



Le variazioni del livello del lago Albano: informazioni dal fondale e ipotesi di ricostruzione storica



Marco Anzidei
marco.anzidei@ingv.it

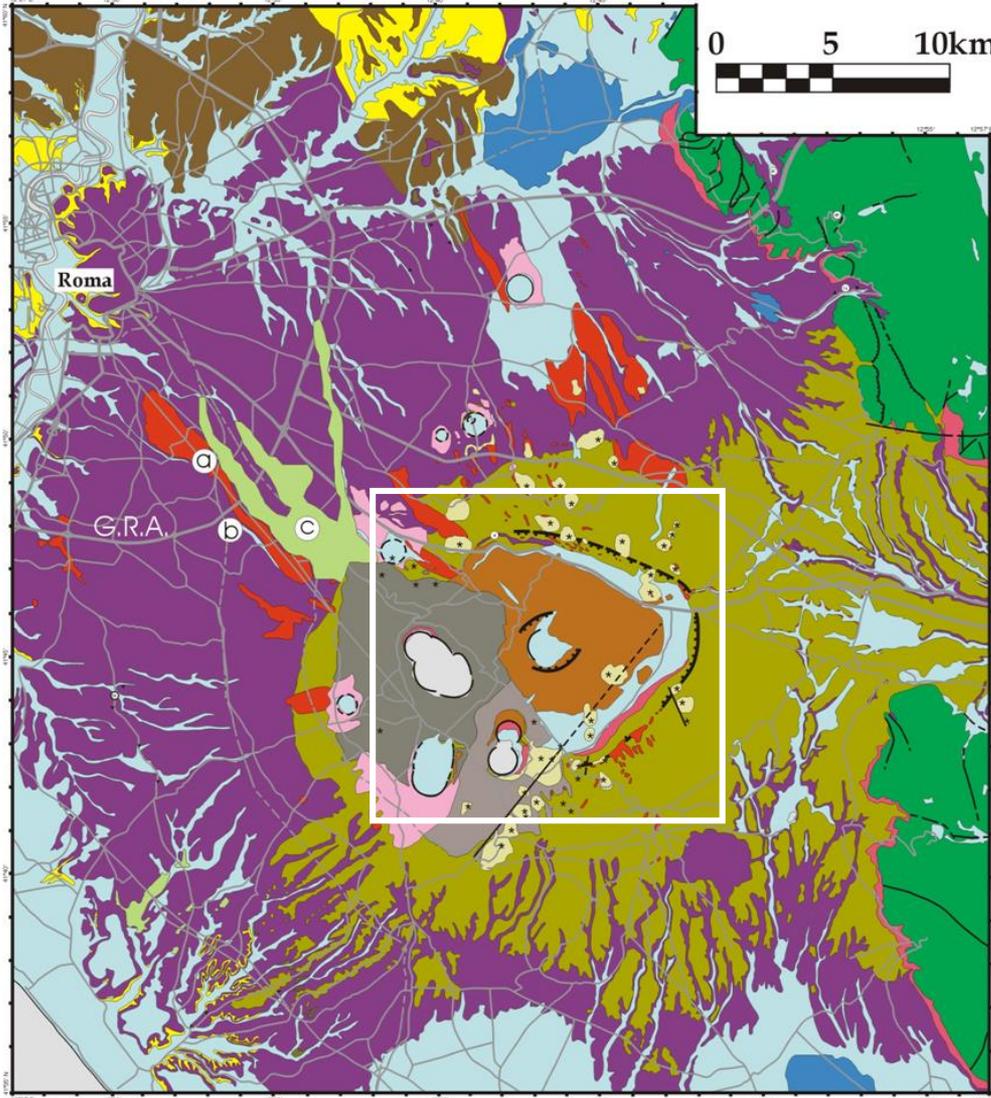
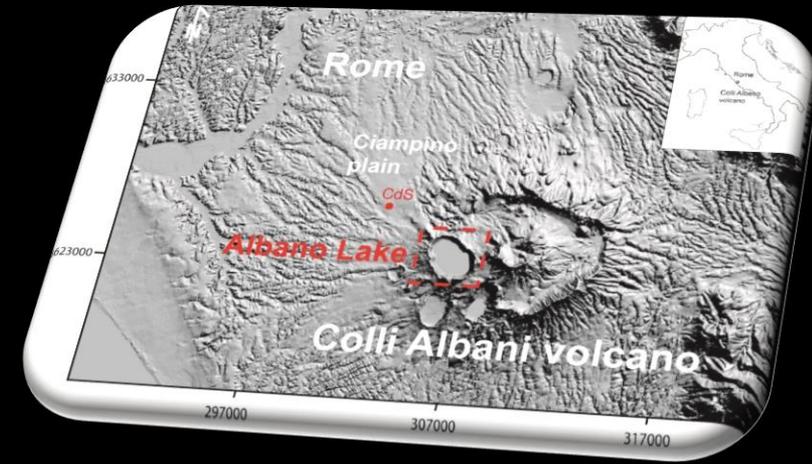


I Colli Albani

Il vulcano dei Colli Albani è composto dalla sovrapposizione di diversi edifici vulcanici, caratterizzati da differenze in stile eruttivo, tassi eruttivi e chimismo.

L'attività del vulcano divenne un acceso argomento di dibattito già da XVIII secolo da parte di naturalisti, vulcanologi e archeologi anche sulla base di testimonianze storiche lasciateci da autori latini (Tito Livio e Cicerone) riguardanti la sua passata attività e da moderni dati geologici, geofisici e geochemici.

I Colli Albani



Il complesso vulcanico dei Colli Albani, posto a circa 15 km a SE di Roma, fa parte della provincia magmatica potassica e ultrapotassica dei vulcani tirrenici, sviluppati nel medio e tardo Pleistocene (De Rita et al., 1988; Trigila, 1995).

I Colli Albani sono dominati da eruzioni periodiche iniziate circa 561 ka e l'ultima fase del Maar Albano di <70 ka, non è completamente estinta (Freda et al., 2006; Funiciello et al., 2003).

Sismicità recente dei Colli Albani

(Chiodini et al., 2011)

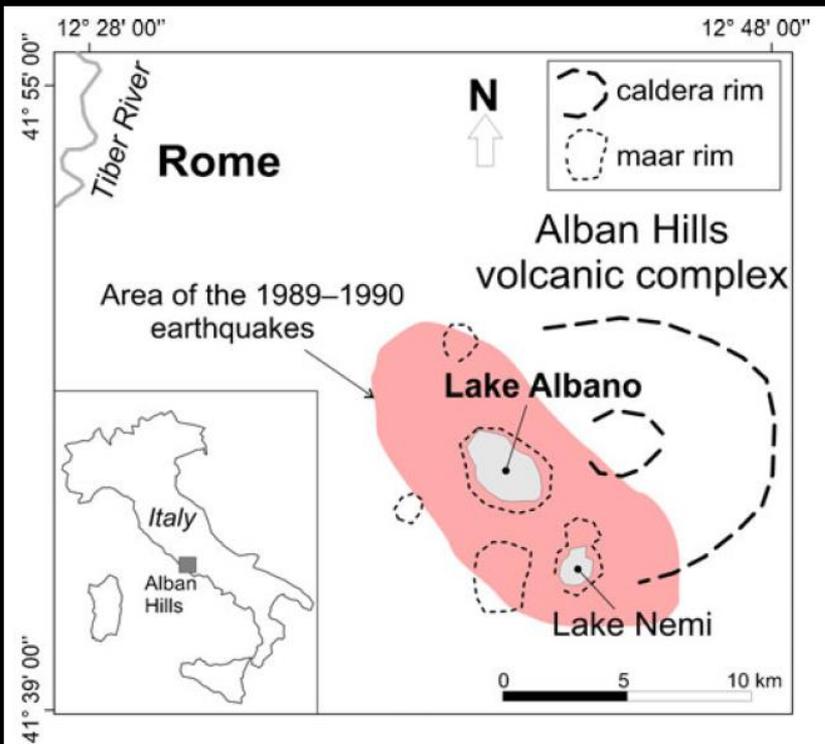


Fig. 1 Location of the Alban Hills Quaternary volcanic complex and of Lake Albano

Sismicità e deformazioni ne caratterizzano il periodo attuale

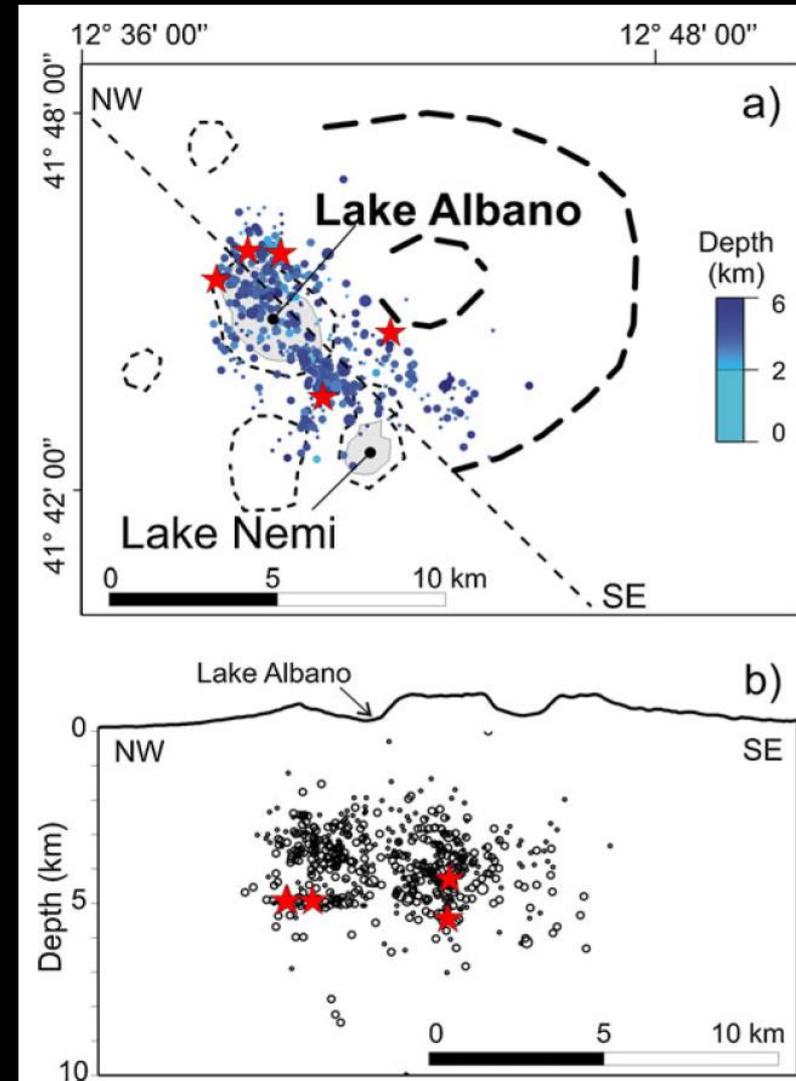
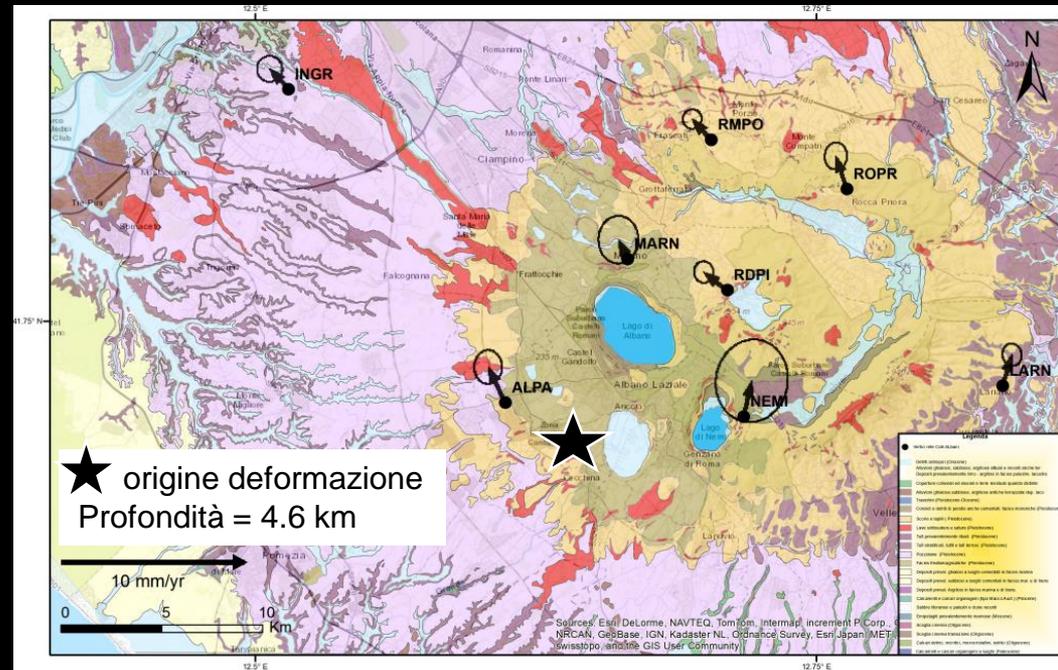
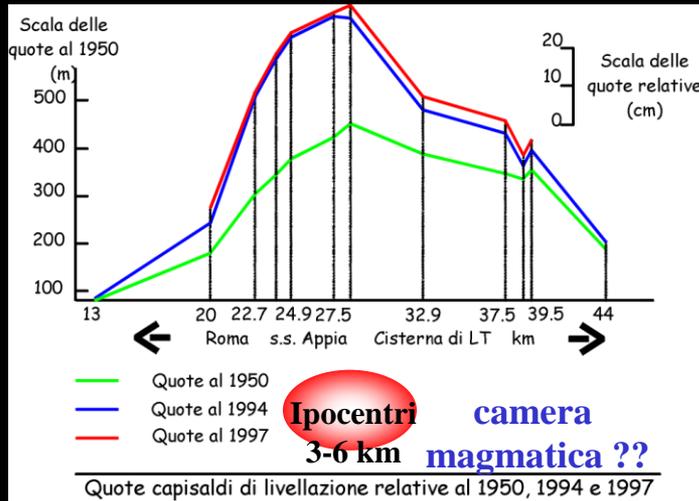


Fig. 2 Epicentral (a) and hypocentral (b) distribution of the best-located events recorded during the 1989–1990 seismic swarm (Amato et al. 1994). The earthquake locations included in this figure have both horizontal and vertical computed errors less than 1 km. The red stars refers to the five largest events of the swarm ($M_D \geq 3.6$)



I Colli Albani: dati geodetici e sismici



1950: l'IGM misura una linea di 40 km lungo la Via Appia
1994: ripetizione ING
1997: ripetizione IGM

Dal 1995 al 1997, la rete GPS non rileva deformazioni significative in planimetria. Quelle altimetriche sono vicine ai limiti imposti dalla tecnica GPS (Anzidei et al., 1998).

Dal 1950 al 1994 sollevamento di 30 cm, a 0.7 cm/a, concentrato lungo 14 km di linea presso Albano!
Stessa area degli epicentri delle sequenze sismiche del 1989-1990, con ipocentri a 3-5 km (Amato e Chiarabba, 1995)

Dati di interferometria SAR mostrano movimenti verticali nella stessa area (Riguzzi et al., 2010)

I Colli Albani: i gas naturali



I Colli Albani, in particolare la piana di Ciampino e il lago di Albano sono conosciuti per emissioni di CO_2 e H_2S
(Carapezza et al., 2003, 2005a,b, 2006; Chiodini et al., 2011)



INTORNO L'ORIGINE
DEI DUE LAGHI ALBANO E NEMORENSE

RISTAMPA DI UNA DISSERTAZIONE
SCRITTA NEL 1758 DAL DOTT. GIOVANNI GIROLAMO LAPI, ROMANO,
CON INDICAZIONE DEI NATURALISTI,
CHE NELLA SECONDA METÀ DEL SECOLO XVIII
PARLARONO DEI MONTI VULCANICI DELL'ANTICO LAZIO

Nota del prof. R. MELI

Alcuni studi



ANNALS OF GEOPHYSICS, VOL. 49, N. 6, December 2006

The dark side of the Albano crater lake

Marco Anzidei ⁽¹⁾, Alessandra Esposito ⁽¹⁾ and Francesco De Giosa ⁽²⁾



ELSEVIER

Journal of Volcanology and Geothermal Research 80 (1998) 55–65

Journal of volcanology
and geothermal research

Evidence of active crustal deformation of the Colli Albani volcanic area (central Italy) by GPS surveys

M. Anzidei ^{a,*}, P. Baldi ^b, G. Casula ^a, A. Galvani ^a, F. Riguzzi ^a, A. Zanutta ^a

^a Istituto Nazionale di Geofisica, via di Vigna Murata 605, 00143 Rome, Italy

^b Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, viale B. Pichat 8, 40127 Bologna, Italy

Contents lists available at ScienceDirect

Physics of the Earth and Planetary Interiors

journal homepage: www.elsevier.com/locate/pepi



Volcanic unrest of the Colli Albani (central Italy) detected by GPS monitoring test

F. Riguzzi ^a, G. Pietrantonio, R. Devoti, S. Atzori, M. Anzidei

^a Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sez. CNT, Rome, Italy

IAVCEI Special Publications of IAVCEI No. 3

The Colli Albani Volcano

Edited by
R. Funicello and G. Giordano



Monitoring the Alban Hills (Rome, central Italy) volcanic complex by GPS. ANZIDEI, M; GALVANI, A. Bollettino di geodesia e scienze affini. 1999, Vol 58

Current geodetic deformation of the Colli Albani volcano: a review
Marco Anzidei, Federica Riguzzi and Salvatore Stramondo. GSL 2010

The lake Albano: bathymetry and level changes
Marco Anzidei and Alessandra Esposito
GSL, 2010

Available online at www.sciencedirect.com



ELSEVIER

ScienceDirect

Journal of Volcanology and Geothermal Research 171 (2008) 258–268

Journal of volcanology
and geothermal research

www.elsevier.com/locate/jvolgeores

Research paper

The Albano Maar Lake high resolution bathymetry and dissolved CO₂ budget (Colli Albani volcano, Italy): Constrains to hazard evaluation

Marco Anzidei ^{a,*}, Maria Luisa Carapezza ^a, Alessandra Esposito ^a, Guido Giordano ^b,
Matteo Lelli ^c, Luca Tarchini ^b

EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS
Earth Surf. Process. Landforms 34, 1469–1486 (2009)
Copyright © 2009 John Wiley & Sons, Ltd.
Published online 28 July 2009 in Wiley InterScience
(www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/esp.1832

Slope dynamics of Lake Albano (Rome, Italy): insights from high resolution bathymetry

Francesca Bozzano,¹ Paolo Mazzanti,^{1*} Marco Anzidei,² Carlo Esposito,³ Mario Floris,⁴ Gianluca Bianchi Fasanì³ and Alessandra Esposito²

Rend. Fis. Acc. Lincei
s. 9, v. 13:113–143 (2002)

Vulcanologia. — *L'attività recente del cratere del Lago Albano di Castelgandolfo.* Nota di RENATO FUNICIELLO, GUIDO GIORDANO, DONATELLA DE RITA, MARIA LUISA CARAPEZZA e FRANCO BARBERI, presentata (*) dal Socio F. Barberi.

Bull. Volcanol.
DOI 10.1007/s00445-011-0573-x

RESEARCH ARTICLE

Time-dependent CO₂ variations in Lake Albano associated with seismic activity

G. Chiodini • F. Tassi • S. Caliro • C. Chiarabba •
O. Vaselli • D. Rouwet



P. Guilizzoni and F. Oldfield (Guest Editors)
Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments
Mem. Ist. ital. Idrobiol., 55: 17–22, 1996

Lakes Albano and Nemi (central Italy): an overview

Christina CHONDROGIANNI¹, Daniel ARIZTEGUI¹, Piero GUILIZZONI² and Andrea LAMI²

Il lago di Albano: alcune tappe



- ✓ 1940 topografia IGM
- ✓ 1984 esplorazioni con batiscafo
- ✓ 1998 prima accurata batimetria, ma ancora a bassa risoluzione e le mappe non mostravano con chiarezza i dettagli morfologici del fondale.
- ✓ 2005 rilievi ad altissima risoluzione con tecniche multibeam e laser a scansione da aereo (Lidar).

Oggi disponiamo di un DEM ad altissima risoluzione del fondale e della parte emersa.

