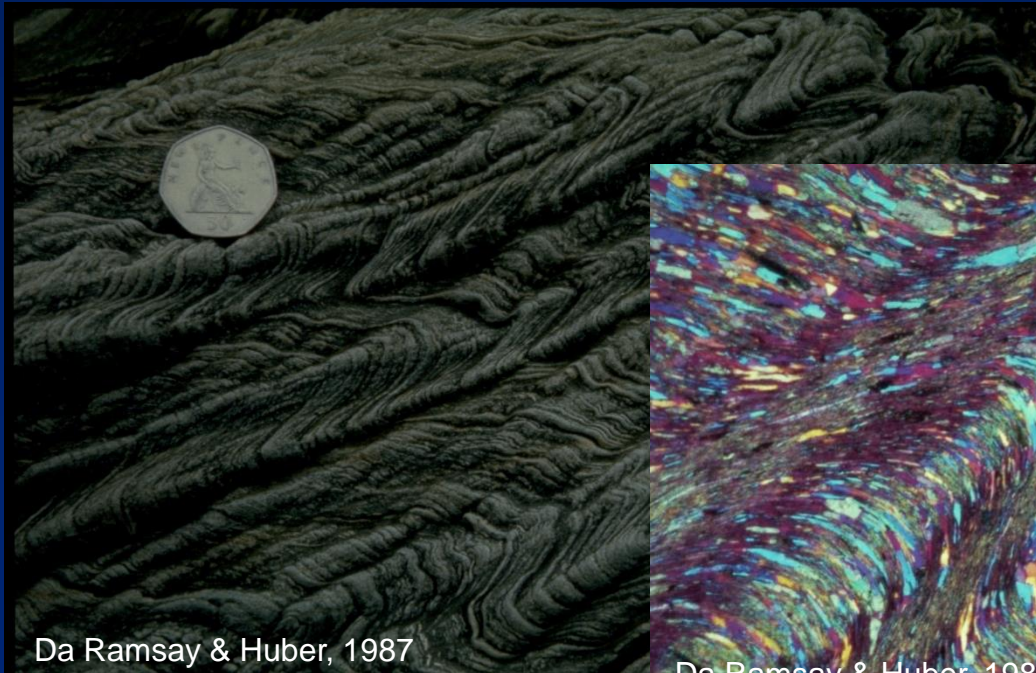
Caratteri comuni: deformazione di tipo “discontinuo”, ovvero la roccia è interessata da piani di discontinuità, evidenti alla scala dell’osservazione diretta sul terreno (mesoscopica). Le varie superfici si distinguono per il tipo di movimento dei lembi.

NB, per favore = anche le **pieghe** possono svilupparsi in un regime deformativo “fragile”.

## Strutture tettoniche duttili:

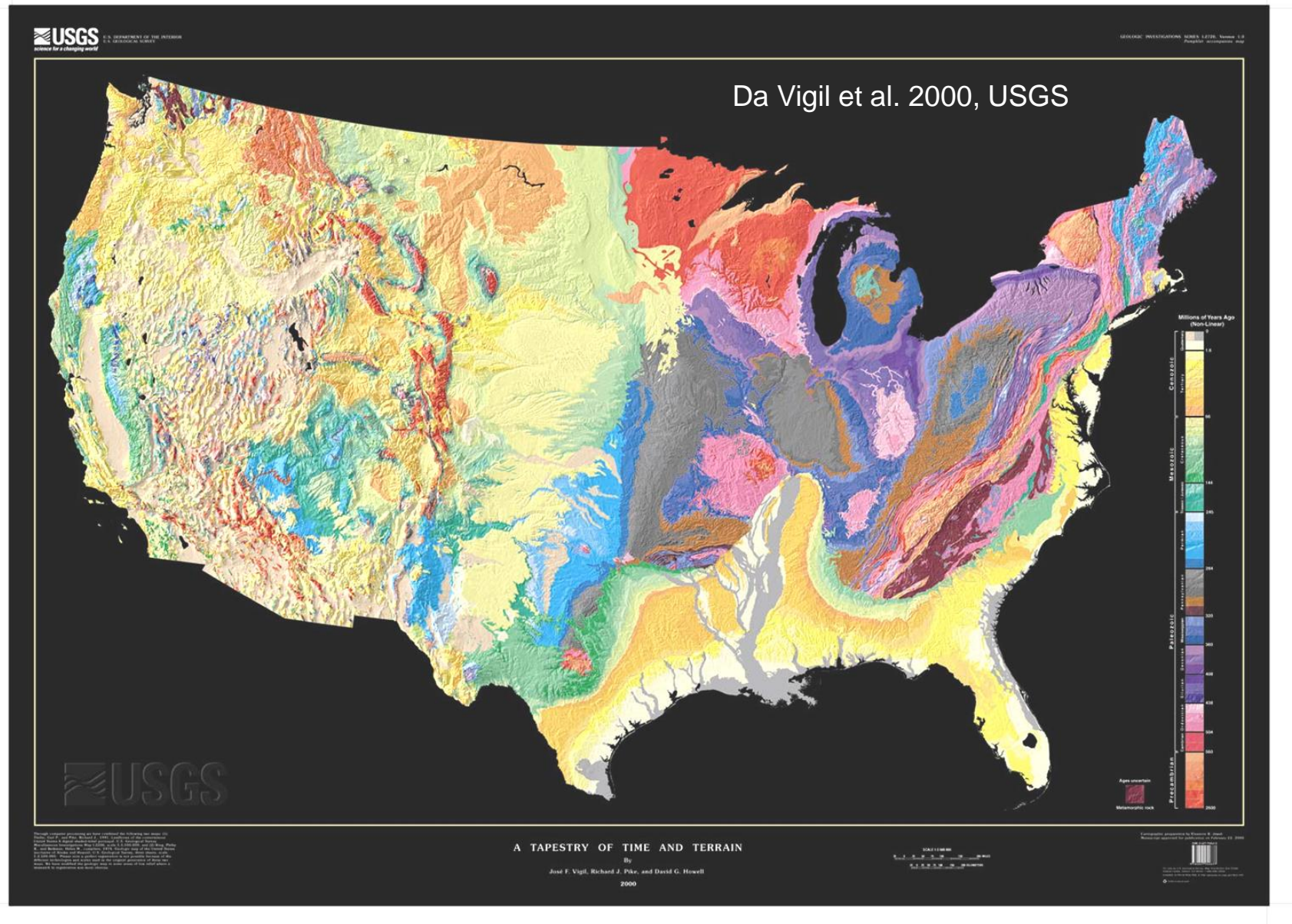
Caratteri comuni: deformazione di tipo “continuo”, ovvero la roccia è non interessata da piani di discontinuità alla scala dell’osservazione diretta sul terreno (mesoscopica). Le superfici esistenti (piani di foliazione) sono dovute a distribuzione differenziale e/o isorientamento di minerali e granuli e alla crescita di nuovi minerali (in stretta connessione con il metamorfismo)

NB: Le pieghe possono svilupparsi anche nel regime deformativo “duttile”



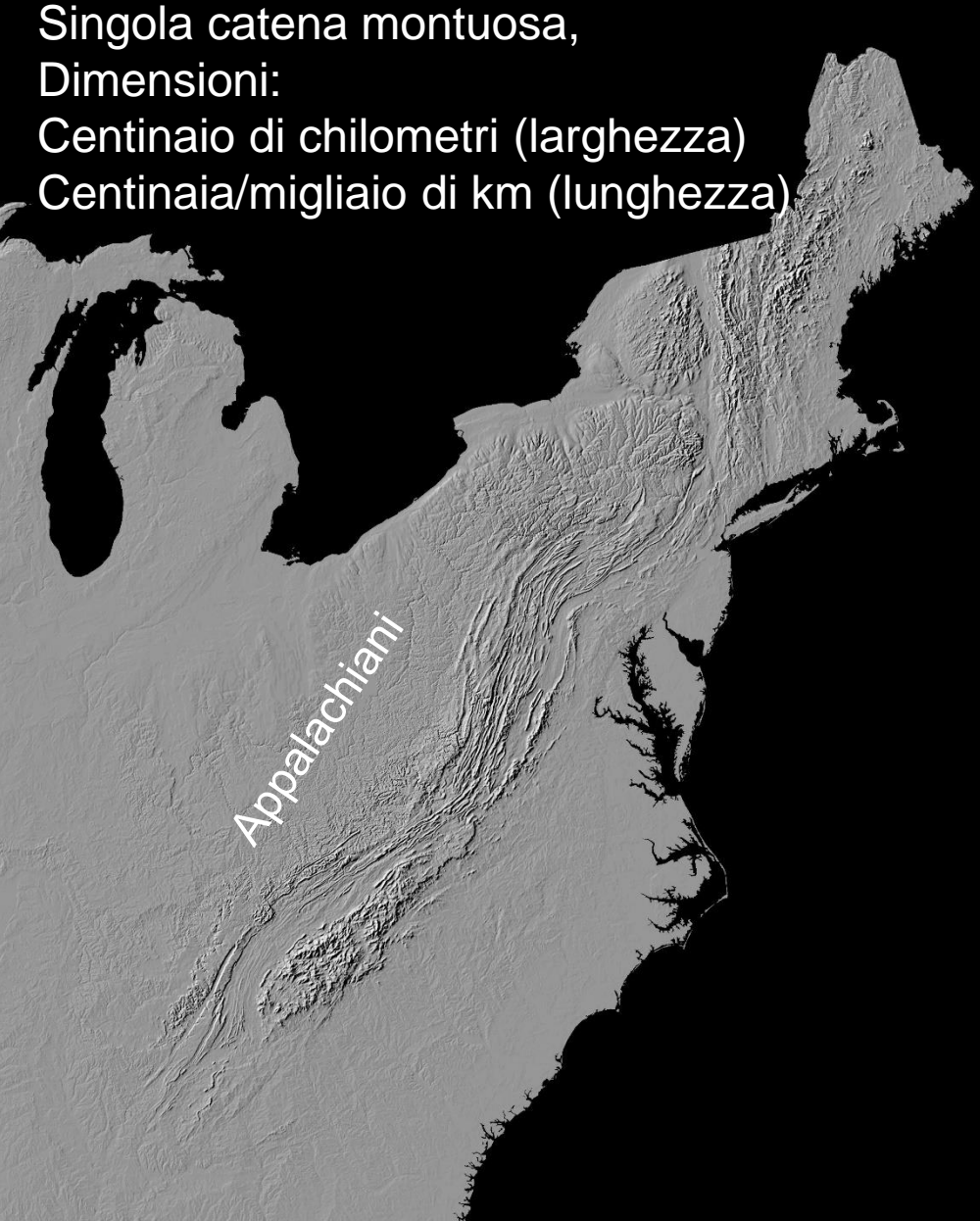


# Alcuni esempi di strutture tettoniche alle diverse scale



Intero continente, migliaia di chilometri, più catene montuose.

