

Carta dei sinkholes del Lazio 2012 e sviluppo futuro del progetto sinkhole

Latium sinkhole map 2012 and future development of sinkhole project

CIOTOLI G. (*), DI LORETO E. (**), LIPERI L. (**),
MELONI F. (**), NISIO S. (*), SERICOLA A. (**)

RIASSUNTO - Viene presentata sotto la sintesi degli studi sui Sinkholes del Lazio (MELONI *et alii*, 2012). Tali studi sono iniziati nel 2000 in ISPRA (già DSTN già APAT) con la raccolta e censimento di dati a livello nazionale (Progetto sinkhole ISPRA) e successivamente, nel 2002 attraverso una collaborazione tra Regione Lazio e Università di RomaTre (CAPELLI *et alii*, 2002). Sono proseguiti negli anni successivi con la realizzazione del nuovo catalogo dei sinkholes del Lazio (LIPERI *et alii*, 2009) e con l'unificazione del catalogo della Regione Lazio con quello predisposto dall'Ispra (NISIO, 2008a, 2008b, 2010) che ha portato alla costruzione del catalogo unificato 2011 (MELONI *et alii*, 2013b).

L'esame dei rapporti tra i sinkholes e le principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, tettoniche e sismiche hanno permesso la predisposizione di una carta della suscettibilità del territorio (CIOTOLI *et alii*, 2012), base per l'individuazione delle aree a rischio.

Attualmente sono in corso i lavori di una commissione per individuare e normare le aree a rischio, e gruppi di lavoro per l'approfondimento delle conoscenze nelle aree maggiormente a rischio sinkhole.

PAROLE CHIAVE: Sinkhole, Lazio, suscettibilità, censimento, carte tematiche

ABSTRACT - In this paper the map, that synthetizes the studies on Sinkhole of Latium region, is presented (MELONI *et alii*, 2012). These studies started in 2002 in a collaborative research project between Latium Region and the University of Roma Tre (CAPELLI *et alii*, 2002). Subsequently, with the construction of the new catalogue of the sinkhole of Latium (LIPERI *et alii*, 2009) and later with the unification of the catalogue of the Latium Region with that prepared by ISPRA (NISIO, 2008a, 2008b, 2010), the construction of a unified catalogue was provided in 2011 (MELONI *et alii*, 2013b).

Further analyses were conducted to study the relationships between the sinkhole and the main geological, geomorphological, tectonic and seismic features of the Latium region. These studies allowed the construction of a susceptibility map of the entire regional territory (CIOTOLI

et alii, 2012); this map constitutes the basis for the identification of risk areas.

Future developments will be the establishment of a Commission with the aim to identify and rule the activities within the risk areas and for the advancement of the knowledge in the most dangerous risk areas.

KEY WORDS: sinkhole, Latium, susceptibility, census, thematic maps

1. - INTRODUZIONE

Da circa 20 anni la Regione Lazio ha avviato studi ed indagini speditive di campagna sulle aree del territorio interessate dai fenomeni di sinkhole. Sono state individuate molte aree in cui il rischio risulta elevato a causa della presenza di edificato recente e di infrastrutture, con conseguente rischio per la popolazione residente. Le ripercussioni sulla pianificazione urbanistica ed ambientale della Regione Lazio si concretizzano con l'individuazione di criteri per un corretto utilizzo e destinazione delle aree soggette a rischio.

I primi studi riguardano i fenomeni di sprofondamento accaduti negli anni '90 nella zona di San Vittorino (NOLASCO, 1998) in cui la Regione è intervenuta prontamente anche con specifiche normative di pianificazione territoriale (Regione Lazio, 1997).

Successivamente, dal 2000 è iniziato un programma per l'estensione degli studi su tutto il Lazio. Il primo catalogo è stato realizzato attraverso una collaborazione tra Regione Lazio e Università di RomaTre (CAPELLI *et alii*, 2002) che ha permesso di individuare circa 90 sinkhole distribuiti su 15 comuni. Sulla base di tale studio è stata predisposta una nor-

(*) Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA

(**) Regione Lazio - Dipartimento Difesa del Suolo

mativa per l'esecuzione di indagini specifiche nelle aree in cui è prevista l'edificazione, senza rappresentare tuttavia un atto di pianificazione delle aree a rischio (Regione Lazio, 2002). Contemporaneamente l'ISPRA – Servizio Geologico d'Italia ha avviato un progetto di ricerca, *Progetto Sinkhole* (responsabile Dott.ssa Stefania Nisio) che ha portato al censimento di oltre 2000 eventi di sinkholes naturali in tutto il territorio italiano (APAT, 2004; NISIO, 2008; ISPRA, 2009). Buona parte degli eventi di sinkholes, censiti da Ispra, sono concentrati nel Lazio.

È stata avviata di seguito una collaborazione tra Regione Lazio e ISPRA al fine di condividere i dati acquisiti mediante sopralluoghi in sito e studi di dettaglio.

Lo studio intermedio, confrontando i dati Progetto sinkhole ISPRA 2004-2005 con quelli posseduti dalla Regione Lazio, ed eseguito con metodologie di consultazione standardizzate ha portato alla realizzazione di un nuovo catalogo della Regione Lazio costituito da oltre 300 eventi di sinkholes distribuiti in tutte le provincie del territorio regionale e con un maggior numero di comuni coinvolti (LIPERI *et alii*, 2009). Il catalogo, unificato con quello predisposto da Ispra 2008/2010 (NISIO, 2008a, b; 2010), ha portato alla costituzione di un catalogo unificato 2011 (MELONI *et alii*, 2013b).

2. - CARTA DEI SINKHOLE DEL LAZIO - CATALOGO 2011

La realizzazione della Carta dei Sinkhole del Lazio (MELONI *et alii*, 2013 b) è il risultato dell'esame di molteplici fonti documentarie, cartografiche e fotografiche (fig. 1), nonché in tempi più recenti, studi specifici a fini urbanistici. L'interpretazione delle cartografie storiche ha richiesto molta attenzione, attraverso confronti temporali tra le carte di varie epoche storiche, con il risultato di comprendere lo sviluppo di alcuni sinkholes dalla genesi, o comunque dalla sua prima apparizione cartografica, fino alla sua estinzioni o alla sua permanenza fino ad oggi (p.es., Lago di Cotronia nelle diverse cartografie dal 1777 al 1944).

Il catalogo, risultato di un attento lavoro di confronto e revisione dei dati disponibili (CAPELLI *et alii* 2002; LIPERI *et alii*, 2009; NISIO, 2008b), nella sua versione a stampa è costituito da 393 sinkhole concentrati in 33 macroaree. La loro descrizione è riportata su di una tabella dove sono riportati per ciascuno il: numero progressivo, il codice istat, il Comune, il Toponimo e le *Prone Areas*.

La base cartografica è rappresentata dalla Carta Geologica (fig. 1) in formato vettoriale e in scala di

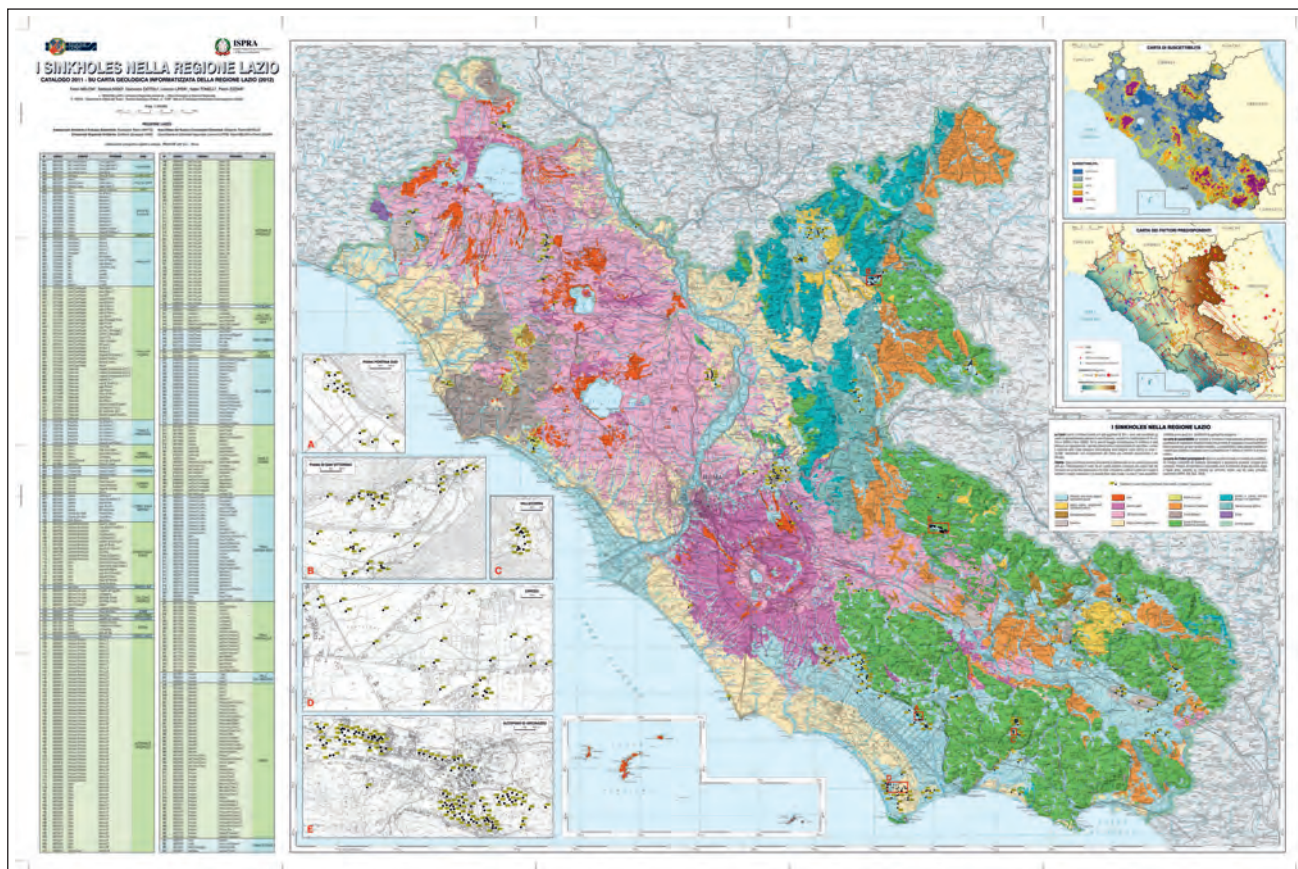


Fig. 1 - Carta dei sinkholes del Lazio.
- *Latium sinkholes map.*

origine 1:25.000, di cui si è dotata la Regione Lazio a seguito di una collaborazione con l'Università di RomaTre. La carta, costituita da 46 formazioni geologiche è stata utilizzata come base di analisi per la valutazione della suscettibilità territoriale.

