

Evidenze morfologiche di campi di *pockmark* e fuoriuscite di fluidi sui fondali del Mar Tirreno

Morphological evidences of pockmarks fields and fluid escapes on the seafloor of the Tyrrhenian Sea

LORETO M.F.(*)

RIASSUNTO - Il fondale del Mar Tirreno è caratterizzato dalla presenza di numerose fuoriuscite di fluidi/gas e di morfologie che testimoniano il verificarsi di questo fenomeno. L'analisi dettagliata dei dati di morfo-batimetria a media risoluzione, resi disponibili all'intera comunità nell'ambito del programma Europeo EMODnet, ha permesso di identificare la presenza di depressioni sub-circolari, *pockmark*, lungo il margine peri-tirrenico che testimoniano l'avvenuta fuoriuscita di fluidi e gas dal fondale marino provenienti da livelli sedimentari profondi. In particolare, sono stati identificati tredici campi di *pockmark* per un numero totale di diverse centinaia di occorrenze puntuali. Di questi campi: a) sei sono stati identificati nel Tirreno settentrionale, tra il margine Sardo - Corso e la Toscana; b) quattro nel Tirreno sud occidentale, lungo il margine nord della Sicilia; c) due nel Tirreno orientale al largo della Calabria; d) uno al largo del Lazio nel Tirreno centrale. Sono stati identificati *pockmark* sia di piccole che di grandi dimensioni. I *pockmark* di piccole dimensioni hanno forma circolare e sono disposti in modo sia casuale sia allineati lungo direzioni preferenziali. In generale, questi hanno un diametro medio di 500 m e profondità media di 15/20 m e sono distribuiti in modo casuale al tetto di ridge sedimentari o nell'intorno di sistemi vulcanici. Alcune volte si allineano lungo incisioni prodotte dal flusso di correnti che formano dei *gully* oppure prodotti dall'attività di faglie. I *pockmark* di grandi dimensioni, detti "*Giant pockmark*", spesso risultano dalla fusione di *pockmark* minori ma contigui e formano strutture coalescenti allungate. I *Giant pockmark* hanno diametro che frequentemente supera i 2 km e profondità di 60/120 m e sono per lo più organizzati in sciami allineati lungo incisioni controllate principalmente da processi tettonici e in minor parte da flussi di correnti profonde. Nella zona del Tirreno orientale le fuoriuscite intense di fluidi/gas in grado di creare sul fondale marino enormi depressioni sono spesso associate a sistemi vulcanici.

PAROLE CHIAVE: emissione fluida, fondale marino, *pockmark*, batimetria, gas, margine continentale

ABSTRACT - The Tyrrhenian seafloor is characterized by the presence of abundant fluids/gas escapes and morphologies witnessing the occurrence of this phenomenon. The detailed analyses of middle resolution morpho-bathymetric data, made available to the entire community in the frame of the EMODnet European program, allowed to identify the presence of sub-circular depressions, named *pockmarks*, along the peri-Tyrrhenian margin which witness the escapes of fluids at seafloor fed by deep levels. We identified thirteen fields of *pockmarks* and several hundreds of single *pockmarks* belonging to them. Among these: a) six are located in the Northern Tyrrhenian, amongst Sardinia-Corsica and Tuscany; b) four are located in the Southwestern Tyrrhenian, North of Sicily; c) two are in the Eastern Tyrrhenian, offshore Calabria region; and d) one is offshore Lazio in the Central Tyrrhenian sea. *Pockmarks* of both small and very large dimensions are present. The small *pockmarks* have circular shape, and are either randomly distributed or aligned along preferential directions. Generally, these have an average diameter and depth of 500 m and 15/20 m, respectively, and have random distribution at the top of sedimentary ridges or within volcanic systems. Sometimes they align along engravings generated by deep water currents, forming "*gullies*", or generated by tectonic structures. The large dimension *pockmarks*, named "*Giant pockmarks*", result by merging of several (two, three or more) small *pockmarks* forming coalescent and elongated structures. *Giant pockmarks* have average diameter that frequently exceeds 2 km and depth ranging from 60 to 120 m. These are mostly organized in swarms along engravings mainly controlled by tectonic processes and in minor part by deep water currents. In the Eastern Tyrrhenian Sea the fluids/gas escapes able to leave large depressions on the seafloor are frequently associated with volcanic systems.

KEY WORDS: fluid emission, ocean floors, *pockmarks*, bathymetry, gas, continental margin

(*)Istituto di Scienze Marine (ISMAR), CNR sede di Bologna, Via P. Gobetti 101, 40129 Bologna

1. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0001, TIRRENO SETTENTRIONALE

I *pockmark* sono crateri sui fondali marini generati dalla fuoriuscita di fluidi, spesso arricchiti da grandi quantitativi di gas, che si accumulano negli strati sedimentari sottostanti. Quando la pressione esercitata dal fluido supera quella litostatica esercitata dal sedimento, il fluido buca i sedimenti e fuoriesce liberandosi nella colonna di acqua sovrastante. L'identificazione dei *pockmark* sui fondali marini è stata possibile grazie a dati batimetrici ad alta risoluzione. Nel corso dell'ultimo decennio e grazie alla batimetria di alta risoluzione (MARANI *et alii*, 2004; EMODnet Bathymetry Consortium, 2018) è stato possibile individuare numerosi campi di *pockmark* mai osservati in precedenza sui fondali del Mar Tirreno.

Il fondale marino del Tirreno settentrionale (fig. 1a) presenta localmente delle morfologie tipi-

che dei *pockmark* (buchi quasi tondeggianti di vario diametro e profondità) organizzati in sciame alla profondità media di 700-1.100 m.

Quest'area, delimitata con un poligono denominato TYR0001 (fig. 1b), si estende per 346 km² ed include più di 60 singoli *pockmark* organizzati in gruppi o lungo linee, posizionati al tetto di un rilievo sottomarino allungato in direzione NO-SE. Tra gli eventi osservati ve ne sono alcuni di dimensioni rilevanti, ad esempio quello indicato con la freccia grigia in figura 1 (b, c) è caratterizzato da un salto batimetrico di circa 42 m e una pendenza media delle pareti interne di ca. 7° (vedi anche il profilo batimetrico in figura 1). Questo *pockmark* ha un diametro di ca. 900 m e un'area di quasi 1 km². Tali dimensioni ci portano a classificarlo come *pockmark* gigante. Altri *pockmark* minori hanno profondità media di ca. 10 m e diametri di 400 m. L'analisi delle morfologie dell'area circostante, ossia piccoli rilievi circolari e forme ondulate, e la

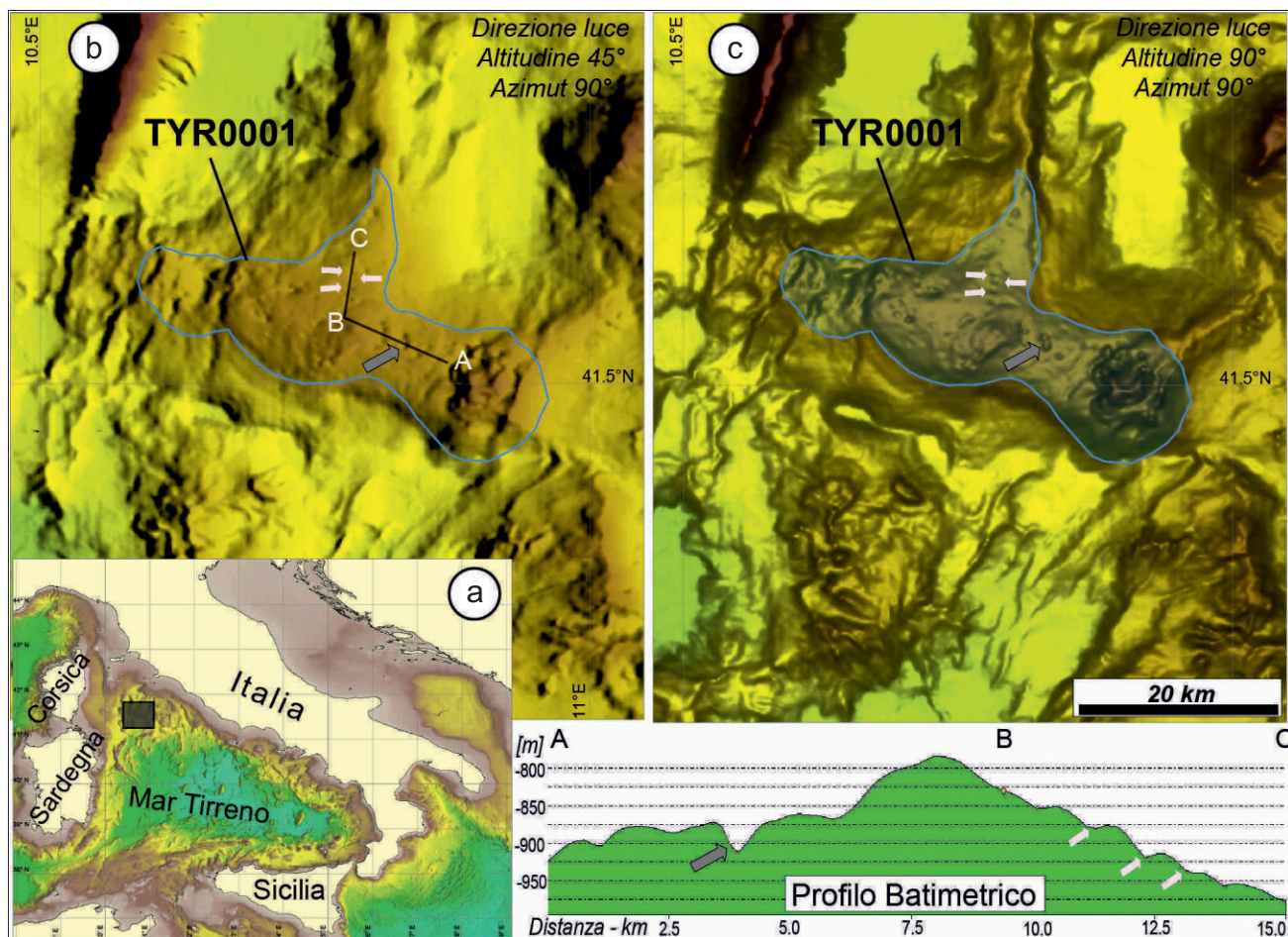


Fig. 1 - Campo di *pockmark* TYR0001 localizzato nel Tirreno settentrionale, vedi riquadro nero nella mappa morfo-batimetrica (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). L'area di questo campo di *pockmark* è delimitata da un poligono azzurro trasparente (c). Alcuni *pockmark* sono indicati con le frecce bianche, mentre la freccia grigia indica un *pockmark* gigante. La linea nera nella mappa (b) indica il profilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark*. A, B, C indicano i vertici del profilo batimetrico.

- Pockmarks field TYR0001 located within the northern Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetric data (grid cell size of 200 x 200 m; ascii data downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded by using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). The area of pockmarks field TYR0001 is marked by a transparent light blue polygon (c). Thick white arrows point at the pockmarks morphologies, while the thick grey arrow points at a giant pockmark. Black line in map (b) marks the bathymetric profile extracted across the pockmarks field. A, B, C point at the vertexes of the bathymetric profile.

presenza di rocce basaltiche riscontrate sul vicino Monte Etruschi (KELLER, 1981), ci permette di ipotizzare un'origine vulcanica dei fluidi che hanno dato origine a questo campo. Sulla base della sola batimetria ed essendo un campo di *pockmark* mai studiato in precedenza non è possibile definirne l'attività, l'età e la geochimica.

2. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0002, TIRRENO SETTENTRIONALE

Sempre nell'area del Tirreno settentrionale, sul fondale marino sono presenti delle morfologie sub-circolari tipiche dei *pockmark* (fig. 2a), raggruppati al tetto di un piccolo rilievo che si trova ad una profondità media di 750-800 m. Questo campo denominato TYR0002 ha un'estensione di ca. 28.4 km² ed include ca. 14 singoli *pockmark*.