# Appalachiani (Appalachians Mts.)



Singola catena montuosa,  
Dimensioni:  
Centinaio di chilometri (larghezza)  
Centinaia/migliaia di km (lunghezza)

Da mosaico foto satellitari NOAA (fonte USGS)

Shaded relief da DEM, Theling & Pike, 1991,  
Miscellaneous Investigations Series Map I-2206USGS

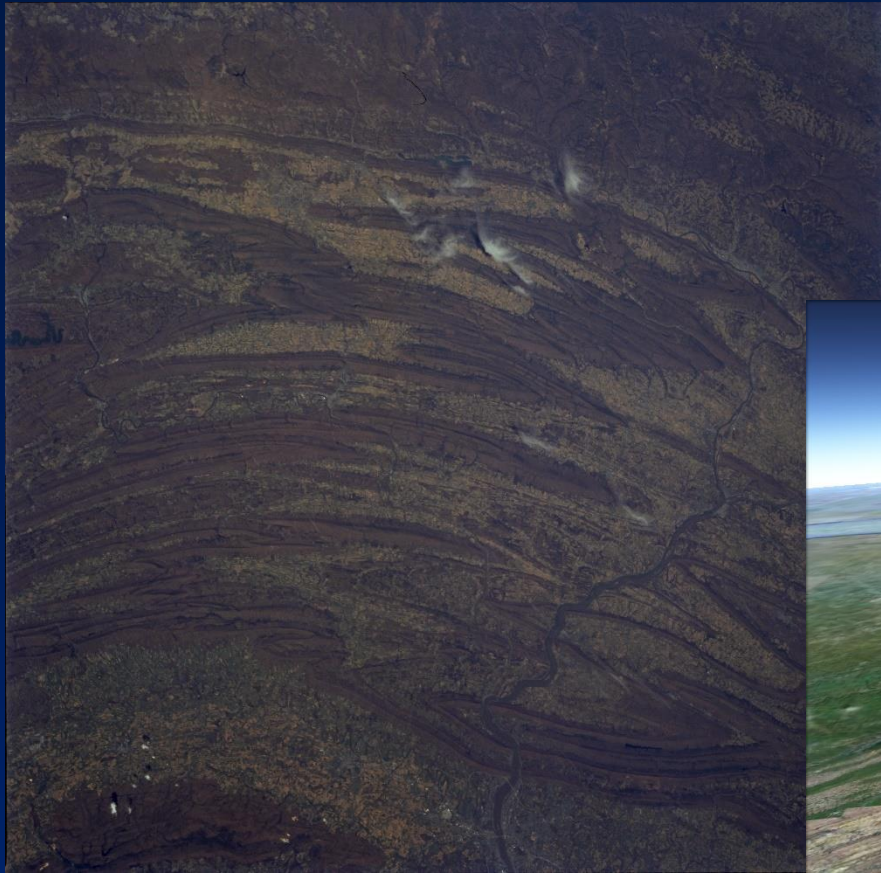


James Mountains, Australia - NASA Photo ID  
PSTS61B-44-6,  
<https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/>



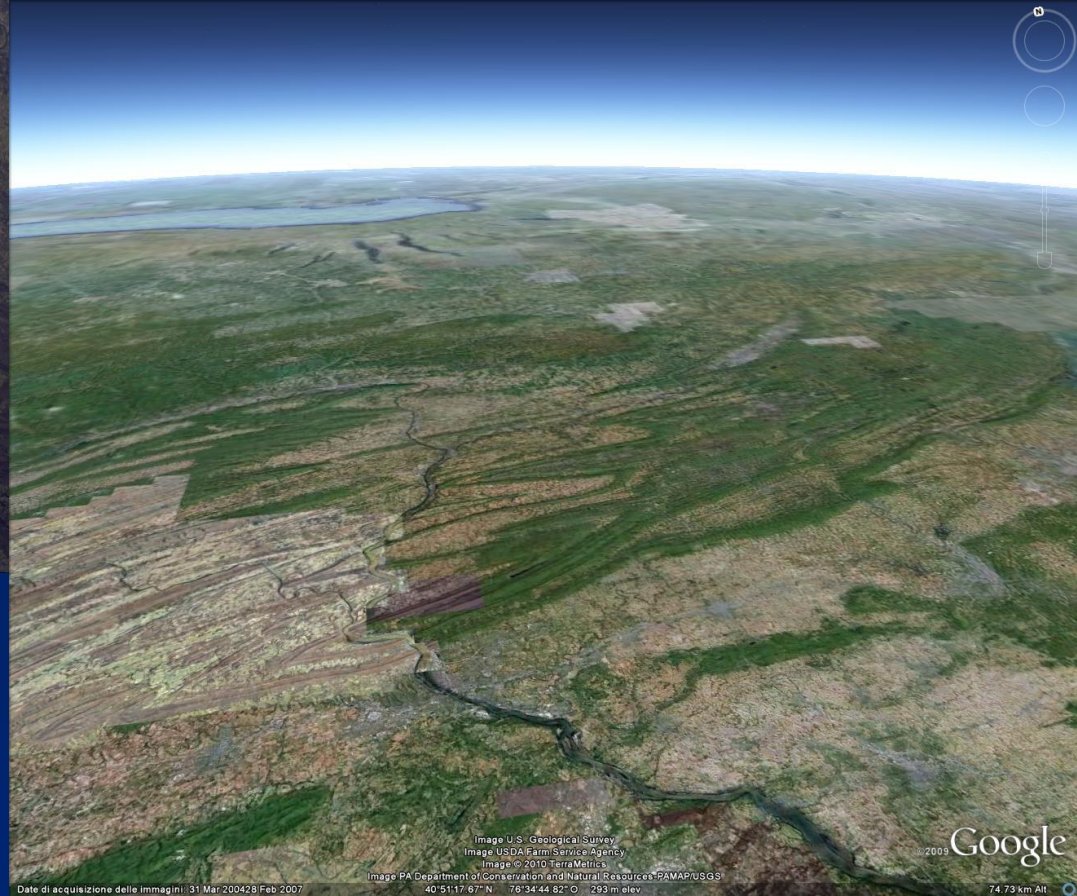
Zagros Folded Belt, Fars, Iran - Da Google Earth

Pieghe da foto da satellite  
Decine di chilometri



Appalachian Mountains, South Central Pennsylvania - NASA Photo ID STS059-205-67, <https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/>

Pieghe da foto da satellite  
Decine di chilometri - chilometri



Appalachian Mountains, South Central Pennsylvania  
Da Google Earth



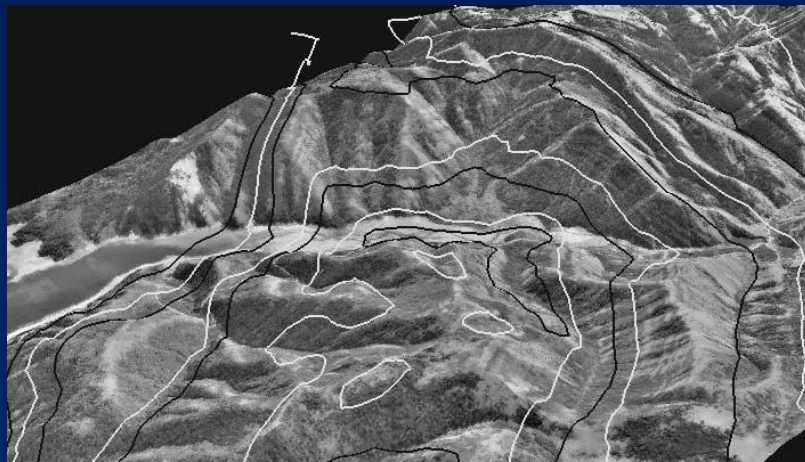
Pieghe da foto da satellite  
Decine di chilometri-chilometri

© 2010 Europa Technologies  
© 2010 Cnes/Spot Image  
© 2010 Google  
Image © 2010 GeoEye

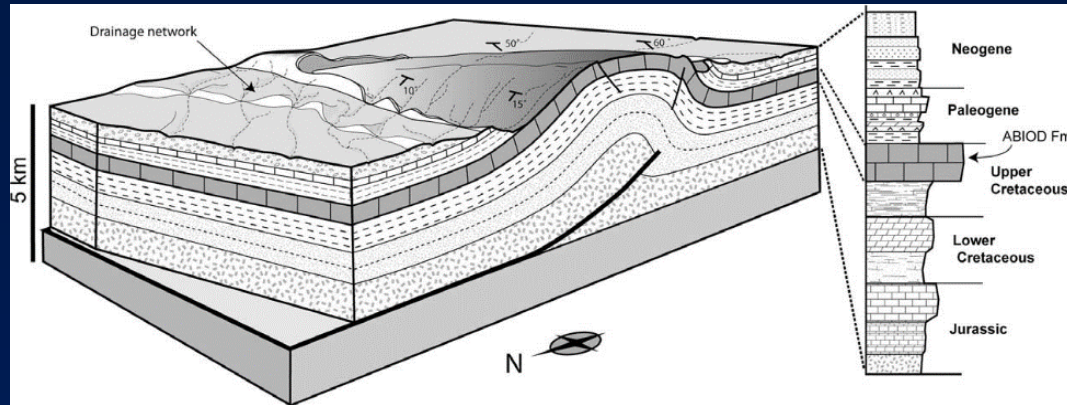
© 2009 Google



Da Banerjee & Mitra, 2005



Pieghe da foto da satellite:  
evidenza dell'assetto della  
stratificazione  
Chilometri



Da Ahmadi et al. 2006



4000 metri!