Eccellente supporto per studi vulcanologici, geomorfologici, stabilità dei versanti, ambientali e archeologici, in ambiente subaereo e subacqueo per fini di ricerca e Protezione Civile

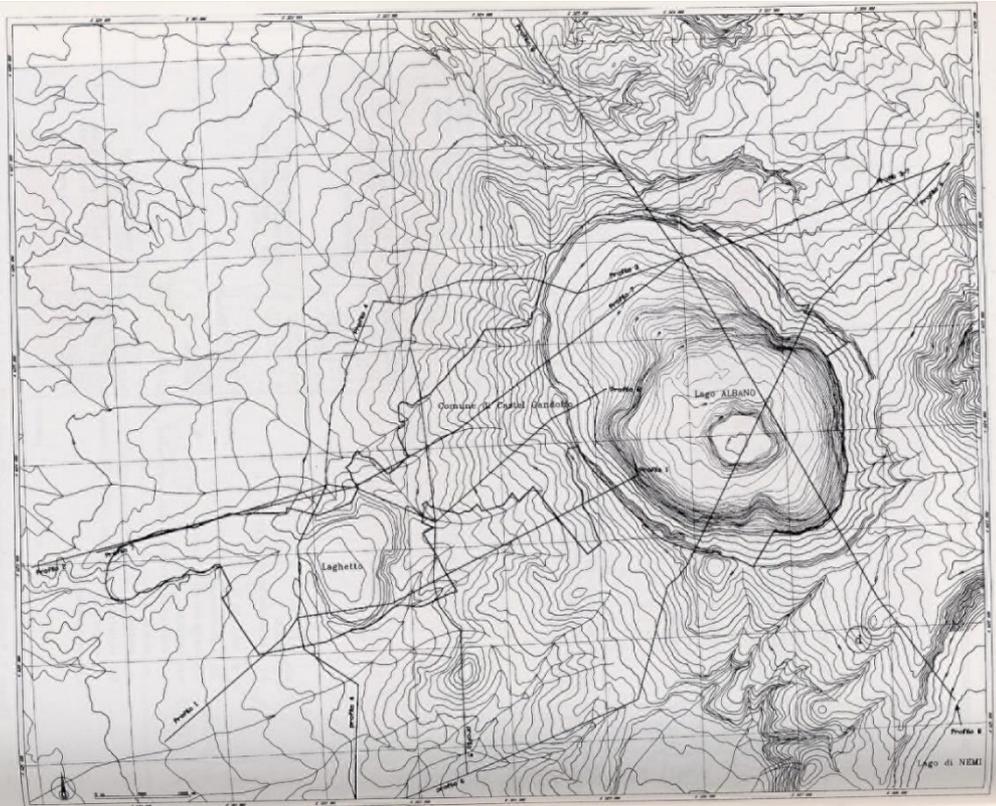
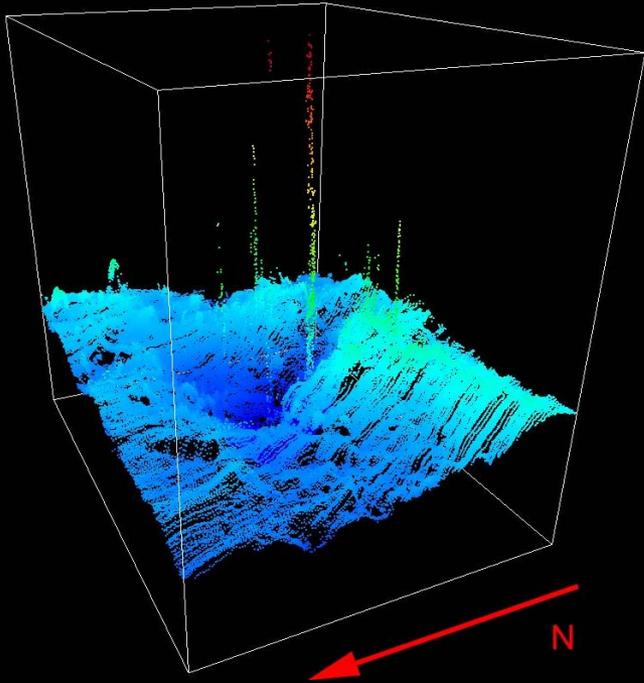


Figura 3 - Ubicazione dei profili geologici ed idrogeologici

Nuovi studi: motivazioni scientifiche e di Protezione Civile



Un centro esalativo sottomarino a Panarea, rilevato dal multibeam e localizzato con GPS (Anzidei et al., 2005, Annals of Geophysics)

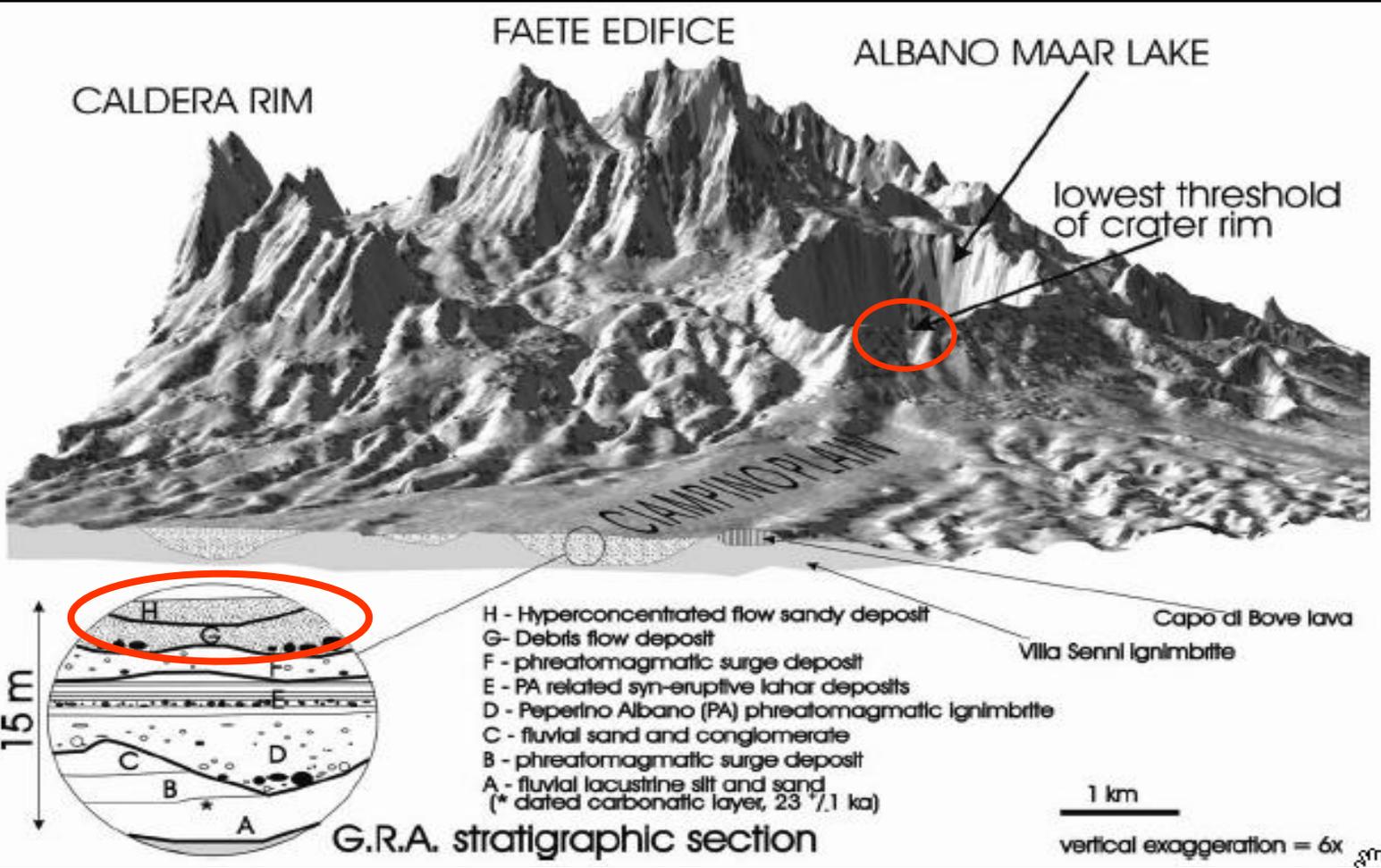


La presenza di un potenziale vulcano attivo in un'area densamente popolata così vicina a Roma, ha indotto il Dipartimento della Protezione Civile a finanziare uno studio multidisciplinare dell'area, che include la batimetria e la topografia ad altissima risoluzione del lago di Albano.

La tecnica batimetrica multibeam è stata recentemente applicata in vulcanologia per fornire DEM ad altissima risoluzione di crateri vulcanici sottomarini, come nel caso di Panarea.

Può fornire immagini 2-D e 3-D della morfologia, rivelando la eventuale presenza di emissioni gassose subacquee.

Nuovi studi: motivazioni scientifiche e di Protezione Civile



Il Debris flow del maar di Albano. Il flusso si verifica dalla parte posta a quota più bassa del bordo craterico, verso la piana di Ciampino

Maar: edifici vulcanici poco rilevati e generalmente di forma circolare, il cui fondo depresso rispetto al piano di campagna è occupato da un lago. Caldere di origine idromagmatica.

Nuovi studi: motivazioni scientifiche e di Protezione Civile



Foto G.Giordano

Il lago Albano, attualmente con 166.8 m (2005), è il più profondo dei laghi vulcanici italiani. È un **maar poligenico** che ha rilasciato **almeno 7 eruzioni**.

Dal tempo della sua formazione il **suo livello è cambiato più volte** e in epoca romana (**398 a.C.**), come narrato da Tito Livio e Cicerone, probabilmente esondò riversandosi nella sottostante piana di Ciampino. Pertanto, nel **396 a.C.** i romani costruirono un tunnel di drenaggio allo scopo di controllarne il livello, anche per scopi irrigui (Ghini 1999, Funicello et al., 2003).

Poiché il suo fondale non era fino ad oggi ben conosciuto, anche per la sua notevole profondità, nel mese di **novembre 2005** è stata effettuata una **batimetria ad altissima risoluzione** con tecniche multibeam con la finalità di produrre un **DEM** di supporto per studi vulcanologici, morfologici e di hazard (frane, gas...), anche di interesse per scopi di Protezione Civile.

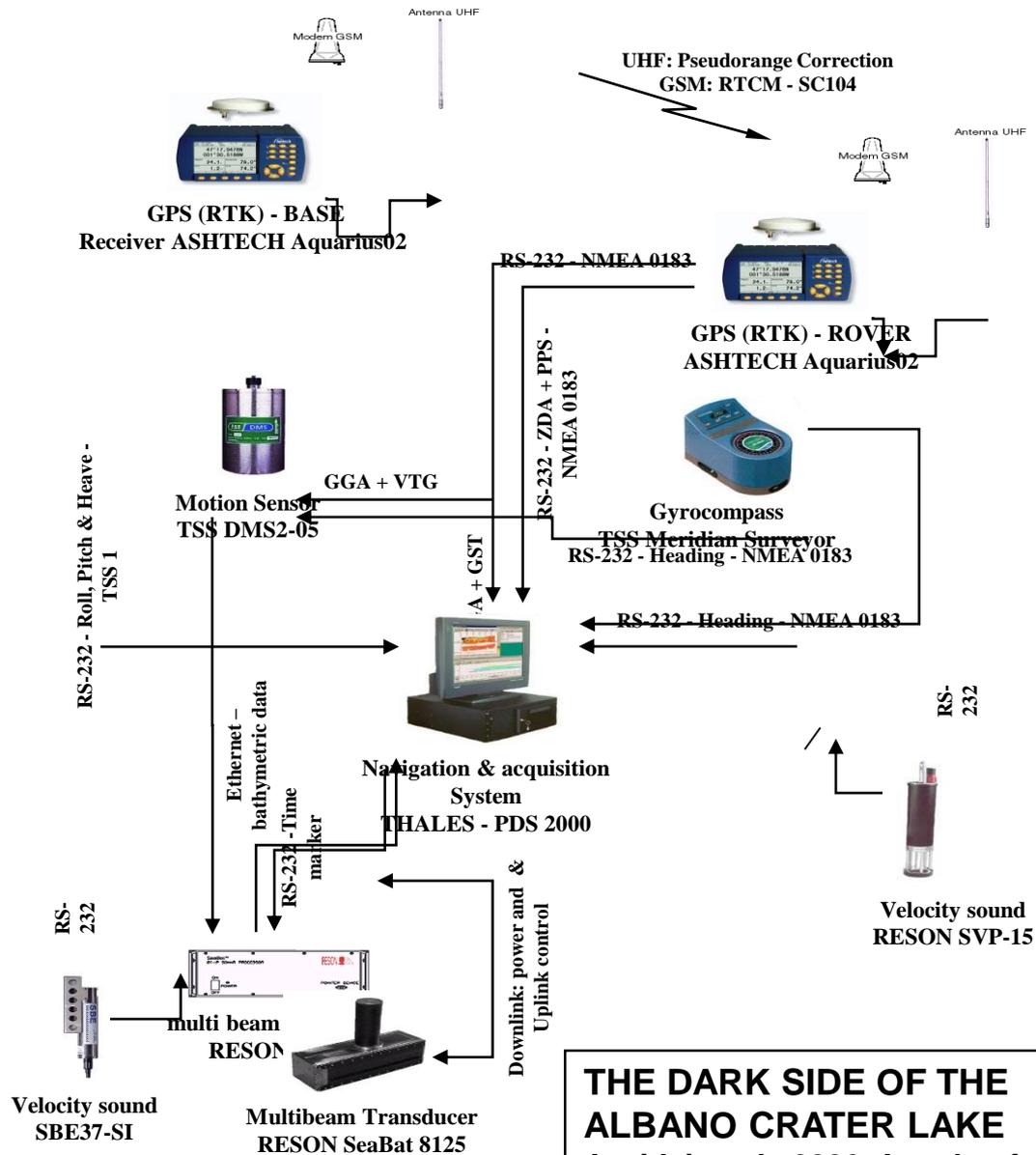
Il rilievo multibeam: la strumentazione



- novembre 2005
- Coastal Geoconsulting and Exploration, Bari
- imbarcazione ALSEA (6 m)
- velocità: 3-4 nodi sul fondo
- multibeam RESON SeaBat 8125 + 8105 (120° ampiezza)
- sistema di posizionamento in tempo reale GPS/RTK
- girobussola TSS-SG Brown Meridian
(accuratezza dinamica 0.2°)
- sensore di moto TSS-DMS05-02
- sensore di velocità Valeport
(accuratezza 0.1 m/s)
- PC/Windows



La strumentazione



THE DARK SIDE OF THE ALBANO CRATER LAKE
 Anzidei et al., 2006, Annals of Geophysics.

Barca Asea della Coastal Consulting and Exploration Company, con multibeam ad altissima risoluzione e altra strumentazione per il rilievo (girobussola, sonde CTD, GPS/RTK, sensore di moto...). Per l'alta profondità del lago, sono stati usati due multibeam: un Reson Seabat 8125 (250 beams, 0.5°x1.0 di copertura, 455 Khz) fino a -80 m e un Reson Seabat 8101 (101 beams, 0.5° x 0.5° di copertura, 455 Khz), da -80 a -167 m, punto più fondo del lago.

Il rilievo multibeam



Il varo



I sensori



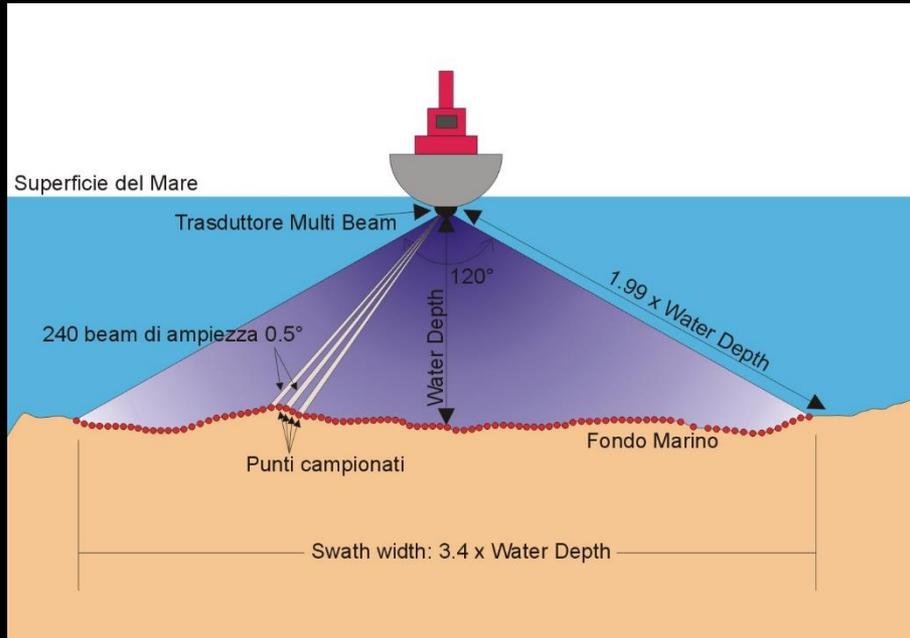
Il multibeam



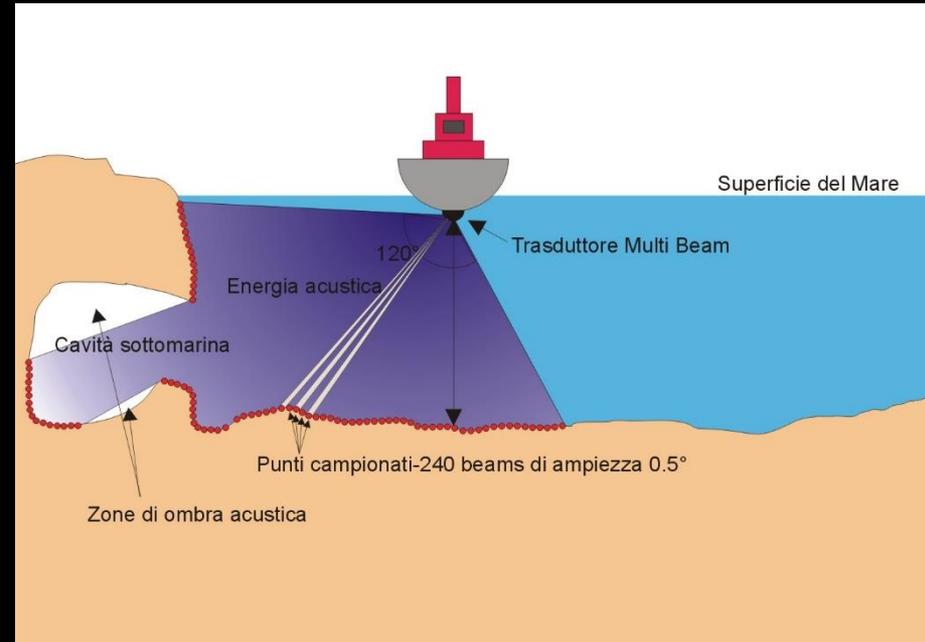
Acquisizione dati



Il rilievo multibeam: geometria



a



b

Geometria dell'acquisizione dati multibeam

a) in posizione normale; b) con trasduttore inclinato di 35°

Il rilievo multibeam: la risoluzione



Reson 8125 (range < 80 m)

250 beams, angolo $0.5^\circ \times 1.0^\circ$

Footprint: - 10 m 8 x 16 cm
- 50 m 40 x 80 cm
- 80 m 64 x 128 cm

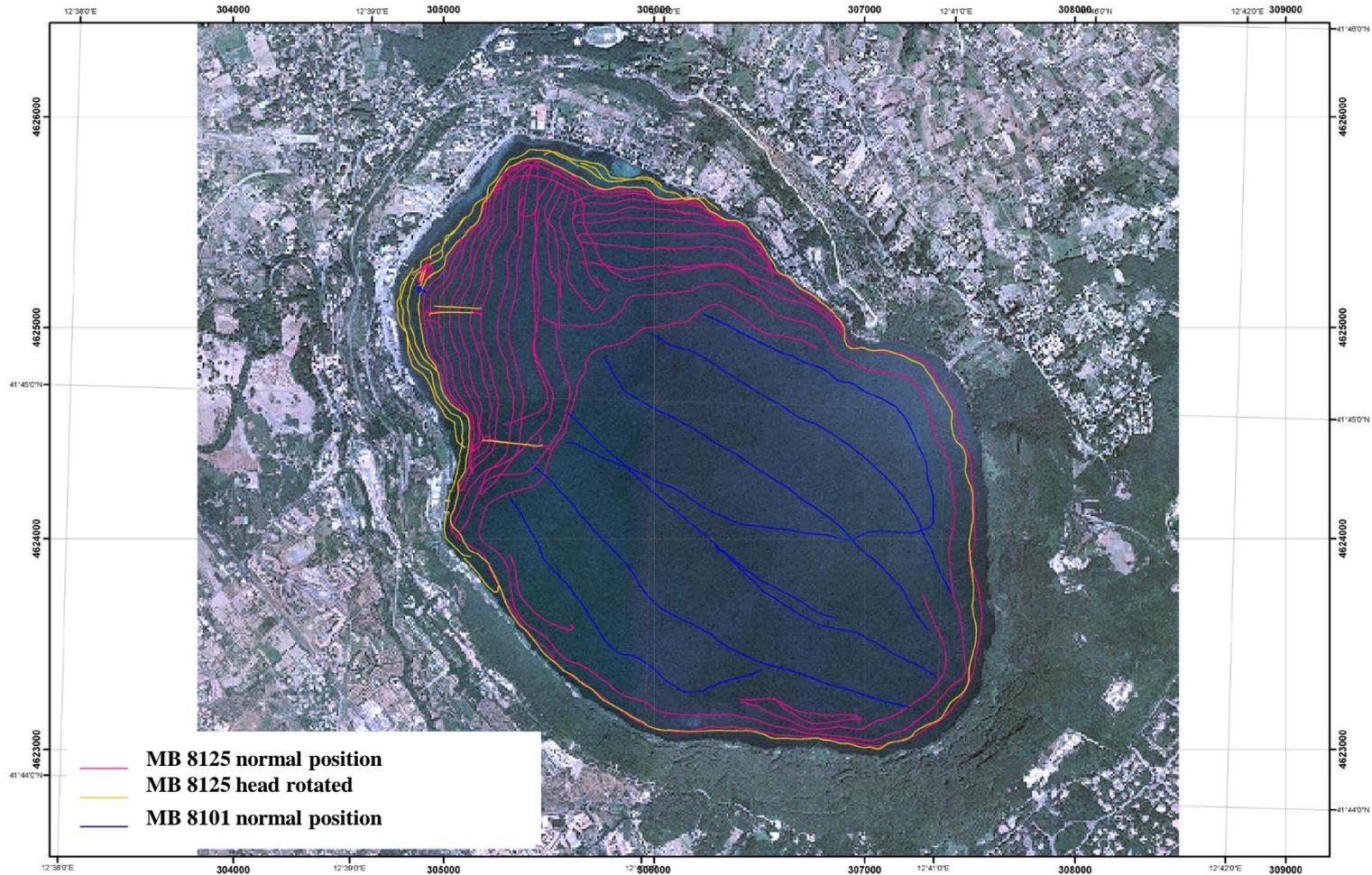
Reson 8101 (range > 80 m)