Questi apparentemente sono allineati in direzione NO-SE. Tra gli eventi osservati ce n'è uno che potrebbe essere classificato come gigante (freccia grigia in fig. 2b, c). Questo è caratterizzato da un salto batimetrico di 49 m e una pendenza media delle pareti di ca. 7° (vedi profilo batimetrico). Questo *pockmark* ha un diametro di 1,2 km e un'area di quasi 1 km². Altri *pockmark* minori mostrano un salto batimetrico di ca. 10 m e diametro di ca. 500 m. Considerata la presenza di morfologie sub-coniche, poco più a sud (fig. 2c), e le effusioni magmatiche che caratterizzano il Monte Tiberino, localizzato immediatamente ad est (CELLA *et alii*, 1998) anche per questo campo è ipotizzata un'origine vulcanica dei fluidi ad esso associabili. Sulla base della sola batimetria ed essendo un campo di *pockmark* mai studiato in precedenza non è possibile definirne l'attività, l'età e la geochimica.

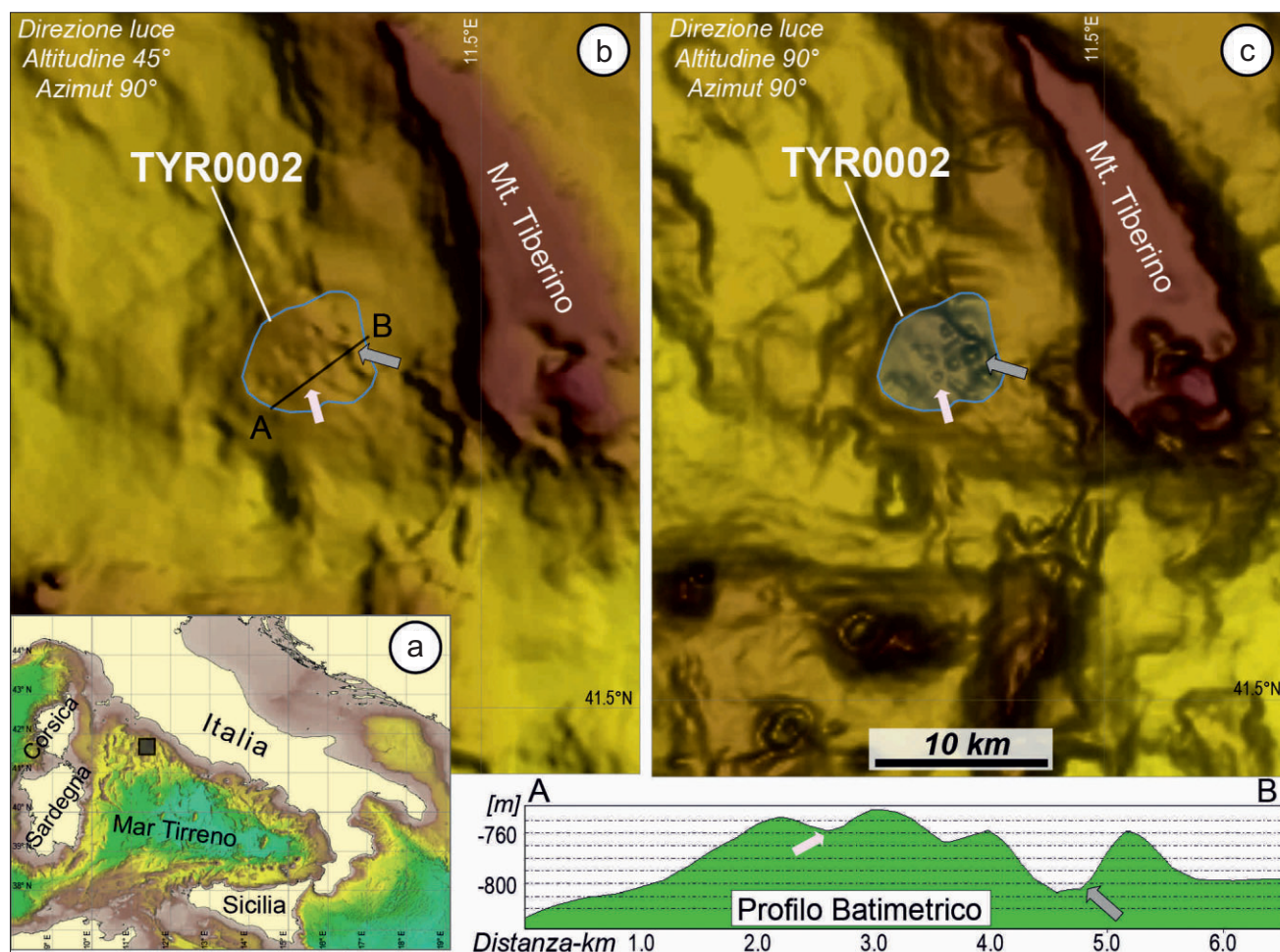


Fig. 2 - Campo di *pockmark* TYR0002 localizzato nel Tirreno settentrionale, vedi riquadro nero nella mappa morfo-batimetrica (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). L'area di questo campo di *pockmark* è delimitata con un poligono azzurro trasparente (c). La freccia bianca indica uno dei tanti *pockmark* che costituiscono il campo TYR0002, mentre la freccia grigia indica un *pockmark* gigante.

La linea nera nella mappa (b) indica il profilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark*. A, B indicano i vertici del profilo batimetrico.
- Pockmarks field TYR0002 located within the northern Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). The area of pockmarks field is represented by a transparent light blue polygon (c). The thick white arrow points at one of the pockmarks belonging to this field, while the thick grey arrow points at a giant pockmark belonging to this field. Black line marks the bathymetric profile in map (b) extracted across the pockmarks field. A, B point at the vertexes of the bathymetric profile.

3. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0003, TIRRENO SETTENTRIONALE

Questo piccolo campo di *pockmark* (fig. 3a), si differenzia leggermente dagli altri campi per l'organizzazione dei singoli *pockmark*, i quali sono principalmente allineati in direzione NE-SO, al tetto di un *ridge* che man mano si approfondisce da 400 a 1.000 m. L'area è stata delimitata da un poligono denominato TYR0003 (fig. 3b, c) che si estende per ca. 140 km² e conta al suo interno più di 15 *pockmark* con profondità variabile nel range di 10-30 m (freccie bianche). Questi hanno un diametro mediamente compreso tra 400 e 600 m e pendenza delle pareti interne tra 3° e 6° (profilo batimetrico). A nord dei *pockmark* si osservano

morfologie simili ma di dimensioni superiori (freccie grigie), sembrerebbero *pockmark* giganti caratterizzati da salti batimetrici fino a 100 m e diametro superiore a 1.5 km (profilo batimetrico in figura 3). Purtroppo sulla base di questi dati non è possibile definire con esattezza l'origine di queste depressioni; considerato che si allineano lungo un *ridge* e formano delle importanti depressioni non necessariamente circolari è possibile ipotizzare un'origine tettonica. Potrebbero essere controllate dal sistema di faglie estensionali che ha permesso l'assottigliamento della crosta continentale e l'apertura dei bacini Magnaghi e Vavilov. Dalle informazioni petrografiche dei campioni di roccia presi nelle aree circostanti, ossia rocce di origine plutonica poco più a nord e rocce di origine magmatica non

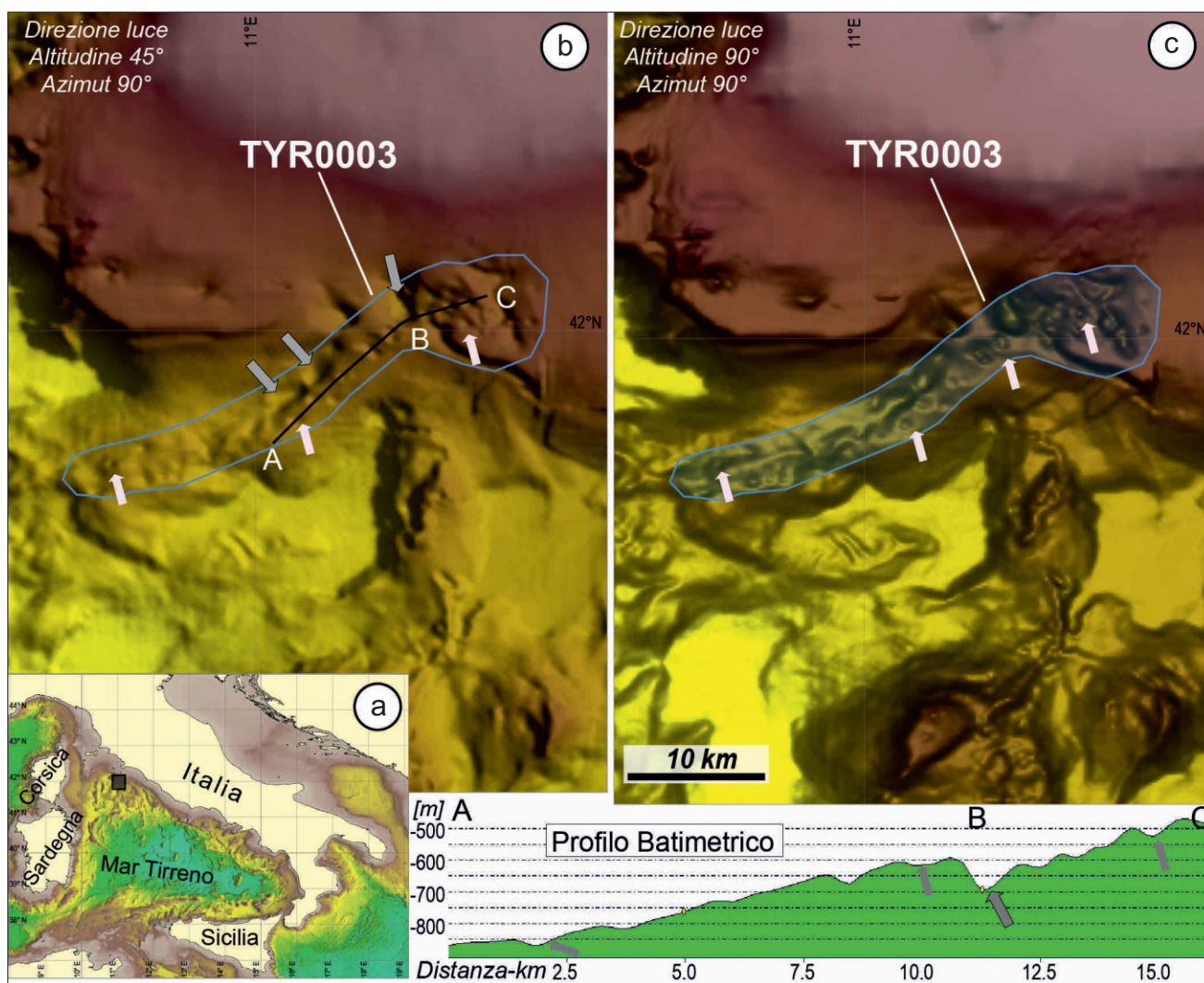


Fig. 3 - Campo di *pockmark* TYR0003 localizzato nel Tirreno nord-occidentale, vedi riquadro nero nella mappa morfo-batimetrica (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). L'area del campo di *pockmark* TYR0003 è delimitata da un poligono azzurro trasparente (c). Alcuni *pockmark* sono indicati con le frecce bianche, mentre le frecce grigie indicano i *pockmark* coalescenti che formano depressioni di grandi dimensioni (b, c). La linea nera in mappa (b) indica il profilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark*. A, B, C indicano i vertici del profilo batimetrico.

- *Pockmarks* field TYR0003 located within the north-western Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). The area of *pockmarks* field TYR0003 is represented by a transparent light blue polygon (c). Thick white arrows point at the *pockmarks* morphologies, while thick grey arrows point at the coalescent structures that form very large depressions (b, c). Black line in map (b) marks the bathymetric profile extracted across the *pockmarks* field. A, B, C point at the vertexes of the bathymetric profile.

chiaramente classificate poco più a sud (SARTORI, 2005), possiamo ipotizzare che i fluidi fuoriusciti da questi *pockmark* potrebbero essere stati di origine magmatica e che la loro posizione sia controllata dalla tettonica dell'area. L'età delle rocce plutoniche, con sorgente mantellica campionate nelle aree emerse (Toscana e Lazio), è Tortoniano - Recente (SARTORI, 2005, e referenze in esso contenute). Quindi, potremmo ipotizzare un'attività del campo TYR0003 fino al Recente.

4. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0004, TIRRENO SETTENTRIONALE

Anche questo campo di *pockmark* si trova nel Tirreno settentrionale (fig. 4a). La sua peculiarità è l'allineamento dei *pockmark* in direzioni sia longitudinali sia trasversali rispetto al margine continentale. La direzione dominante sembra essere N-S, lungo la

quale corre una profonda depressione di -150 m rispetto alle aree circostanti, con pendenza media di 9° e immersione a ovest. Questa depressione inter-cetta una serie di *pockmark* di piccole dimensioni allineati in direzione E-O, spesso coalescenti (vedi fig. 4b, c, destra). All'intersezione dei due sistemi (N-S e E-O) si possono formare *pockmark* giganti (freccia grigia). Questi ultimi raggiungono la profondità di 130 m a ridosso della scarpata N-S (profilo batimetrico; fig. 4), un diametro di 2.4 km e una pendenza di 10° . I *pockmark* minori mostrano profondità variabile in un range di 15-25 m, diametro tra 400 e 600 m, e pendenza tra 2° e 4° . Questo campo di *pockmark*, chiamato TYR0004, si estende per ca. 270 km². Una seconda scarpata orientata N-S con salto batimetrico minore è presente poco più a ovest. Tali caratteristiche sono diagnostiche di un sistema controllato dalla tettonica. In quest'area è stato identificato un sistema di faglie estensionali, orientate ca. N-S che hanno controllato l'assotti-

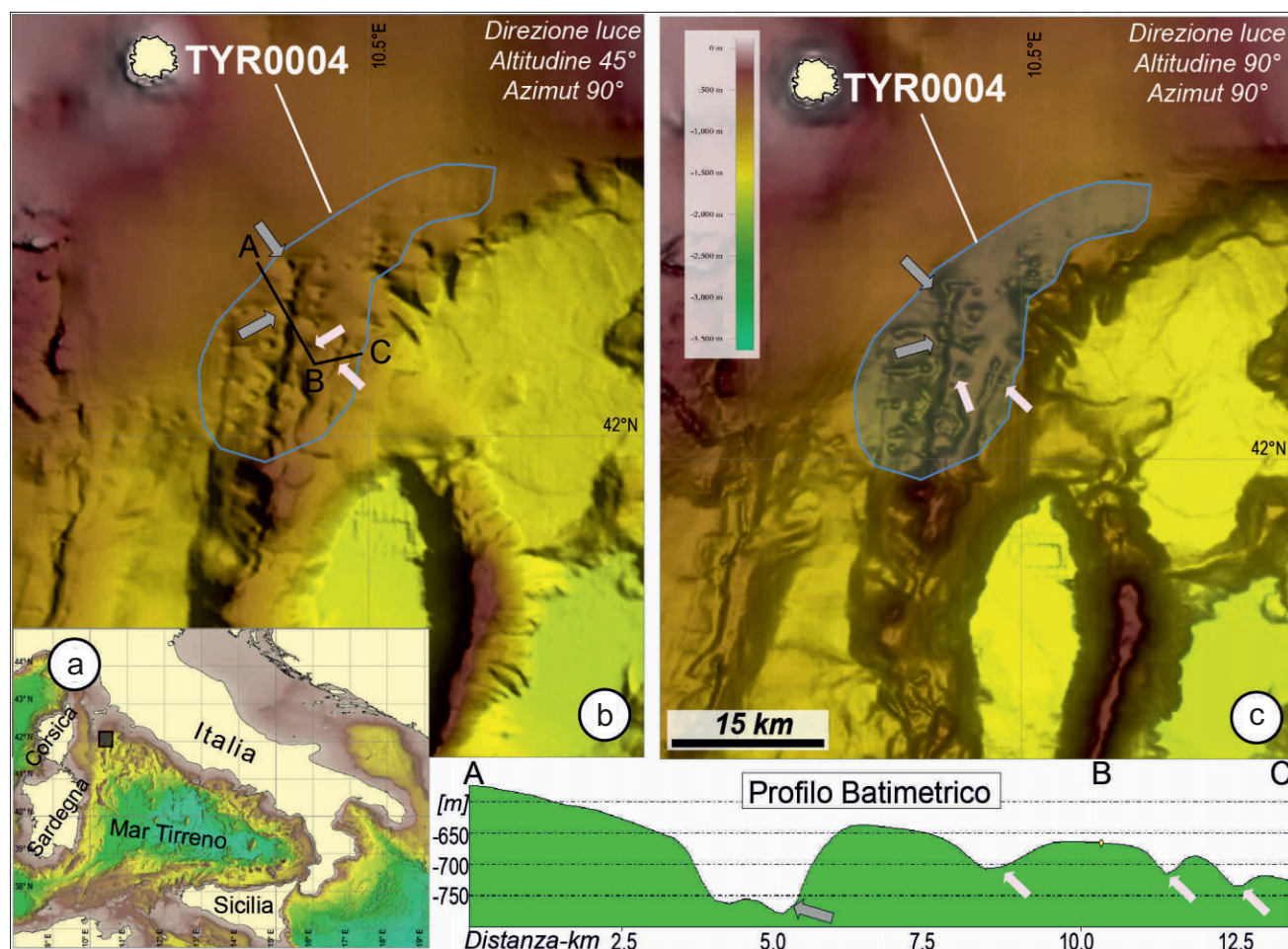


Fig. 4 - Campo di *pockmark* TYR0004 localizzato nel Tirreno settentrionale, vedi riquadro nero nella mappa morfo-batimetrica (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). L'area di questo campo è delimitata con un poligono azzurro trasparente (c). Alcuni *pockmark* sono indicati con le frecce bianche, mentre le frecce grigie indicano i *pockmark* coalescenti che intersecano la scarpata N-S (b, c). La linea nera nella mappa (b) indica il profilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark*. A, B, C indicano i vertici del profilo batimetrico.

- Pockmarks field TYR0004 located within the northern Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m, downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). The area of pockmarks field TYR0004 is represented by a transparent light blue polygon (c). Thick white arrows point at the pockmarks morphologies, while the thick grey arrows point at the coalescent structures crossing the N-S escarpment (b, c). Black line in map (b) marks the bathymetric profile extracted across the pockmarks field. A, B, C point at the vertexes of the bathymetric profile.

gliamento crostale durante l'apertura del bacino di retro-arco tirrenico (TRINCARDI & ZITELLINI, 1987). Sulla base delle informazioni petrografiche delle rocce campionate nelle aree circostanti, ossia rocce di origine plutonica a nord e rocce di origine magmatica a sud (SARTORI, 2005), possiamo ipotizzare che i fluidi associabili a questi *pockmark* potrebbero essere di origine magmatica e che la loro posizione sia controllata dalla tettonica. L'età delle rocce plutoniche, con sorgente mantellica campionate nelle aree emerse (Toscana e Lazio), è Tortoniano - Recente (SARTORI, 2005, e referenze in esso contenute). Quindi, potremmo ipotizzare un'attività del campo TYR0004 fino al Recente.

5. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0005, TIRRENO SETTENTRIONALE

In prossimità del margine orientale Corso-Tirrenico settentrionale (fig. 5a) è presente un campo di *pockmark* qui denominato TYR0005.

Questo campo (fig. 5b) si estende per 800 km² ed è composto da numerosi *pockmark* di piccole dimensioni; questi hanno profondità che variano da -3 m a -15 m al massimo. Di conseguenza hanno diametro che varia in un range di 300-700 m, con prevalenza dei diametri minori, mentre lo slope delle pareti varia tra 2° e 7°. In generale, i *pockmark* in questo campo si distribuiscono lungo un asse ca. N-S che connette la scarpata continentale a nord con un *ridge* orientato circa E-O a sud (vedi profilo batimetrico in figura 5). Queste due zone, nord e sud, sono state campionate e le analisi delle rocce recuperate mostrano una provenienza da una sorgente magmatica non ben definita con età di messa in posto tra i 4 e 5 Ma (SARTORI, 2005). Questo *ridge* si trova in una grande baia della piattaforma continentale al largo della Corsica. Essendo questi *pockmark* di dimensioni ridotte risultano più difficili da localizzare sulla mappa batimetrica a media risoluzione qui utilizzata, ma la rappresentazione con una differente inclinazione della

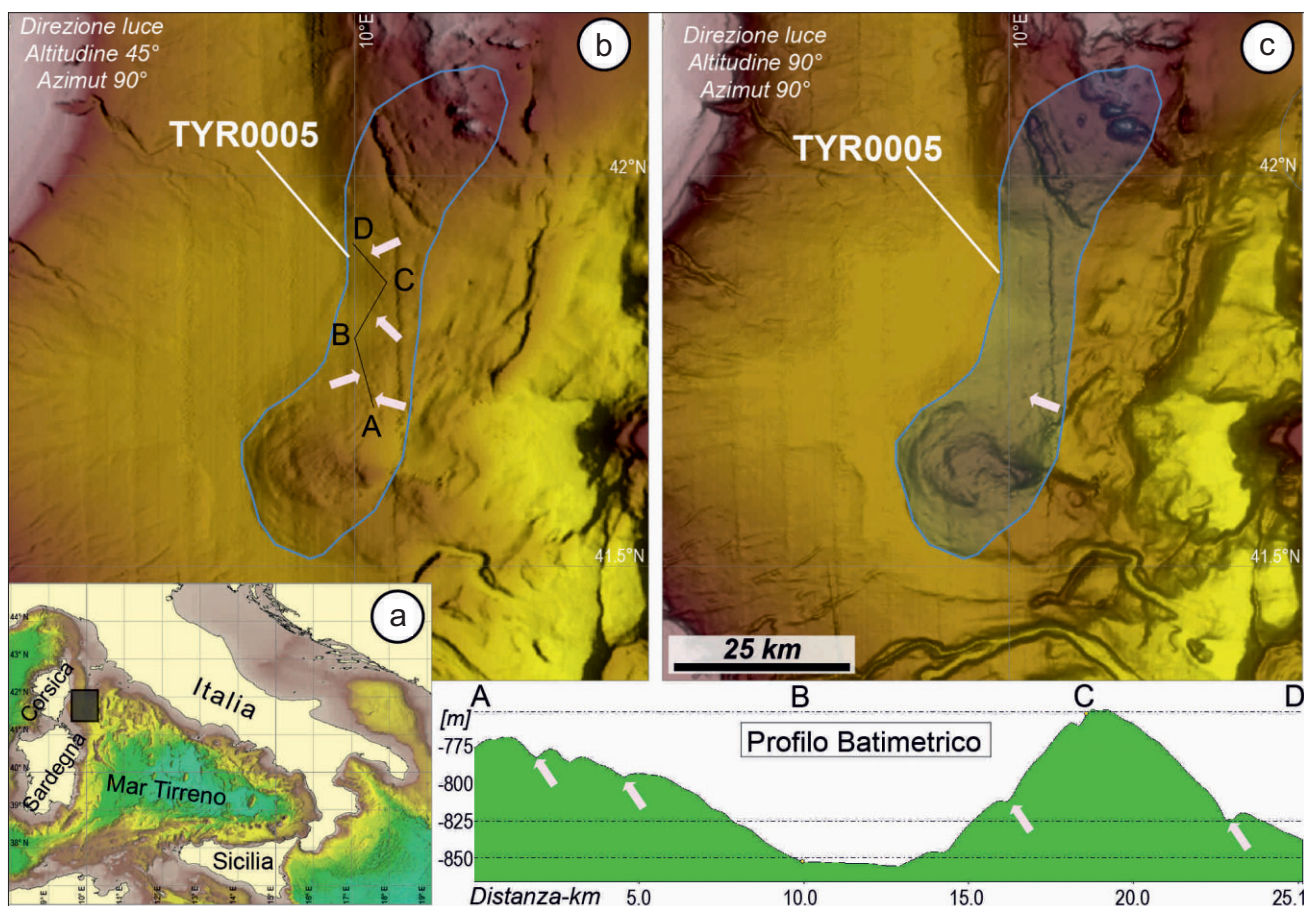


Fig. 5 - Campo di *pockmark* TYR0005 localizzato nel Tirreno settentrionale, vedi riquadro nero nella mappa (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). L'area del campo di *pockmark* TYR0005 è delimitata da un poligono azzurro trasparente (c). Alcuni *pockmark* sono indicati con le frecce bianche (b, c). La linea nera nella mappa (b) indica il profilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark*. A, B, C, D indicano i vertici del profilo batimetrico.