Da una prima analisi eseguita in base alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche di alcune parti del territorio (COSENTINO *et alii*, 2012; PRATURLON *et alii* 2012) si evince che la gran parte dei sinkhole sono ubicati in aree di pianura, dove sono stati censiti soprattutto le tipologie “*cover collapse sinkhole*” e “*deep piping sinkhole*” (p.es., Piana Pontina), e in zone carsiche ubicate nelle valli montane, dove sono presenti doline s.s. (p.es., Monti Lepini) e “*cave collapse sinkhole*”.

3. - MAPPA DI SUSCETTIBILITÀ

Dall'analisi dei fattori predisponenti (fig. 2) è stata ottenuta la mappa di suscettibilità (fig. 3) e

rappresenta la suddivisione del territorio in diversi livelli di pericolosità secondo cui vengono discretizzate le probabilità del verificarsi del fenomeno osservato. I metodi di analisi sono diversi e possono essere metodi geomorfologici, metodi euristici metodi statistici. Quest'ultimi vengo sviluppati attraverso un'analisi di Regressione Logistica (RL) che rappresenta un caso speciale dell'analisi di regressione lineare allorquando la variabile dipendente non è quantitativa, bensì dicotomica.

Nel modello RL i risultati sono espressi in termini di probabilità che il fenomeno si manifesti nello spazio (considerando un tempo infinito) e permette il calcolo di coefficienti di regressione che definiscono il peso di ciascuna variabile nel modello.

La trasformazione esponenziale dei coefficienti permette di determinare in termini di probabilità il peso che ciascuna variabile ha nel verificarsi dell'evento.

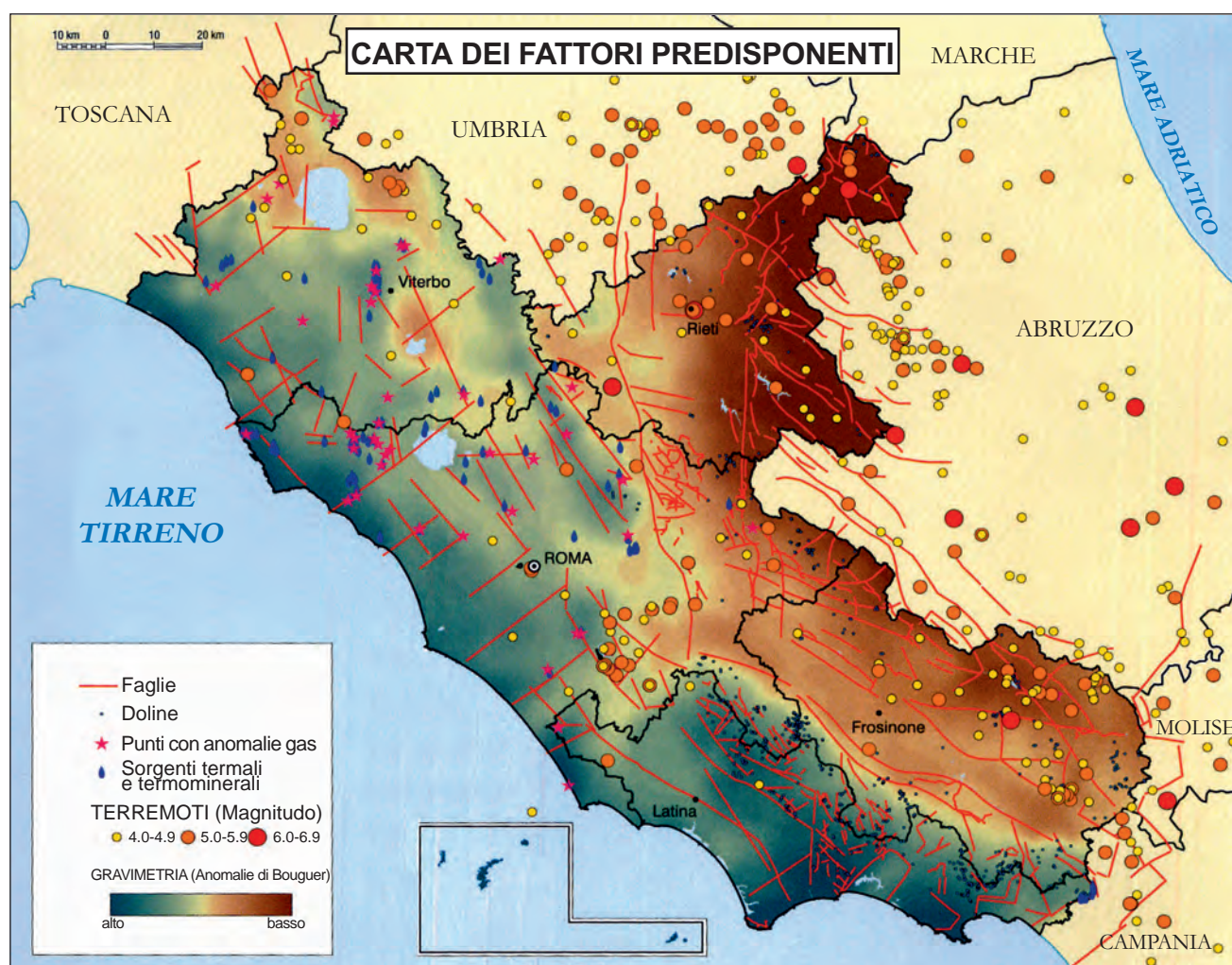


Fig. 2 - Fattori predisponenti i sinkholes del Lazio.
- Factors predisposing the sinkholes of Lazio.

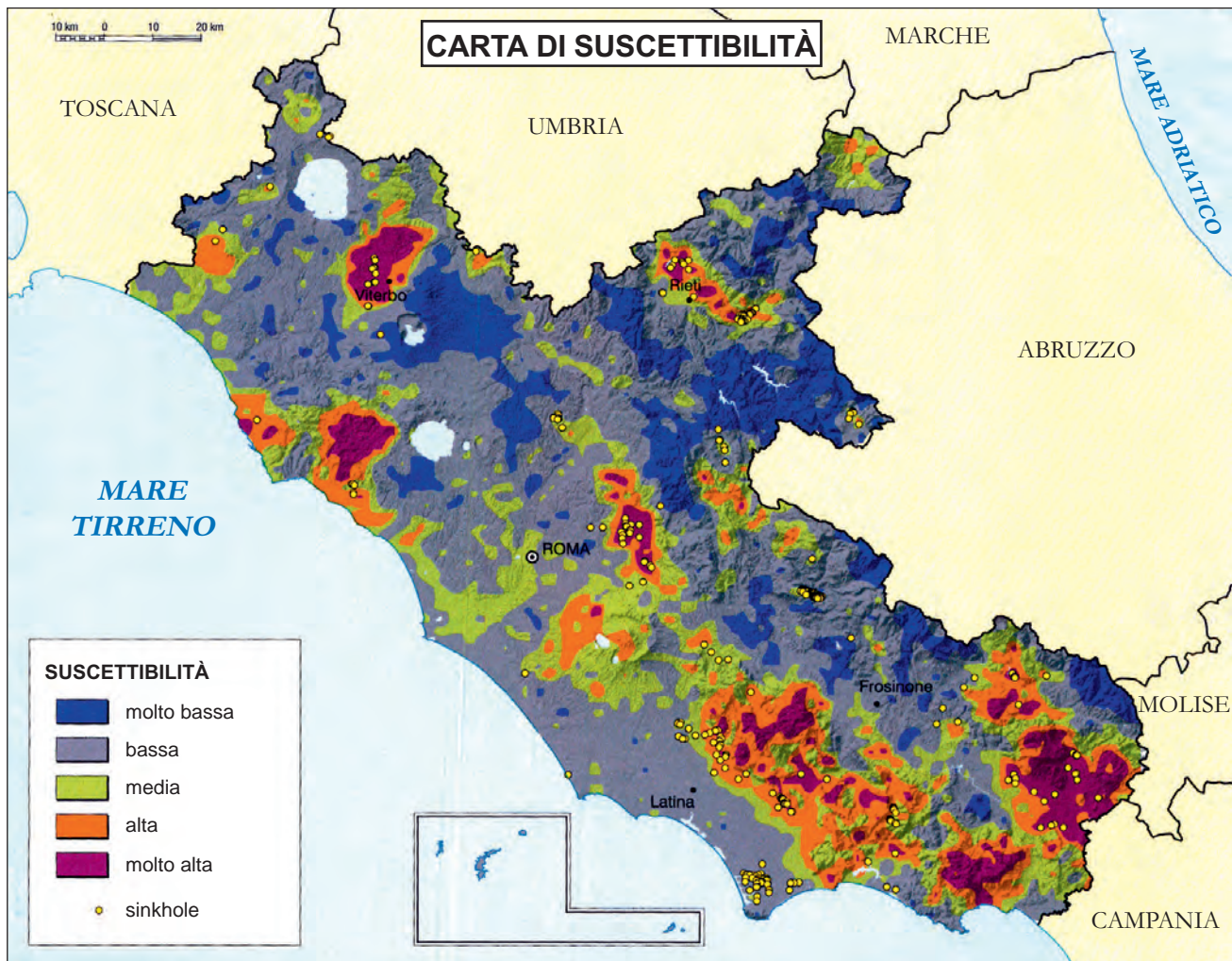


Fig. 3 - Carta di suscettibilità ai sinkholes della Regione Lazio.
- Sinkholes susceptibility map of the Latium Region.

Nella prima fase viene scelta l'area di studio e l'unità territoriale di base (cella di griglia = 2km) in funzione della distribuzione spaziale dei sinkholes.

Sono stati poi selezionati i fattori predisponenti e trasformati in layers di tipo raster. Quindi l'applicazione della regressione logistica binaria ha permesso il calcolo dei pesi relativi a ciascun fattore, ossia il calcolo dei coefficienti della regressione logistica (fig. 2). I passi successivi sono l'elaborazione della mappa di suscettibilità (fig. 3) e la verifica del modello di regressione (Curva ROC).