Vulcaniti quaternarie

Rocce metamorfiche  
Precambriane

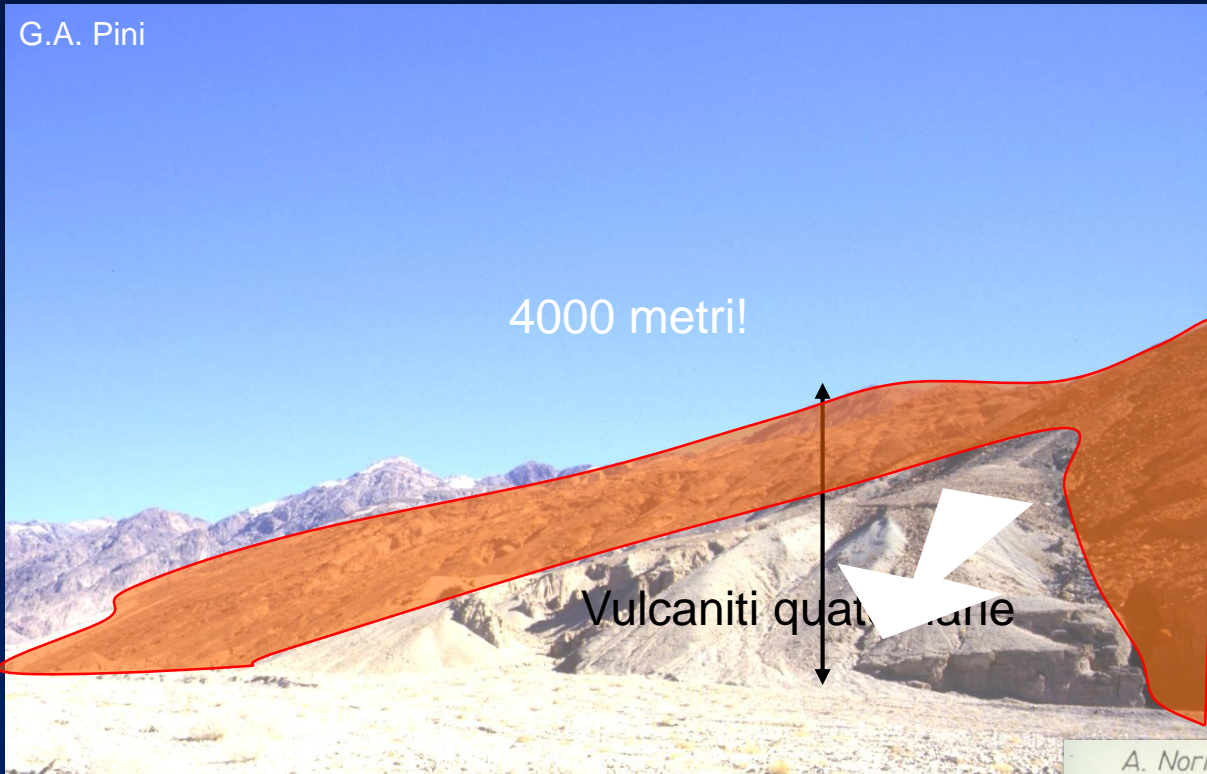
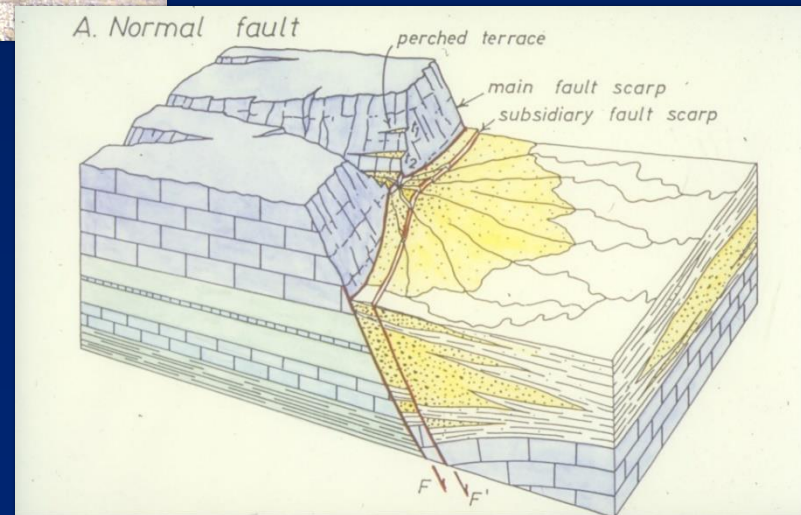


Foto aeree, foto panoramiche  
Migliaia di metri  
Faglie normali a basso angolo, Valle  
della Morte, NV-CA, USA



Ramsay & Huber, 1987

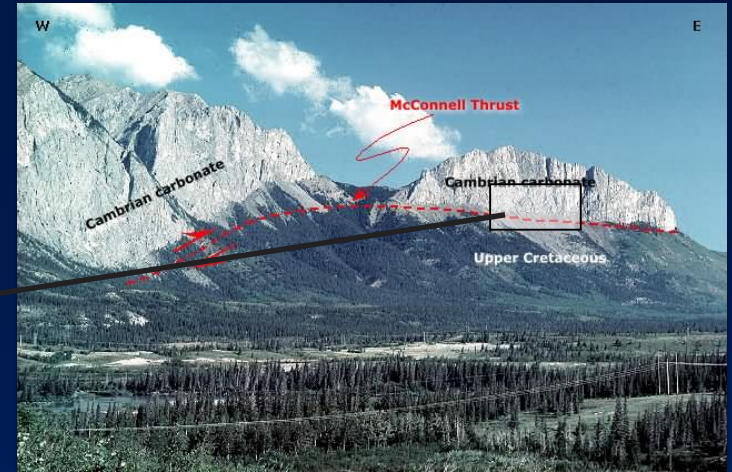


G.A. Pini

Affioramenti, dalla decina di metri al metro ....



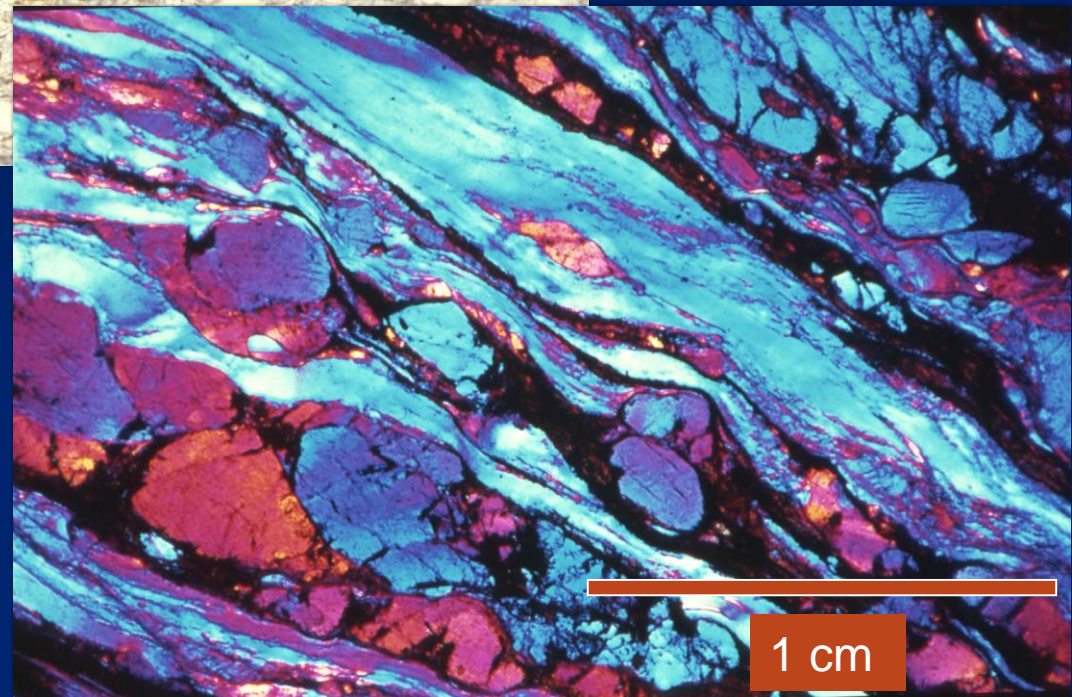
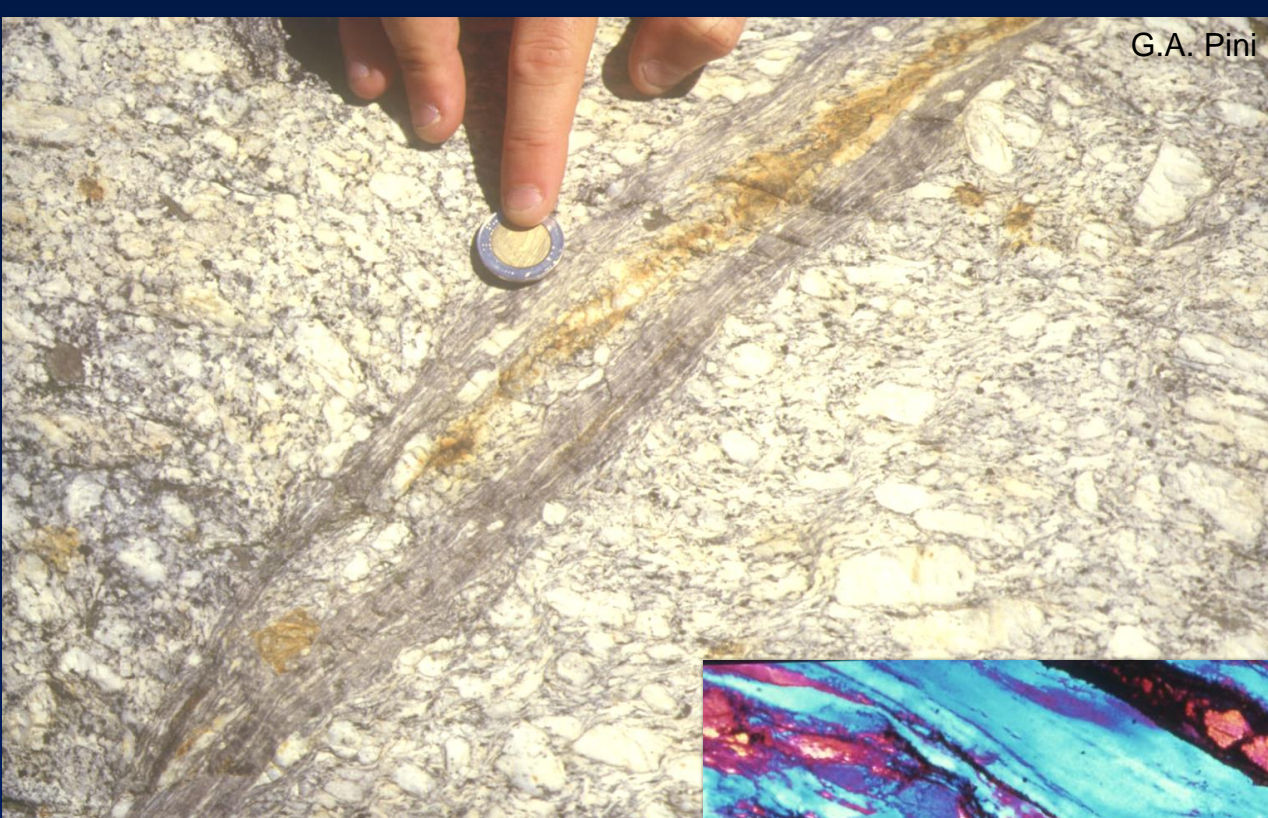
# Sovrascorrimento "McConnell", Monte Jamnuska, Canadian Rocky Mountains