- Pockmarks field TYR0005 located within the northern Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). The area of pockmarks field TYR0005 is marked by a transparent light blue polygon (c). Thick white arrows point at the pockmarks morphologies (b, c). Black line in map (b) marks the bathymetric profile extracted across the pockmarks field. A, B, C, D point at the vertexes of the bathymetric profile.

luce (azimut 45° o 90°) migliora la visualizzazione degli elementi morfologici (fig. 5c). Considerata la vicinanza con le rocce di origine magmatica campionate in prossimità delle due zone rilevate, sulle quali sono presenti anche dei *pockmark*, possiamo ipotizzare un'origine vulcanica/magmatica dei fluidi da essi fuoriusciti. L'età di attività di questo campo è difficile da definire, non essendoci altri dati o informazioni in bibliografia, potremmo ipotizzare un'età miocenica - pliocenica legata all'apertura del bacino di Vavilov (KASTENS *et alii*, 1988).

6. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0006, TIRRENO SUD-OCCIDENTALE

Al largo della Sicilia, nel Tirreno sud-occidentale (fig. 6a), è presente un piccolo campo di *pockmark* dalla forma sub-circolare, qui denominato TYR0006. Questo campo è composto principalmente da *pockmark* di grandi dimensioni (fig. 6b, c), ossia con profondità batimetriche che variano

da -10 a -60 m, tutti contenuti in un poligono di piccole dimensioni (estensione areale di ca. 66 km^2). I grandi *pockmark* sono caratterizzati da un diametro che varia in un range di 600-900 m, e uno *slope* delle pareti che varia in un range di 4° - 7° (vedi profilo batimetrico in fig. 6). Questi hanno una dimensione areale che può raggiungere quasi 0.8 km^2 . Inoltre, zone di subsidenza di dimensioni elevate (area di 0.72 km^2) sono caratterizzate da 3 piccoli *pockmark* vicini tra loro o coalescenti (dettaglio in figura 6b, freccia verde). L'estensione areale di questo campo potrebbe essere maggiore rispetto a quanto osservato e ciò è dovuto alla carenza di dati ad alta/media risoluzione. Infatti esso è stato osservato sulla base dei dati scaricati dal portale di EMODnet/Bathymetry che hanno una risoluzione di $200 \times 200 \text{ m}$. Il campo TYR0006 è posizionato a sudovest del seamount Aceste/Tiberio (A-T in fig. 6a), il quale rappresenta un *ridge* vulcanico lungo ca. 60 km; le rocce vulcaniche su di esso campionate sono risultate di tipo Basalti di Isole Oceaniche (OIB-type;

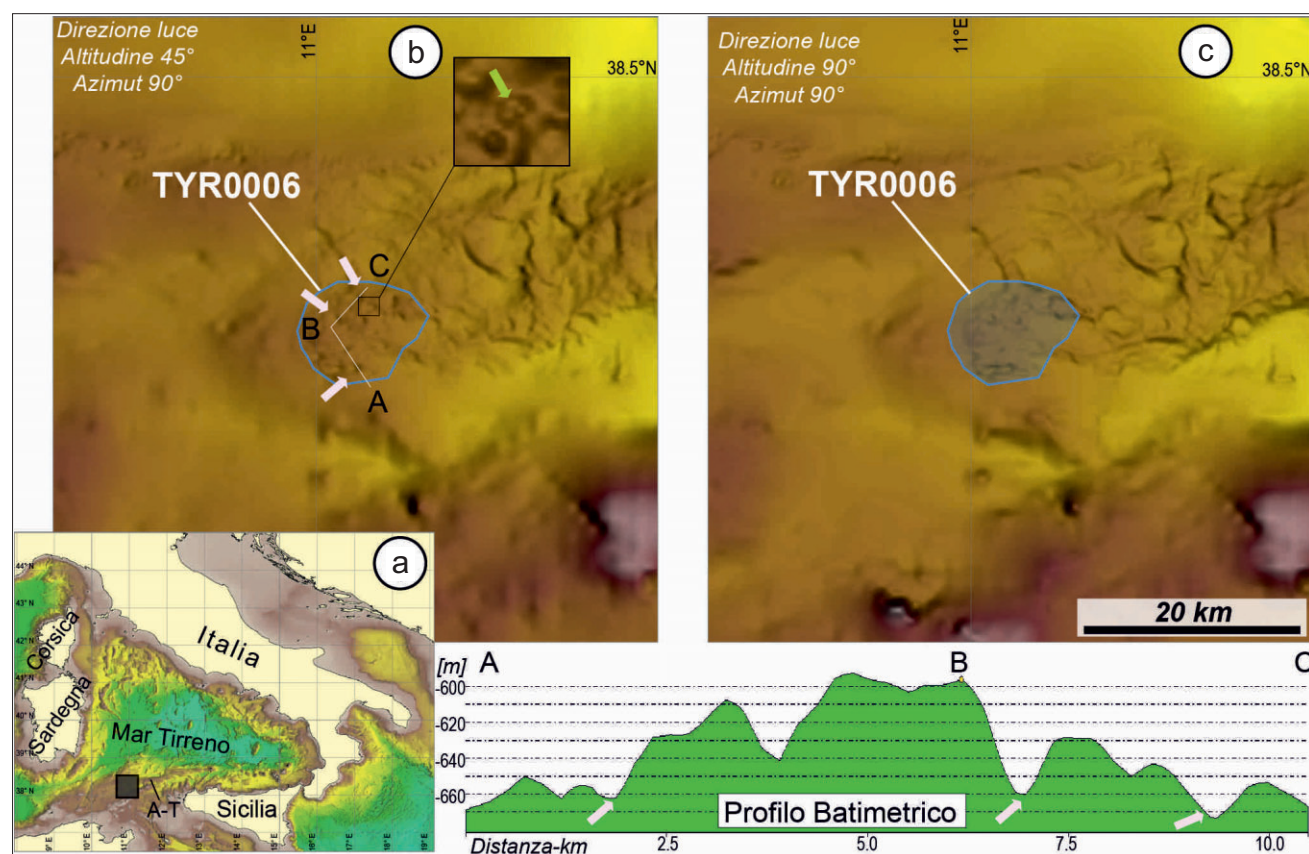


Fig. 6 - Campo di *pockmark* TYR0006 localizzato nel Tirreno sud-occidentale, vedi riquadro nero nella mappa morfo-batimetrica (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di $200 \times 200 \text{ m}$; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). A-T: monte Aceste/Tiberio. L'area di questo campo è delimitata da un poligono azzurro trasparente (c). Alcuni *pockmark* sono indicati con le frecce bianche (b). La freccia verde indica un gruppo di 3 *pockmark* che formano una struttura coalescente. La linea bianca nella mappa (b) indica il profilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark*. A, B, C indicano i vertici del profilo batimetrico.

- Pockmarks field TYR0006 located within the south-western Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetry map (grid cell size of $200 \times 200 \text{ m}$; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). A-T: Aceste/Tiberio seamount. The area of pockmarks field TYR0006 is marked by a transparent light blue polygon (c). In map (b): thick white arrows point at the pockmarks morphologies. Green thick arrow points at the coalescent structure composed by 3 pockmarks. White line marks the bathymetric profile extracted across the pockmarks field. A, B, C point at the vertexes of the bathymetric profile.

SERRI *et alii*, 2001), messe in posto ca. 5 Ma (SARTORI, 2005) durante l'apertura del bacino di Vavilov. Considerata la vicinanza del *ridge* Aceste al campo TYR0006 possiamo ipotizzare un'origine vulcanica. Questo campo potrebbe essere stato attivato durante il Pliocene, ma mancando qualunque altro tipo di dato non è possibile definire l'effettiva età di attività.

7. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0007, TIRRENO SUD-OCCIDENTALE

In prossimità del Canale di Sardegna, Tirreno sud-occidentale, è presente un campo di *pockmark* dalla forma allungata in direzione ca. E-O (fig. 7a), qui chiamato TYR0007. Questo campo è composto principalmente da *pockmark* di grandi dimensioni (freccette bianche in figura 7b), ossia aventi profondità variabile in un range di 20-40 m, racchiusi in un poligono che si estende per ca. 240 km². In generale questi *pockmark* si allineano in gruppi di 3 o 4 in direzione ca. N-S; probabilmente il campo è molto più esteso

rispetto a quanto qui osservato e ciò è dovuto alla bassa risoluzione della batimetria disponibile (dove mancante quella a media risoluzione è presente quella GEBCO con risoluzione di 900 x 900 m). I grandi *pockmark* hanno diametro elevato, variabile in un range di 0.9 - 1.5 km, e uno *slope* delle pareti interne che varia da 4° a 7° (vedi il profilo batimetrico in figura 7). Alcuni di questi *pockmark* hanno una dimensione areale di quasi 2 km² e, quando formano strutture coalescenti, possono superare i 3 km² di estensione (dettaglio in figura 7c). Questo campo si trova tra il seamount Aceste - Tiberio (A-T) e la scarpata tra Sicilia e Tunisia (SS-T, fig. 7a). Dalle analisi delle rocce campionate su Aceste, composte da Basalti di tipo Isole Oceaniche (OIB-type; SERRI *et alii*, 2001) di età ca. 5 Ma (SARTORI, 2005), si può ipotizzare che anche questo campo di *pockmark* abbia origine magmatica. La scarpata tra Sicilia e Tunisia fiancheggia il profondo canale di Sardegna, aperto durante la fase di *rifting* del bacino di retro arco tirrenico e bordato da faglie estensionali (TRINCARDI & ZITELLINI, 1987) con probabile componente trascorrente. Di conseguenza

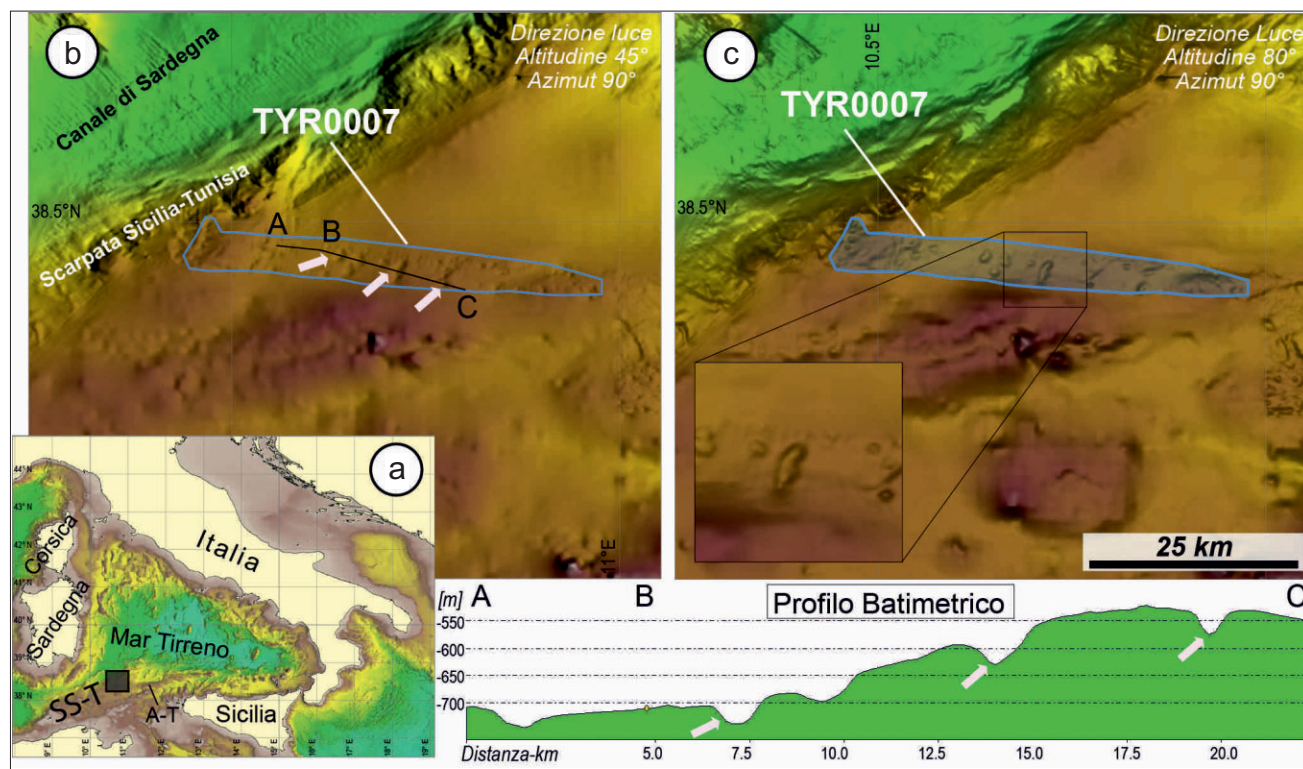


Fig. 7 - Campo di *pockmark* TYR0007 localizzato nel Tirreno sud-occidentale, vedi riquadro nero nella mappa morfo-batimetrica (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). A-T: monte Aceste - Tiberio; SS-T: Scarpata Sicilia-Tunisia. L'area del campo di *pockmark* TYR0007 è indicata con un poligono azzurro trasparente (c). Alcuni *pockmark* di grandi dimensioni sono indicati con le frecce bianche (b). Linea nera indica il profilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark* (b). A destra è mostrato un dettaglio batimetrico di un *pockmark* gigante (c).