Per valutare l'attendibilità del modello logistico, i valori calcolati della variabile risposta sono stati confrontati con quelli misurati mediante il *test* grafico ROC (*Receiver Operating Characteristics*) (fig. 3).

Il grafico ROC è una procedura diffusa per valutare l'affidabilità di un *test* diagnostico in termini di sensibilità e specificità (DORFMAN *et alii*, 1969). L'area sottesa dalla curva fornisce un valore di 0.779 (su una scala variabile tra 0 e 1).

4. - PROPOSTA DI PIANO REGIONALE DELLE AREE SOGGETTE A RISCHIO SINKHOLE

Nella Regione Lazio, a parte alcune limitate eccezioni, lo studio delle aree a rischio Sinkhole fa parte di quelle attività di pianificazione necessarie per la caratterizzazione geomorfologica del territorio in funzione sismica, previste dall'art. 13 della Legge 64/74, e dalla DGR 2649/99 riguardante le "linee guida e documentazione per l'indagine geologica e vegetazionale" (REGIONE LAZIO, 1999).

La prima normativa di settore (REGIONE LAZIO, 1997) riguarda un limitato territorio comunale, quello della Piana di San Vittorino (Cittaducale, Castel S. Angelo, RI) a seguito dei primi casi di sprofondamento attenzionati dalla Regione, accaduti negli anni '90 (NOLASCO, 1998).

Successivamente a seguito della predisposizione del primo catalogo dei Sinkhole del Lazio (CAPELLI *et alii*, 2002) è stata emanata una normativa

(REGIONE LAZIO, 2002) che avrebbe potuto riguardare l'intero territorio regionale, ma che tuttavia è stata limitata a soli 15 comuni sulla base delle informazioni fornite dal catalogo (fig. 4).

I limiti della citata DGR sono quelli di aver sì definito le indagini geognostiche e geofisiche, attraverso cui accertare la presenza di Sinkhole, ma con la presunzione di conoscerne già le cause genetiche, tuttora non ben comprese, e di non aver perimetrato esattamente le aree in cui debbano essere eseguite le indagini, lasciando così un eccessivo margine di discrezionalità.

Per questo, dal 2012, insieme alla redazione della Carta dei Sinkhole del Lazio, è stato avviato un Programma di lavoro per la redazione del Piano Regionale delle aree soggette a rischio sinkhole.

Il Programma si propone di raccogliere gli studi esistenti in un quadro organico, al fine di:

- pervenire ad una mappatura più completa possibile del fenomeno sull'intero territorio regionale e di costruire una banca dati dei sinkholes costantemente aggiornabile;
- classificare i diversi tipi di sinkhole in base alla loro genesi;
- delimitare le aree a rischio sinkhole in base alla genesi e alla suscettibilità;

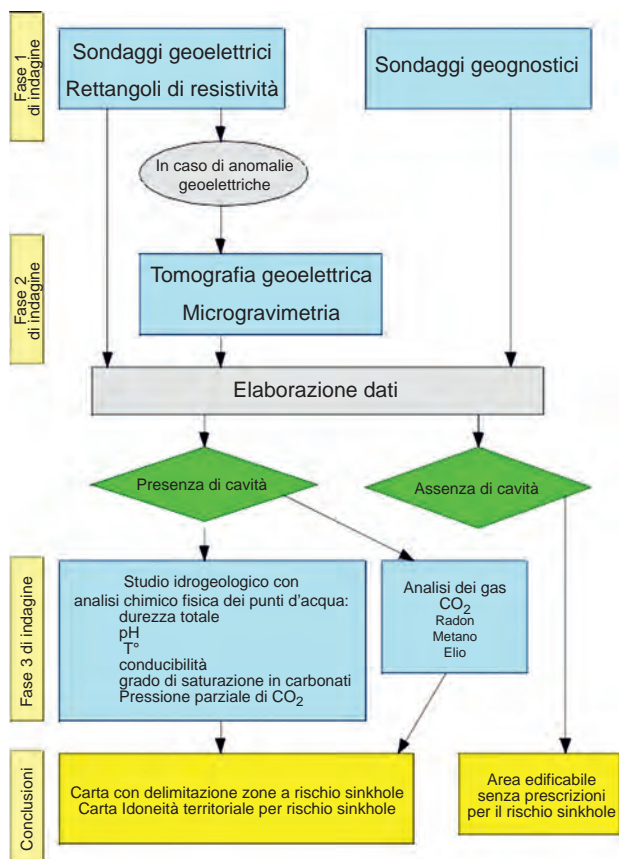


Fig. 4 - Studi ed indagini di approfondimento nelle aree a rischio sinkholes.
- Studies and investigations in sinkholes prone areas.

- predisporre una normativa vincolistica per le aree di maggior pregio naturalistico;
- predisporre una normativa per lo studio approfondito ai fini pianificatori.

A questo riguardo verranno predisposte schede tecniche contenenti, oltre l'ubicazione e la descrizione dell'area, la foto del Sinkhole, le sue caratteristiche morfologiche, geologico-strutturali, idrogeologiche, geotecniche, stratigrafiche, tettoniche, vegetazionale e sismiche. Le schede conterranno inoltre informazioni sulla destinazione urbanistica delle aree e sul carico antropico presente (numero di abitazioni e di abitanti, industrie a rischio, viabilità, ecc.) e sugli aspetti ecologici (fauna presente, specie vegetali, distanza di aree protette, ecc.).

Sono previsti studi di approfondimento (fig. 3) attraverso Gruppi di studio multidisciplinari in quelle aree che presentano caratteristiche di interesse scientifico, urbanistico ed ambientale.

L'attività di classificazione del fenomeno, di perimetrazione, di vincolistica e di normativa avverrà con il frequente consulto di esperti universitari e del mondo della ricerca in genere, per definire aspetti legati alle acque superficiali e sotterranee, alle metodologie di indagine geognostica e geofisica, alla zonizzazione urbanistica, agli aspetti vegetazionali, forestali e faunistici, ecc.

A questo riguardo sono stati predisposti due Gruppi di Lavoro, uno per delimitare le aree a rischio e definire le nuove normative regionali ("Commissione Tecnico Scientifica sui Sinkhole del Lazio" costituita con Determina n° A02782 del 8.04.2013) e l'altro per approfondire le conoscenze in una delle aree a maggior rischio definite nella figura 5 ("Commissione tecnica per lo studio dei sinkhole nel comune di Pontinia (LT)", istituita con Determina G01115 del 5.02.2014). Quest'ultima da estendere successivamente alle altre aree a maggior rischio. Sono in corso anche studi per appro-

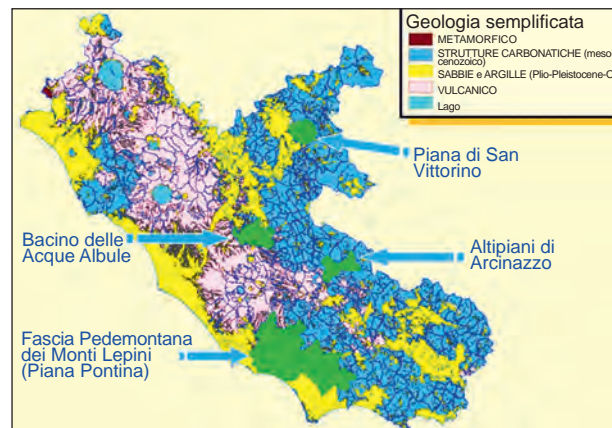


Fig. 5 - Aree maggiormente suscettibili ai fenomeni di sinkholes in cui verranno eseguiti studi ed indagini di approfondimento.
- Four sinkholes prone areas in which will be performed studies and researches.

fondire le tecniche di indagine più utili nello studio dei Sinkhole, in collaborazione con Provincia di Roma e INGV (area Bacino delle Acque Albule).

Altre attività programmate in stretto rapporto con lo studio dei sinkhole naturali sono:

- coordinamento delle attività della Commissione di studio riguardanti le normative con i PAI delle Autorità di Bacino del Lazio;
- catalogo sinkhole “antropogenici”;
- inserimento dei sinkhole con alta valutazione della naturalità nell’elenco dei “geositi” della Regione Lazio;
- valorizzazione del patrimonio geologico e dei sinkhole attraverso la realizzazione di Guide ed itinerari didattici, culturali e turistici.

5 - PRIMA CLASSIFICAZIONE PER AREE OMOGENEE DEI SINKHOLE

Ai fini di studiare e comprendere la genesi dei sinkholes censiti, distribuiti in aree a caratteristiche geologiche abbastanza omogenee, sono stati effettuati confronti con la litologia e la tettonica (fig. 6), l'idrogeologia, la sismicità e le altre caratteristiche del territorio che hanno contribuito alla redazione della carta di suscettibilità.

Questo processo ha permesso il raggruppamento dei sinkholes per aree geologiche omogenee (fig. 7) e la loro prima stima in termini genetici. Per un maggiore approfondimento è necessario tuttavia tener conto anche dell’aspetto temporale e della frequenza di accadimento, che si potrà avere solo a valle dell’analisi cartografica spazio-temporale. Tale analisi, in fase di standardizzazione, andrà eseguita per ogni singolo sinkhole.

Da un primo esame delle aree singolarmente isolate (figg. 8-13) emerge che in alcune zone si ha una omogeneità dei sinkhole e delle caratteristiche geologiche, che ne permettono una facile classificazione in termini genetici: p.es. i sinkhole di San Vittorino, di Vallecorsa e di Civitavecchia. Anche se già solo all’interno della Valle di Vallecorsa, oggetto di uno studio *ad hoc*, si possono distinguere due aree, una settentrionale con pochi sinkhole di maggiori dimensioni e frequenza di accadimento minore (nell’ordine delle decine di anni) ed una meridionale con sinkhole di piccole dimensioni ma con frequenza di accadimento elevata (annuale o minore).