101 beams, angolo $1.5^\circ \times 1.5^\circ$

Footprint: -10 m 24 x 24 cm
- 100 m 240 x 240 cm
- 170 m 410 x 410 cm



Il rilievo multibeam: le rotte

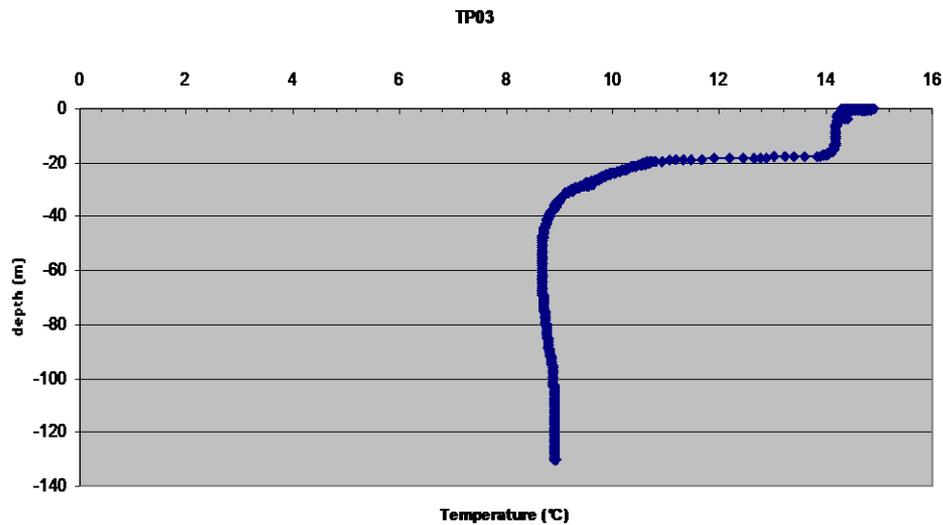


Rotte effettuate dalla imbarcazione ALSEA

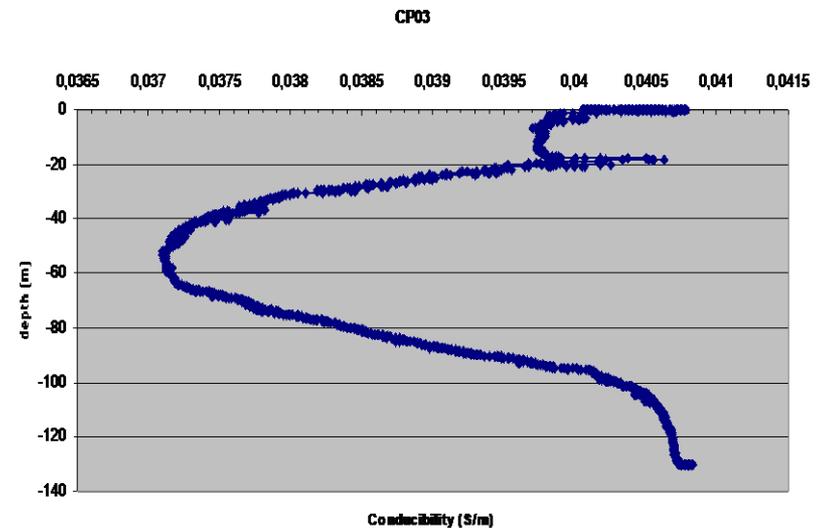
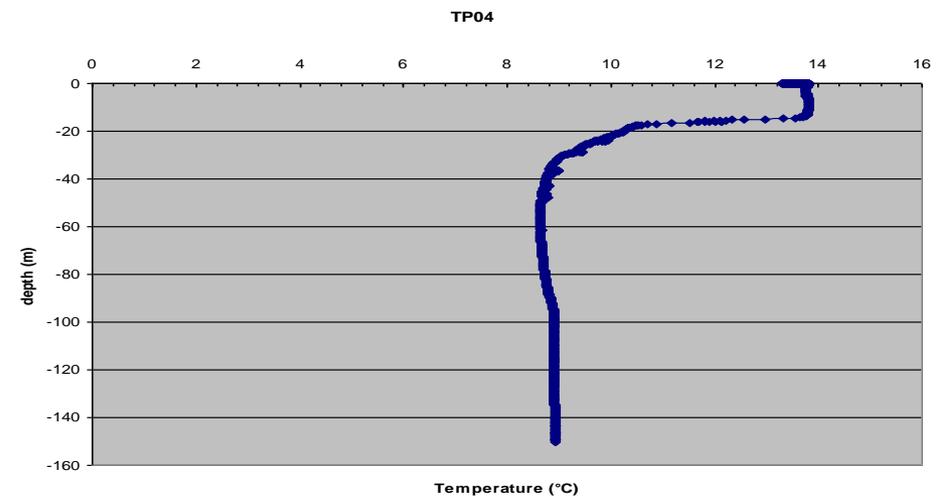
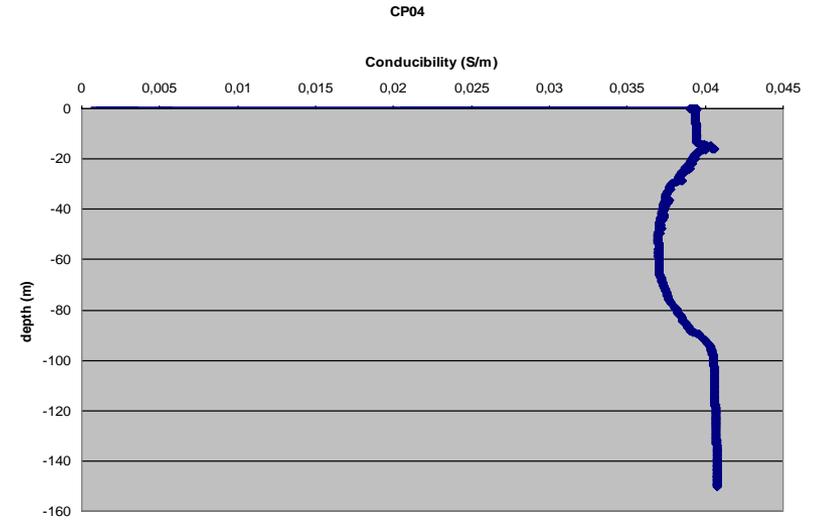
I profili CTD



Temperatura



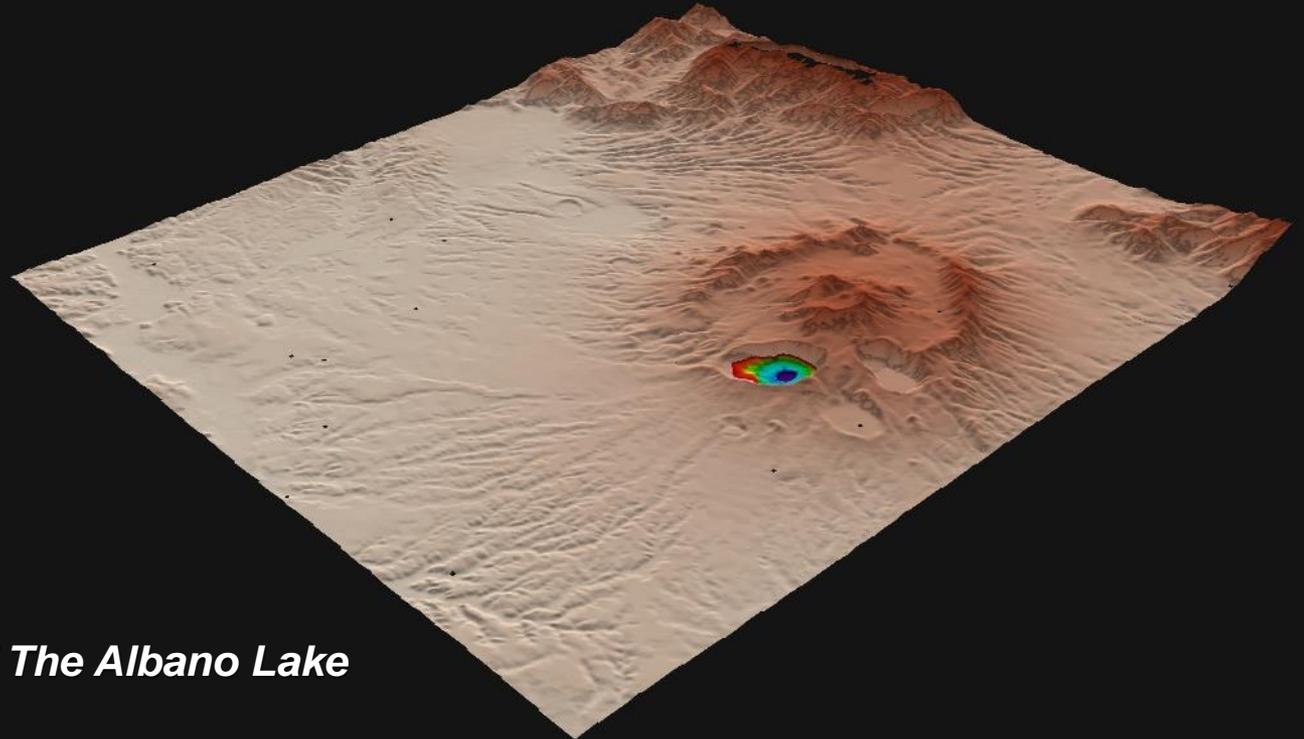
Conducibilità



Il rilievo multibeam: analisi dati



- software di navigazione e multibeam PDS2000 (Thales Geosolution) & Caris (Coastal Geoconsulting and xploration)
- posizionamento barca con GPS/RTK (± 10 cm) rispetto ad ALBA-GPS (WGS84)
- creazione di LDEM
- filtraggio dati
- file dati ascii and .d
- grid
- mappe



The Dark Side of The Albano Lake

I laser scanner

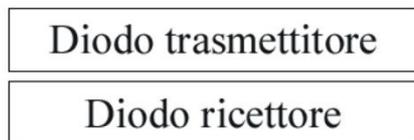


Laser = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission **R**adiator

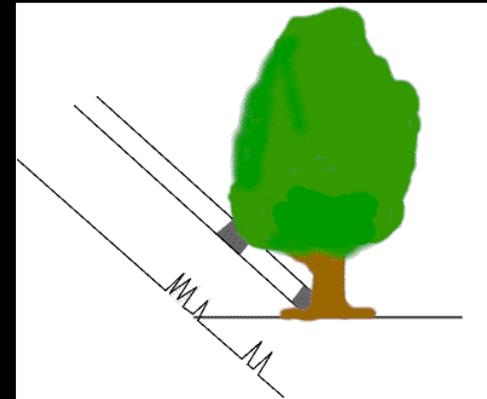
I laser a scansione sono dispositivi ottico-meccanici capaci di emettere un impulso elettromagnetico (laser) e di ricevere il segnale riflesso, misurando l'intervallo di tempo intercorso e quindi la distanza tra lo strumento ed il punto rilevato ($d=ct/2$).

Nel volo aereo (LIDAR) effettuato nei Colli Albani, la risoluzione del DTM ottenuto con questa tecnica è di < 50 cm in quota e < 1 m in planimetria.

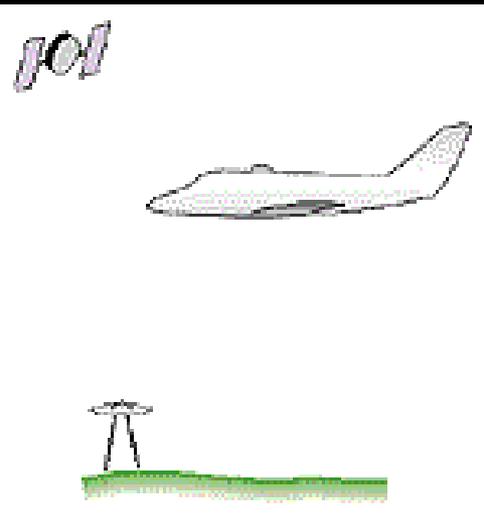
$$2D = v \Delta t$$



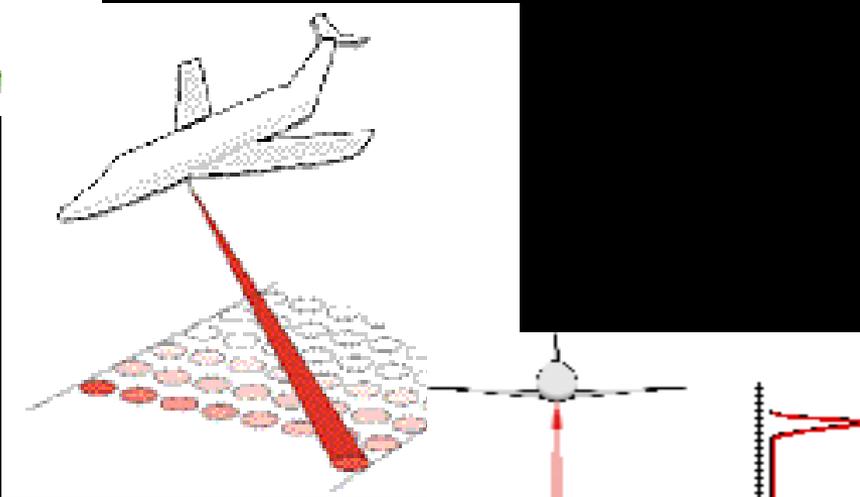
Superficie
riflettente



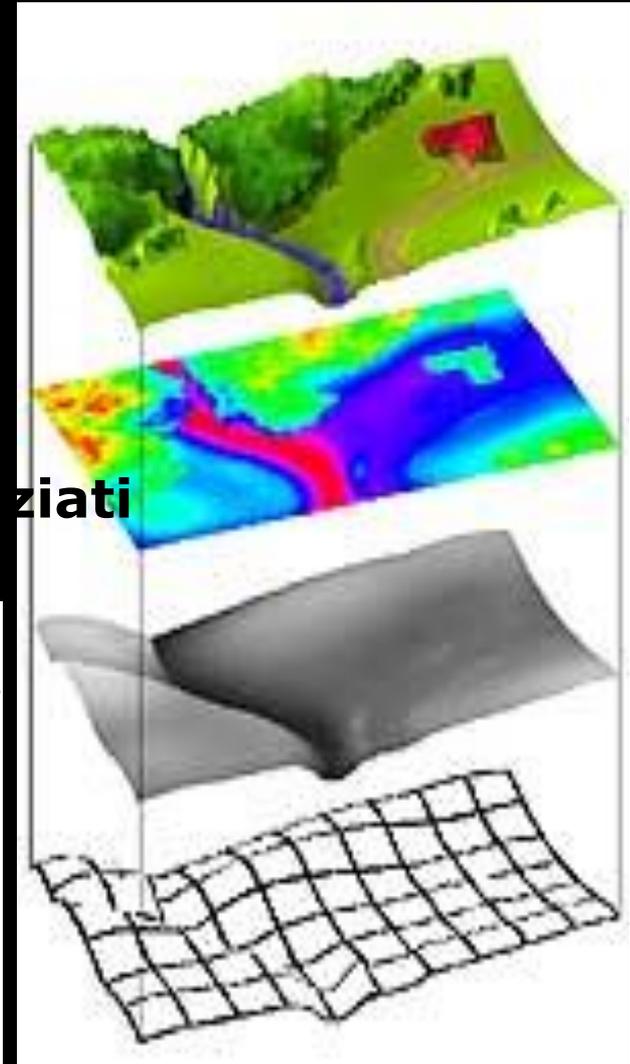
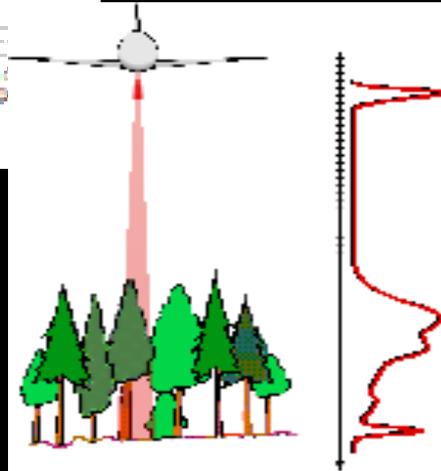
Il rilievo aereo Lidar



**Posizionamento
velivolo con GPS
(WGS84)**



**Scansione
Laser del
territorio**



ziati



Il rilievo aereo Laser a scansione di Albano e Nemi

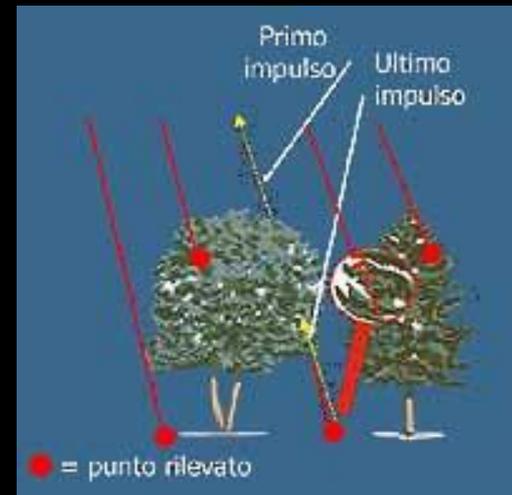
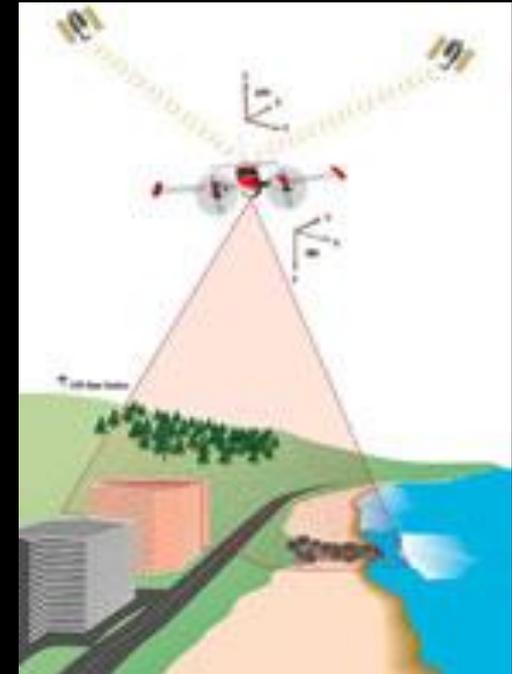
Data: 13 Aprile 2006

Compagnia Generale Riprese Aeree

- Volo a quota 1200 m
- Densità media punti ~1 per m²
- Ampiezza media della strisciata 462,17 m
- Semiangolo della scansione 11 gradi

Prodotti:

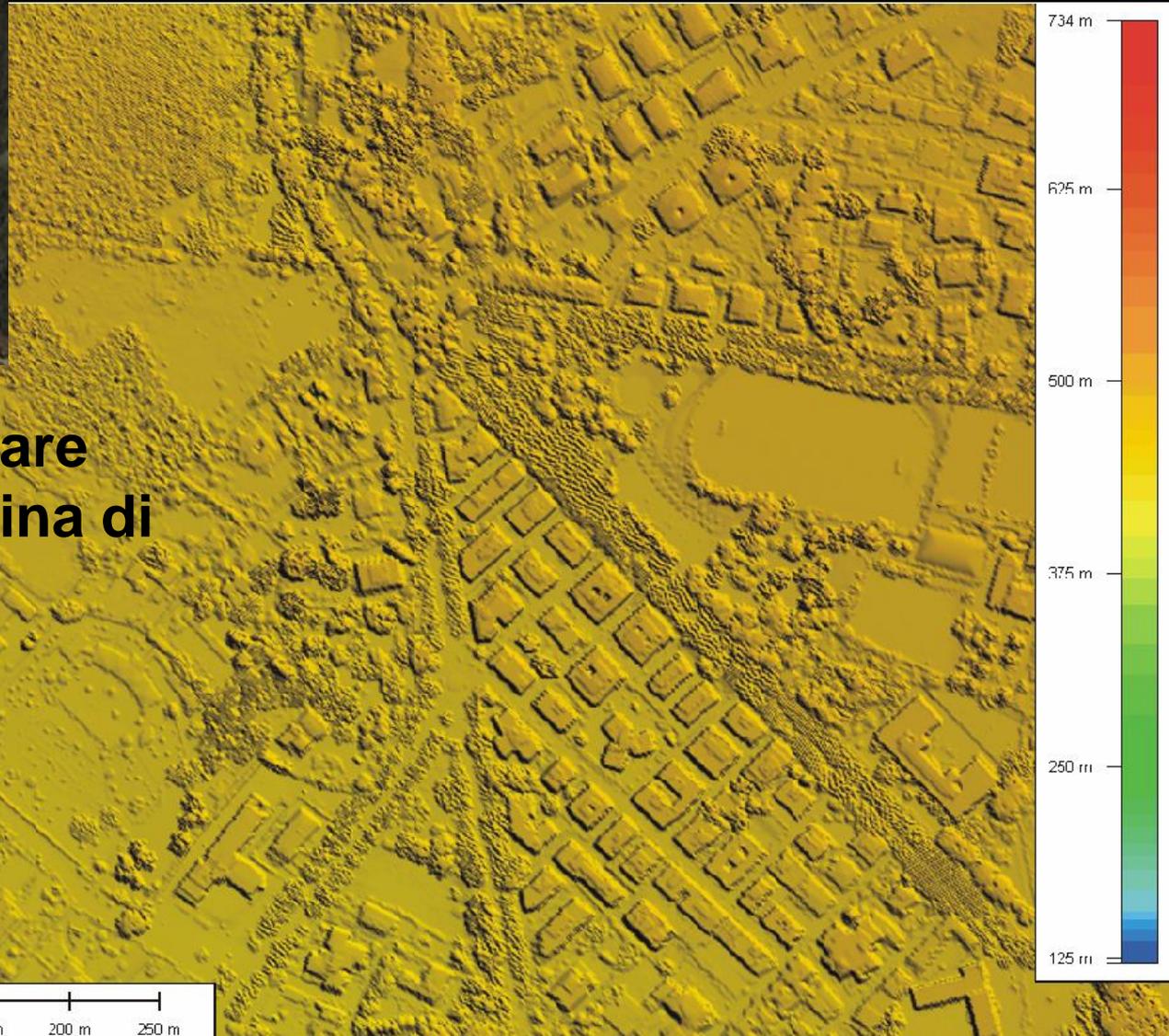
- Digital Terrain Model con accuratezze medie di:
 - Quota <50 cm
 - Planimetria <1 m
- Digital Surface Model (con vegetazione e manufatti)
- DSM e DTM in Gauss-Boaga con quote ortometriche e coordinate WGS84 con quote ellissoidiche
- Unione con il rilievo batimetrico