A, B, C indicano i vertici del profilo batimetrico.
 - Pockmarks field TYR0007 located within the south-western Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). A-T: Aceste - Tiberio seamount; SS-T: Sicily-Tunisia slope. The area of pockmarks field TYR0007 is represented by a transparent light blue polygon (c). Thick white arrows point at the pockmarks morphologies with large dimensions (b). Solid black line in map (b) marks the bathymetric profile extracted across the pockmarks field. On right, the inset bathymetric map shows a giant pockmark (c).
 A, B, C point at the vertexes of the bathymetric profile.

l'origine di questi *pockmark* potrebbe essere vulcanica/tettonica di età Messiniano-Tortoniano. Nulla si può dire sull'attività attuale del sistema.

8. - CAMPO DI *POCKMARK* TYR0008, TIRRENO SUD-OCCIDENTALE

In prossimità del Canale di Sardegna, nel Tirreno sud-occidentale, è presente un campo di *pockmark* dalla forma allungata in direzione ca. E-O (fig. 8a) e qui chiamato TYR0008. Questo campo che si estende per circa 280 km² è composto da *pockmark* di dimensioni molto variabili e profondità tra i 20 e i 60 m, mentre il diametro varia tra 800 e 1.500 m (freccie bianche in figura 8 b). Lo *slope* delle pareti varia in un range di 2° - 5.3° (vedi profilo batimetrico in figura 8). Anche in questo campo si osservano a volte strutture coalescenti. I *pockmark* si distribuiscono in modo random anche se con maggiore concentrazione di eventi alla base di una piccola scarpata morfologica orientata ENE-OSO (freccia azzurra; fig. 8b). Questo campo potrebbe essere molto più esteso di quello che osserviamo, tale limitazione è dovuta alla mancanza di dati di batimetria a media/alta risoluzione nell'area

circostante. Il campo TYR0008 si trova a circa 70 km dal monte Aceste - Tiberio (A-T; fig. 8a), composto da Basalti di tipo Isole Oceaniche (OIB-type; SERRI *et alii*, 2001) messi in posto ca. 5 Ma (SARTORI, 2005), e a pochi km dalla scarpata Sicilia-Tunisia (fig. 8a) che borda un grande bacino sedimentario formatosi nel canale di Sardegna. Questo canale si è aperto durante la fase di *rifting* pre-messiniana come testimoniato dalle faglie estensionali osservate nella parte nord (TRINCARDI & ZITELLINI, 1987). Vista la posizione di questo campo di *pockmark* ne ipotizziamo un'origine vulcanica/tettonica di età Messiniano-Tortoniano. Nulla si può dire sull'attività attuale del sistema.

9. - FLUID VENTING E *POCKMARK* TYR0009 NEI SEDIMENTI PLIO-QUATERNARI DEL BACINO DI PAOLA, CALABRIA OCCIDENTALE (TIRRENO SE)

Al largo della Calabria occidentale (inset in figura 9) è presente un ampio bacino sedimentario, di età plio-quaternaria chiamato Bacino di Paola, al cui interno sono stati identificati campi

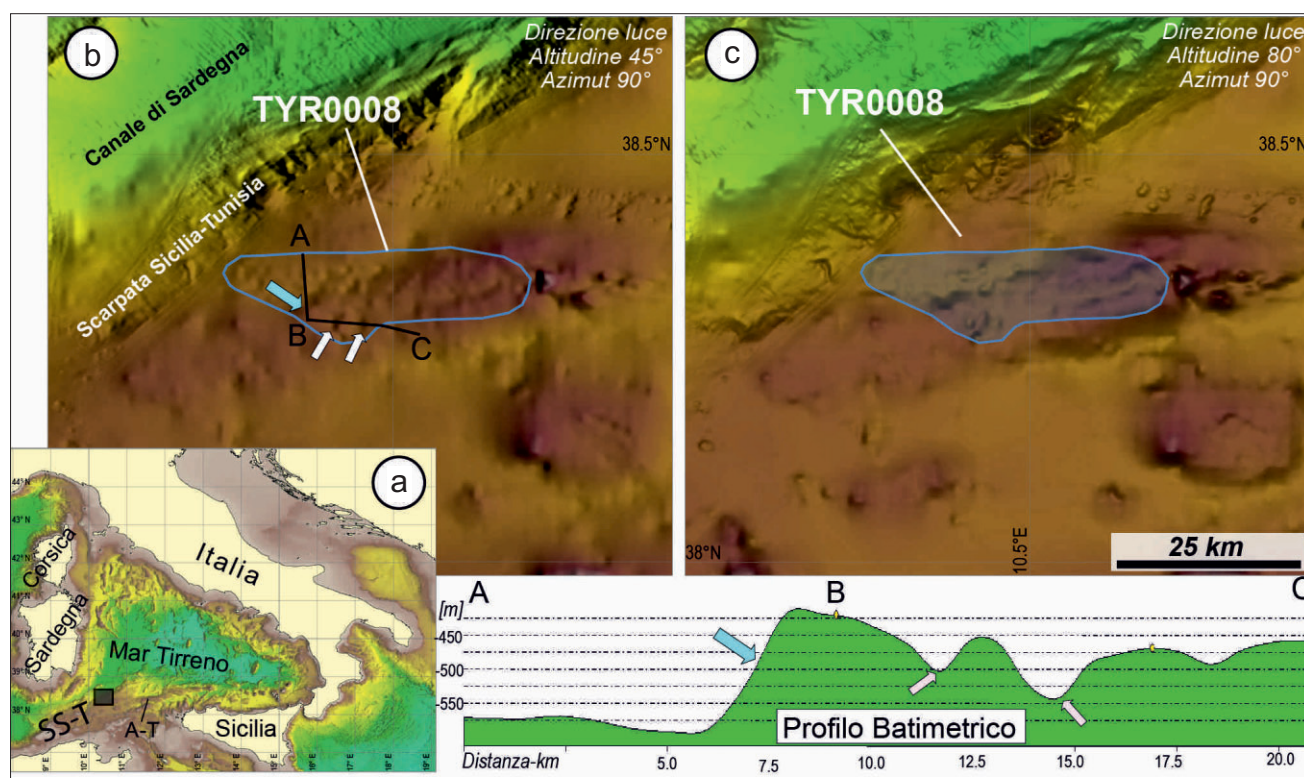


Fig. 8 - Campo di *pockmark* TYR0008 localizzato nel Tirreno sud-orientale, vedi riquadro nero nella mappa (a). Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). A-T: monte Aceste - Tiberio; SS-T: Scarpata Sicilia-Tunisia. L'area di questo campo è rappresentata da un poligono azzurro trasparente (c). Alcuni *pockmark* sono indicati con le frecce bianche, mentre con la freccia azzurra è indicata la scarpata morfologica orientata in direzione ENE-OSO (b e profilo batimetrico). La linea nera indica il brofilo batimetrico estratto attraverso il campo di *pockmark*, i cui vertici sono indicati con le lettere A, B, C (b).

- Pockmarks field TYR0008 located within the south-western Tyrrhenian Sea, see black square in the inset map (a). Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>). A-T: Aceste - Tiberio seamount; SS-T: Sicily-Tunisia slope. The area of this pockmarks field is marked by a light blue polygon (c). Thick white arrows point at pockmarks morphologies, while thick light blue arrow points at the morphological escarpment ENE-WSW oriented (b). Solid black line marks the bathymetric profile extracted across the pockmarks field which vertex are marked by A, B, C (b).

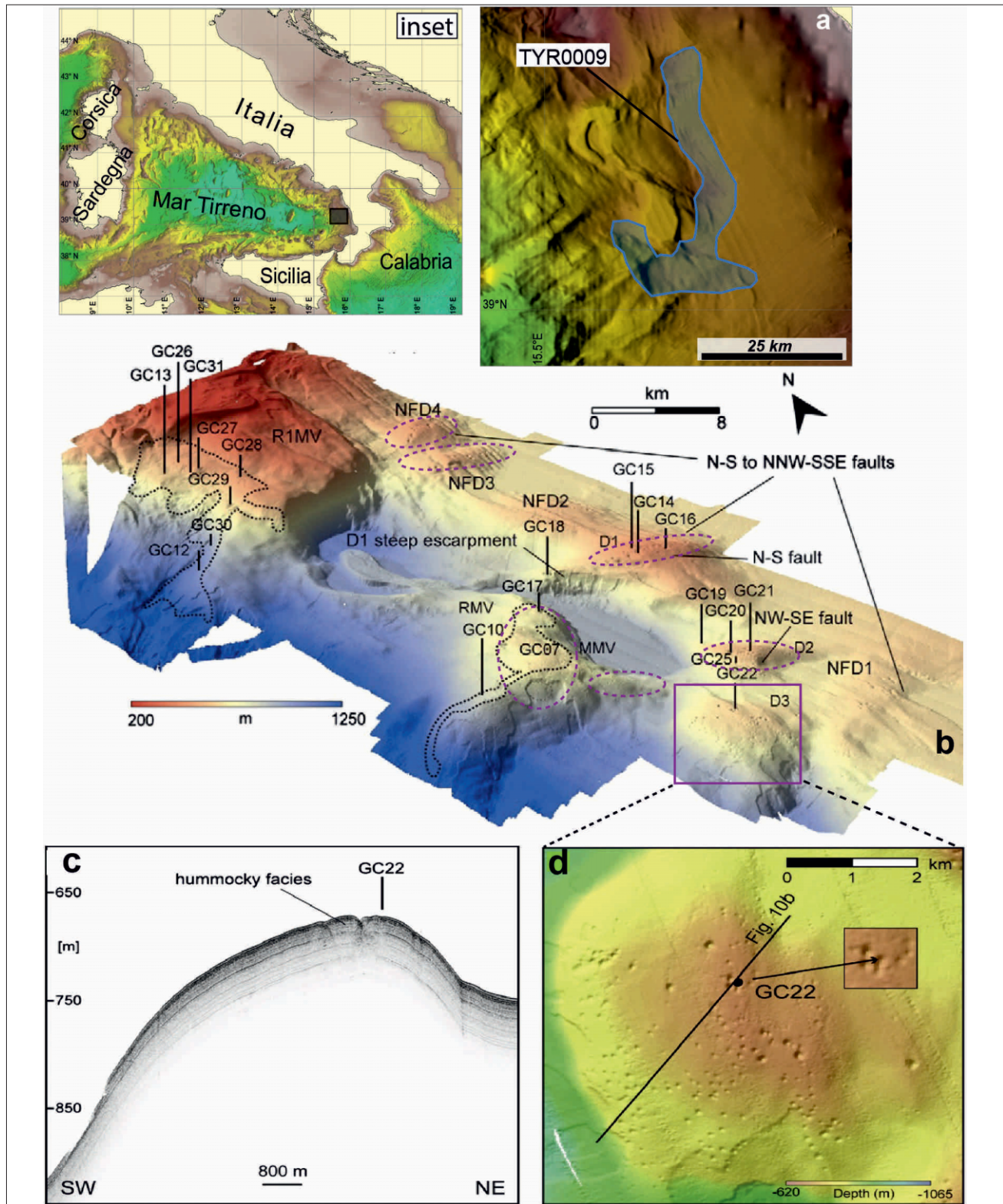


Fig. 9 - Campo di pockmark e fluid vent TYR0009 localizzato nel Tirreno sud-orientale, vedi riquadro nero in alto a sinistra. Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) Mappa batimetrica a media risoluzione sulla quale è riportato in azzurro il poligono che rappresenta l'area del campo TYR0009; (b) Vista 3D della mappa batimetrica ad alta risoluzione (MARANI *et alii*, 2004) mostrante i campi di pockmark e varie informazioni sull'area di studio; (c) Profilo chirp mostrante la morfologia dei pockmark nei sedimenti superficiali e l'ubicazione della carota GC22. (d) Dettaglio di uno dei campi di pockmark. Le immagini b - d sono modificate da ROVERE *et alii* (2014).