Partendo dalla costa meridionale si ha un primo raggruppamento di sinkhole alle spalle del Monte Circeo (fig. 8). Tale gruppo sembra essere legato ad una importante risalita della falda idrica che da valori

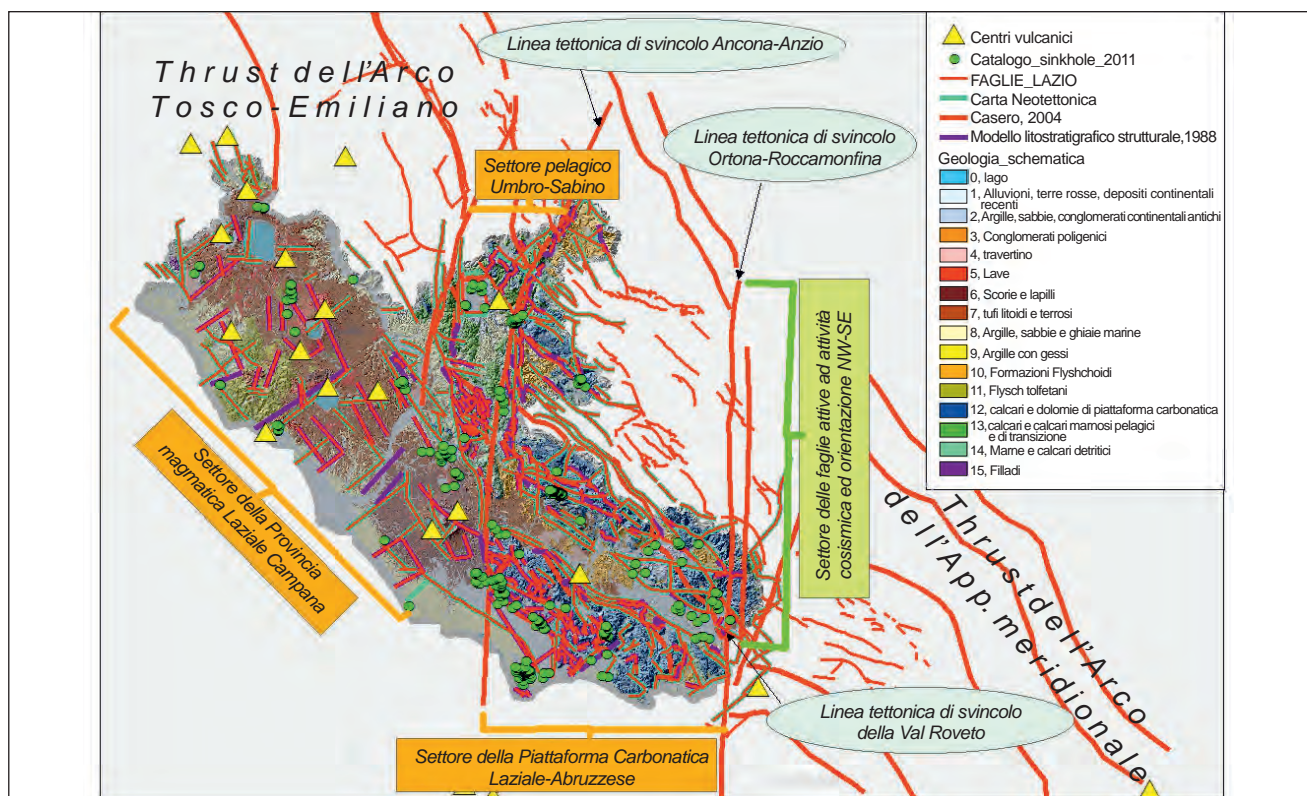


Fig. 6 – Comparazione dei sinkholes (pallini verde) con le principali caratteristiche tettoniche del Lazio, come dedotte dall’utilizzo del modello litostratigrafico-strutturale della Regione Lazio (BIGI *et alii*, 1988), della *Neotectonic map of Italy* (AMBROSETTI *et alii*, 1987) e della *Geology of Italy* (CASERO, 2004).
- Comparison of sinkholes (green dots) with the Lazio main tectonic features, these are inferred from the Lazio Region lithostratigraphic-structural model- (BIGI *et alii*, 1988), from the *Neotectonic map of Italy* (AMBROSETTI *et alii*, 1987) and from the *Geology of Italy* (CASERO, 2004).

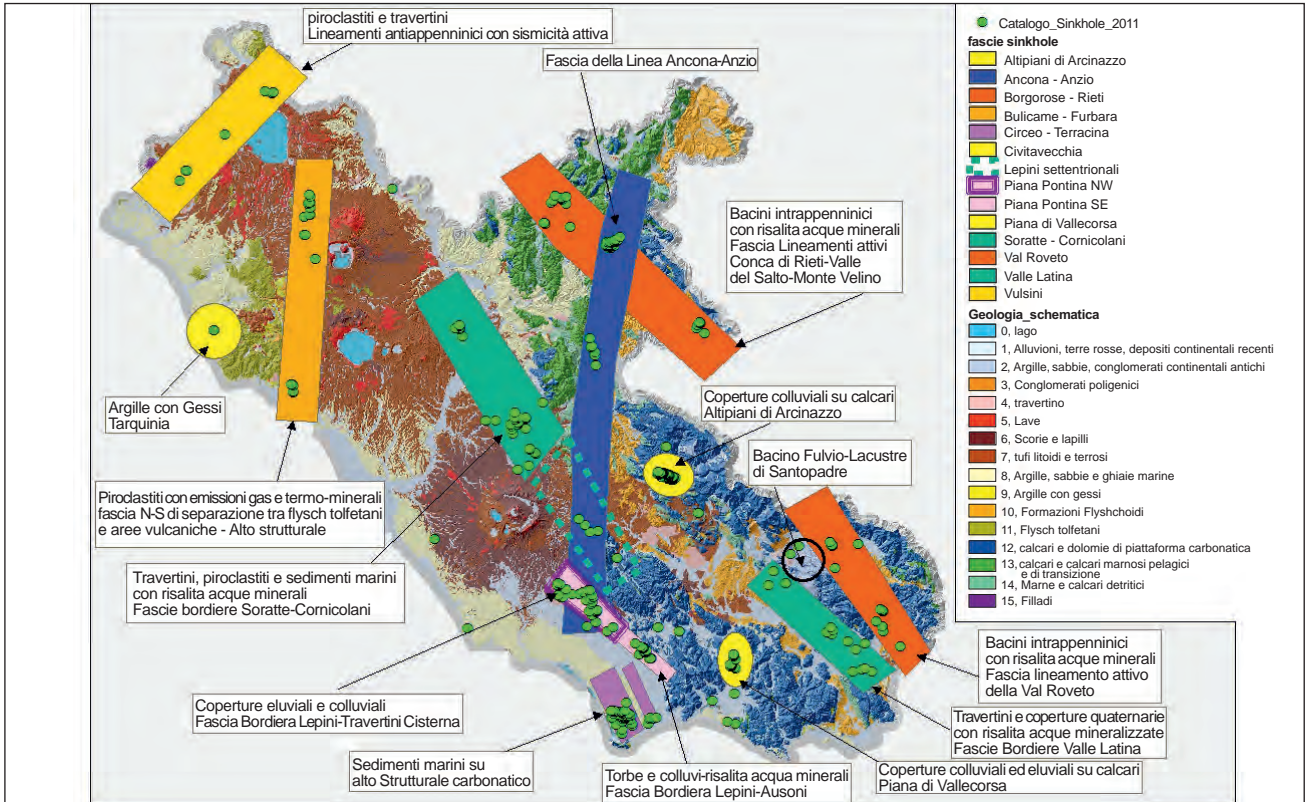


Fig. 7 – Raggruppamento dei sinkholes per fasce omogenee, sulla base delle principali caratteristiche geologiche del Lazio.
- Sinkholes grouping in the homogeneous areas, based on the main Lazio geological features.

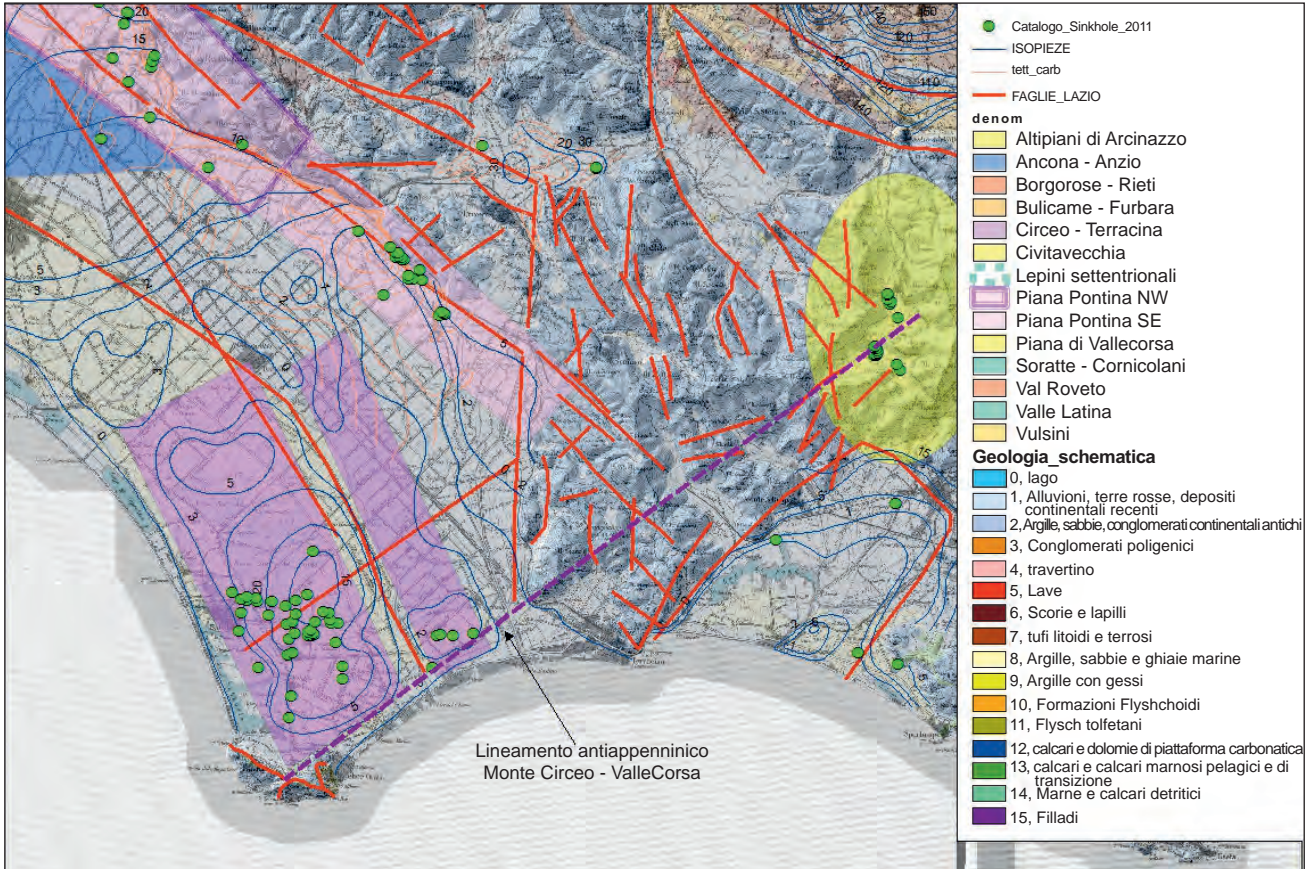


Fig. 8 – Fascia Pianura Pontina-Terracina-Circeo. I sinkholes si raggruppano in una zona di alto piezometrico e di fagliazione antiappenninica.
- Pontine plain-Circeo-Terracina band. The sinkholes are grouped in an area of high water table and faulting anti-Appennine direction.

prossimi allo 0 s.l.m., arriva in questa zona fino a valori superiori ai 20 m s.l.m. È probabile che tale risalita sia legata in parte ad una risalita del substrato calcareo. Sono presenti anche alcuni lineamenti tettonici ad andamento antiappenninico che attraversano l'area e conformi allo stile tettonico dei Monti Ausoni ben evidente nella zona di Fondi.