DSM: dettaglio file non filtrato

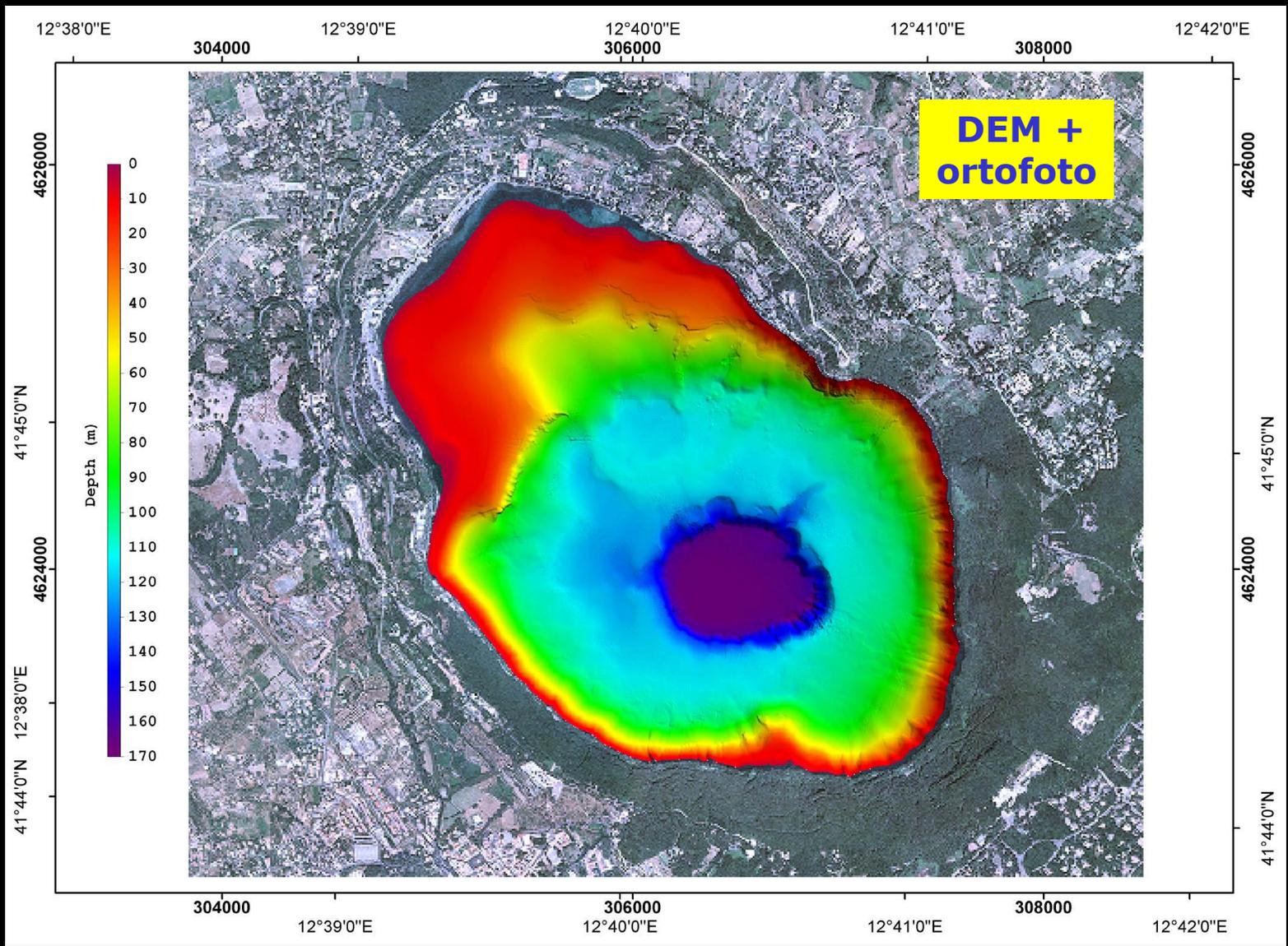


**Un particolare
della cittadina di
Ariccia**





Risultati dei rilievi: mappa batimetrica ad altissima risoluzione

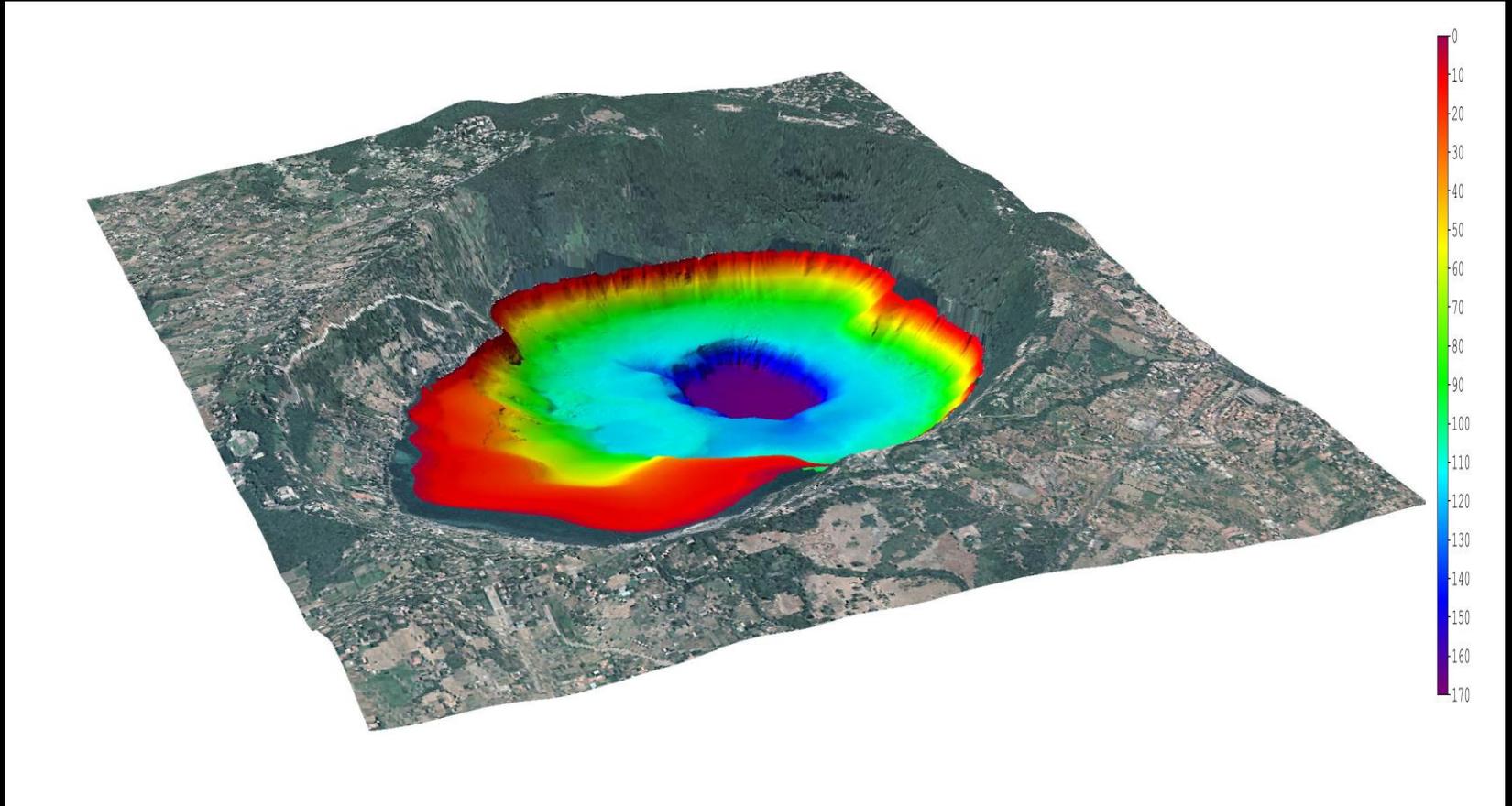


Oggi abbiamo un DEM dettagliato del fondo del lago, che, combinato con quello terrestre, ci restituisce la morfologia completa del cratere di Albano

I risultati dei rilievi

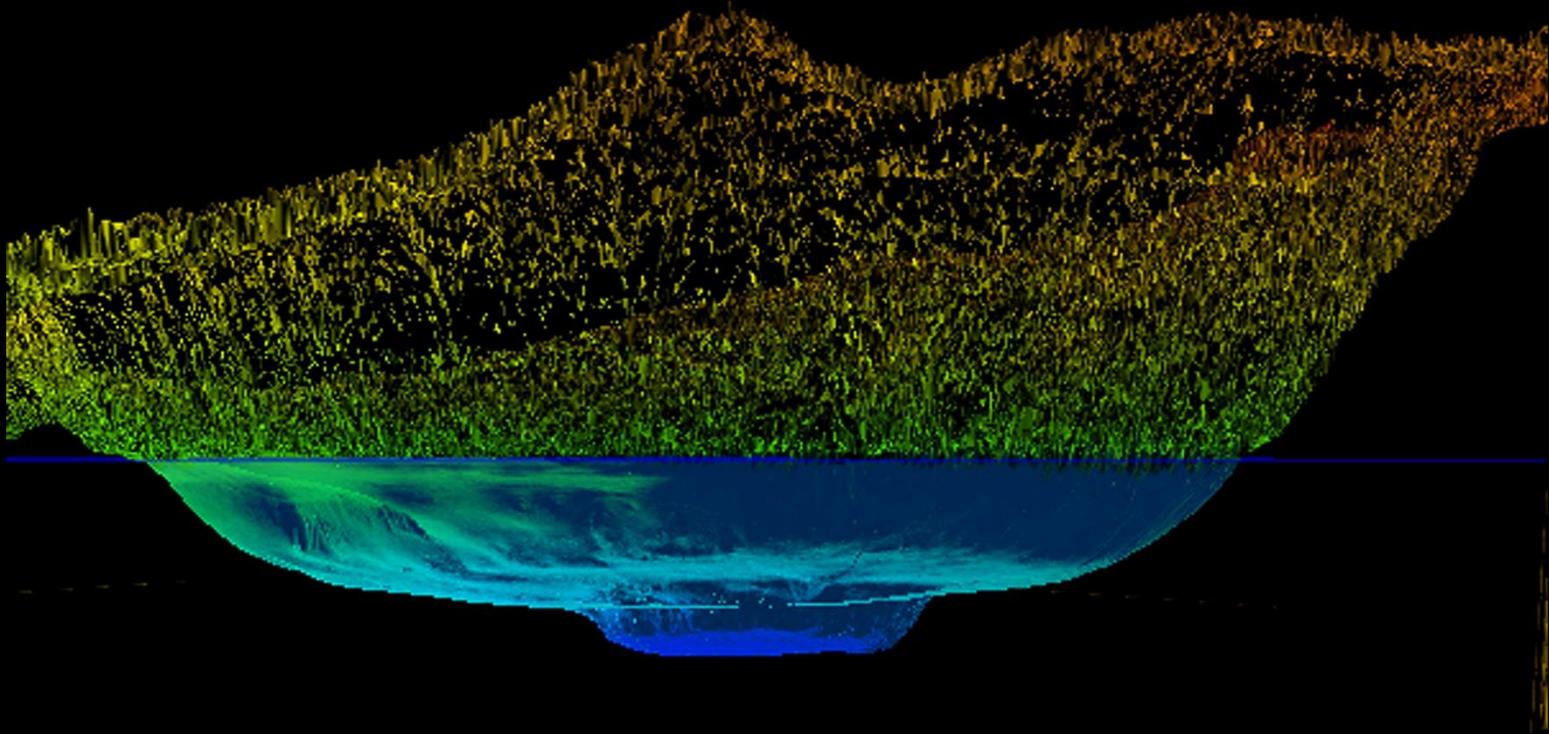


DEM ad altissima risoluzione



Vista 3-D del primo DEM ad alta risoluzione della parte sommersa del lago craterico di Albano !

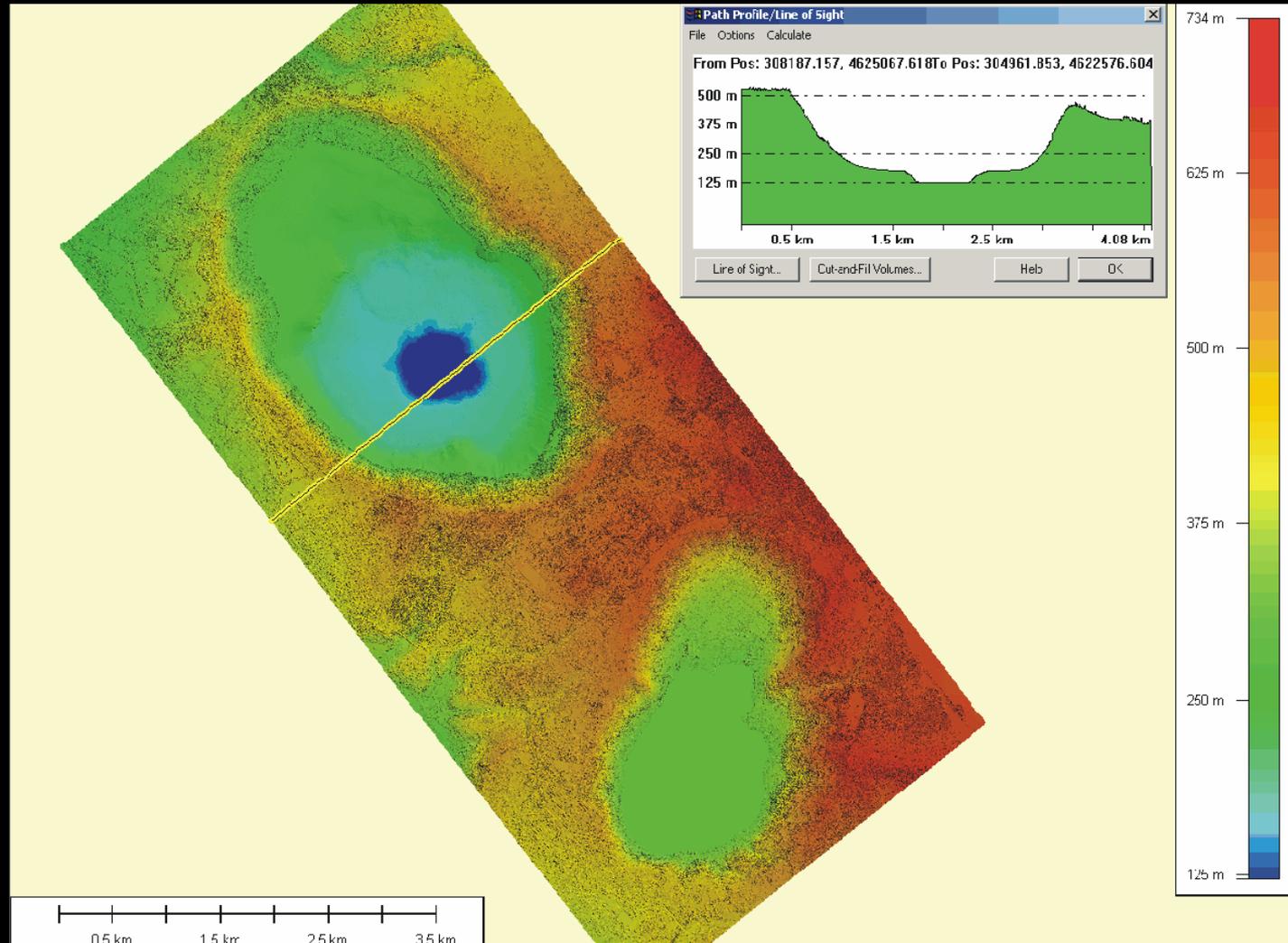
Il lago Albano visto da sotto!



DSM: unificazione con batimetria

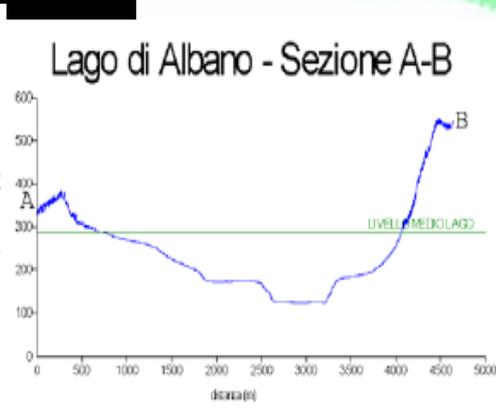
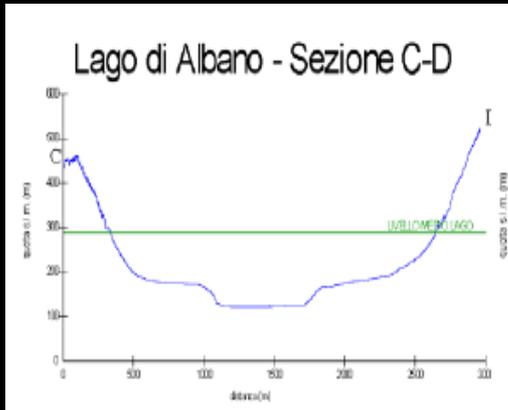
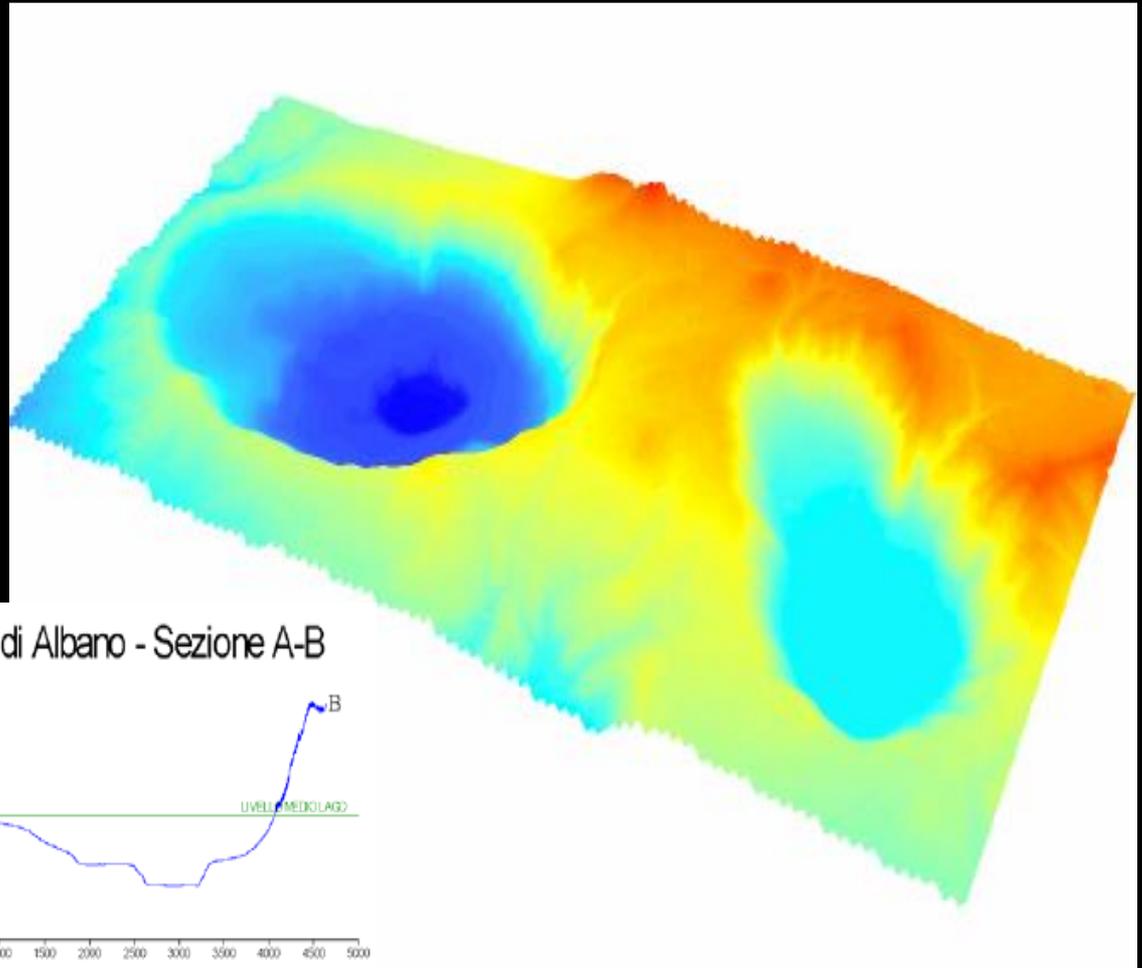
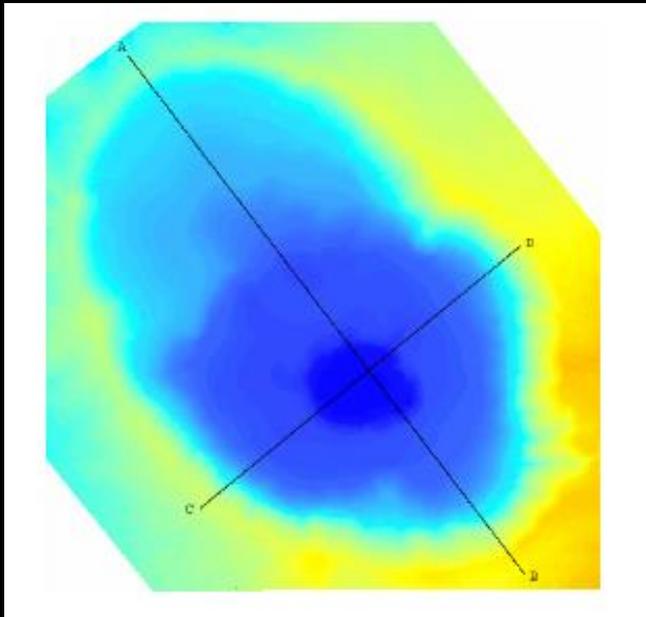


Il Digital Surface Model è costruito sulla base del primo eco di ritorno, contiene sia la vegetazione che i manufatti



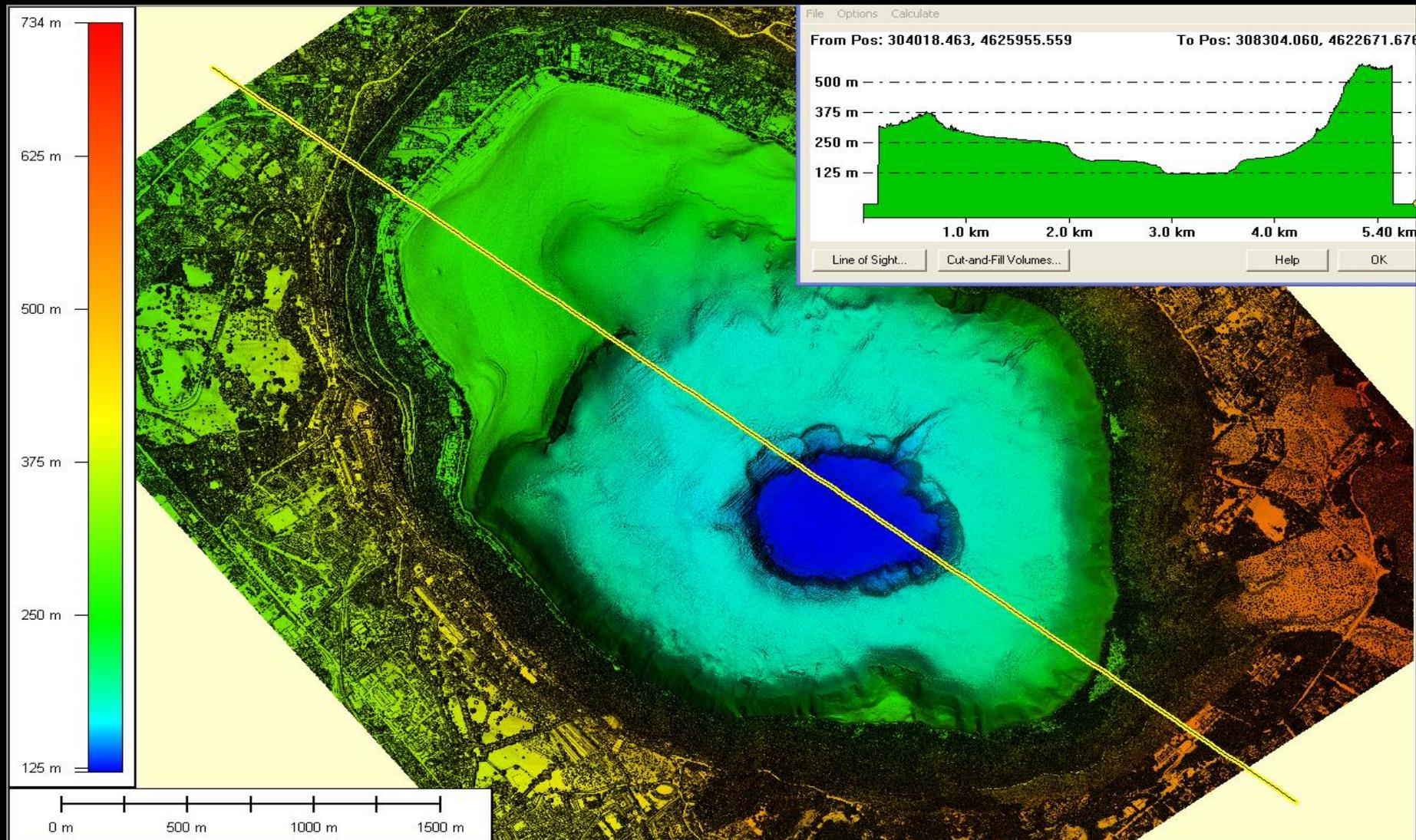
Baiocchi
et al., 2006

DTM laser + batimetria

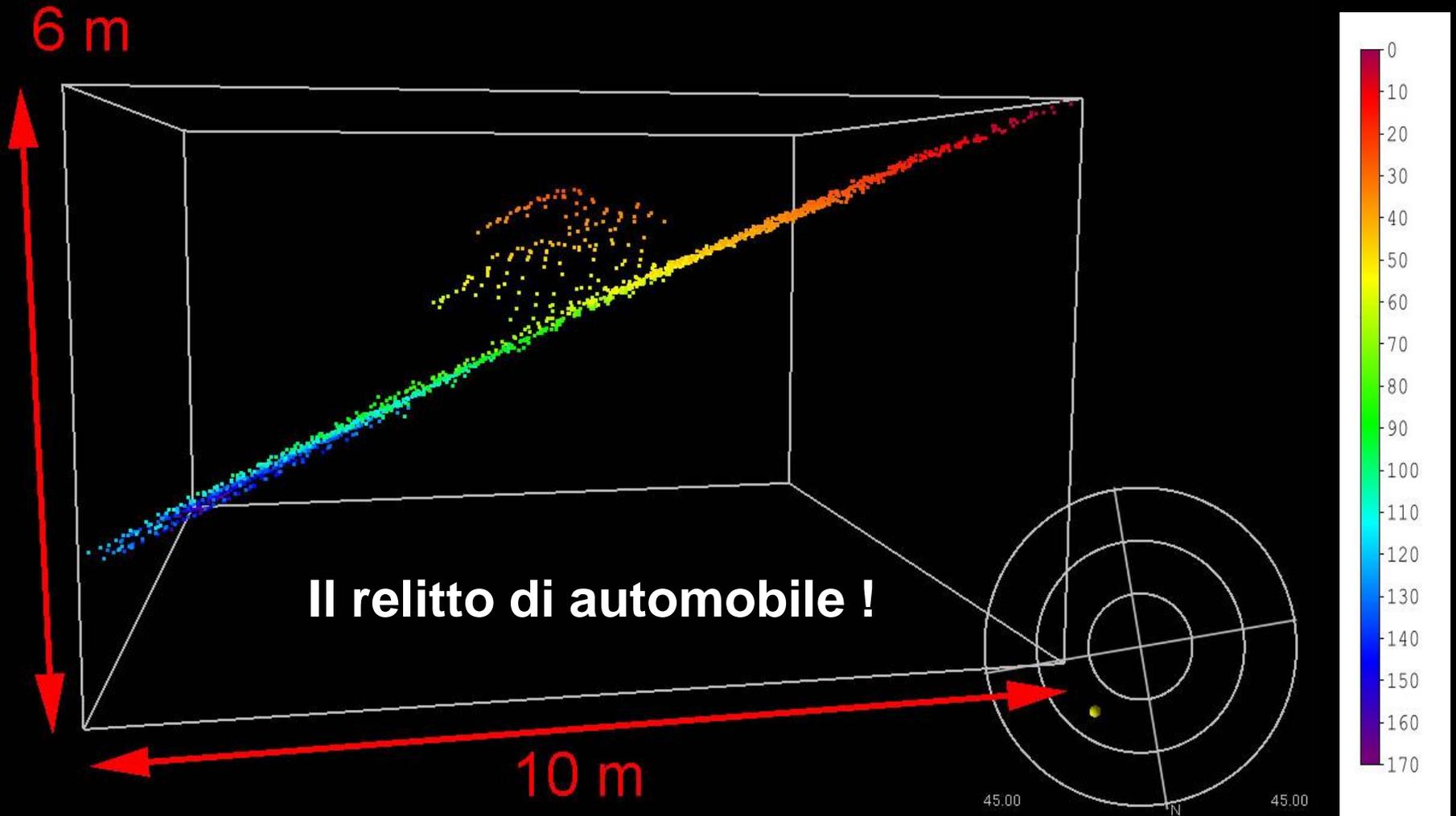


Il Digital Terrain Model è costruito sulla base dell'ultimo ritorno del segnale e dovrebbe essere la più fedele rappresentazione della morfologia del terreno

Uso e interpretazione dei DEM



Cosa ci mostra l'interno del lago ?