Da Allmendinger R.W., 2008-2012

Affioramenti,  
dalla decina di metri  
al metro ....., al decimetro,  
al centimetro

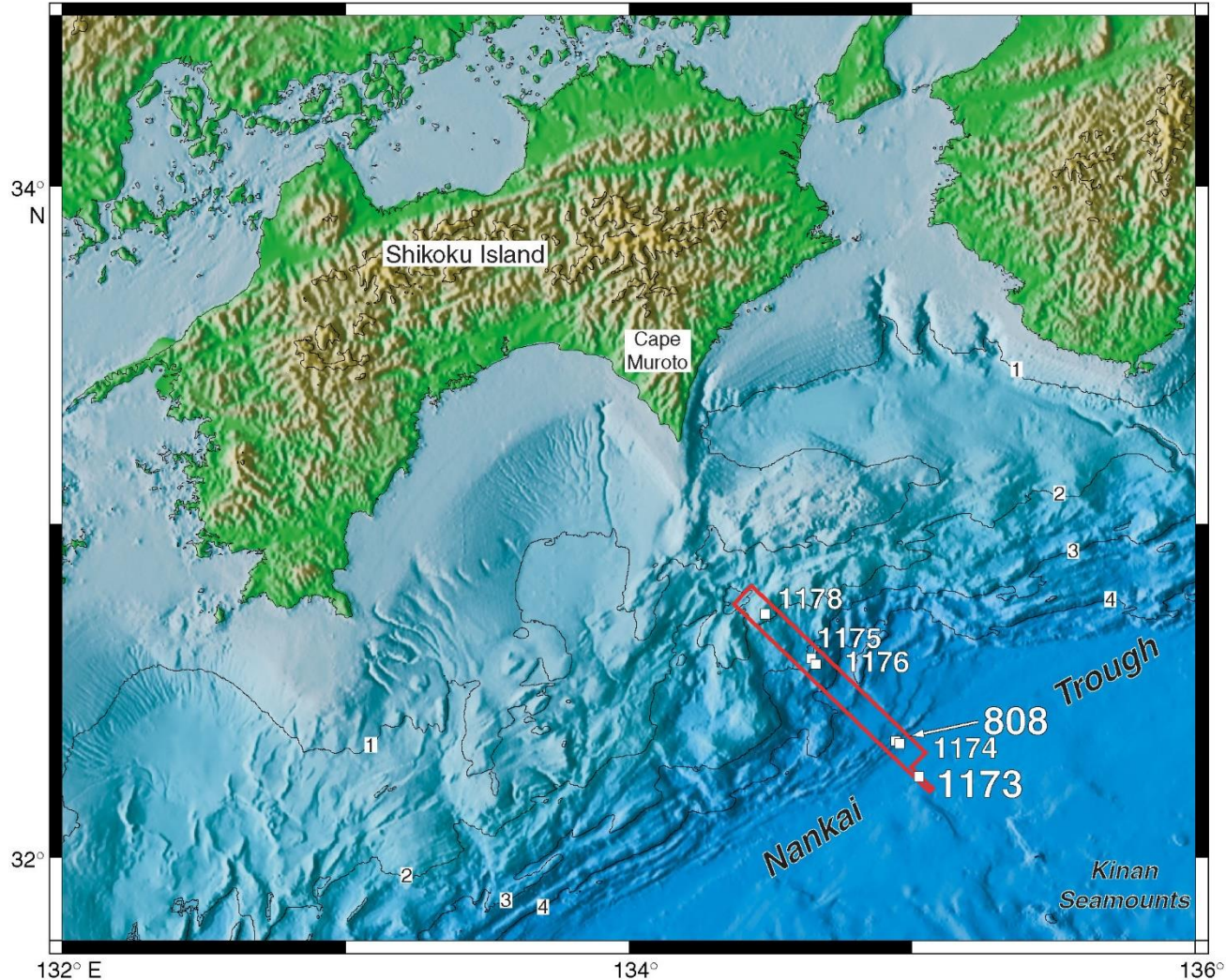




Dall'affioramento, al campione alla sezione sottile .....

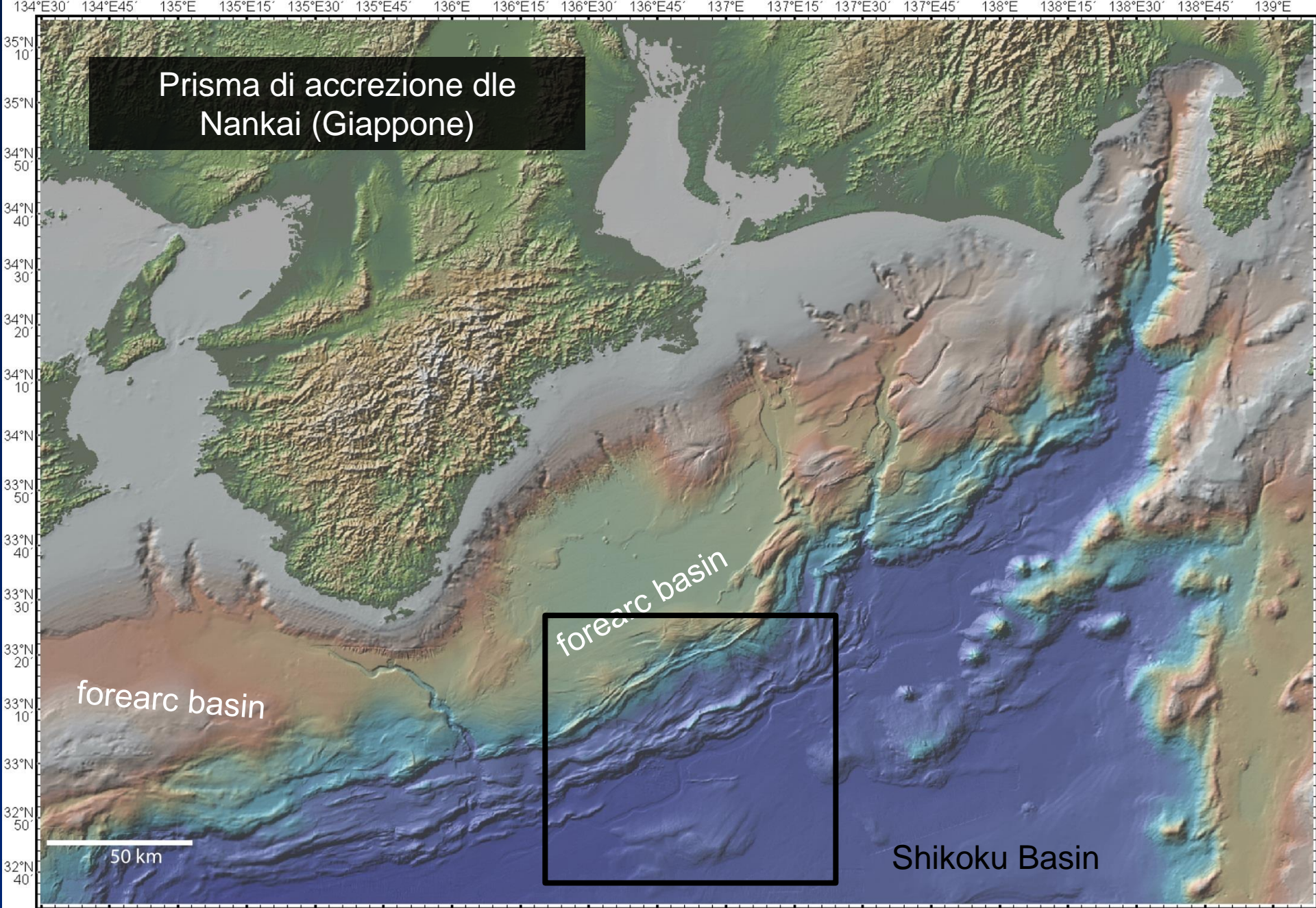
# Informazioni dai programmi DSDP e ODP, prismi di accrezione, subduzione crosta oceanica

**Figure F1.** Map showing locations of Leg 190 and 196 sites. The red box outlines the location of the three-dimensional seismic survey. Yellow numbers indicate sites revisited during Leg 196. Depth contours are in kilometers.