Sul lato opposto della Pianura Pontina, a ridosso dei rilievi carbonatici dei Monti Lepini ed Ausoni, vi sono due aree che presentano sinkhole persistenti nel tempo (fig. 9). Il tratto meridionale (zona Pontinia) risulta caratterizzato da sinkhole legati soprattutto alla risalita della falda idrica profonda, generalmente in pressione e con quote superiori all'attuale p.c. Il tratto meridionale (zona Pontinia) è caratterizzato da risalita anche di acque mineralizzate e da sinkholes sorgenti (cioè che ospitano sul loro fondale una sorgente che alimenta la falda idrica superiore e, spesso, corsi d'acqua). Il substrato carbonatico è ribassato per faglia al di sotto della piana fino a 100-150 m dal p.c. Tali sinkhole, in parte oggetto di studi di approfondimento, possono essere inseriti nella tipologia dei *deep piping sinkhole*.

Nel tratto settentrionale (zona Cisterna-Sermone-Latina) sono presenti sinkhole che mostrano un allineamento circa N-S ed E-W, apparentemente legato ad una analoga morfologia del substrato carbonatico sepolto. In questa zona si ha analoga-

mente risalita della falda idrica profonda fino a p.c. Tuttavia i sinkholes presenti sembrano essere maggiormente legati ai laghi-sinkhole, cioè annegati nelle acque di falda, piuttosto che ai *sinkhole sorgente*, in quanto privi di sorgenti sul fondo. Ciò comporta anche un più rapido interrimento dei sinkholes, rispetto a quelli del tratto meridionale. Si tratta nella maggioranza dei casi, di *cover collapse sinkhole*. Vi sono tuttavia evidenze di coesistenza, in entrambi i tratti esaminati, di fenomeni appartenenti a tutte e due le tipologie citate.

Nel raggruppamento poco più a nord (fig. 10), oltre il lineamento tettonico Ancona-Anzio, è presente l'horst carbonatico Soratte / Cornicolani, orientato NW-SE, che risulta interessato, nel suo margine sud-occidentale ribassato per faglia al di sotto della piana, da travertini e da risalita di acque solfuree in pressione.

La circolazione idrica è caratterizzata da una falda mineralizzata in pressione, contenuta nel basamento carbonatico sepolto, con un livello della falda di poco superiore al p.c. e da una circolazione idrica superiore a carattere locale.

Il tratto meridionale risulta più complesso del tratto settentrionale, per la sovrapposizione di un lineamento attivo trascorrente destro (*la faglia Sabina*), allo stile tettonico a horst e graben, con attività cosismica poco o nulla evidente. In questa

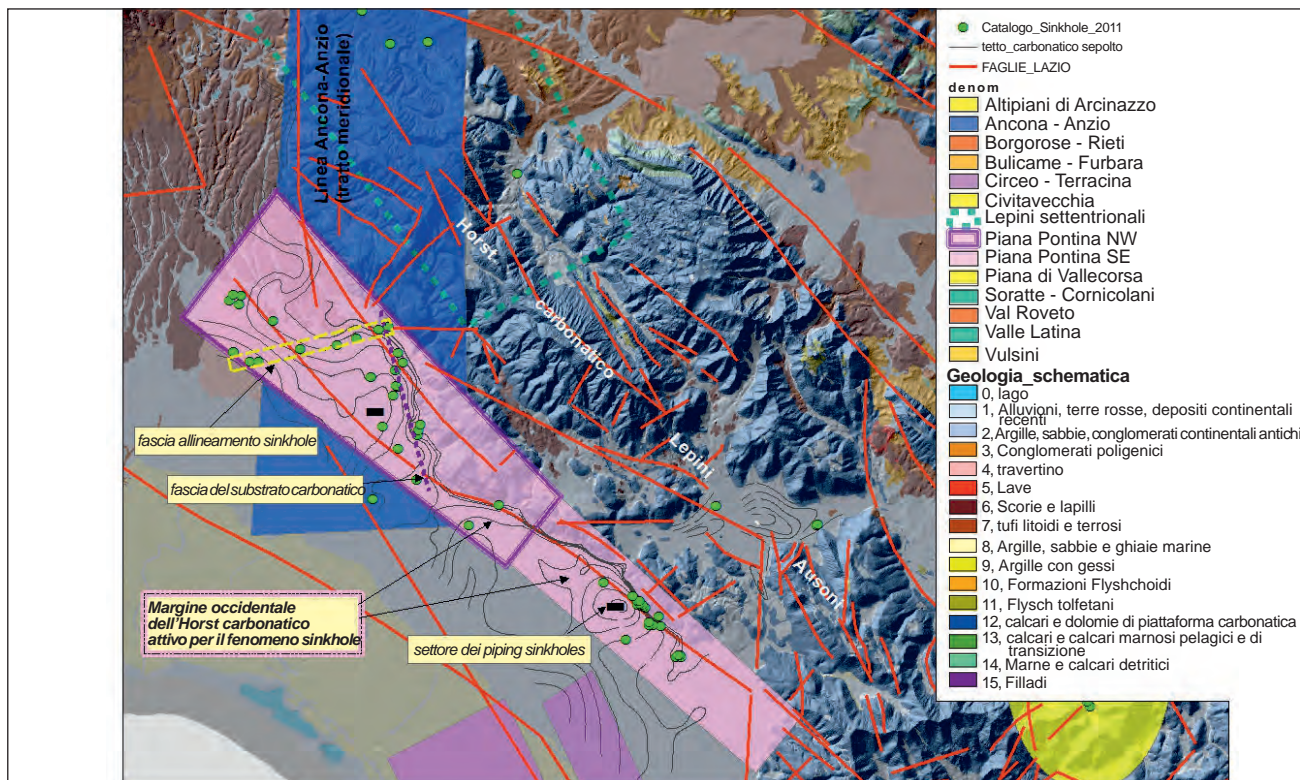


Fig. 9 – Fascia Pianura Pontina meridionale e Pianura Pontina settentrionale: i sinkholes presenti mostrano una forte direzionalità legata alla fagliazione presente ed all'andamento del substrato carbonatico sepolto. Con il segno meno è indicato il punto di massimo approfondimento del substrato.
- Northern and Southern Pontina Plain sectors: the location of sinkholes shows strong directionality, they are related to fault systems; they present correlation with the carbonate bedrock. Minus sign indicates the maximum depth of the substrate.

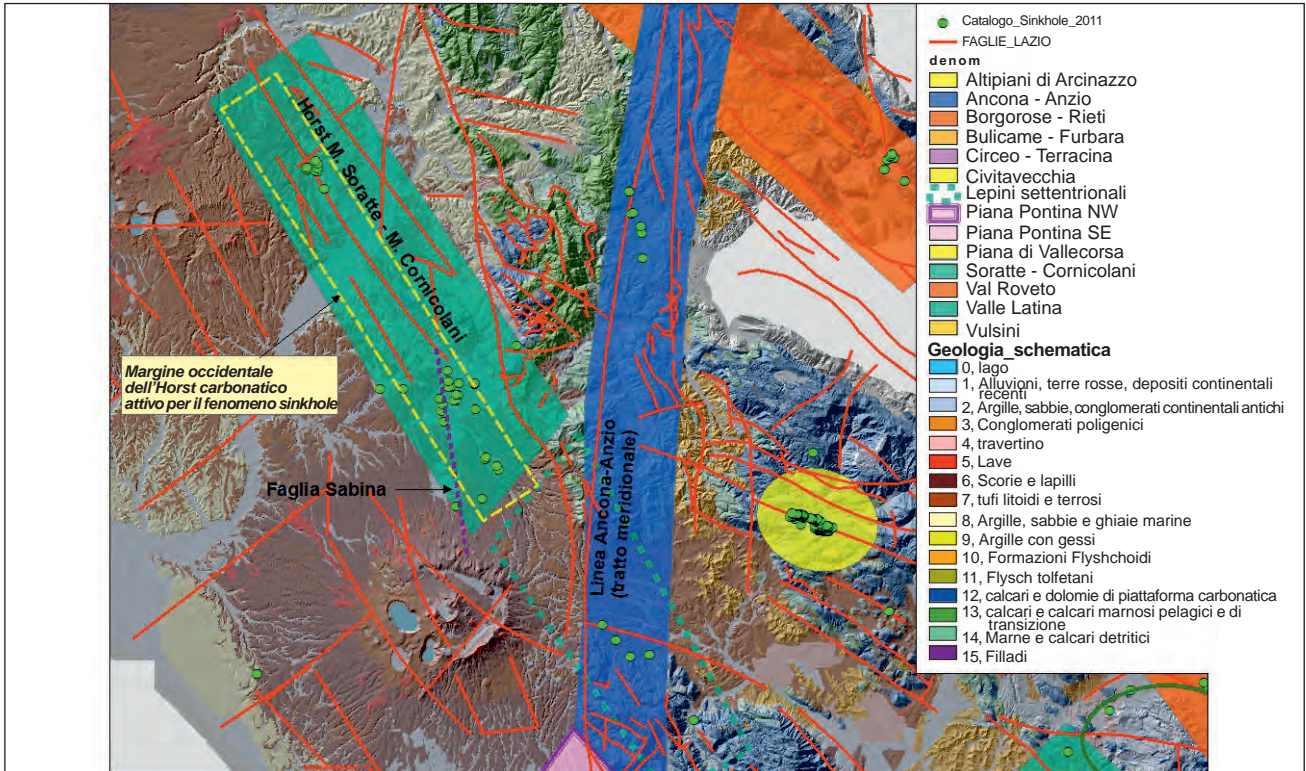


Fig. 10 – Fascia Soratte-Cornicolani: oltre alla direzionalità NW-SE, all'interno del Bacino delle Acque Albule è presente un allineamento di sinkholes in direzione N-S. È possibile che i sinkholes presenti nel tratto più meridionale siano in parte legati a fenomeni post-vucanici. È stato ipotizzato anche un possibile collegamento tra i sinkholes di Artena-Colleferro e di Montelanico.