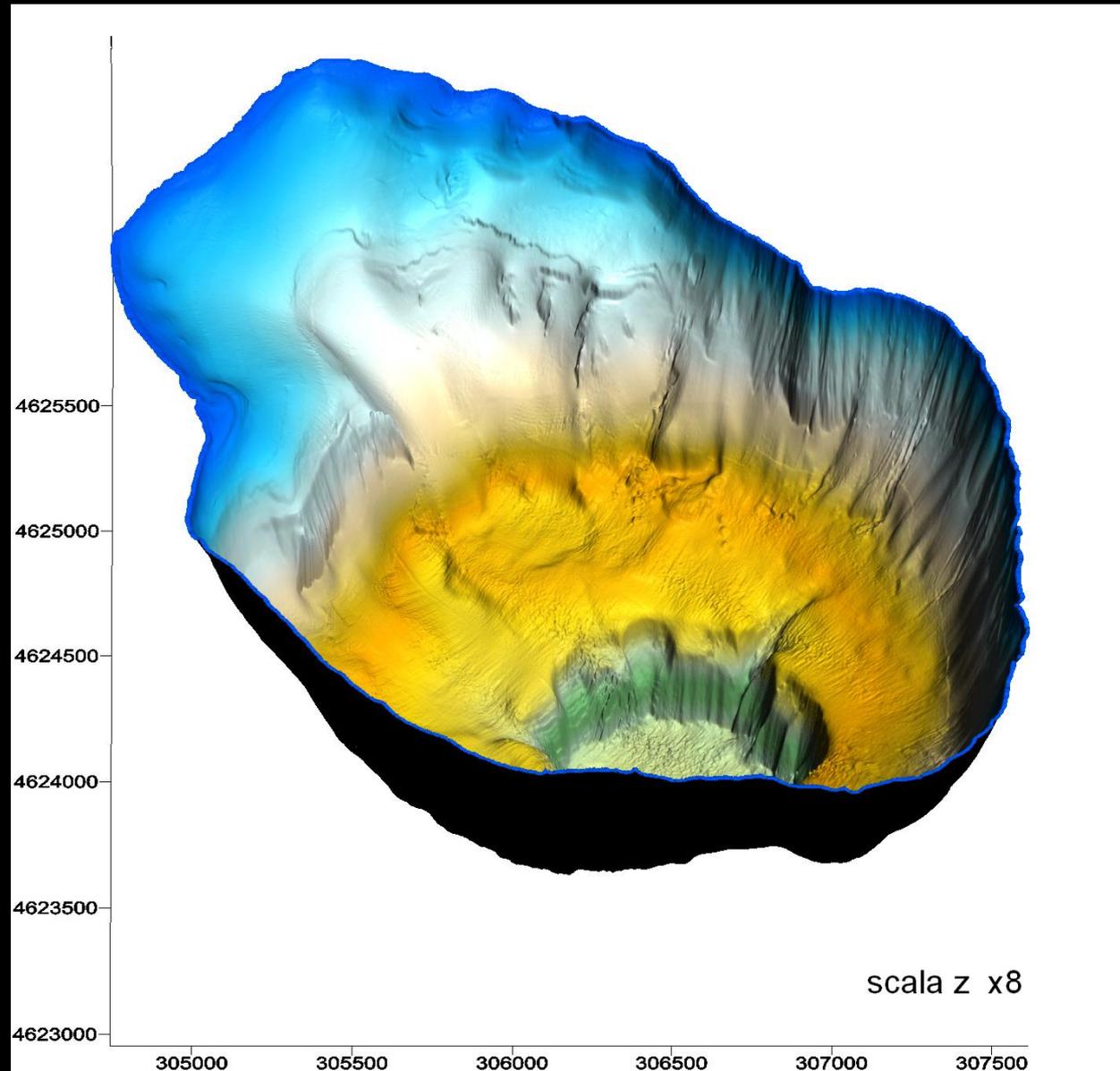


Evidenza della capacità risolutiva della tecnica

Cosa ci mostra l'interno del lago ?



- centri craterici
- passati livelli del lago
- frane
- altro...



I crateri: una prima interpretazione

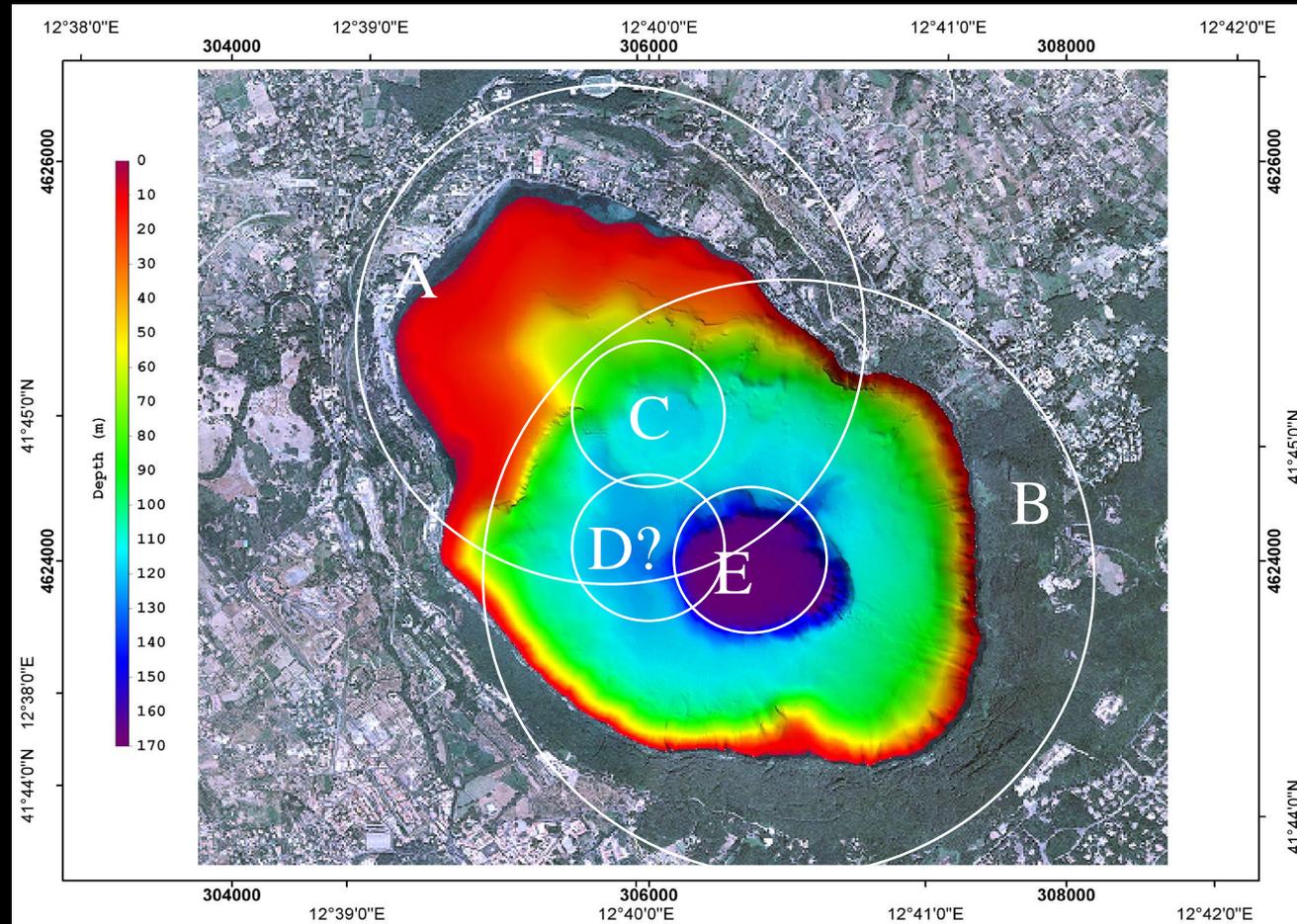


Morfologia con sequenza cronologica di formazione di 5 crateri coalescenti (dal più antico A al più recente E).

Quello centrale corrisponde al punto più profondo del lago a-166.8 m

Età dei crateri tra ~70ka e 35 ka (Freda et al., 2006)

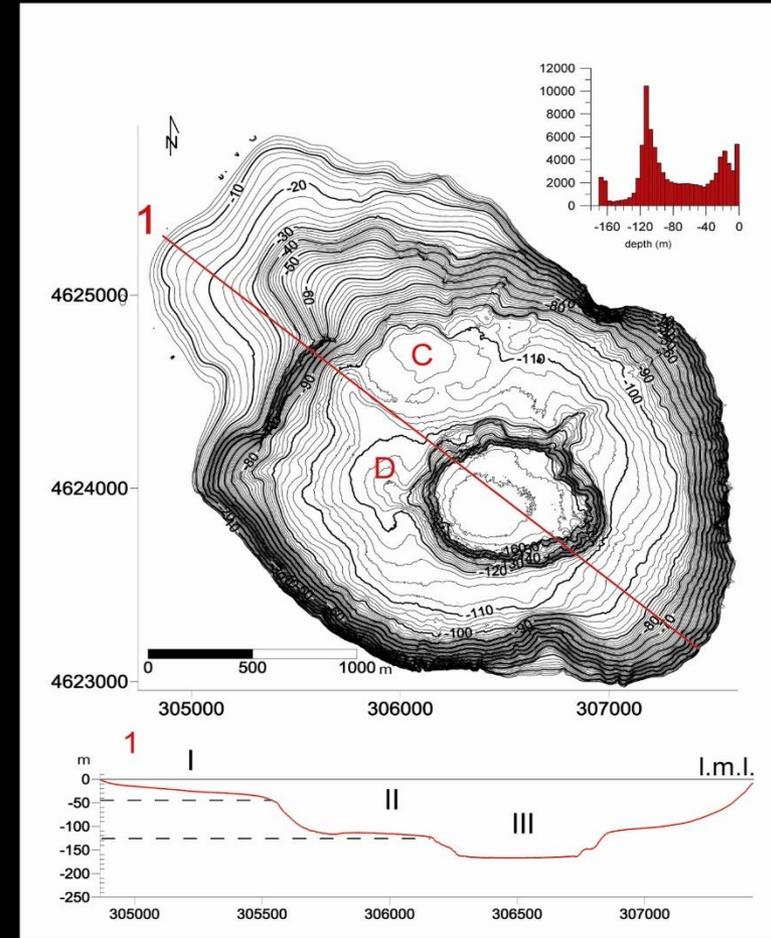
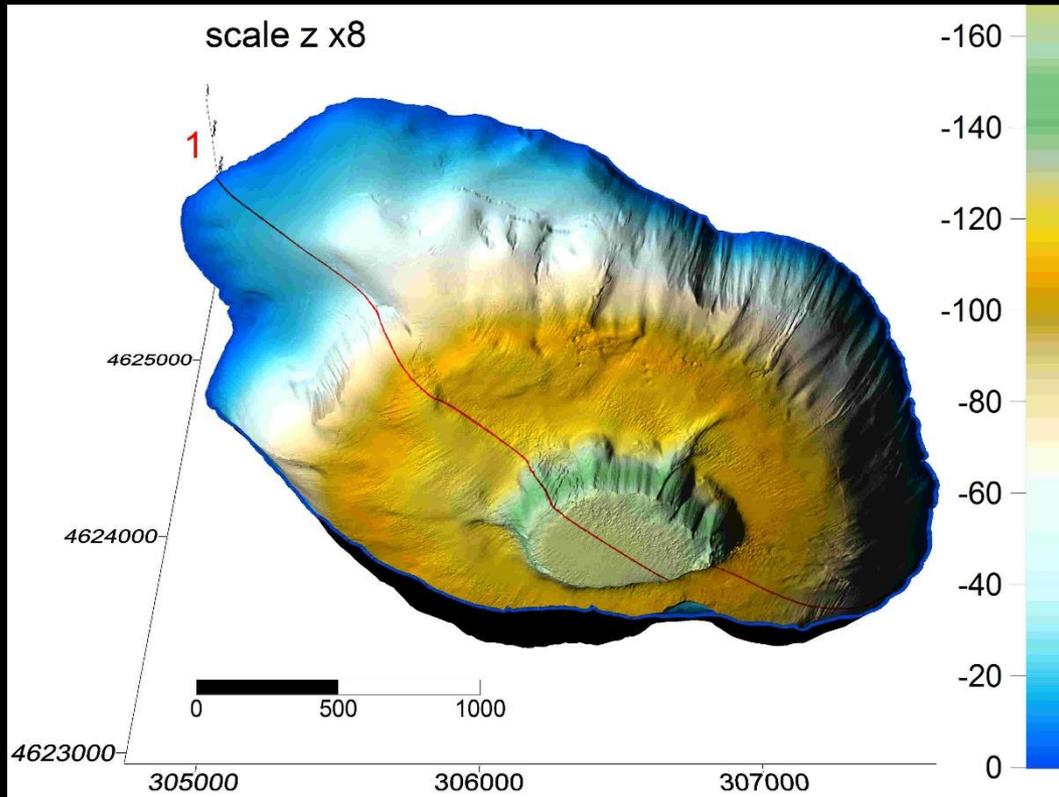
A = più superficiale
B = il maggiore
C,D = all'interno del B
E = più giovane



La morfologia



Hiatus in C tra 7.1 e 4.5 ka a -75 m (Albano core 1E, Chondrogianni et al., 1998). Cratere ?



La morfologia mostra:

- 3 piattaforme connesse da 2 gradini poste a -20 m; -110m e -165m nella curva ipsometrica
- depressioni circolari di dimensioni minori sono sulla piattaforma 2
- Il gradino 1, tra le piattaforme 1 e 2 mostra una concavità a ferro di cavallo grande circa 600x600 m

Il profilo sismico



Profilo sismico da Chondrogianni et al., 1998. Hiatus in C tra 7.1 e 4.5 ka a -75 m (Albano core 1E). Cratere + frana ?

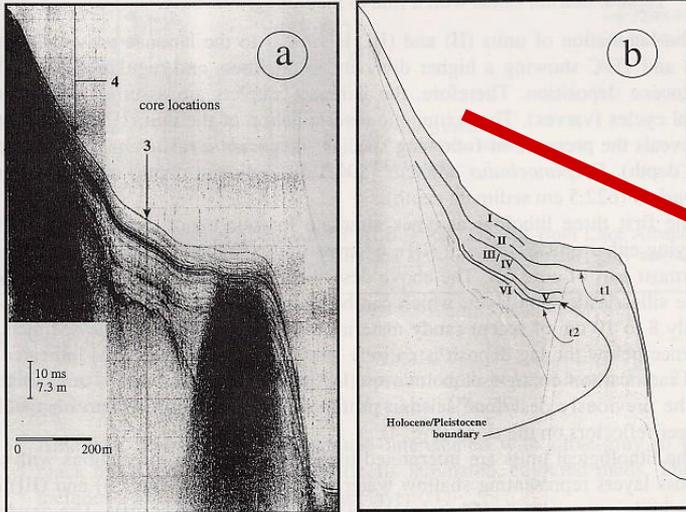


Fig. 6. Seismic record from transect C-D (Fig. 1): a) original seismic profile, b) interpreted line tracing of major reflectors.

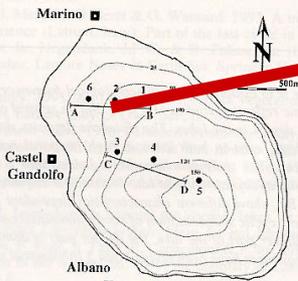
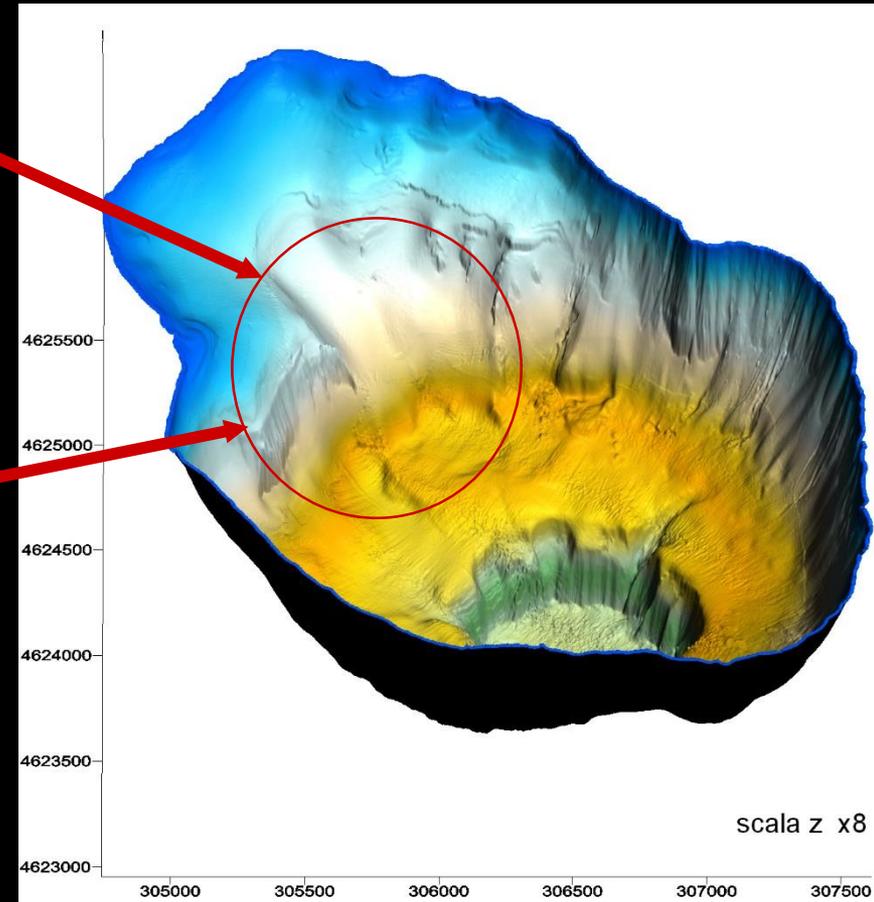
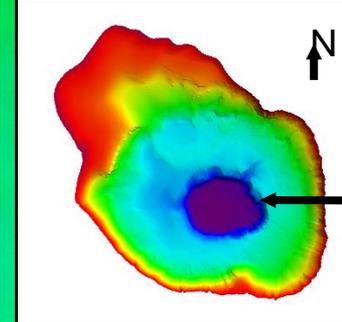
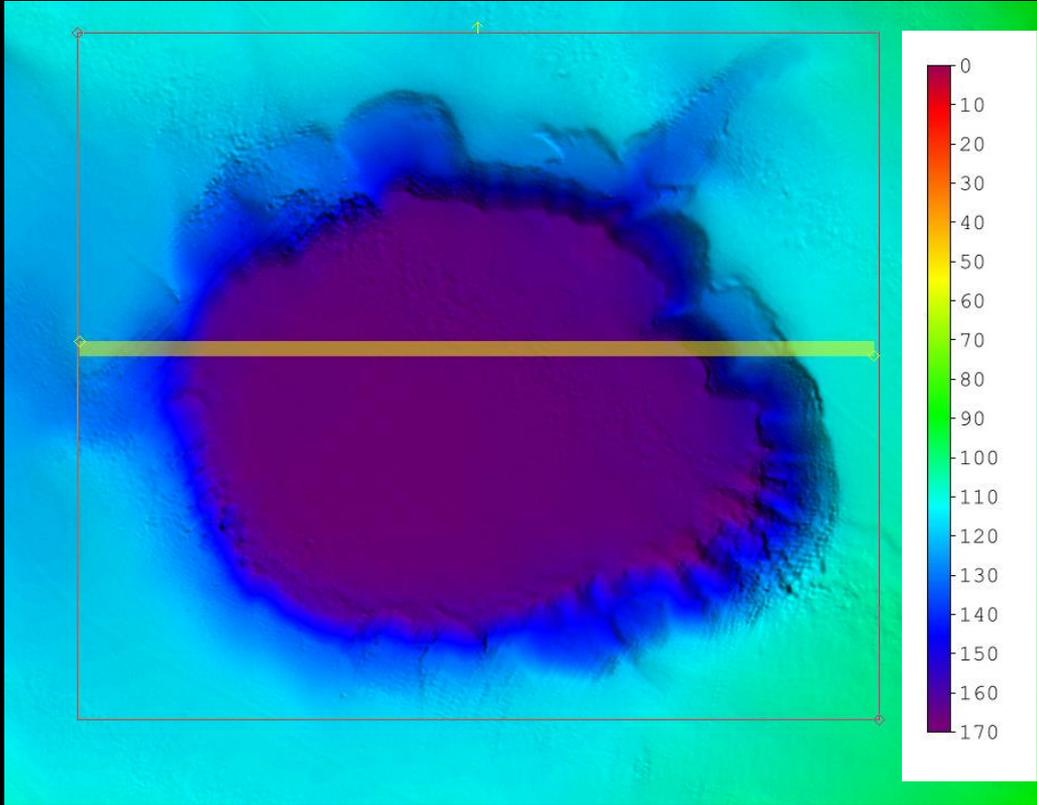