Leg 190-196 Site Map,  
ODP Publications, Scientific  
Results

[http://www-  
odp.tamu.edu/publications/1901  
96SR/19096TOC.HTM](http://www-odp.tamu.edu/publications/190196SR/19096TOC.HTM)



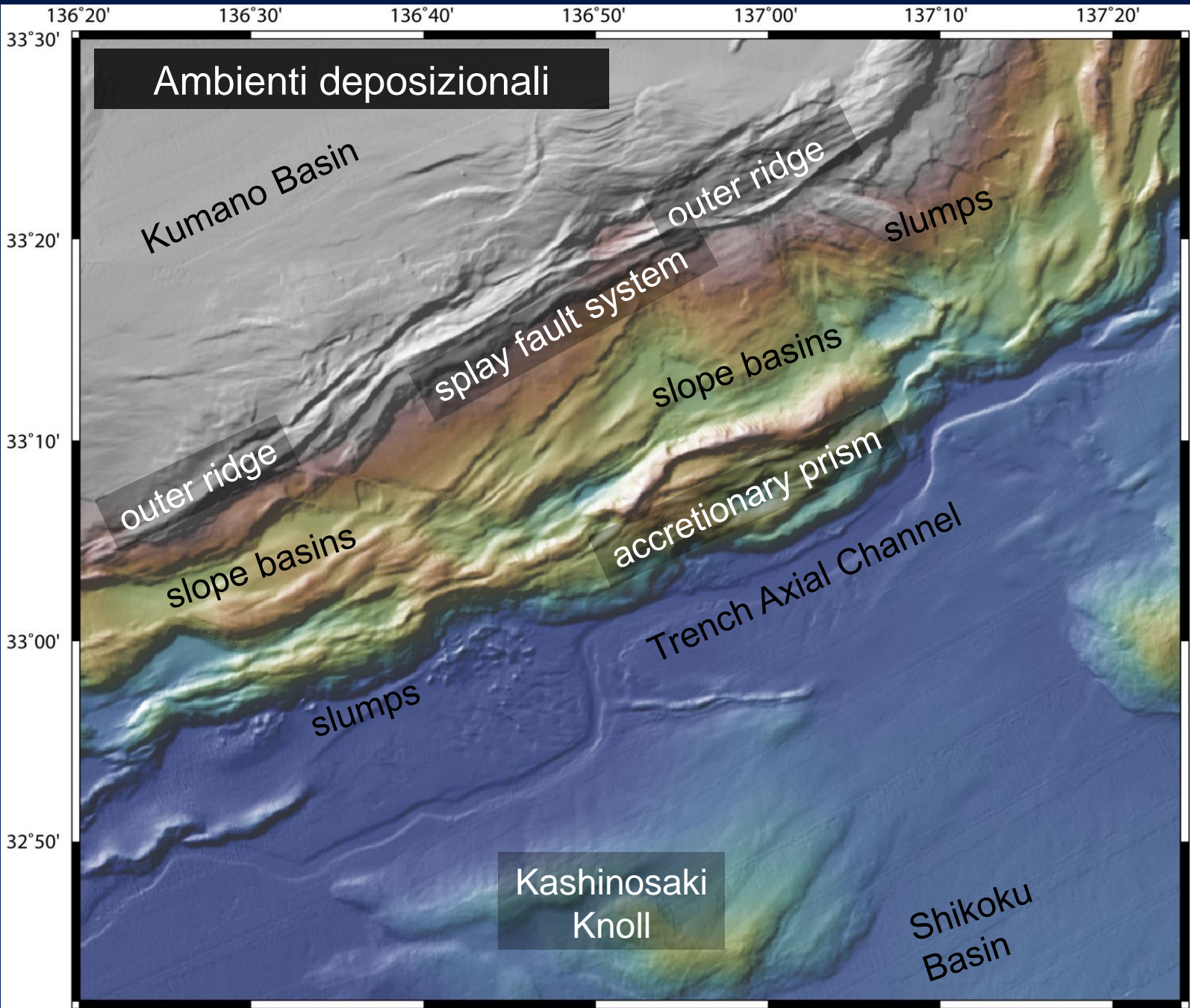
Prisma di accrezione de  
Nankai (Giappone)