- Soratte-Cornicolani area: the sinkholes are correlated with the NW-SE direction. In the Albule Basin is present a NS direction sinkholes alignment. In the southern sector it's possible that the sinkholes are also related to postvolcanic phenomena. It's also suggested a possible correlation between the Artena-Colleferro sinkholes and Montelanico sinkholes.

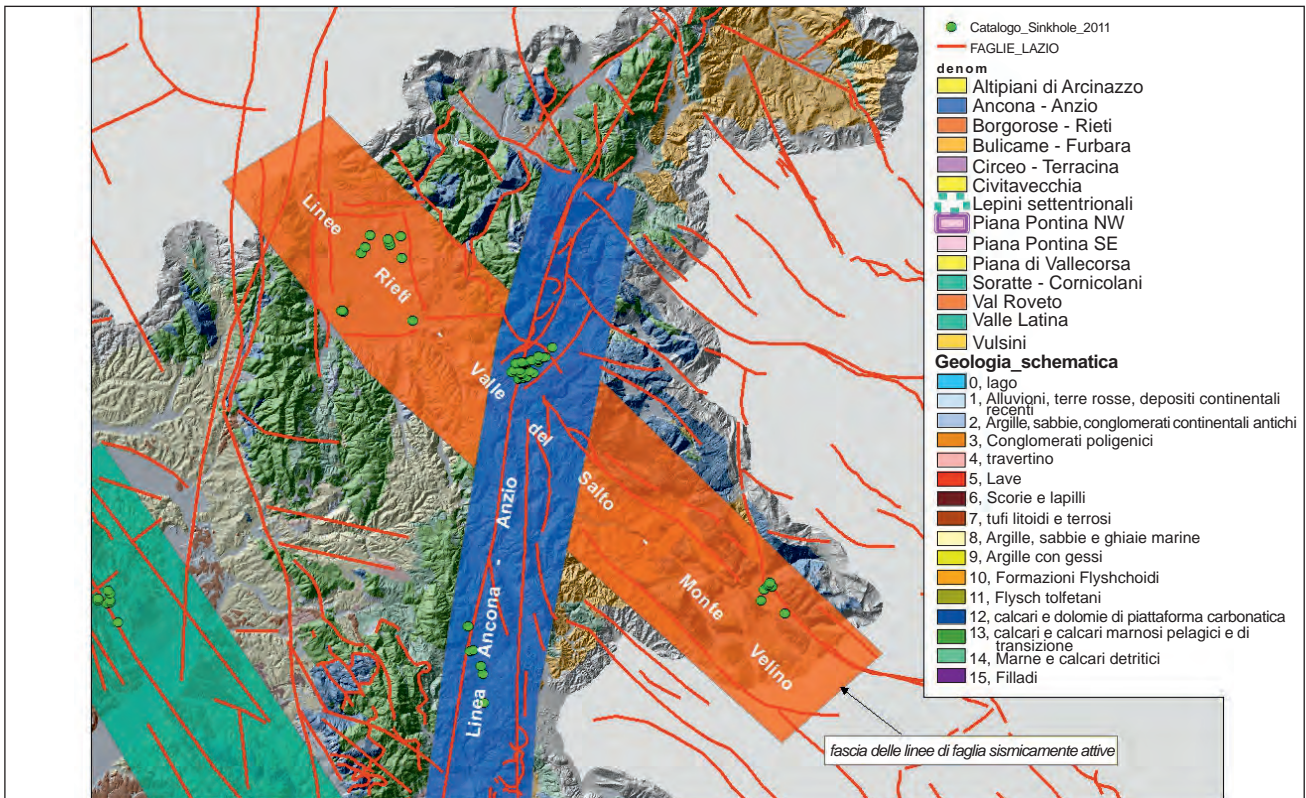


Fig. 11 – Fascia Piana di Rieti-Piana di San Vittorino-Piana di Borghorse. I sinkholes sviluppano all'interno di conche intramontane interessate da faglie attive ad attività cosismica e da sismicità elevata.

- Rieti-San Vittorino-Borghorse Plain areas. The sinkholes are developed in inter-mountain basins bordered by active faults, with seismic activities and high seismicity.

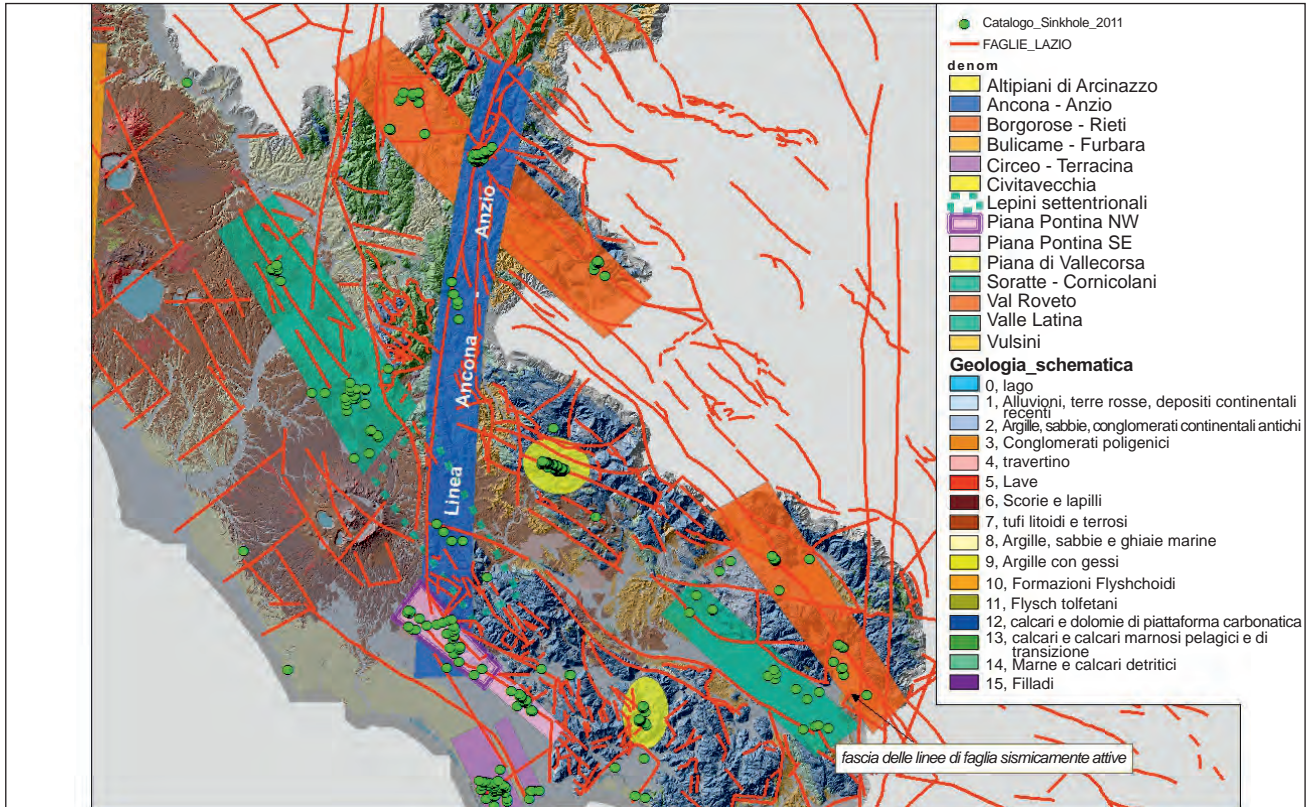


Fig. 12 – Fascia della Linea Ancona-Anzio. I sinkholes interessati sono quelli dei raggruppamenti della Piana San Vittorino, di -Orvinio-Vallinfreda-Percile, di Artena-Colleferro, di Cisterna-Sermoneta-Latina.

- Ancona-Anzio Line area. The sinkholes are involved in some groups: San Vittorino plain area, Orvinio-Vallinfreda-Percile area, Artena-Colleferro area, Cisterna-Sermoneta-Latina area.