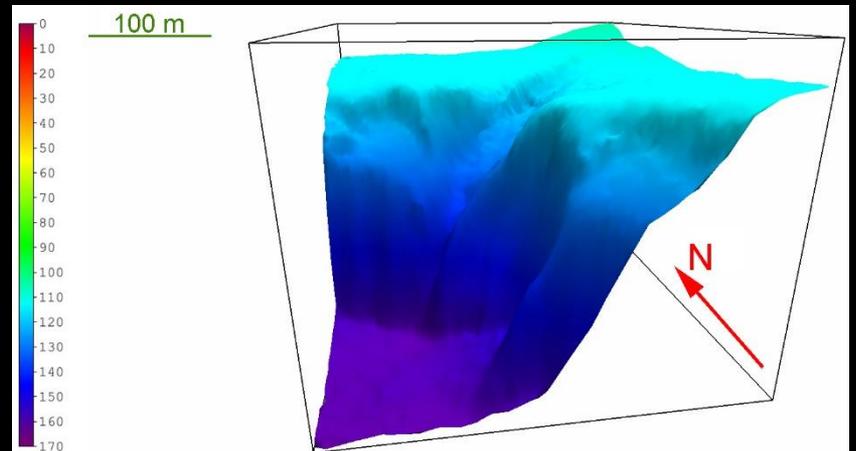
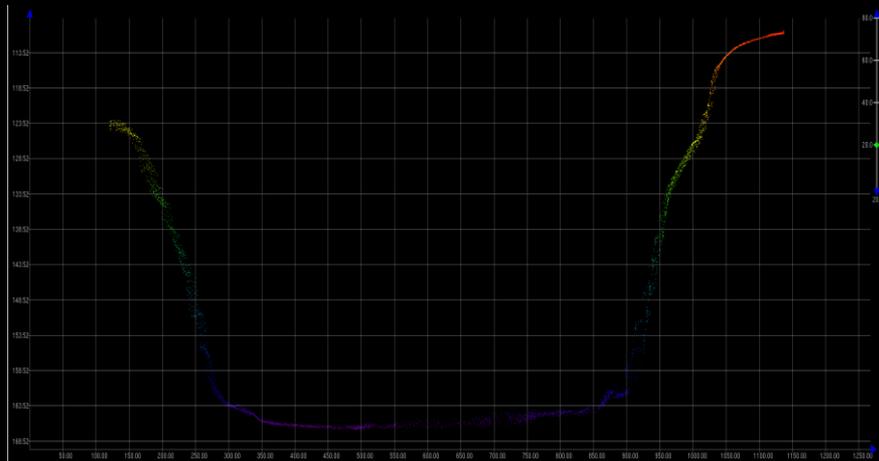
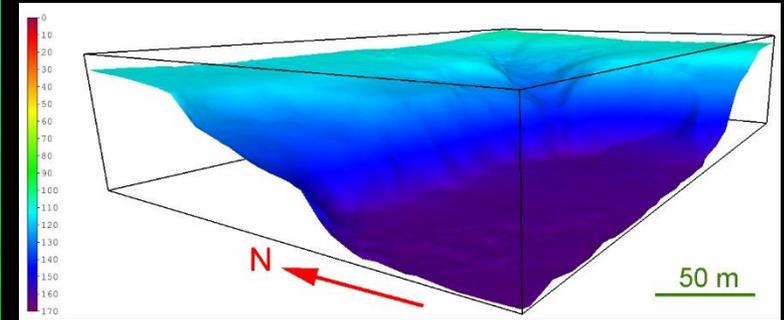
Fig. 1. Bathymetric map of Lake Albano showing core locations (1-6) and transects for seismic profiles A-B (Fig. 4) and C-D (Fig. 6).



Il cratere centrale



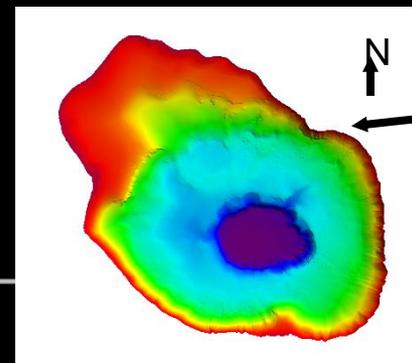
Siamo qui



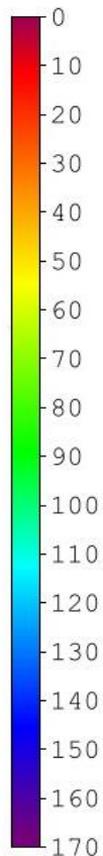
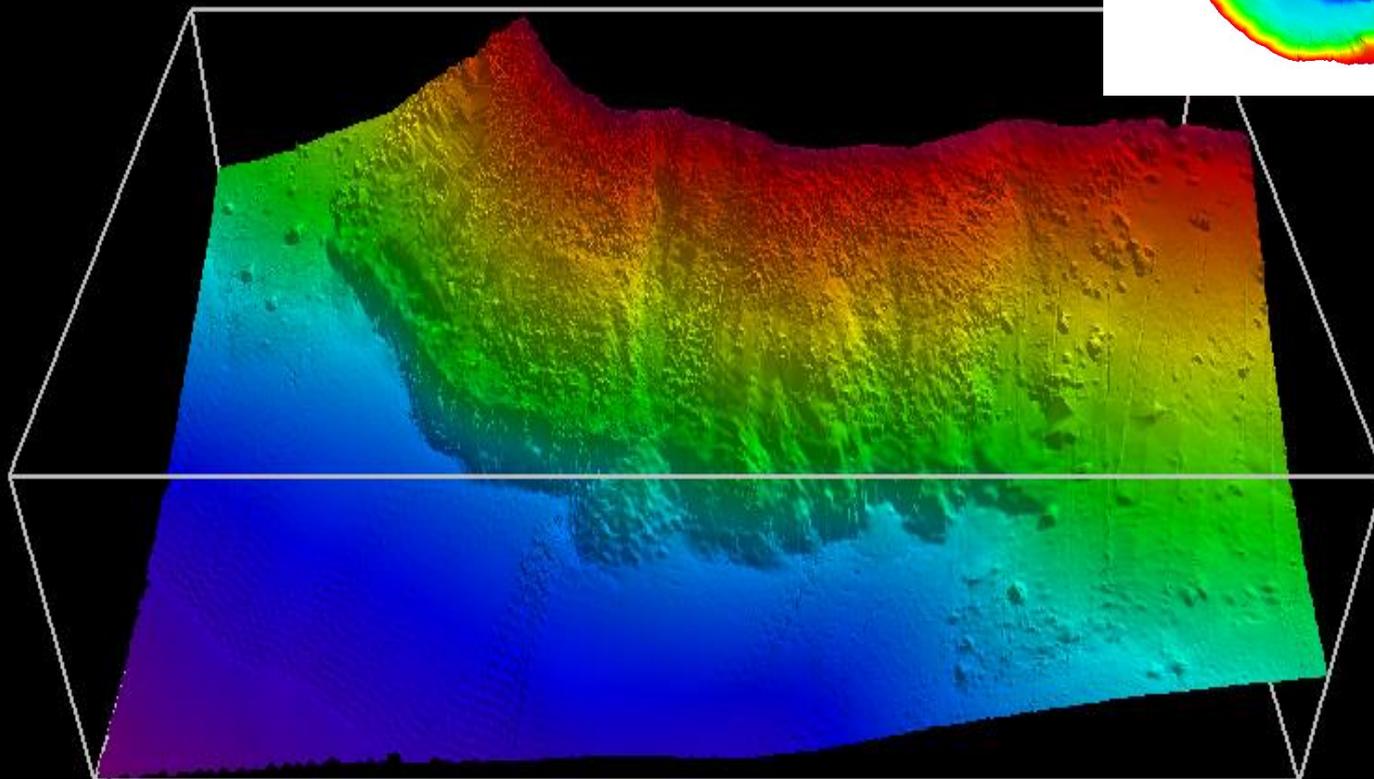
Alcune zone di frana/1



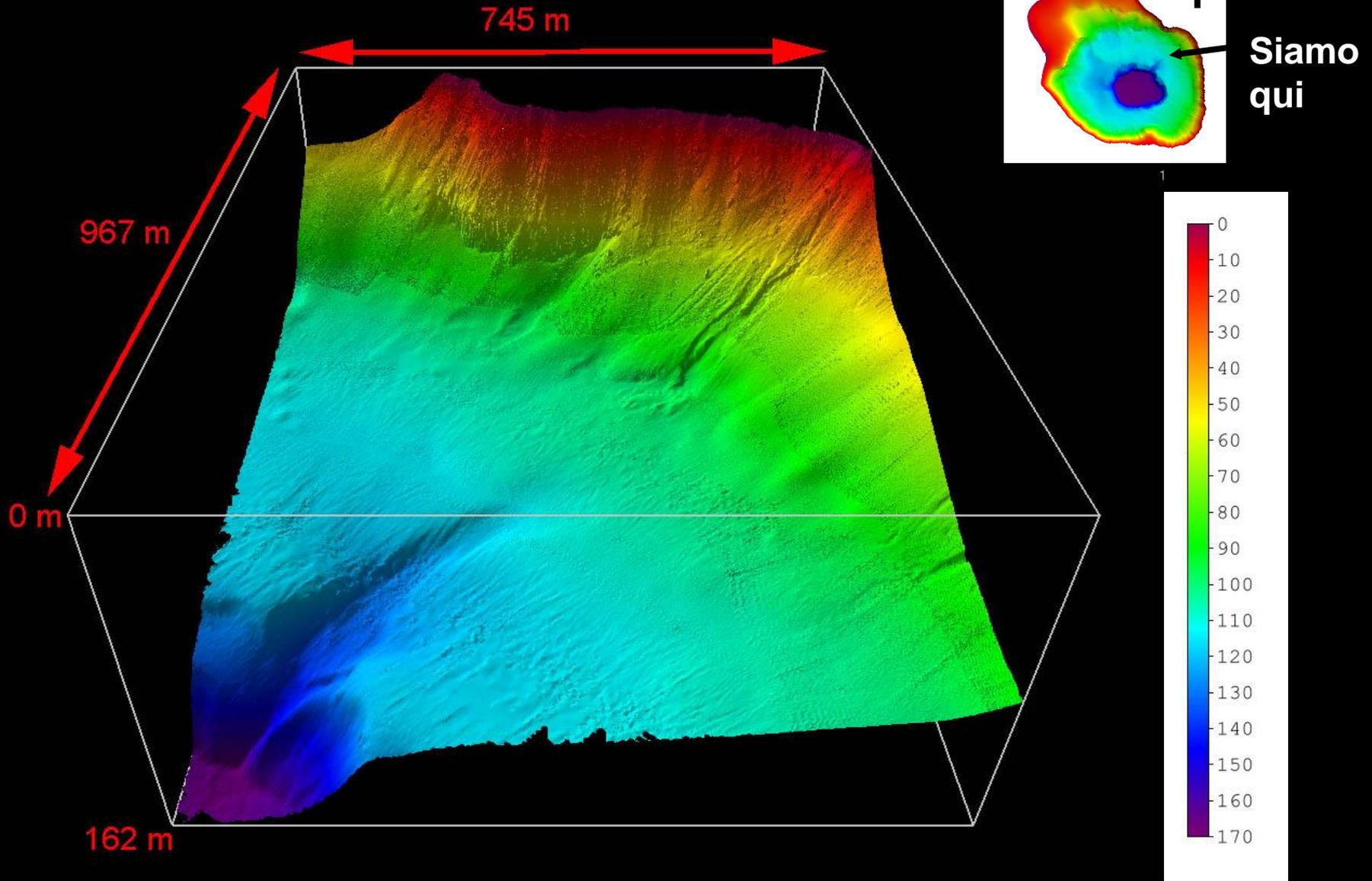
DEM 3-D



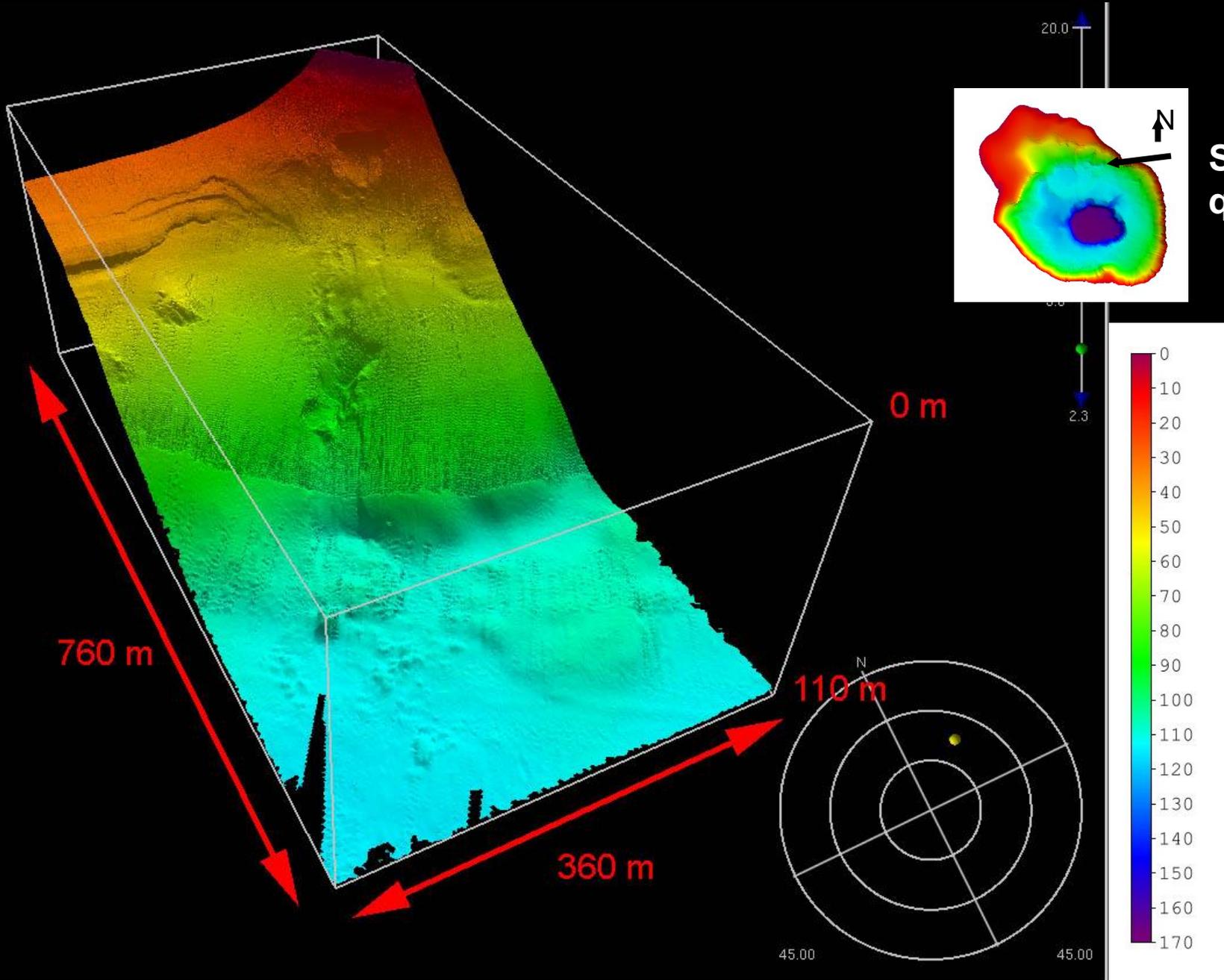
Siamo
qui



Alcune zone di frana/2



Alcune zone di frana/3

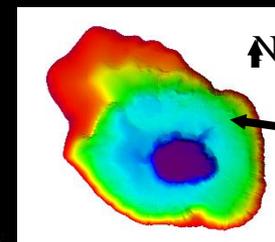
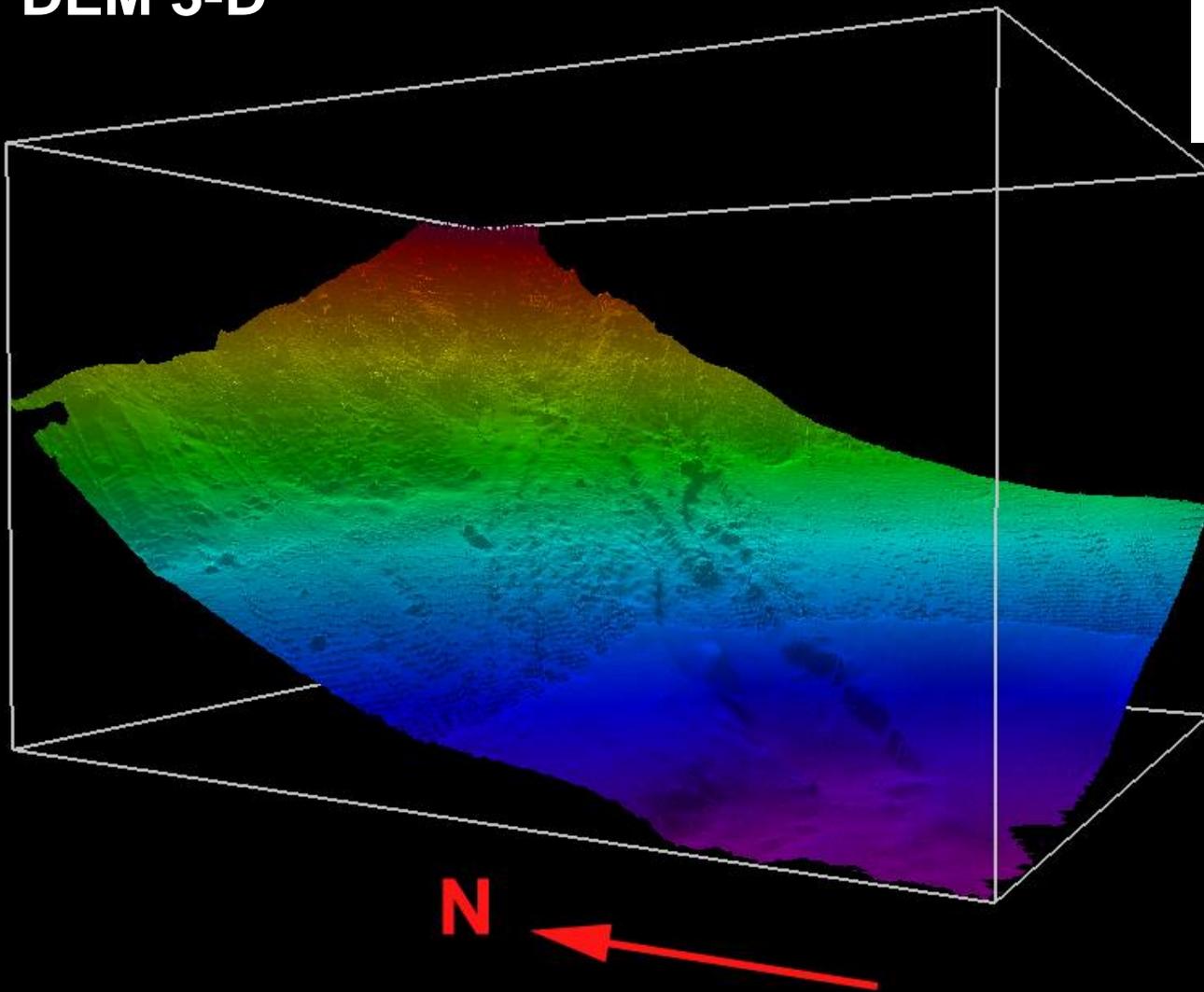


Siamo
qui

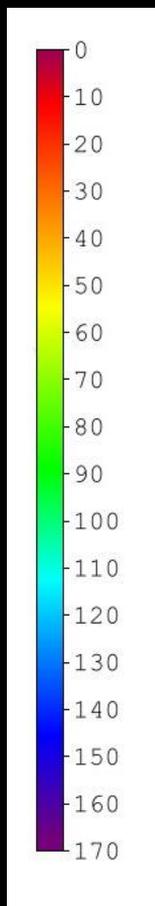
Alcune zone di frana/4



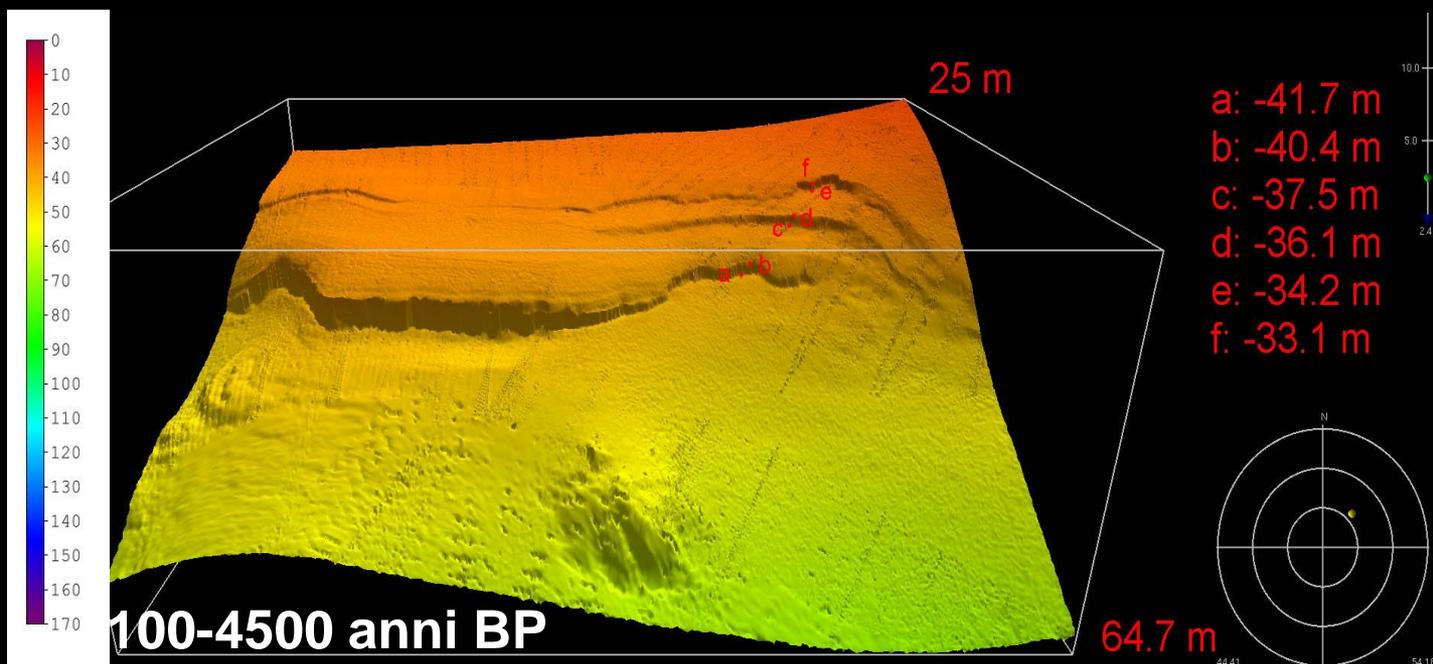
DEM 3-D



Siamo qui



Evidenze dei passati livelli del lago



Evidenze delle variazioni del livello del lago derivano dalle linee di costa sommerse e dai manufatti emersi (porto romano e moderno) o prossimi al suo livello attuale (villaggio delle Macine) (Marra & Karner, 2005; Funicello et al., 2002,2003)





Il Villaggio delle Macine



Durante il Bronzo medio (3700-3300 anni fa) lungo le rive del lago sorgeva il “Villaggio delle Macine”.