forearc basin

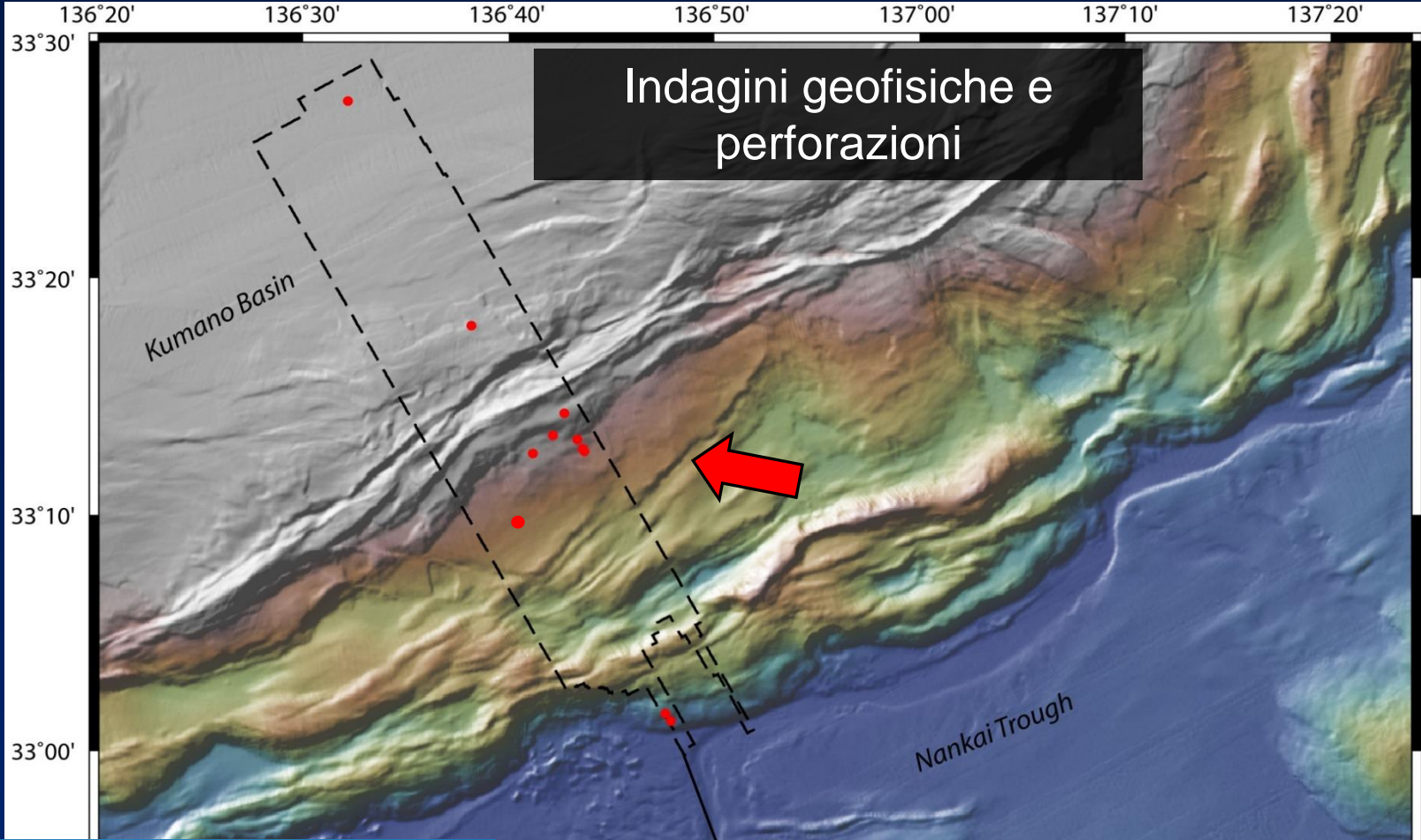
forearc basin

Shikoku Basin

50 km



# Indagini geofisiche e perforazioni



IODP Expeditions 314,  
315, 316, 319, 322, 332,  
333



Kumano 3D Seismic Survey, 2006;  
*M/V Nordic Explorer*



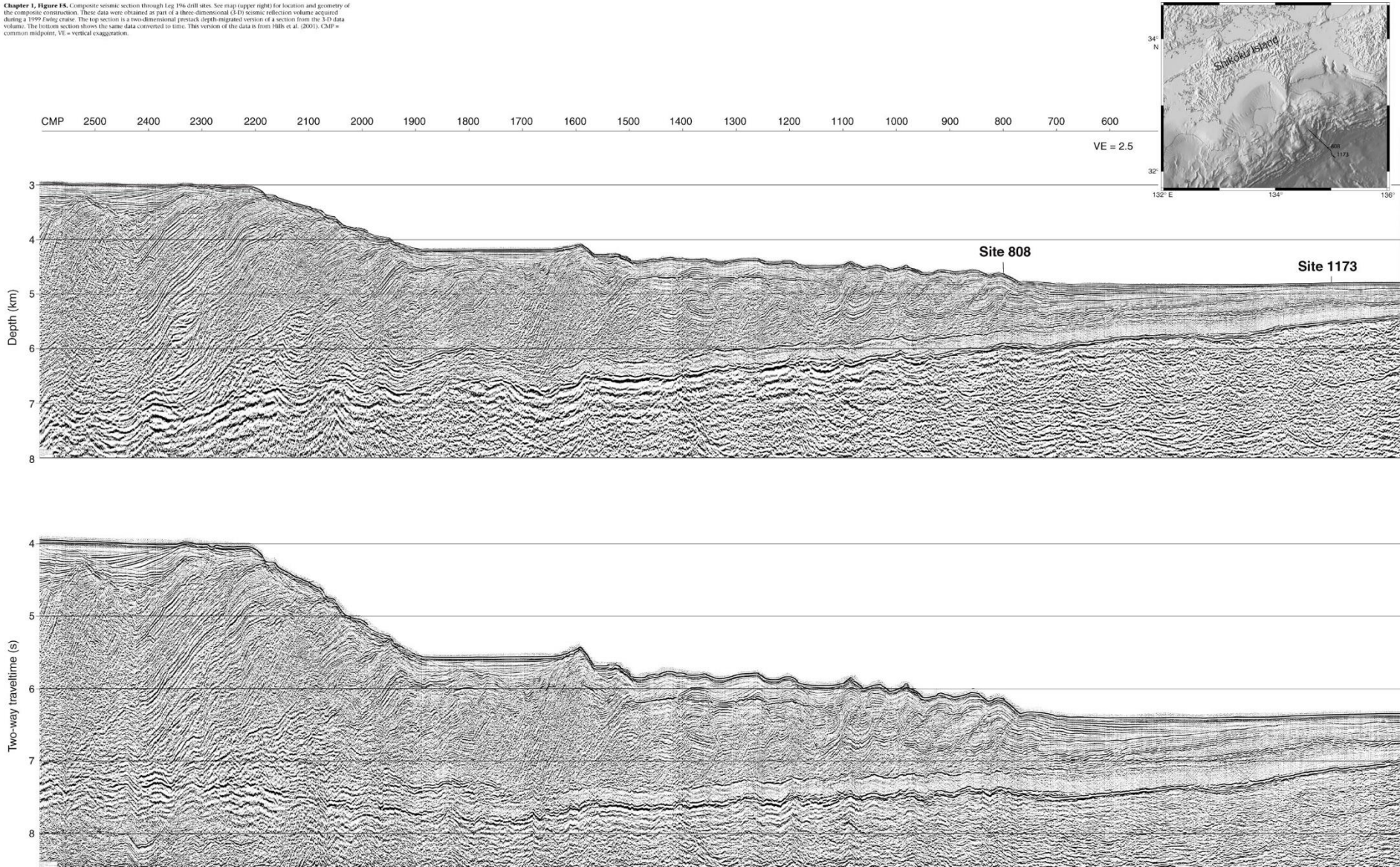
Moore et al., 2009

Cortesy G.F. Moore

# ODP Initial Reports Leg 196, Prismi di accrezione, subduzione di crosta oceanica, Profili sismici

ODP Proceedings, Initial Reports, Volume 196:  
Chapter 1, Figure 15  
Chapter 1, Figure 16  
Chapter 1, Figure 17