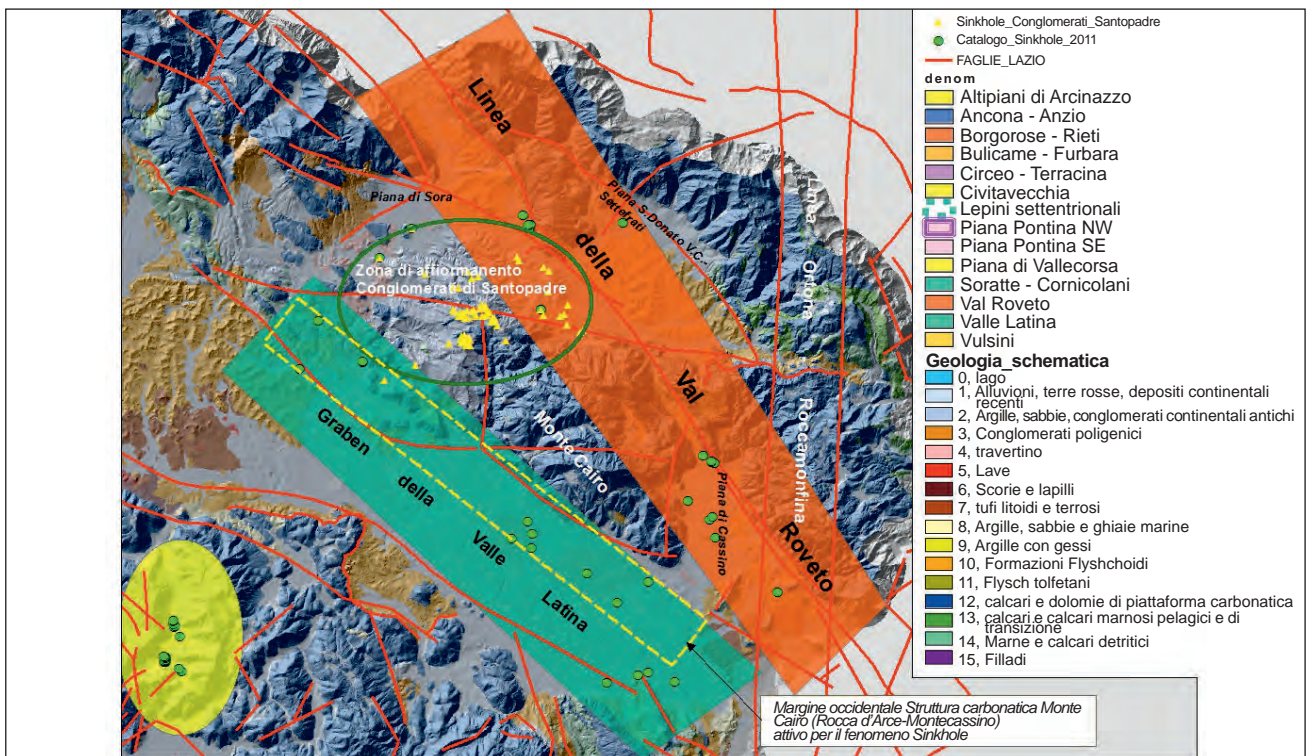


Fig. 13 – Fascia della Valle Latina e Fascia della Val Roveto: nella valle Latina i sinkholes, allineati in direzione NW-SE, sembrano legati ancora al margine inattivo dell'Horst del Monte Cairo; quelli nella val Roveto sembrano essere strettamente legati al lineamento tettonico attivo della val Roveto con due aree di concentrazione nella Piana di Cassino e nella Val Comino.

-Latina Valley- Roveto Valley: in the Latina valley the sinkholes, aligned in NW-SE direction, seem related to the inactive margin of the Mt. Cairo Horst; in the Roveto valley the sinkholes seem related to the master fault with two areas of concentration: Cassino Plain and Comino valley.

zona sono presenti sedimenti terrigeni appartenenti alla trasgressione marina plio-pleistocenica, prodotti piroclastici del Vulcano Laziale e abbondanti Travertini depositi prevalentemente in un bacino di *pull-apart* lungo la faglia Sabina. Le tipologie di sinkhole appartengono sia ai *piping sinkhole* (NISIO 2003, 2008) che ai *cover collapse sinkhole*. (NISIO 2003, 2008 NISIO & SALVATI 2004).

Nella zona del reatino si hanno tre distinte aree interessate da sinkholes: la Piana di Borgorose, la Piana di San Vittorino, la Piana di Rieti (fig. 11). Queste aree si trovano ben allineate lungo un fascio di faglie attive ad attività cosismica elevata, orientate NW-SE, e si distinguono le une dalle altre per la presenza o meno di risalita di acque solfuree in pressione, ben rappresentate nella Piana di San Vittorino con le terme di Cotilia. Anche qui sono presenti *piping sinkhole* e *cover collapse sinkhole*. Nelle altre due aree di Borgorose e di Rieti si tratta per la maggior parte di *cover collapse sinkhole* che interessano i sedimenti colluviali di colmamento delle piane.

Le zone finora descritte sembrano avere un punto di unione, o di disgiunzione, rappresentato dalla linea Ancona-Anzio, che interessa le aree suscettibili della Piana di San Vittorino, di Orvinio-Vallinfreda (compresi i lagustrelli di Percile), di

Artena-Colleferro e di Cisterna-Sermoneta-Latina, su cui si allineano i fenomeni. Il significato di tale allineamento di sinkholes è oggetto di un approfondimento di indagine (fig. 12).

Nel frusinate sono presenti altri raggruppamenti di sinkhole (NISIO & SCAPOLA, 2005, 2010 a, b NISIO 2008), in un quadro abbastanza complesso (fig. 13). Infatti sono presenti sinkhole sul margine sud-occidentale dell'Horst di Monte Cairo e lungo i margini della Piana di Cassino. Il tratto Monte Cairo-Valle Latina sembra essere caratterizzato in parte da risalita di acque solfuree e deposizione di travertini nella piana, in una situazione del tutto simile a quella del margine dei Horst Soratte-Cornicolani. I sinkhole presenti nella Piana di Cassino e quelli posti più a nord-ovest nella Val Comino (compreso il lago di Posta Fibreno) sembrano essere ubicati lungo la faglia della Val Roveto, linea-mento attivo ad attività cosismica. Nel tratto settentrionale il quadro risulta, infine, complicato per la presenza di numerosi sinkhole appartenenti al raggruppamento del bacino di Santopadre, solo parzialmente censiti nel catalogo 2011.

Nel settore del Viterbese e del dominio degli apparati vulcanici del Lazio settentrionale sono presenti due fasce di sinkhole (fig. 14). Una orien-

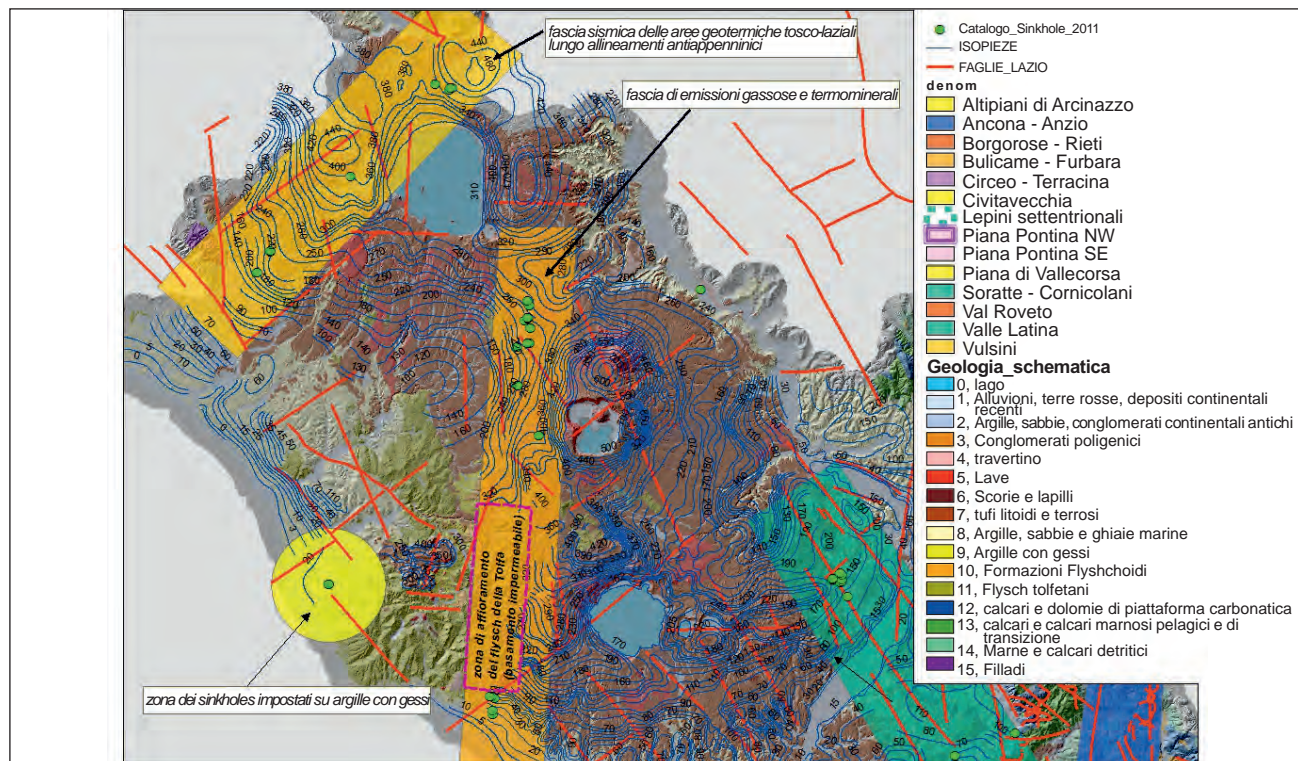


Fig. 14 – La mappa mostra tre fasce in cui si verificano la maggior parte dei fenomeni di sinkholes fascia Furbara-Viterbo e fascia Monti Vulsini. Il primo allineamento racchiude i sinkhole legati alle emissioni termo-minerali del Bullicame ed a quelle gassose del Sasso-Furbara; il tratto centrale risulta interessato dai terreni impermeabili del flysch della Toifa. Nel secondo allineamento sono compresi i sinkhole della zona dei travertini (tratto più orientale) fino a quelli in area francamente vulcanica.

- The map shows sinkholes occurring in the northern-central Lazio according to three main zones. The Furbara-Viterbo and Mt. Vulsini zone includes sinkholes related to gas emissions and to Bullicame thermal springs and Sasso-Furbara springs. The central sector includes sinkholes distributed along a N-S trend and formed in the impermeable Toifa flysch formation to the southern part, and in the Vico volcanic area to the north. The third zone (the easternmost) includes sinkhole occurring on travertine and volcanics outcrops.

tata circa N-S (fascia Furbara-Viterbo) e caratterizzata da importanti emissioni gassose e risalita di acque termo-minerali ed interrotta nel suo tratto meridionale dai terreni impermeabili del flysch della Tolfa; l'altra, orientata in senso antiappenninico e conforme allo sviluppo della sismicità e della tettonica delle aree geotermiche tosco-laziali (fascia Monti Vulsini). Anche in queste zone sono in corso studi di approfondimento.

6. - CONCLUSIONI

Le attività svolte dalla Regione Lazio e dall'Ispra sono state sintetizzate nella Carta dei Sinkhole del Lazio con annessa carta della Suscettibilità (MELONI *et alii*, 2013 b). Quest'ultima è stata realizzata partendo dall'analisi di tutti i fattori predisponenti il fenomeno, dopo un attento studio delle conoscenze geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio regionale.