Oggi i suoi resti si trovano tra il livello del lago attuale e circa -2 m.

Al termine dell’età del Bronzo, l’insediamento si spostò probabilmente a quote più alte, verso il bordo del cratere (Funicello et al. 2003)



Evidenze dei passati livelli del lago

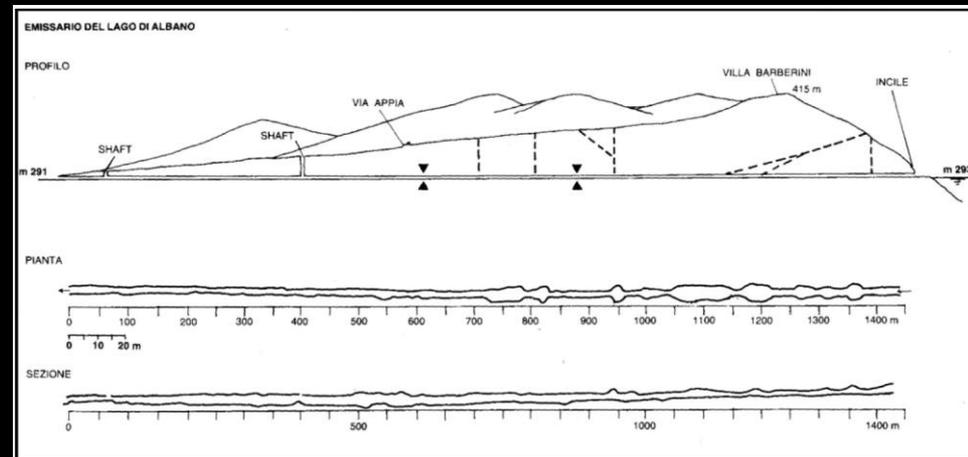


Il porto romano 100-200 d.C. nel 2005



Le attrezzature delle Olimpiadi del 1960 nel 2005

Il tunnel di drenaggio e i dati limnografici Evidenze storiche e strumentali del cambiamento



Lunghezza = 1450 m

Pendenza = 0.14 per mille

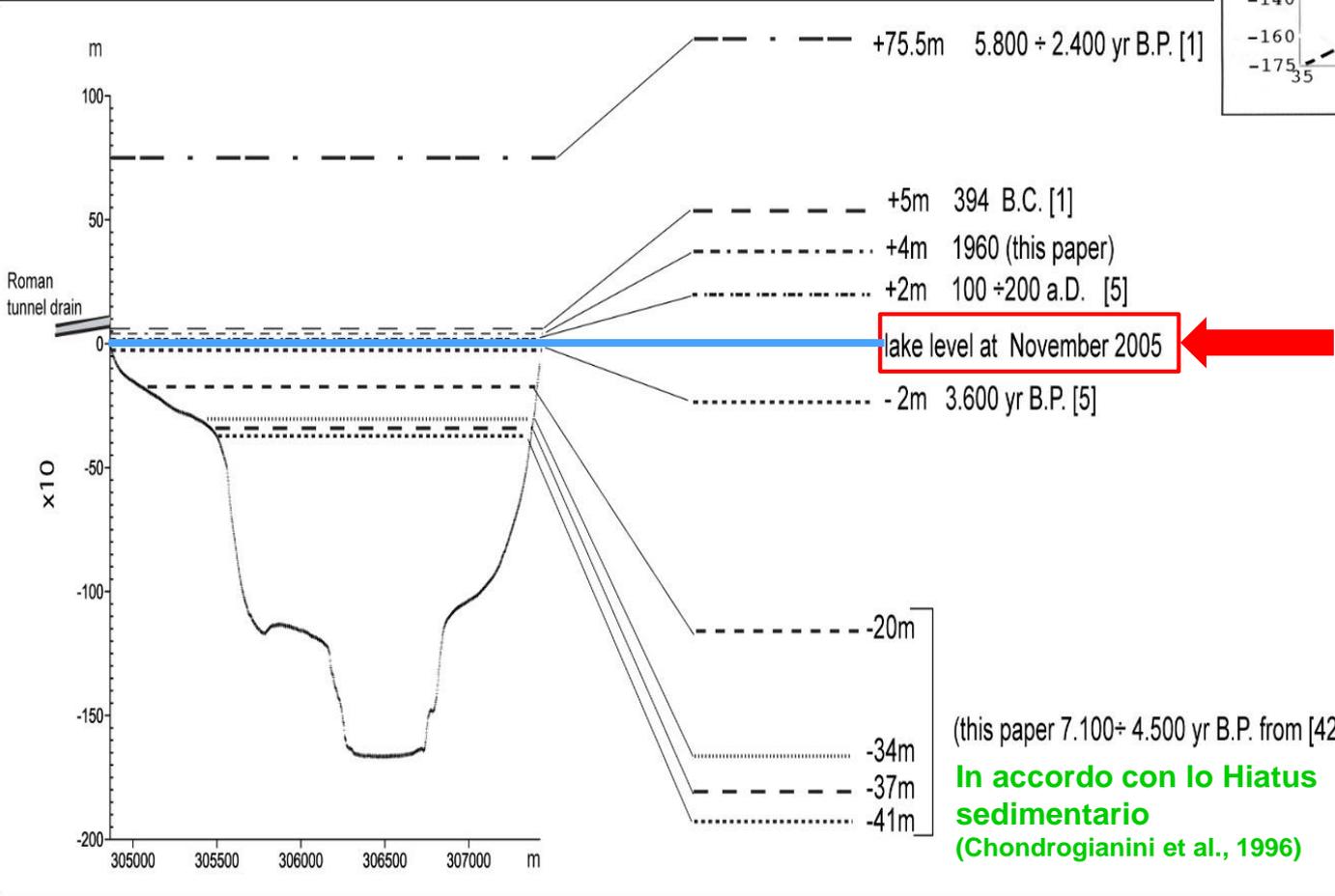
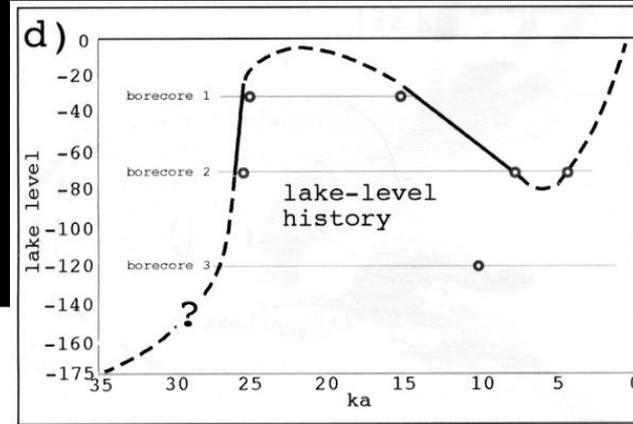
Sfocia nel fosso della Mola, fino al Tevere

Una cronologia dei passati livelli del lago



La batimetria aggiunge nuovi dati sulle variazioni passate del lago

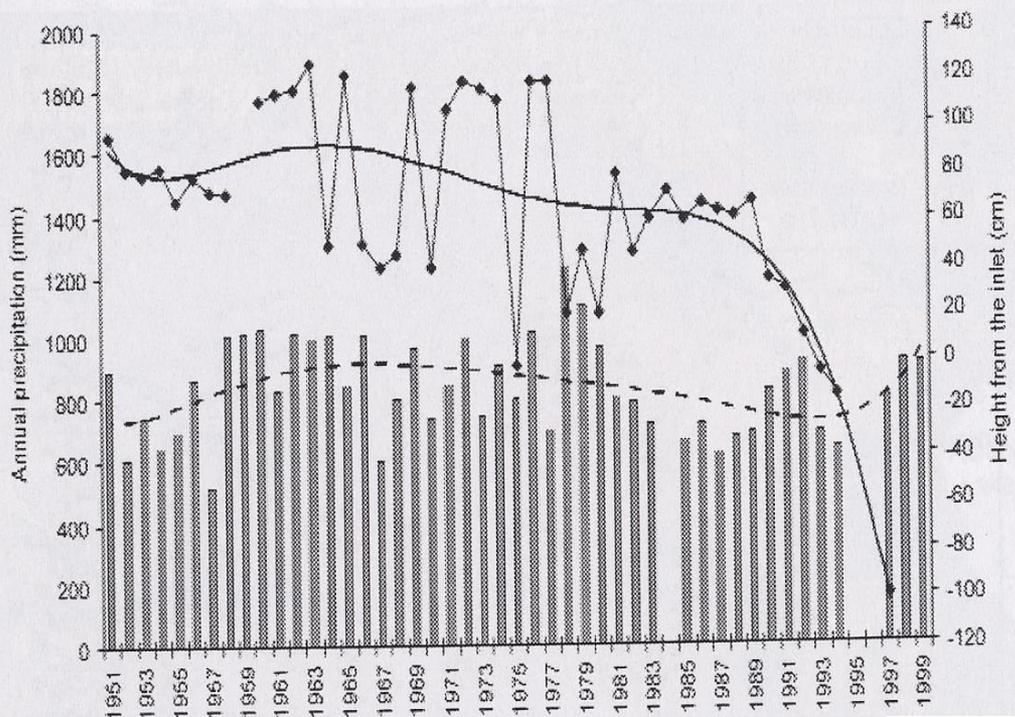
Marra & Karner, 2005 II
Quaternario



In accordo con lo Hiatus sedimentario (Chondrogianini et al., 1996)

Anzidei et al., 2007
JVGR

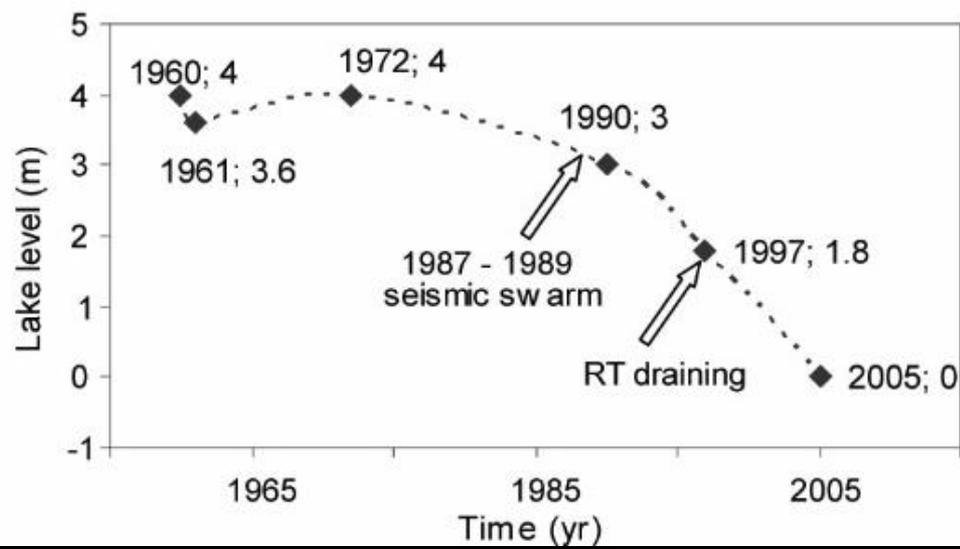
Il livello del lago dal 1960 al 2005



**1961-1999
(-190 cm circa)**

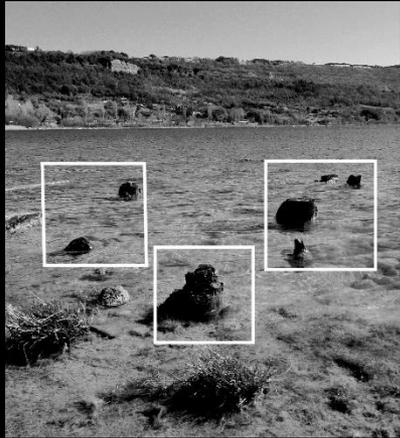
**1960-2005
(-4 m circa)**

Capelli et al., 1998

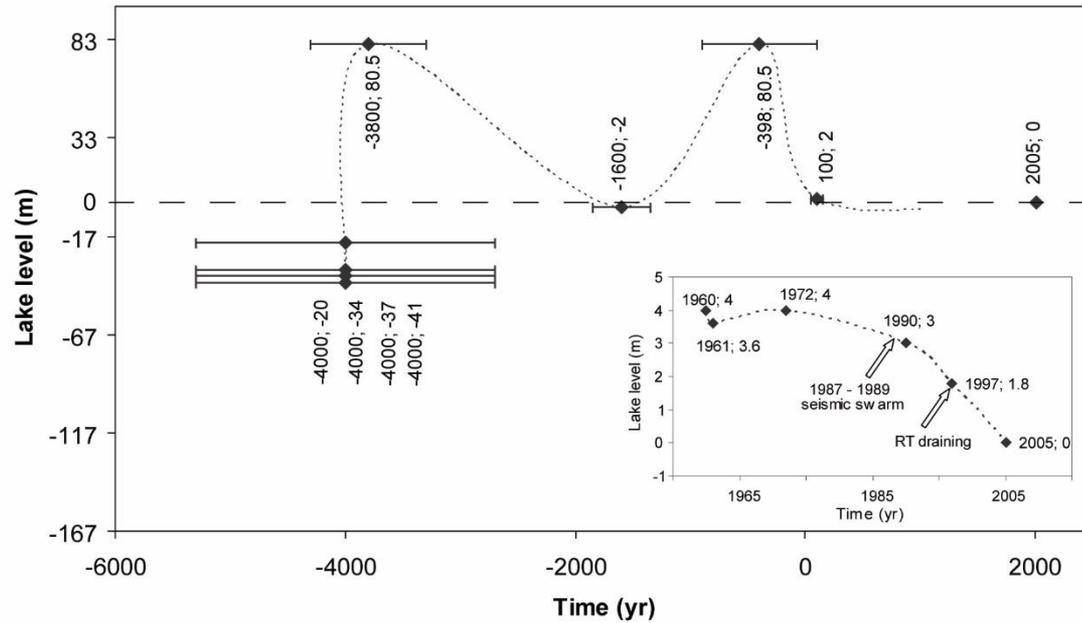


Variazioni di livello del lago Albano e attività umane

(Chiodini et al., 2011)



Età del Bronzo



Oggi



I-II sec. d.C.

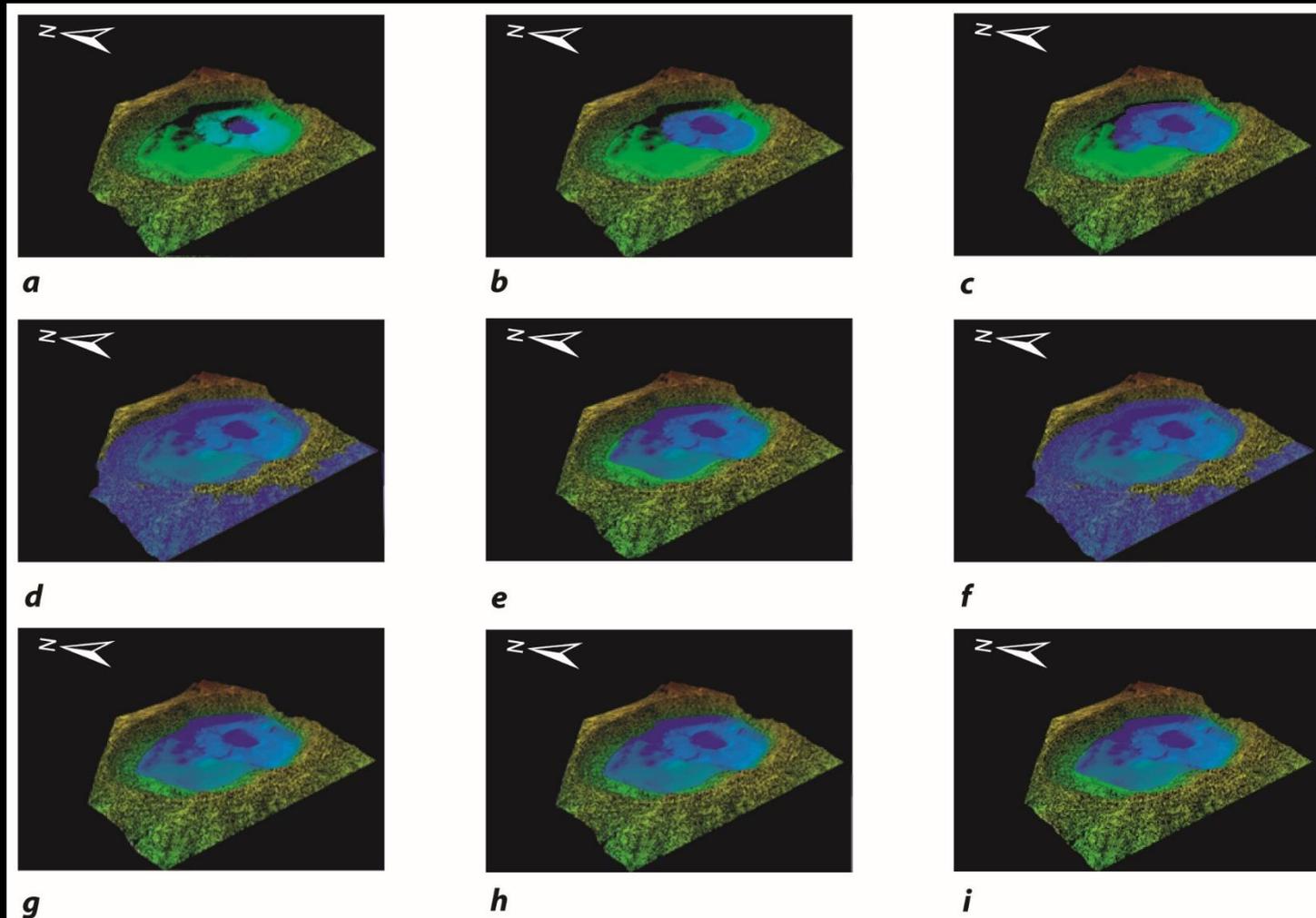


Nel 1960



Dal 1960 al 2005

Un cartoon dei passati livelli del lago



Ipotesi di ricostruzione 3-D delle variazioni di livello del lago dopo la fine dell'attività vulcanica principale: a) prima della formazione del lago (70 ka BP); b) il primo lago Albano lake (<70ka BP); c) stazionamenti tra -20 e -41 m; d) esondazione nel 3800 a.C., circa.; e) livello del lago 1600 anni a.C. (Villaggio delle Macine); f) esondazione nel 398 a.C. (Tito Livio, *Historia Romanae*, V, 15:4-7); g) ipotetico livello dopo il 398 a.C., dopo l'esondazione; h) livello del lago nel 1870-1940 (Istituto Geografico Militare); i) livello del lago nel 1960 durante le olimpiadi di Roma.

Confronto con il rilievo del lago del 1988

(Capelli et al., 1988)



Caratteristiche morfometriche del Lago Albano

Elementi morfometrici		Unità di misura	Valori
Lunghezza	(l)	m	3520.0
Larghezza massima	(b _{max})	m	2370.0
Area	(A)	Km ²	5.7020
Larghezza media		m	1619.9
Volume	(V)	m ³ x10 ⁶	453.024
Profondità massima	(z _{max})	m	175.1
Profondità media	(\bar{z})	m	79.45
Grado di incavamento	($I = \bar{z}/z \text{ max}$)	-	0.454
Sviluppo del volume	($Dv = \frac{V}{1/3Az \text{ max}}$)	-	1.3620
Perimetro	(L)	km	9.565
Indice di sinuosità	($DI = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}}$)	-	1.1303

I dati di volume rispetto a Capelli et al., 1998, mostrano una diminuzione:
Volume 453x10⁶ m³ vs 447x10⁶m³ differenza negativa di 6x10⁶ m³

Profondità (m)	Area (km ²)	Volume (m ³ x10 ⁶)
-20	5.702	105.173
-80	4.733	335.178
-90	3.026	371.200
-110	2.791	416.602
-120	2.057	435.861
-130	1.203	444.243
-140	0.508	447.935
>-140	0.369	453.024



- ✓ **La profondità è diminuita di circa 8 m!**
- ✓ **Ma la precedente batimetria era meno precisa... tecnica single beam.**
- ✓ **Le differenze quindi in realtà sono minori.**

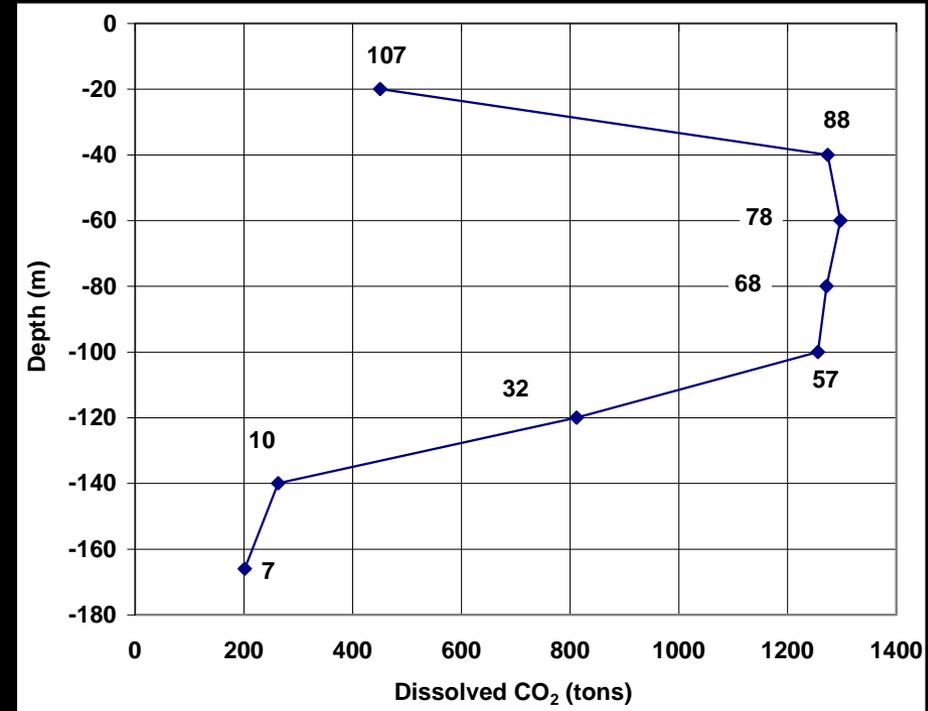


La CO₂ nel lago nel 2005

La batimetria ad alta risoluzione del Lago Albano consente di stimare la quantità totale di CO₂ oggi disciolta

Dal volume d'acqua del lago ($447.5 \times 10^6 \text{ m}^3$) e dalle analisi dei gas disciolti alle varie profondità si è stimato il valore totale della CO₂ disciolta pari a 6.846 ton.