- Pockmarks and Fluid vent field TYR0009 located within the southwestern Tyrrhenian Sea, see black square in top left map. Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m, downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) Middle resolution morpho-bathymetric map showing the area of field TYR0009 marked by the light blue polygon; (b) 3D view of the high resolution morpho-bathymetric map (data from MARANI *et alii*, 2004) in which the pockmarks fields and further information are detectable; (c) Chirp profile acquired across some pockmarks. The location of the sediment gravity core GC22 is also included; (d) Detail of one of the pockmarks field. Images b - d are modified from ROVERE *et alii* (2014).

di *pockmark*, fuoriuscite di gas dal fondale marino, diapiri, flussi e vulcani di fango studiati da ROVERE *et alii* (2014). Alla profondità di 600-800 m sotto il livello del mare è presente un'area di ca. 300 km² (fig. 9a) caratterizzata dalla presenza di almeno 6 campi di *pockmark* (fig. 9b). Questi *pockmark* hanno dimensioni molto ridotte, ossia diametro tra 20 e 150 m e profondità tra 1 e 10 m (fig. 9d), e solitamente sono localizzati al tetto di zone rilevate rispetto alle aree circostanti. Essendo tali le dimensioni risulta impossibile la loro identificazione sulla batimetria a media risoluzione resa disponibile dal Progetto EMODnet (fig. 9a). La presenza di faglie normali, parte del sistema dell'Arco Calabro, in prossimità di questi campi di *pockmark* suggerisce un controllo tettonico della risalita e fuoriuscita del gas dai sedimenti. Inoltre utilizzando il sistema “*multi-beam water column acoustic measurements*”, in quest'area sono state registrate delle fuoriuscite di gas che dal fondale marino si elevano fino a 630 m nella colonna d'acqua (ROVERE *et alii*, 2014). La presenza del gas nei sedimenti è stata anche confermata dall'analisi dei campioni di sedimenti presi in prossimità dei *pockmark*. Ciò è anche osservabile sui profili di sismica ad altissima risoluzione (*chirp*), acquisiti in queste zone, i quali mostrano un effetto di sbiancamento dei riflettori sismici indicativo della presenza di possibili accumuli di gas. Infine, le carote di sedimento prelevate nei *pockmark* (come ad esempio la GC22; fig. 9c) non mostrano deformazioni da *gas escape* nella parte prossima al fondale marino, contrariamente a quanto registrato nella colonna d'acqua nelle aree circostanti. Questo lascia intendere che i *pockmark* sono strutture da fuga di gas fossili o attualmente non attivi, mentre la fuoriuscita di gas è ora attiva in zone prossimali. Maggiori dettagli sono riportati in ROVERE *et alii* (2014).

10. - FUGA DI FLUIDI AL TETTO DI UN *SEAMOUNT* DI ORIGINE VULCANICA IN PROSSIMITÀ DELLA COSTA CALABRA, TIRRENO SUD-ORIENTALE - TYR0010

A largo della penisola di Capo Vaticano, Calabria (Tirreno sud-orientale; inset in figura 10) è presente un *seamount* (fig. 1a) di origine vulcanica (DE RITIS *et alii*, 2010; LORETO *et alii*, 2015a). Al tetto di questo sono stati individuati tramite immagini di sismica ad altissima risoluzione (*chirp*; fig. 10b, c) e, successivamente, campionati dei fluidi. Al tetto del *seamount* sono presenti numerose piccole *plume*, più di 30, osservate sui profili di sismica ad altissima risoluzione (fig. 10c). Tra le varie fuoriuscite ne è presente una di grandi dimensioni che si erge fino a 7 m sul fondale marino (fig. 10b) e sembra essere composta da almeno 4 sfiati (F1-F4). Inoltre, questa *plume*, chiamata “*Gush-Shaped Fluid Flux*”, mostra un

chiaro canale di risalita che taglia i sedimenti superficiali. Questo campo di *fluid escape* è qui stato identificato come TYR0010. Inoltre, sono state effettuate le analisi cromatografiche dei gas (He, H, O₂, N₂, CO, CH₄ and CO₂) contenuti nei fluidi campionati lungo la zona di massimo adensamento degli sfiati (pallini verdi in fig. 10a). I risultati mostrano valori chiaramente più alti degli *standard* di riferimento (ASSW; fig. 10d) mentre i valori del $\delta^3\text{He}$ elevati rispetto allo *standard* di riferimento sono indicativi di una provenienza da zone profonde ossia da mantello (LORETO *et alii*, 2015b). Questi “*fluid vent*” non lasciano morfologie da collasso tipo *pockmark*, o almeno sulla batimetria ad alta risoluzione non sono stati osservati. Maggiori informazioni e dettagli sono riportati in LORETO *et alii* (2015b).

11. - *POCKMARK FIELD* IDENTIFICATO IN PROSSIMITÀ DEL CANYON CAPRERA AL LARGO DELLA SARDEGNA, TIRRENO SETTENTRIONALE - TYR0011

La scarpata continentale di Olbia al largo della Sardegna nord-orientale (*inset* in figura 11) è incisa da un sistema di canali sottomarini composto da più rami (Canale di Caprera) e da numerose depressioni interpretate come *pockmark* (vedi fig. 11a, b). I *pockmark* si concentrano principalmente nella parte a sud del canale, alla profondità compresa tra 500 e 800 m, e sporadicamente sono presenti al tetto di *mound* di origine carbonatica (DALLA VALLE & GAMBERI, 2011). Alcuni di questi *pockmark* hanno dimensioni piuttosto elevate tanto da poter essere osservati sulla batimetria a media risoluzione (dimensione della cella di 200 x 200 m) se illuminati con direzione della luce di 90° ed esagerazione verticale di 1:15 (fig. 11a). Tra questi *pockmark* ve n'è uno di grandi dimensioni, “*Giant pockmark*” (freccia bianca; fig. 1a e b), che mostra una morfologia ellittica con diametro massimo di 1,5 km e profondità di 20 m. Mentre i *pockmark* di minori dimensioni presenti su un'area molto ampia (ca. 300 km²) sono osservabili solo su dati batimetrici a più alta risoluzione (dimensione della cella di 25 x 25 m; fig. 11b) pubblicati in DALLA VALLE & GAMBERI (2011). Numerosi piccoli *pockmark* si allineano lungo dei *gully* con profondità delle depressioni di ca. 10 m (fig. 11c). Lo studio di queste morfologie da *fluid escape* è stato fatto utilizzando, oltre ai dati di batimetria, anche dati di sismica a media risoluzione (SPARKER). L'analisi integrata di questi dati ha permesso di stabilire una relazione tra i *pockmark* e l'evoluzione dei *gully*. Inoltre, sono stati confrontati i *pockmark* con le strutture tettoniche sepolte che hanno modellato il margine sardo, e con gli elementi di instabilità gravitativa osservati nell'area. Maggiori dettagli sono in DALLA VALLE & GAMBERI (2011).

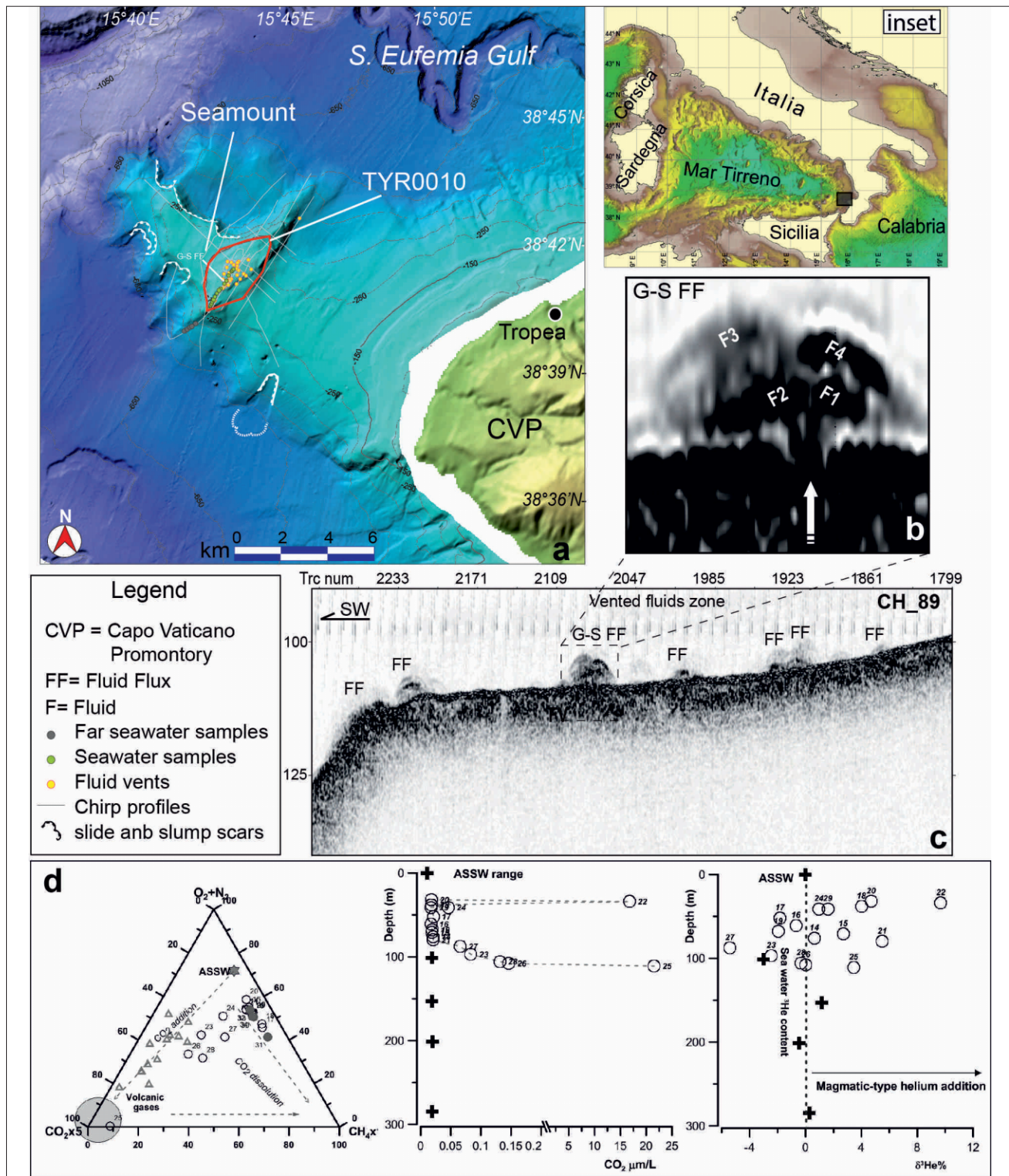


Fig. 10 - Campo di *fluid vent* TYR0010 localizzato nel Tirreno sud-orientale, vedi riquadro nero nella mappa batimetrica in alto a destra. Dati batimetrica a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) Mappa batimetrica ad alta risoluzione (dimensione delle celle della griglia 10 x 10 m) acquisita nell'ambito del progetto ISTEGE (LORETO *et alii*, 2012) sulla quale è riportata in rosso l'area del campo TYR0010. I punti di "fluid vent" sono indicati con i pallini gialli; i punti di campionamento delle acque sono indicati con i pallini verdi; (b) Dettaglio della "Gus-shaped Fluid Flux" (G-S FF), F1, F2, F3, F4 indicano le plume minori componenti la principale; (c) Profilo Chirp acquisito lungo la zona dei fluid vent; (d) Plot delle analisi chimiche della CO_2 , CH_4 e $\delta^3\text{He}$ contenuti nei campioni di acqua. Le immagini a - d sono modificate da LORETO *et alii* (2015b).