Chapter 1, Figure 15. Composite seismic section through Leg 196 drill sites. See map (upper right) for location and geometry of the composite construction. These data were obtained as part of a three-dimensional 3-D seismic reflection volume acquired during a 1999 towing cruise. The top section is a two-dimensional prestack depth migrated version of a section from the 3-D data volume. The bottom section shows the same data converted to time. This version of the data is from Hill et al. (2001). CMP = common midpoint, VE = vertical exaggeration.



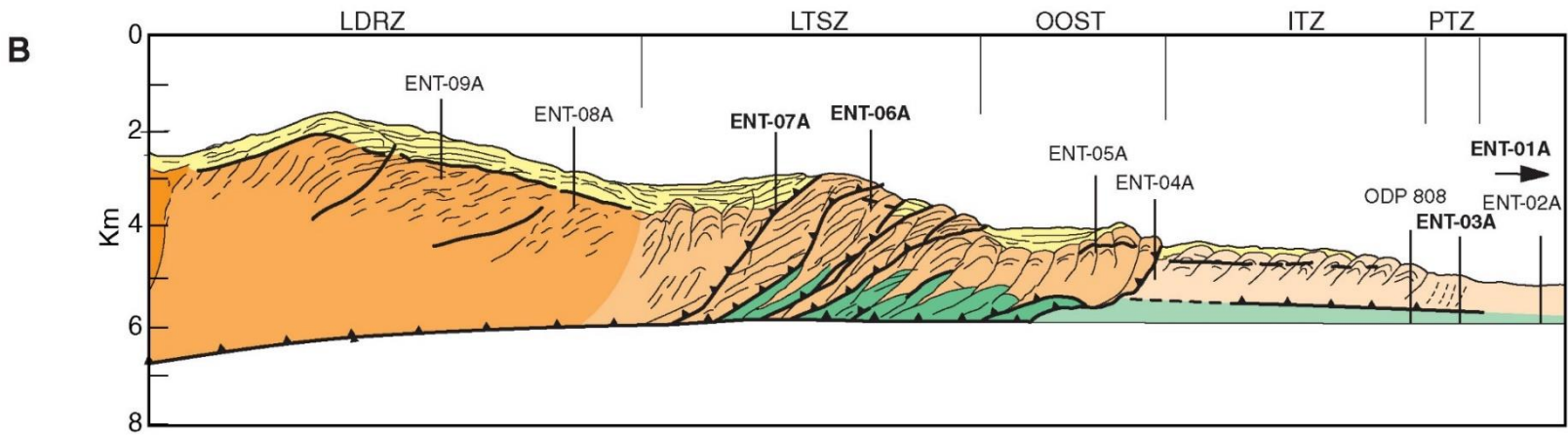
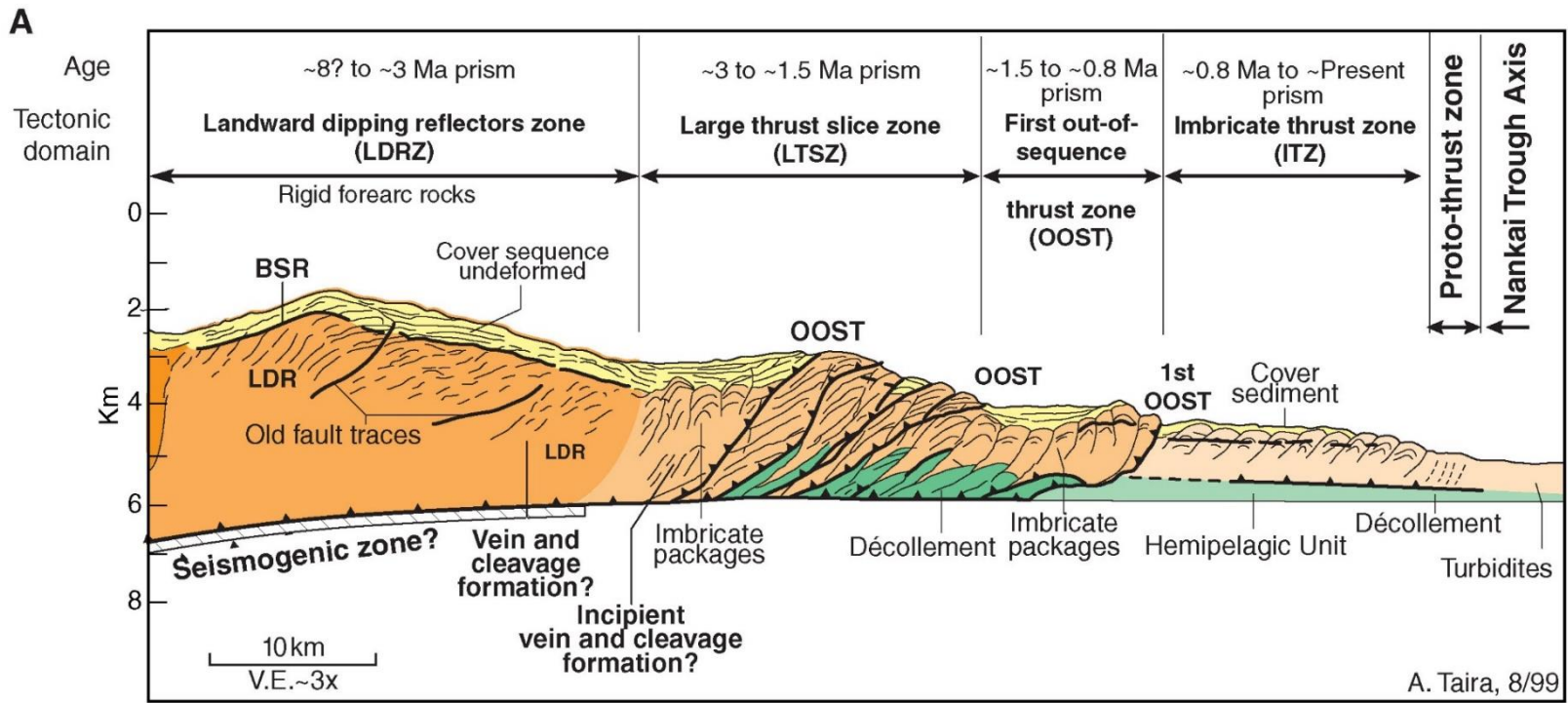
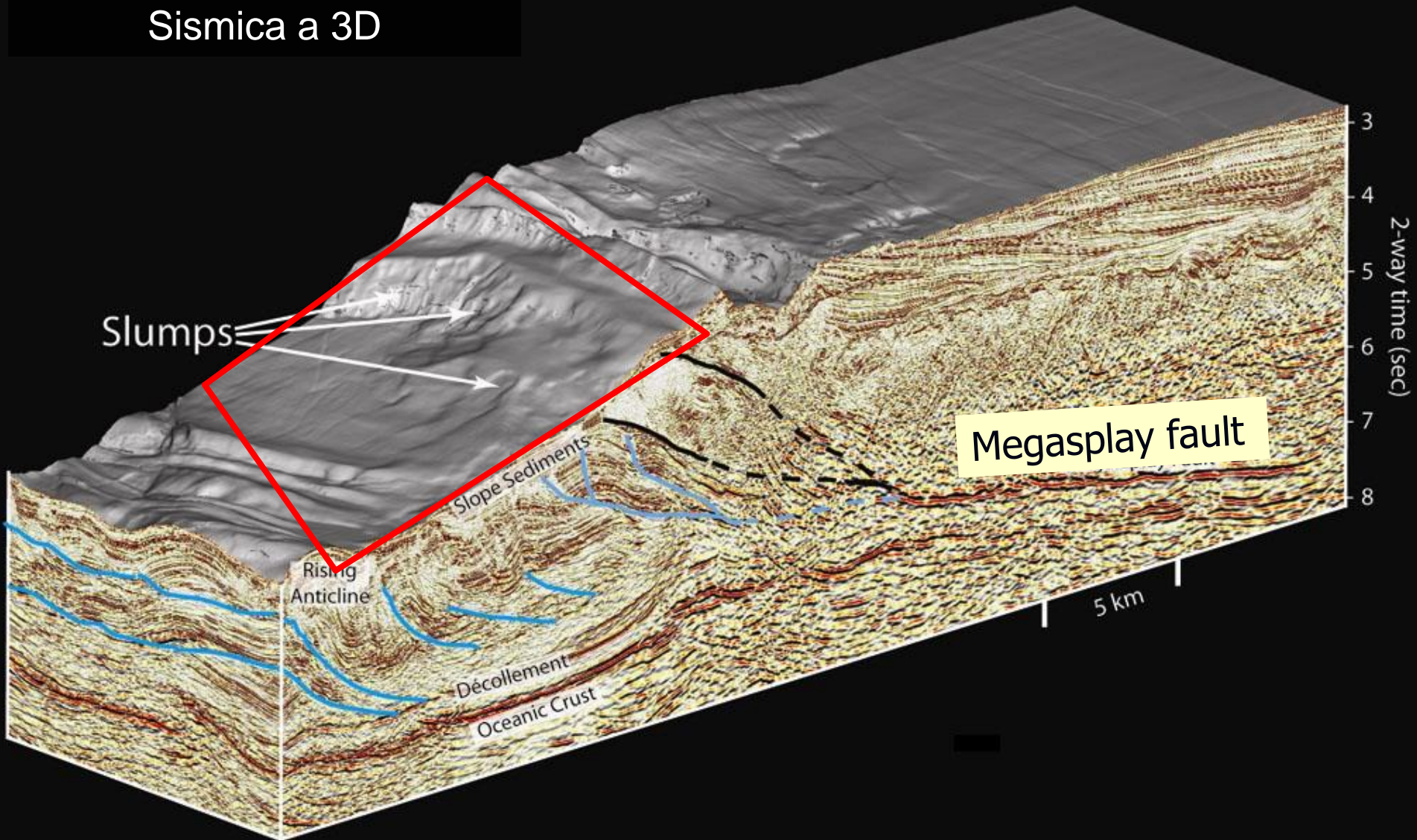