Il limite di saturazione in CO₂ nel volume d'acqua più profonda (da -120m a -167m) è di 673×10^3 ton; il contenuto in CO₂ oggi si stima in 465 ton mentre nel 1997 era di 4187 ton.

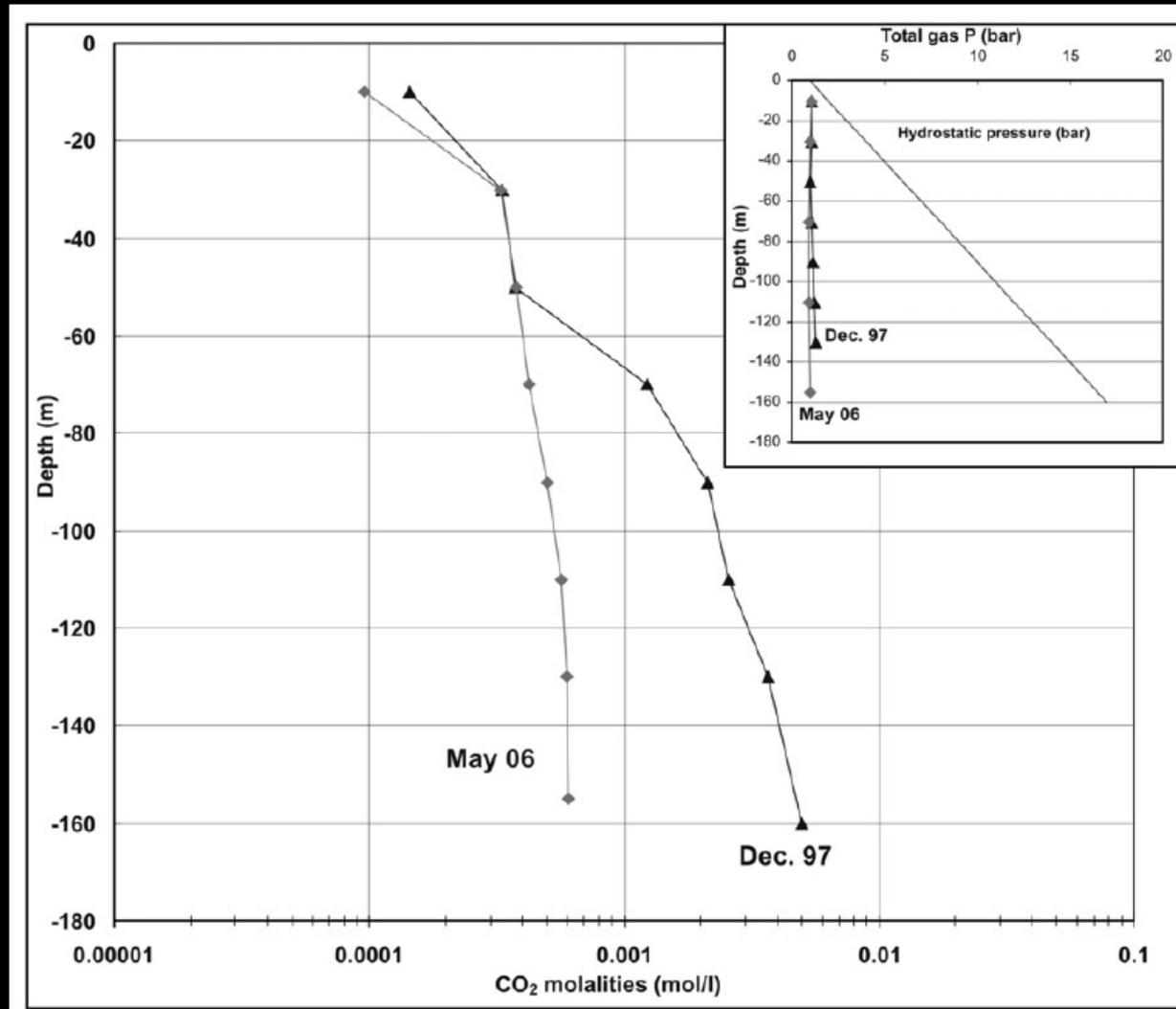


Nel 2005 eravamo distanti circa 1000 volte dal limite di saturazione, ma 10 anni prima la CO₂ era 1 ordine di grandezza in più. La diminuzione è stata attribuita a recenti fenomeni di “rollover” del lago (Funicciello et al., 2003; Anzidei et al., 2007).

La morfologia del lago ha fornito importanti suggerimenti nella comprensione dei meccanismi di rollover che si possono generare nel lago e ha indirizzato sulle nuove aree da indagare.



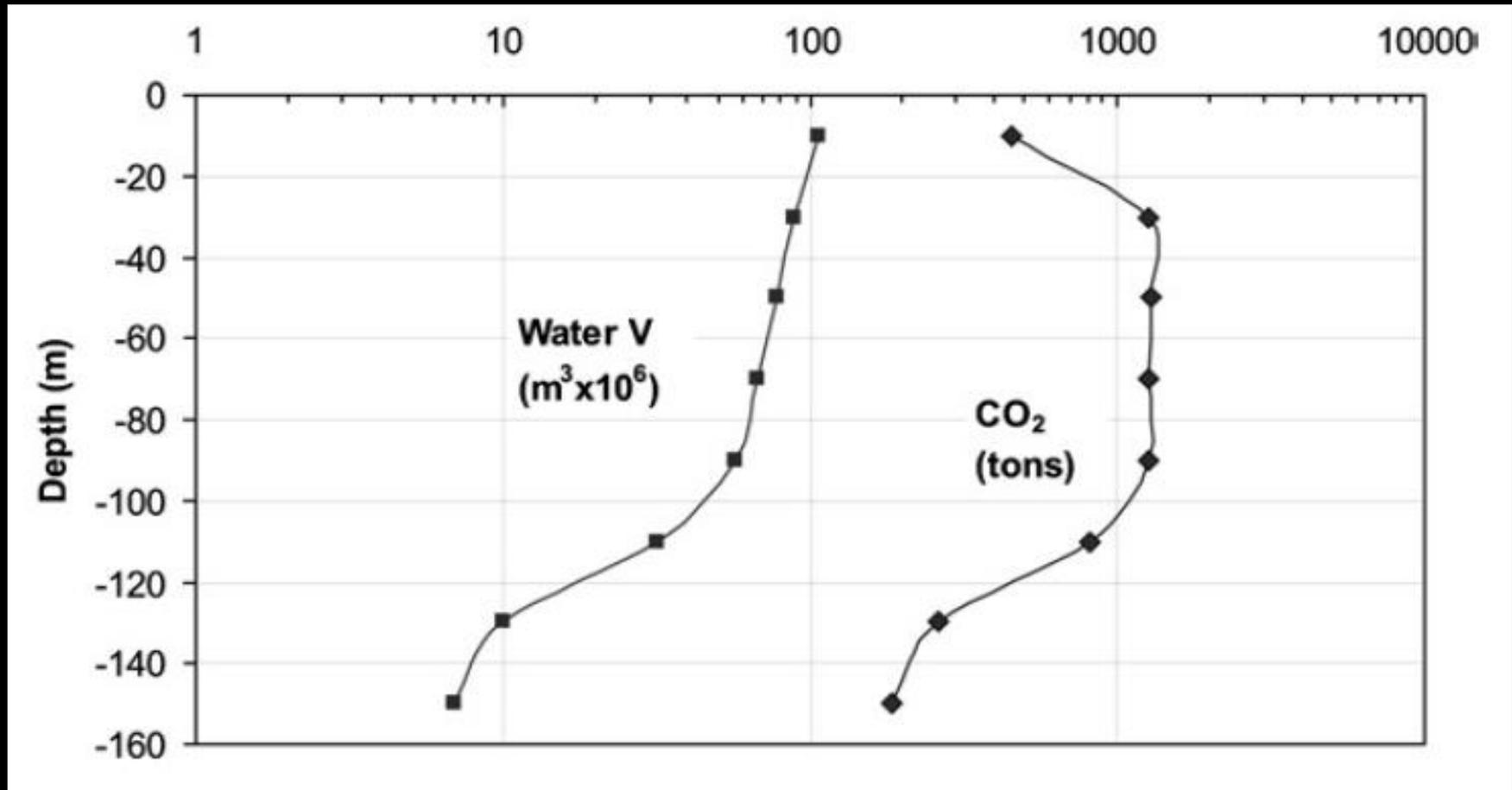
Variazione di CO₂ nel lago 1997-2003



Variazione con la profondità della concentrazione (moli) di CO₂ dissolta nel lago Albano a dicembre 1997 (Cioni et al., 2003) e Maggio 2006 (Anzidei et al., 2007).

Nota la mancanza di gradiente di CO₂ – con la profondità sotto i -50 m nel 2006. Il grafico in alto a destra mostra la variazione con la profondità della pressione totale del gas dissolto con la pressione idrostatica.

Quanta CO₂ nel lago (2006)



Stima della massa di CO₂ (ton) dissolta nel lago Albano (maggio 2006). Ogni punto indica la quantità di CO₂ dissolta nei soprastanti 20 m di acqua. Il volume di acqua è espresso in m³ × 10⁶

Concentrazione dei gas nel lago Albano nel 2010

(Chiodini et al., 2011)



Table 2 Water and dissolved gas compositions of Lake Albano in May 2010

Depth	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Alkalinity	Cl	SO ₄	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	CO ₂	N ₂	Ar	O ₂	CH ₄
0	17.2	8.32	24.8	16.4	34.9	48.9	269	17.5	6.3	4.77	0.02	0.57	0.014	0.229	nd
-10	15.7	8.40	24.7	16.3	34.7	55.3	275	16.7	6.8	4.72	0.03	0.66	0.017	0.150	nd
-20	10.0	8.20	25.0	16.5	35.4	51.7	276	17.2	6.1	4.27	0.05	0.70	0.017	0.114	nd
-30	9.4	7.84	25.3	16.4	35.3	51.1	279	16.7	6.1	3.77	0.15	0.75	0.018	0.102	nd
-40	9.2	7.73	24.8	16.1	34.7	52.0	280	16.5	5.4	4.39	0.17	0.78	0.019	0.077	nd
-50	9.1	7.71	24.7	16.2	35.4	50.8	281	16.9	5.2	3.83	0.19	0.69	0.016	0.066	0.0002
-60	9.1	7.53	25.3	16.4	35.2	51.2	282	16.9	5.5	3.69	0.21	0.73	0.017	0.011	0.0005
-70	9.0	7.50	26.3	17.0	34.6	50.5	281	16.5	5.0	3.75	0.27	0.75	0.018	0.012	0.0051
-80	9.0	7.35	25.6	16.2	36.6	49.8	282	17.1	5.3	3.05	0.42	0.82	0.020	0.007	0.0049
-90	8.8	7.20	26.5	16.8	35.7	50.6	294	16.7	5.3	3.02	0.66	0.84	0.020	0.003	0.0068
-100	8.7	7.22	29.3	16.7	35.7	49.1	303	16.8	5.4	2.83	0.79	0.75	0.018	0.002	0.082
-110	8.7	7.15	30.1	16.8	34.9	49.5	314	16.5	5.7	3.16	0.80	0.73	0.018	nd	0.142
-120	8.7	7.15	32.0	16.7	34.8	48.8	324	16.8	5.1	3.13	0.83	0.68	0.016	nd	0.223
-130	8.7	7.08	34.0	16.7	34.9	48.1	330	16.6	4.6	na	0.88	0.70	0.017	nd	0.312
-140	8.7	7.03	35.1	16.9	35.6	49.5	326	16.4	4.2	2.88	0.87	0.65	0.015	nd	0.408
-150	8.7	7.05	34.9	16.9	34.8	52.2	332	16.5	4.7	3.14	0.93	0.63	0.015	nd	0.449
-160	8.7	7.02	35.0	16.7	34.6	49.7	329	16.2	4.3	na	0.98	0.65	0.015	nd	0.484

Ion and dissolved gas concentrations are expressed in milligrams per kilogram and millimoles per kilogram, respectively. Alkalinity is expressed in milligrams per kilogram of HCO₃, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ is in ‰ V-PDB

n.d. not detected, *n.a.* not analyzed

Chimismo del lago Albano nel 2010

(Chiodini et al., 2011)



Fig. 7 Measured **a** pH and **b** alkalinity (expressed as milligrams per kilogram of CO_2) along the vertical profile of Lake Albano in 1989–2010. The time-related decrease of alkalinity and increase of pH are caused by CO_2 removal

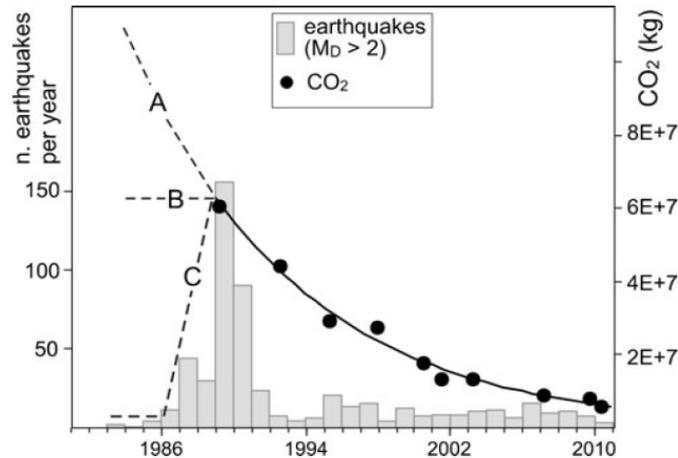
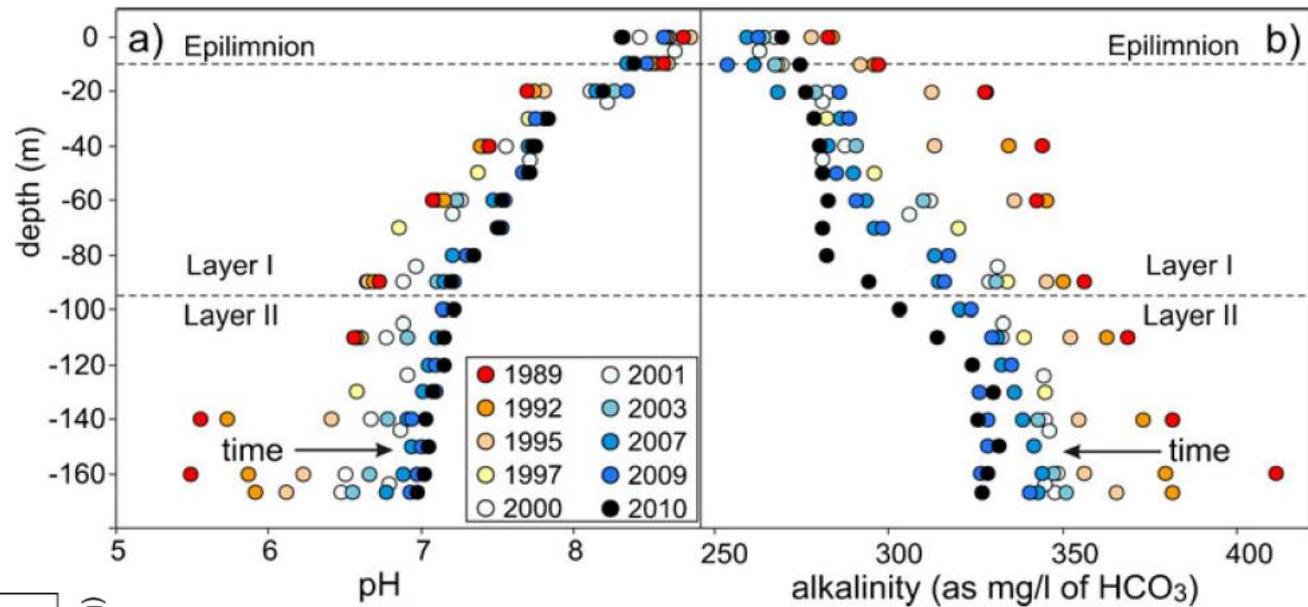


Fig. 8 Computed CO_2 total contents (in kilograms) of the Albano Lake in 1989–2010 and number of earthquakes per years ($M_D > 2$) occurred in the Alban Hills area from 1983 to 2010 (available from ISIDE, Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base, INGV; <http://iside.rm.ingv.it>). Lines *A*, *B*, and *C* refer to different hypothesis on the origin of the CO_2 anomaly (see the text for explanation)

Terremoti e CO_2

(Chiodini et al., 2011)

Il rollover

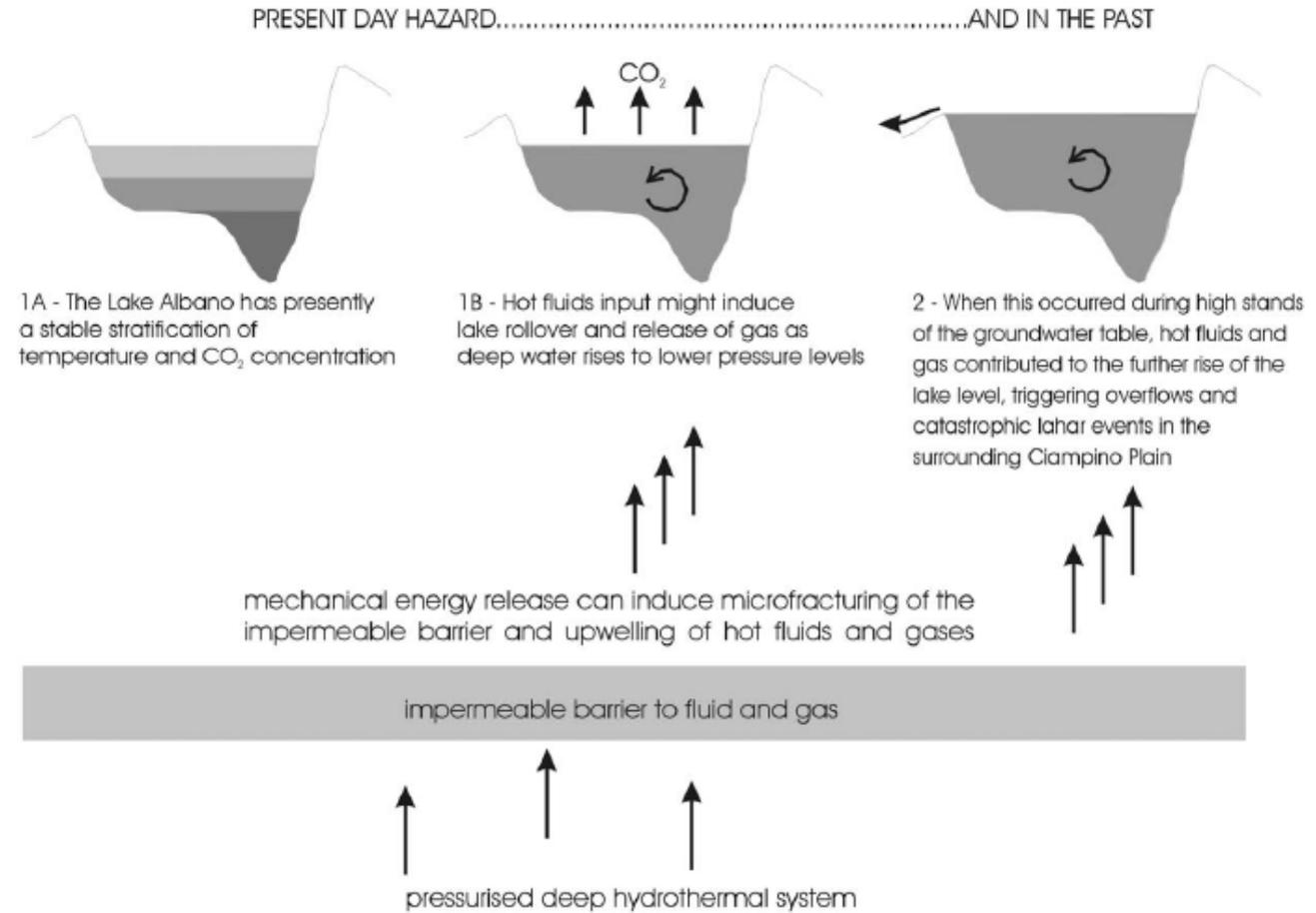


Fig. 8. Interpretative model for the Albano Lake overspill during the Holocene and the present-day hazard from CO₂ and hydrothermal fluids upwelling.

Le improvvise esondazioni del lago Albano potrebbero essere state causate dal ribaltamento dei livelli a varia densità del lago ed emergenza delle acque profonde, ricche in CO₂. Analoghi catastrofici eventi si sono verificati nei laghi craterici africani di Monoun e Nyos (Sigurdsson *et al.*, 1987; Barberi *et al.*, 1989; Rice, 2000).

La diminuzione di densità per riscaldamento porterebbe gli strati d'acqua profondi a risalire alla superficie, probabilmente in connessione ad immissione di acque calde sul fondo del lago durante eventi sismici che attivano il sistema idrotermale profondo, con liberazione di volumi crescenti di CO₂ e improvviso innalzamento del livello del lago, fino a farlo esondare (e di una nube di CO₂) dal bordo più basso del cratere (prospiciente la piana di Ciampino) (Funiello *et al.*, 2003).

Conclusioni: alcune cifre e risultati



- Il lago è profondo -166.8 m (15 novembre, 2005);
- Il cratere centrale è alto 40-45 m dal fondo e largo circa 900 m
- Ci sono 5 crateri (ma l'argomento è ancora dibattuto)
- Ci sono stazionamenti del livello del lago a quote inferiori di quelle attuali, non scoperte in precedenza: 4 tra -20 e -41 m;
- Il volume totale del lago al 15 Novembre 2005, era di $447.5 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Il volume del cratere centrale tra -125.0 m e -167.5 m è di $15.2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Il volume critico del lago per esondare (in assenza di input esterni) è di $895.7 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Presenza di frane
- Assenza di centri di emissione gassosa che invece erano state osservate nel 1997 da precedenti indagini (riduzione attività esalativa o sigillazione delle fratture dopo le ultime sequenze sismiche ?)
- Nel 2020 il lago è sceso ancora rispetto al 2005 (visibile)



Problemi aperti

- **I crateri sono 5 ?**
- **Il cratere centrale è una buona trappola per accumulo di CO₂ ?**
- **Un rilascio rapido di gas o di fluidi caldi o/o di frane nella parte più profonda del lago può innescare un pericoloso rollover con rilascio di gas ?**
- **Qual'è il rischio indotto da eventi franosi ?**
- **Cosa potrebbe innescare questi possibili eventi ? (frane, terremoti, risalita di fluidi caldi ?)**
- ...



Grazie per l'attenzione!