- Fluid vent field TYR0010 located within the southwestern Tyrrhenian Sea, see black square in the top right map. Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) High resolution morpho-bathymetric map (grid cell size 10x10 m), acquired during the ISTEGE cruise project (LORETO *et alii*, 2012), of the seamount where the vent field TYR0010 is marked by a red line. Fluid vents are marked by yellow dots; sampled seawater points are marked by green dots; (b) Detail of the "Gus-shaped Fluid Flux" (G-S FF) recorded by chirp; F1, F2, F3, F4 mark the minor plumes composing the major one; (c) Chirp profile acquired along the vented fluid zone; (d) Plot of geochemical analysis results of CO_2 , CH_4 and $\delta^3\text{He}$ content in seawater samples. Images a - d are modified from LORETO *et alii* (2015b).

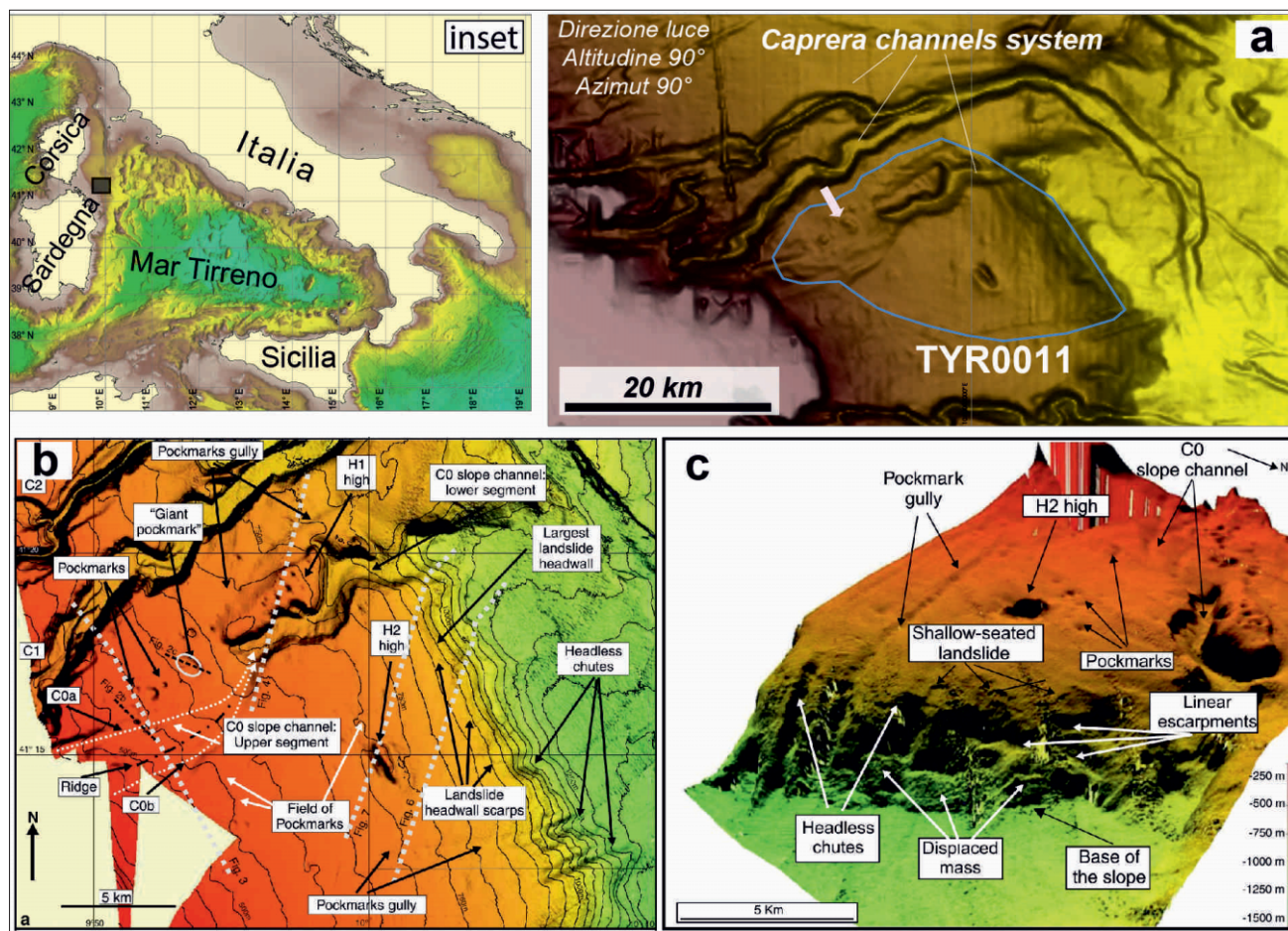


Fig. 11 - Campo di *pockmark* TYR0011 localizzato nel Tirreno settentrionale, vedi riquadro nero nella mappa morfo-batimetrica in alto a sinistra. Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) Mappa batimetrica a media risoluzione sulla quale è riportato in azzurro il poligono dell'area del campo TYR0011. La freccia bianca indica il *pockmark* gigante; (b) Mappa batimetrica ad alta risoluzione dell'area di analisi mostrante gli elementi morfologici interpretati; (c) Immagine 3D dell'area dei *pockmark* e dei *gully* lungo i quali si allineano i *pockmark*. Le figure b, c sono modificate da DALLA VALLE & GAMBERI (2011).

- *Pockmarks* field TYR0011 located within the northern Tyrrhenian Sea, see black square in the upper left map. Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) Area of *pockmarks* field TYR0011 represented on middle resolution bathymetry map and marked by transparent light blue polygon; (b) High resolution bathymetry map of the studied area including the morpho-features; (c) 3D view of the *pockmarks* area and of the *pockmarks* gully. Figures b, c are modified from DALLA VALLE & GAMBERI (2011).

12. - *POCKMARK* E STRUTTURE DA *FLUID ESCAPE* AL LARGO DELLA SICILIA SETTENTRIONALE, TIRRENO MERIDIONALE - TYR0012

Al largo del golfo di Palermo, Sicilia settentrionale (*inset* in figura 12), è stato individuato e studiato un piccolo campo di *pockmark* (PENNINO *et alii*, 2014), disposti lungo una direzione ca. N-S, presente sul margine della piattaforma continentale (fig. 12a). Questo campo, qui chiamato TYR0012, è composto da soli 3 *pockmark* ed ha estensione areale di ca. 5 km². La sua identificazione è stata possibile solo grazie all'acquisizione di dati di batimetria ad alta risoluzione (fig. 12b). I *pockmark* sono posizionati lungo lo *shelf break* ad una profondità che va da 260 a 375 m, hanno forma conica e un diametro che varia in un range di 300-335 m e profondità tra 18 e 30 m. Inoltre, sono stati cam-

pionati i sedimenti in prossimità di queste depressioni e l'analisi del fluido contenuto nello spazio poroso ha evidenziato un arricchimento negli isotopi pesanti rispetto all'acqua di mare del Mediterraneo, mentre le concentrazioni di alcuni ioni (Cl, SO₄, Na, K, ecc.; fig. 12c) sembra indicare l'esistenza di una sorgente esterna di fluidi. I *pockmark* osservati si allineano con delle strutture tettoniche attive e in prossimità di frane sottomarine prossime alla scarpata continentale. Questo suggerisce che esista una relazione locale tra controllo strutturale, fuga di fluidi e frane. I fluidi possono essere stati veicolati dalle faglie, e in superficie potrebbero aver creato una condizione di instabilità dei sedimenti favorendo l'innescio di frane. In quest'area sono stati individuati anche dei *mound* probabilmente composti da carbonati autigenici. Non è ancora chiaro se questi *pockmark* siano attivi o meno. Maggiori dettagli sono riportati in PENNINO *et alii* (2014).

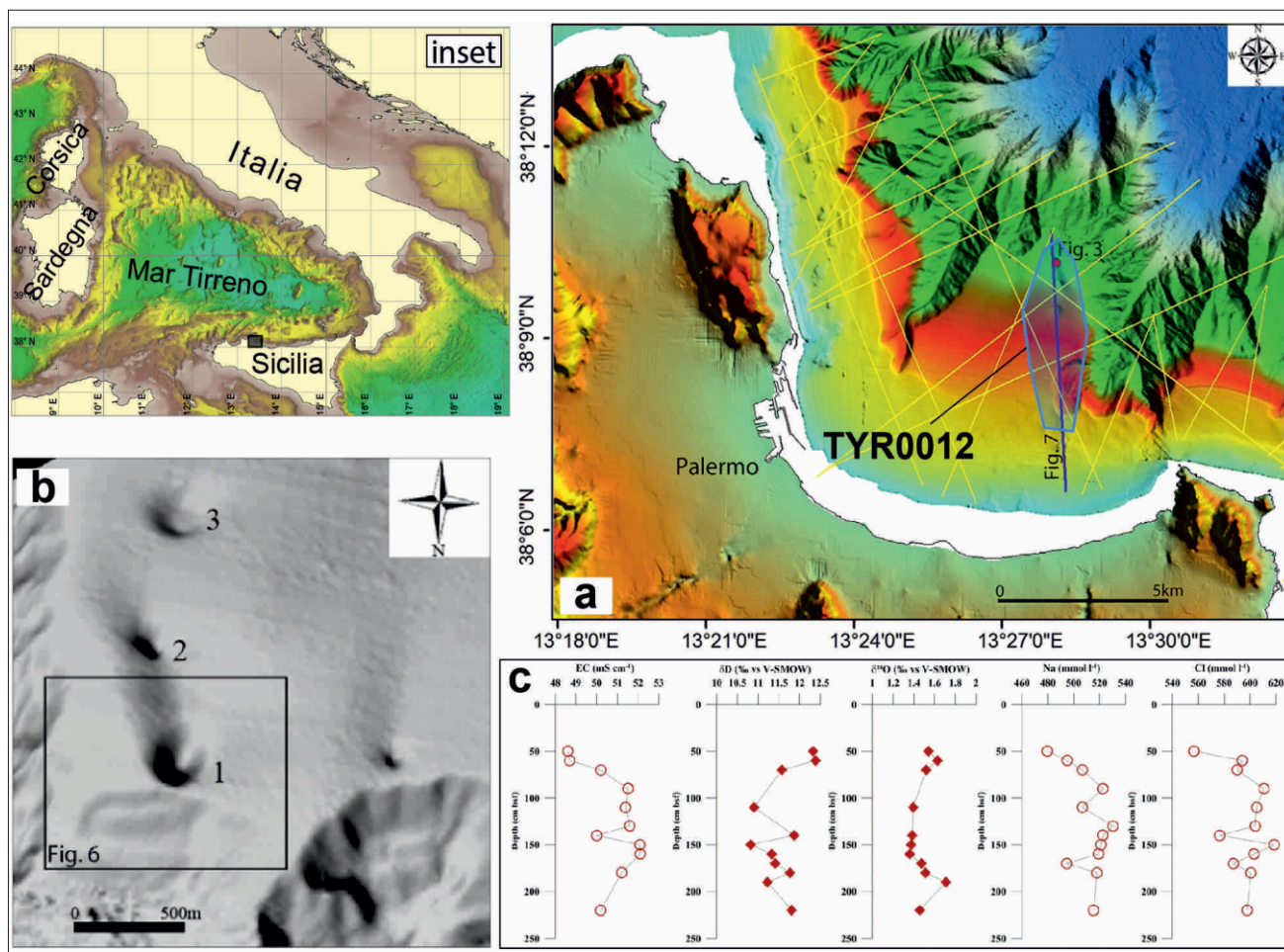


Fig. 12 - Campo di *pockmark* TYR0012 localizzato nel Tirreno settentrionale, vedi riquadro nero mappa batimetrica in alto a sinistra. Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) Mappa batimetrica ad alta risoluzione sulla quale è riportato in azzurro il poligono rappresentativo dell'area del campo TYR0012; (b) Mappa batimetrica ad alta risoluzione dei tre *pockmark* in dettaglio; (c) Grafici degli ioni Cl, Na, O, ottenuti dall'analisi del fluido di poro. Le immagini a - c sono modificate da PENNINO *et alii* (2014). - *Pockmarks* field TYR0012 located within the southern Tyrrhenian Sea, see black square in the upper left map. Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); (a) High resolution morpho-bathymetric map on which the transparent light blue polygon represent the *pockmarks* filed TYR0012; (b) Detail of high resolution morpho-bathymetric map of the three *pockmarks*; (c) Graphs of pore water brine-ions content. Images a - c are modified from PENNINO *et alii* (2014).