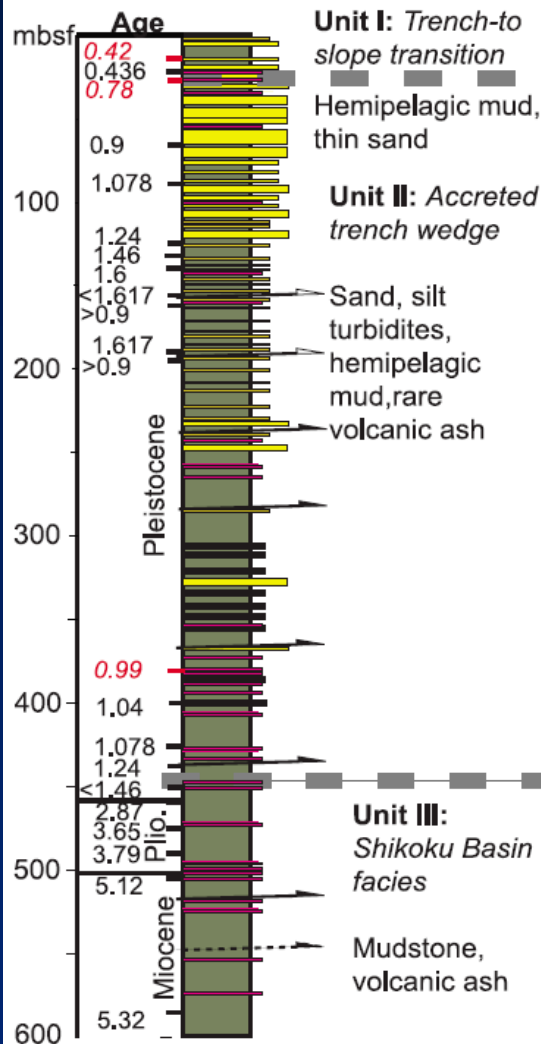
Figure 3



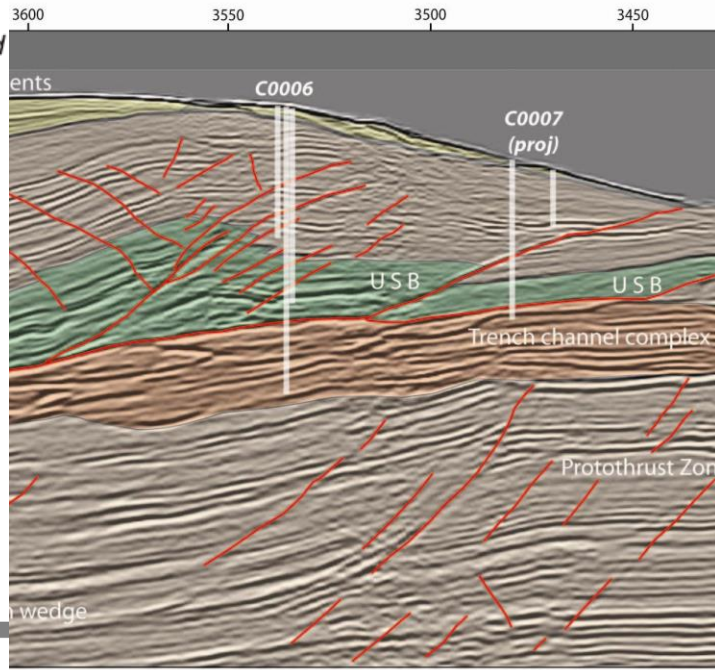
# Sismica a 3D



# Site C0006

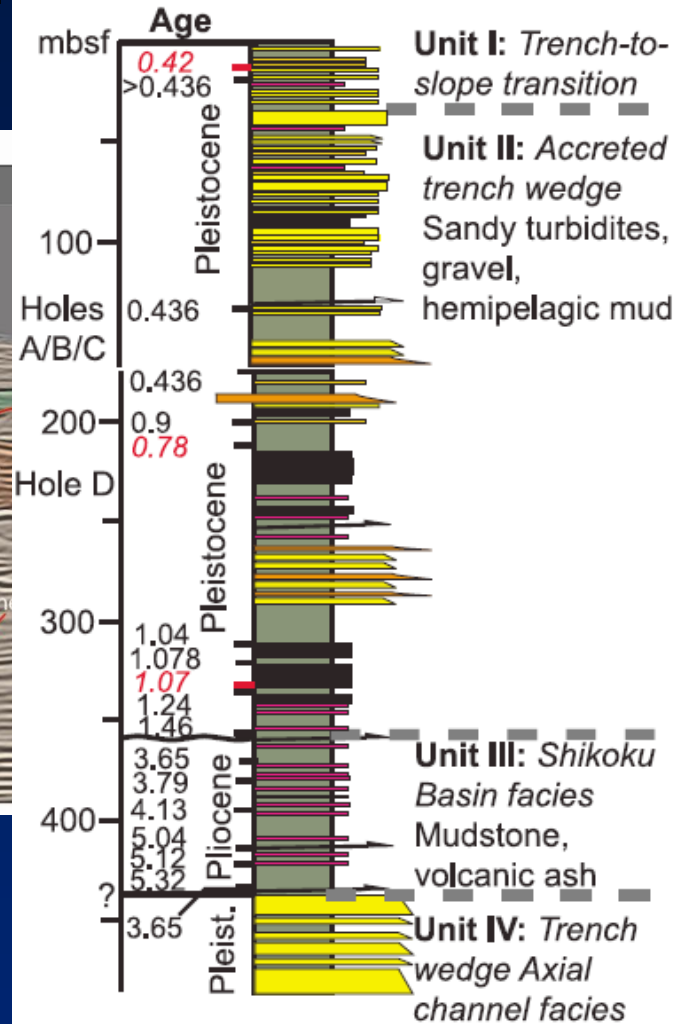


# Pozzi di esplorazione

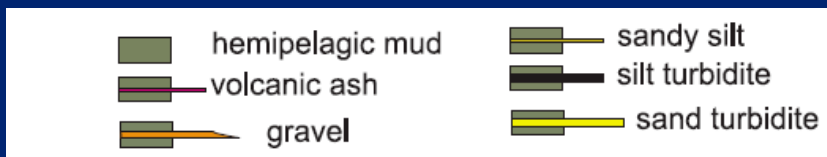


Moore et al., 2009

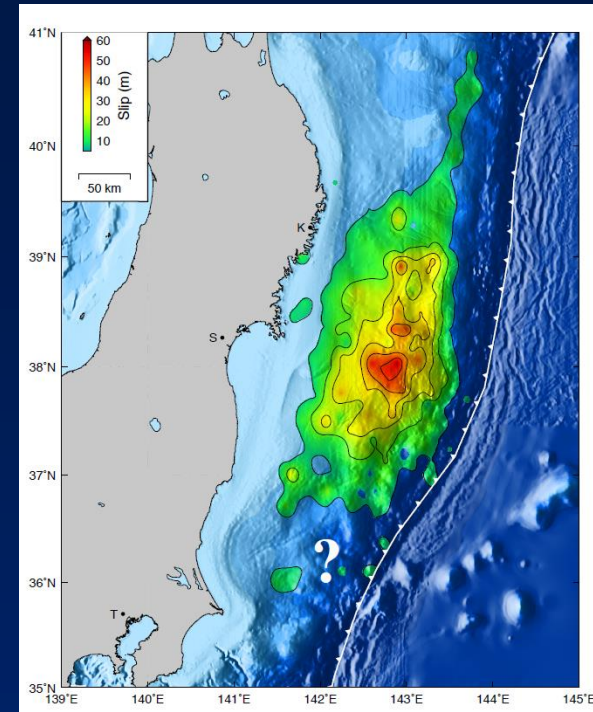
# Site C0007



Kinoshita et al., 2009

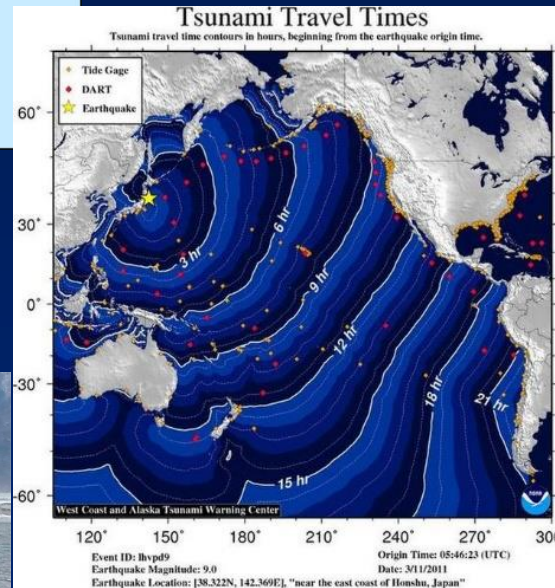


Elaborazione Caltech



Tohoku-oki, movimento stimato della faglia poco dopo il sisma

Fossa e prisma del Nankai, sisma e tsunami di Tohoku-oki («Fukushima»), M. 9,1

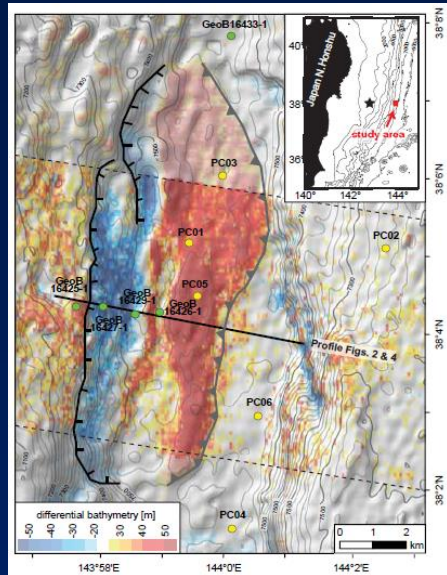


NOAA/NWS

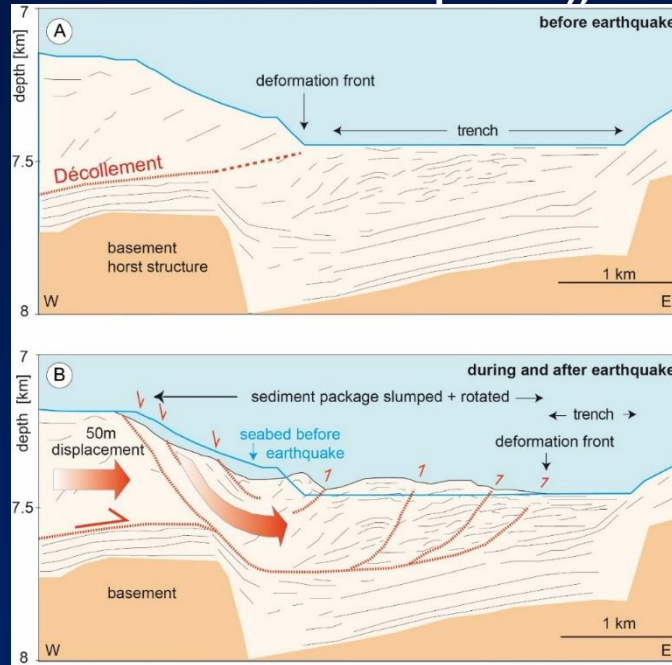


Photo from San Francisco Department of Emergency (SFDEM Blog)

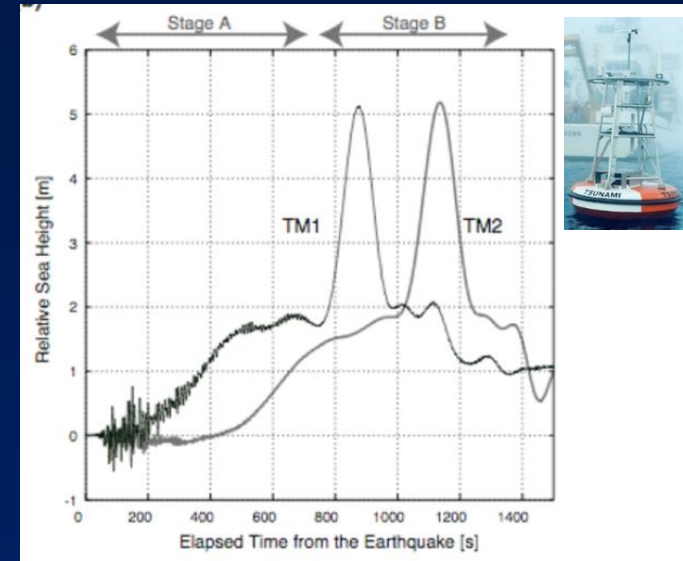
# Faglie normali e collasso gravitativo del prisma legato all'attività della faglia inversa alla base del prisma (e all'innalzamento-spostamento ad E del prisma)



Strasser et al, 2013

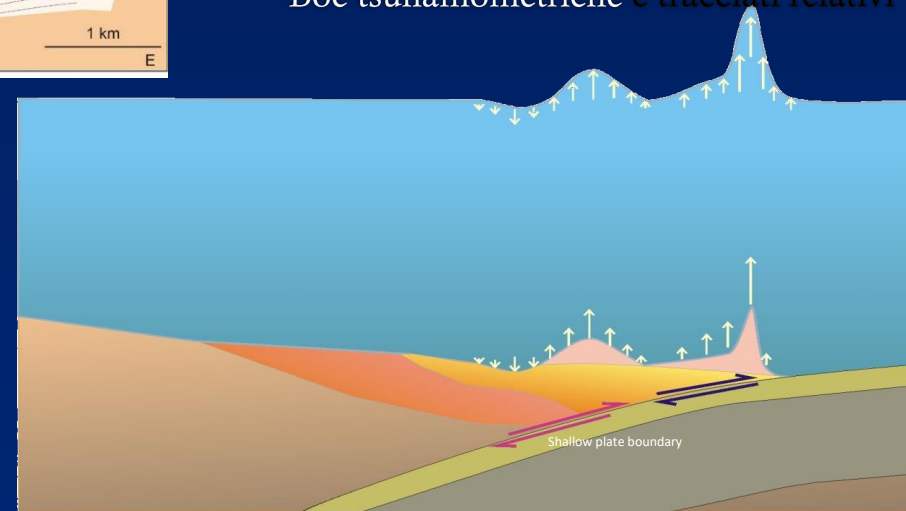


Strasser et al, 2013



Boe tsunamometriche e tracciati relativi

**11 Marzo 2011, maremoto Tohoku-oki  
(per cortesia di Michael Strasser, University of  
Innsbruck)**



**Somma delle onde di tsunami (spostamento del terreno per terremoto e spostamento per frana-collasso) in fase!!**

Immagini e fotografie tratte da:

- Ahmadi R. et al., 2006. The geomorphologic responses to hinge migration in the fault-related folds in the Southern Tunisian Atlas. *Journal of Structural Geology* 28, 721–728.
- Allmendinger R.W., 2008-2012  
[http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/RWA/GS\\_326/photo\\_galleries/thrust\\_faults/mcconnell.html](http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/RWA/GS_326/photo_galleries/thrust_faults/mcconnell.html)
- Banerjee S., Mitra S., 2005. Fold–thrust styles in the Absaroka thrust sheet, Caribou National Forest area, Idaho–Wyoming thrust belt. *Journal of Structural Geology* 27, 51–65.
- Kinoshita M., Tobin H., Thu M.K., and the Expedition 314 Scientists, 2009. NanTroSEIZE Stage 1A: NanTroSEIZE LWD Transect, Integrated Ocean Drilling Program Expedition 314 Preliminary Report [http://publications.iodp.org/preliminary\\_report/314/314PR.PDF](http://publications.iodp.org/preliminary_report/314/314PR.PDF)
- Moore G.F., Bangs N.L., Taira A., Kuramoto S., Pangborn E., Tobin H.J., 2007. Three-Dimensional Splay Fault Geometry and Implications for Tsunami Generation. *Science* 318, 1128.
- Moore G.F. et al., 2009. Structural and seismic stratigraphic framework of the NanTroSEIZE Stage 1 transect. *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, Volume 314/315/316.*
- ODP Publications <http://www-odp.tamu.edu/publications/>
- Ollerenshaw, N.C., 1978, *Geology, Calgary, West of the Fifth Meridian, Alberta-British Columbia:* in Geological Survey of Canada, Map 1457A, scale:1/250,000.
- Price R.A., 2000. *The Southern Canadian Rockies: Evolution of a Foreland Thrust and Fold Belt.*
- Ramsay J. G., Huber M. I., 1984. *The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 1: Strain analysis.* Academic Press Inc.
- Ramsay J. G., Huber M. I., 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures.* Academic Press Inc.
- Selli L., 2006. *Appunti dalle lezioni di Geologia Strutturale.*
- Strasser M. et al., 2013. A slump in the trench: Tracking the impact of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geology*, 41 (8), 935–938.