13. - POCKMARK FIELD TYR0013 NELL'AREA DEL RIDGE VULCANICO DI VENTOTENE, TIRRENO CENTRALE

A nord dell'Isola di Ventotene (Tirreno centrale; inset in figura 13, 13a) è stato recentemente identificato e caratterizzato un sistema vulcanico composto da quattro piccoli edifici allineati lungo una direzione NO-SE, chiamato “*Ventotene Volcanic Ridge*”, il cui fondale marino è costellato da piccole depressioni interpretate come *pockmark* (CUFFARO *et alii*, 2016). I *pockmark*, di piccole dimensioni, sono caratterizzati da forma tondeggiante con diametro medio di ca. 50 m (fig. 13b); localmente si concentrano lungo la scarpata NE-SO dove creano una depressione di dimensioni elevate con diametro da 80 a 1.000 m e profondità variabile da 5 a 300 m. Queste strutture coalescenti sono state definite “*Giant*

pockmark” (linea verde in figura 13b). I *Giant pockmark* si localizzano in alcune zone, dove sono presenti delle strutture tettoniche; mentre i piccoli *pockmark* si distribuiscono in modo random nell'intorno degli edifici vulcanici (pallini azzurro). L'area totale di questo campo, qui chiamato TYR0013, è di ca. 40 km². Il ruolo di questi *pockmark* è quello di consentire la fuga di fluidi/gas che risalgono dalle zone profonde, fluidi che potrebbero essere di origine vulcanica vista la posizione, ma la cui risalita è controllata dalle faglie che fanno parte del sistema Appenninico di retro arco. Il *Ridge* Vulcanico di Ventotene potrebbe essere parte del sistema vulcanico dell'Isola di Ventotene, attivo dal tardo Pleistocene. Il campo di *pockmark* potrebbe essere ancora attivo, essendo questo il sistema di degassamento dell'area. Per maggiori dettagli consultare CUFFARO *et alii* (2016).

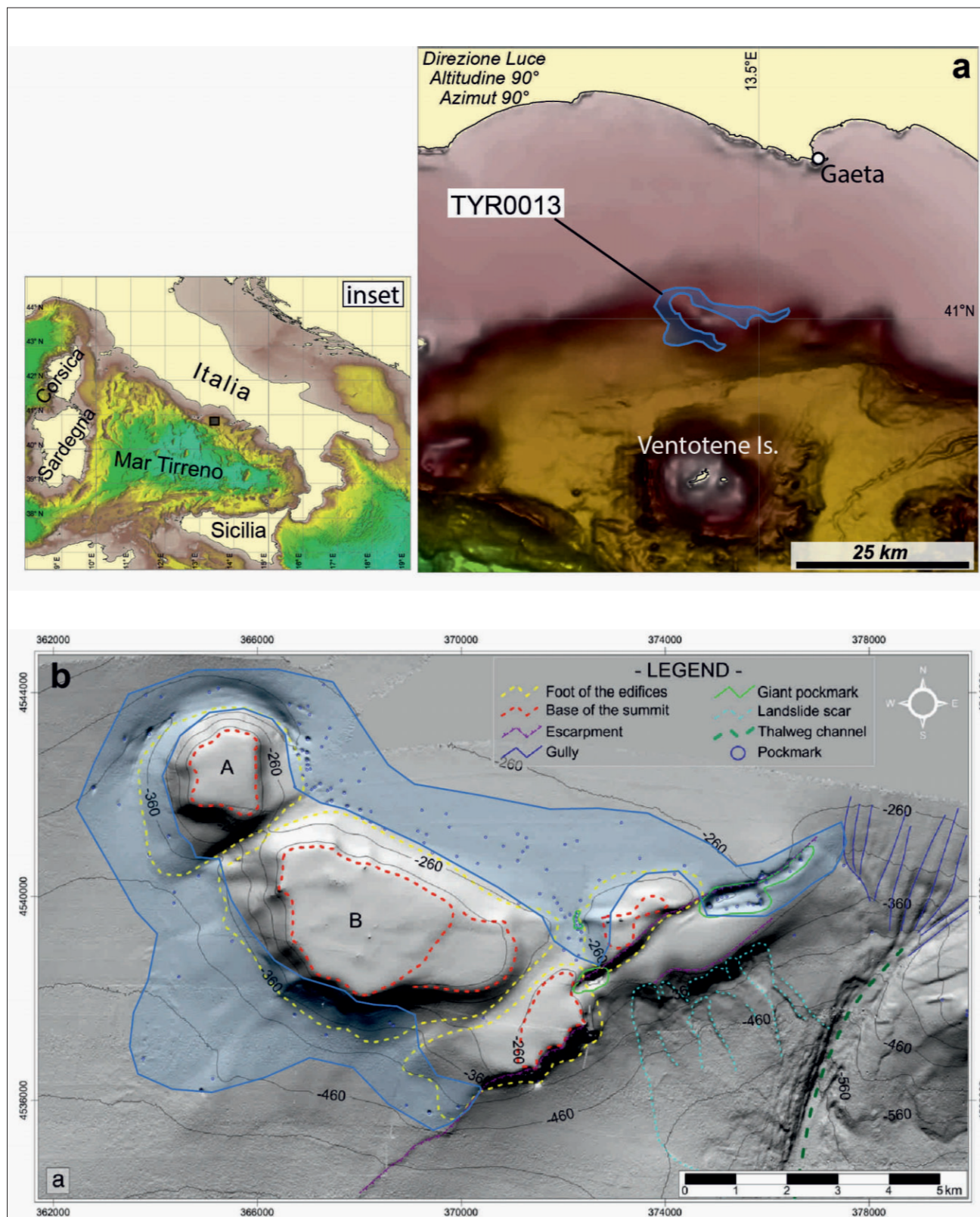


Fig. 13 - Campo di *pockmark* TYR0013 localizzato nel Tirreno centrale, vedi riquadro nero mappa in alto a sinistra. Dati batimetria a media risoluzione (dimensione delle celle della griglia di 200 x 200 m; dati ascii scaricati dal portale di EMODnet/bathymetry) rappresentati in mappa, l'elaborazione del dato è stata fatta con il software open source GMT (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); a) Poligono azzurro rappresentante l'area del campo TYR0013 digitalizzato sulla batimetria a media risoluzione; b) Mappa batimetrica ad alta risoluzione con interpretazione degli elementi morfologici della zona del Ridge Vulcanico di Ventotene (modificata da CUFFARO *et alii*, 2016). In trasparenza con colore azzurro è riportato il campo di TYR0013.

- Pockmarks field TYR0013 located within the central Tyrrhenian Sea, see black square in the upper left map. Middle resolution bathymetry map (grid cell size of 200 x 200 m; downloaded from EMODnet/Bathymetry portal) gridded using the open source GMT software (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>); a) Transparent light blue polygon, representing the area of TYR0013, digitized on middle resolution bathymetry; b) High resolution morpho-bathymetric map including the morpho-features of the Ventotene Volcanic Ridge (modified from CUFFARO *et alii*, 2016). The TYR0013 field is also included as transparent light blue polygon.

BIBLIOGRAFIA

- CELLA F., FEDI M., FLORIO G. & RAPOLLA A. (1998) - *Boundaries of magmatic anomaly sources in the Tyrrhenian region*. Ann. Geofis., **41**(3): 433-447.
- CUFFARO M., MARTORELLI E., BOSMAN A. *et alii* (2016) - *The Ventotene Volcanic Ridge: a newly explored complex in the central Tyrrhenian Sea (Italy)*. Bull. Volcanol., **78**(12), 86.
- DALLA VALLE G. & GAMBERI F. (2011) - *Pockmarks and seafloor instability in the Olbia continental slope (north-eastern Sardinian margin, Tyrrhenian Sea)*. Marine Geophysical Research, **32**: 193-205.
- DE RITIS R., DOMINICI R., GUIDO V., NICOLOSI I., CHIAPPINI M., SPERANZA F., ROSA R., DONATO P. & SONNINO M. (2010) - *A buried volcano in the Calabrian Arc (Italy) revealed by high-resolution aeromagnetic data*. J. Geophys. Res., **115**(B11), B11101.
- KASTENS K., MASCLE J., AUROUX C., BONATTI E., BROGLIA C., CHANNELL J. & HIEKE W. (1988) - *ODP LEG 107 in the Tyrrhenian Sea: Insight into passive margin and back-arc basin evolution*. Geological Society of American Bulletin, **100**(7): 1140-1156.
- KELLER J. (1981) - *Alkali basalts from the Tyrrhenian Sea basin, magmatic and geodynamic significance*. Bull. Volcanol., **44**: 327-333.
- LORETO M.F., ITALIANO F., DEPONTE D., FACCHINI L. & ZGUR F. (2015b) - *Mantle degassing on a near shore volcano, SE Tyrrhenian Sea*. Terra Nova **27**.3, 195-205.
- LORETO M.F., PEPE, F., DERITIS R., VENTURA G., FERRANTE V., SPERANZA F., TOMINI I. & SACCHI M. (2015a) - *Geophysical investigation of Plei-stocene volcanism and tectonics offshore Capo Vaticano (Calabria, southeastern Tyrrhenian Sea)*. J. of Geodyn., **90**, 71-86.
- LORETO M.F., ZGUR, F., FACCHINI, L., FRACASSI U., PETTENATI F., TOMINI I., BURCA M., DIVIACCO P., SAULI C., COSSARINI G., DE VITTOR C., SANDRON D. & THE EXPLORA TEAM OF TECHNICIANS (2012) - *In search of new imaging for historical earthquakes: a new geophysical survey offshore western Calabria (southern Tyrrhenian Sea, Italy)*. Boll. di Geof. Teor. e Appl., **53**.4.
- MARANI M.P., GAMBERI F. & BONATTI E. (2004) - *From seafloor to deep mantle: architecture of the Tyrrhenian backarc basin*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **64**, 194, Serv. Geol. d'It., Roma.
- PENNINO V., SULLI A., CARACAUSI A., GRASSA F. & INTERBARTOLO F. (2014) - *Fluid escape structures in the north Sicily continental margin*. Mar. and Petrol. Geol., **55**: 202-213.
- ROVERE M., GAMBERI F., MERCORELLA A., RASHED H., GALLERANI A., LEIDI E., MARANI M., FUNARI V. & PINI G.A. (2014) - *Venting and seepage systems associated with mud volcanoes and mud diapirs in the southern Tyrrhenian Sea*. Marine Geol., **347**: 153-171.
- SARTORI R. (2005) - *Bedrock geology of the Tyrrhenian Sea insight on Alpine paleogeography and magmatic evolution of the basin*. CROP Project: Deep Seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy, Elsevier, Amsterdam: 69-80.
- SERRI G., INNOCENTI F. & MANETTI P. (2001) - *Magmatism from Mesozoic to Present, petrogenesis, time-space distribution and geodynamic implications*. In: VAI G.B. & MARTINI P.I., G.B. and P.I. Martini (Eds): "Anatomy of an Orogen, the Apennines and adjacent Mediterranean basins", Kluwer Academic Publishers: 77-104.
- TRINCARDI F. & ZITELLINI N. (1987) - *The rifting of the Tyrrhenian Basin*. Geo-marine letters, **7**(1): 1-6.

Siti web consultati: link e data di consultazione

- <http://portal.emodnet-bathymetry.eu/gebco-bathymetry-basemap> (accesso 10/10/2016).
- <http://www.isprambiente.gov.it/it/biblioteca/pubblicazioni-della-biblioteca/thist-1/thist> (18/10/2017).
- <http://www.soest.hawaii.edu/gmt/> (GMT Pages maintained by: Paul Wessel, Last updated: July 1, 2018).