Sono state istituite commissioni per la delimitazione delle aree a rischio e per la predisposizione di normative di settore, nonché per l'approfondimento delle conoscenze sulle zone a maggior frequenza sinkholes e ritenute con a rischio più elevato. Tra quest'ultime la Commissione ha deciso di integrare gli studi e le conoscenze sulle prime quattro aree con maggiore concentrazione di fenomeni di sprofondamento: Pianura Pontina e Altopiani di Arcinazzo, Piana di S. Vittorino e Bacino delle Acque Albule.

Sono previste attività future di schedatura di ogni singolo sinkhole sinora censito e studiato in un apposito catalogo. Inoltre la ISPRA e Regione Lazio stanno predisponendo un censimento di fenomeni antropogenici (fig. 15) che interessano per lo più le aree urbanizzate (MELONI & NISIO in questo volume), i capoluoghi di provincia e piccoli

centri urbani. È in corso di realizzazione un catalogo dei fenomeni carsici di versante (*cave collapse sinkholes*), nonché attività volte alla divulgazione e all'approfondimento di tali fenomeni tra i professionisti della regione.

BIBLIOGRAFIA

- APAT (2004a) - *Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*. Atti I Convegno internazionale, Roma 20-21 maggio 2004.
- APAT (2004b) - *Database nazionale sinkhole - versione 2004*. File in formato elettronico. Sito: <http://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/default.htm>.
- ALBANESE G., CAPELLI G., FEDERICO P., SALVATI R., STORONI S., ZALAFFI M. (2004) - *I fenomeni di sinkhole come elemento di rischio lungo le grandi arterie stradali*, Atti del 1° Seminario "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma, 20-21 maggio 2004, 25-36.
- ALMAGIÀ R. (1911) - *di Comino o Cominese*. Boll. Soc. Geogr. It. 48.
- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L., ZANFERRARI A., BARTOLINI C. (1987) - *Neotectonic map of Italy*. CNR Progetto finalizzato geodinamica - Sottoprogetto neotettonica. Firenze
- AMETI G.F. (1693) - *Il Lazio con le sue più cospicue strade antiche e moderne è principali casali, e tenute di esso*. Parte I e II, terrestre; parte I e II marittima. Domenico De Rossi Ed. Roma. Bibl. Soc. Geogr. It., Roma.
- ANNUNZIATELLIS A., BEAUBIEN S.E., CIOTOLI G., LOMBARDI S., NISIO S. & NOLASCO F. (2004) *Studio dei parametri geologici e geochimici per la comprensione dei meccanismi genetici degli sprofondamenti nella piana di S. Vittorino*. Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma 20-21 maggio: 63-82.
- ANNUNZIATELLIS A., CIOTOLI G., GUARINO P.M. & NISIO S. (2010) - *Nuovi dati sui sinkholes del bacino delle Acque Albule (Tivoli, Roma)*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato". Roma 3-4 dicembre 2009, 395-412.
- BERSANI P., CANALINI A. & NISIO S. (2010) - *Segnalazione di fenomeni di sprofondamento nell'area di Sasso di Furbara (Santa*



Fig. 15 - Schema della formazione di un sinkhole antropogenico nelle aree rurali del territorio laziale.
- Scheme of the anthropogenic sinkhole formation, in rural areas of the Latium region.

- Severa-Roma). Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 395-412.
- BONI C., BONO P., CALDERONI G., LOMBARDI S. & TURI B. (1980) - *Indagine idrogeologica e geochimica sui rapporti tra ciclo carsico e circuito idrotermale nella Pianura Pontina (Lazio Meridionale)*. Geologia Applicata e Idrogeologia, **15**.
- BONO P. (1995) - *The sinkhole of Doganella (Pontina, Plain, Central Italy)*. Environmental Geology, **26**: 48-52.
- CAMPOBASSO C., GRACIOTTI R., NISIO S. & VITA L. (2004) - *Il progetto sinkhole: le attività svolte dal Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT*. Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma 20-21 maggio: 171-188.
- CAPELLI G., SALVATI R., GARELLO M. & COLOMBI A. (2002) - *Progetto Sinkhole del Lazio*. Regione Lazio - Dir. Reg. Ambiente e Prot. Civ. - Univ. St. Roma Tre -Dip. Sc. Geologiche, Relazione finale, ottobre 2002: 1-215.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G., FERRELLI L., GUERRIERI L., NISIO S., VITA L. & VITTORI E. (2006) - *Relazioni tra strutture sismogenetiche, eventi*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **71**, pp. 123.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G. & NISIO S. (2008) - *A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas*. Journal of Natural Hazard: 145-172, DOI 10.1007/s, 11069-007-9165-7.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G., NISIO S. & VITA L. (2006) - *I fenomeni di sinkholes in Italia: inventario dei fenomeni naturali ed alcuni casi di studio*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **71**, pp. 121.
- CARAMANNA G., NISIO S. & VITA L. (2004) - *Fenomeni di annessamento dei sinkholes: casi di studio su alcuni laghetti di origine incerta*. Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio" Roma 20-21 maggio 2004: 229-248.
- CATALANO G., LIPERI L., MELONI F., NOTARMUZI M.C., SATTALINI O., SERICOLA A., TOCCACIELI M., TONELLI V., & ZIZZARI P. (2011) - *Studi sul fenomeno sinkhole nella Regione Lazio*. Atti del Convegno: "Studi ed interventi per il risanamento delle cavità antropiche e naturali. aspetti geologici, geotecnici e sismici", SIGEA, Sez. Puglia, Altamura (BA), 9 dic., 2010.
- CENTAMORE E. & NISIO S. (2002a) - *Quaternary morphodynamics between the Velino and Salto Valleys*. International Workshops on Large-Scale vertical movements and related gravitational processes. Rome-Camerino, June 21-26, 1999, Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. (1/2002): 33-44.
- CENTAMORE E. & NISIO S. (2002b) - *Tettonica e sedimentazione (Lias-Pleistocene) nella media Valle del Salto (Rieti, Italia Centrale)*. Studi Geologici Camerti 2002/2: 53-70.
- CENTAMORE E., NISIO S. & ROSSI D. (2004) - *Aspetti geologico-strutturali in relazione alla formazione della "sinkhole plain" di S. Vittorino*. Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma 20-21 maggio: 285-298.
- CESAREO P. (2004) - *Structural setting of petroleum exploration plays in Italy*. IGC 32 Florence 2004 Spec. Issue, Soc. Geol. It. 189-200.
- CHIESA G. (1992) - *Relazione tecnica sulle probabili cause che hanno dato luogo al franamento del terreno attorno al pozzo in fase di perforazione*. Milano, 25 marzo 1992, dattiloscritto.
- CIOTOLI G., DI FILIPPO M., NISIO S. & ROMAGNOLI C. (2001) - *La piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali, geomorfologici, geofisici e geochimici*. Mem. Soc. Geol. It., **56**, 297-308.
- CIOTOLI G., DI FILIPPO M., NISIO S. & ROMAGNOLI C. (1998) - *La piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali, geomorfologici, geofisici e geochimici*. Atti Conv. Gio-
- vani Ricercatori di Geologia Applicata. Chieti 22-24 Ott. 1998, Vol. abs. 200-201.
- CIOTOLI G., FINOIA M.G., LIPERI L., MELONI F., NISIO S., TONELLI V., ZIZZARI P. (2012) - *Mapa di Suscettibilità ai sinkholes nel Lazio e le aree a rischio*. 13^a Conferenza italiana utenti Esri, Roma 18-19 aprile 2012.
- COLOMBI A., SALVATI R., CAPELLI G., SERICOLA A., COLASANTO F., CRESCENZI R., MAZZA R., MELONI F. & ORAZI A. (1999) - *Problematiche da sprofondamento catastrofico nelle aree di pianura della Regione Lazio. Il Progetto Sinkhole del Lazio*. Convegno Conoscenza e salvaguardia delle aree di Pianura. Ferrara Italy, 8-11 Novembre 1999.
- COSENTINO D., PASQUALI V., CATALANO G., FATTORI C., MANCINELLA D. & MELONI F. (2012) - *Carta informatizzata della regione Lazio*. Univ. di Roma Tre-Dip. Scienze Geologiche, Regione Lazio Ag., Regionale Parchi Area Dif. del Suolo, Versione vettoriale.
- D'ANIELLO V. (2012) - *Il rischio Sinkhole: gli sprofondamenti di natura antropica nel centro storico di Velletri (RM)*. Atti 16^a Conferenza Nazionale ASITA, Fiera di Vicenza 6-9 novembre 2012: 515-522.
- DE ROSSI M.S. (1876) - *Meteorologia endogena*. Fratelli Dumolard Milano, **1**: 220-225.
- FACCENNA C., FLORINDO F., FUNICIELLO R. & LOMBARDI S. (1993) - *Tectonic settings and sinkhole features: case histories from Western Central Italy*. Quaternary Proceedings, **3**.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R., MONTONE P., PAROTTO M. & VOLTAGGIO M. (1994) - *Late pleistocene strike in the Acque Albule basin (Tivoli, Latium)*, Mem. Carta Geol. d'It., **44**, Roma, pp. 12.
- GASPARINI C., DI MARO R., PAGLIUCA N.M., PIRRO M. & MARCHETTI A. (2002) - *Recent seismicity of the "Acque Albule" travertine basin*. Annals of Geophysics, **45**, N. 3/4, 537-550.
- GASPARINI C., PIRRO M., MARCHETTI A. & PAGLIUCA M.N. (2001) - *Analisi del Periodo sismico avvenuto nel territorio di Guidonia Montecelio nel giugno 2001*. Atti 20 GNGTS, pp. 9.
- ISPRA (2010 a) - *I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*. Atti 2° Workshop internazionale, Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA.
- ISPRA (2010b) - *Database nazionale sinkhole*. Catalogo in formato elettronico <http://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/>. Sito web ISPRA.
- ISPRA-ENI-OGS (2009) - *Carta gravimetrica d'Italia*.
- LANZINI M., DI GIROLAMO M., LIPERI L., MELONI F., ZIZZARI P., MENICHELLI R. & GUALDI M. (2010) - *Studi geologici ed indagini geognostiche per la valutazione del rischio sink-holes, per il progetto di raddoppio della linea ferroviaria Roma-Pescara (tratto Lunghezza-Guidonia)*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 777-792.
- LIPERI L., MELONI F., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2010) - *Catalogo in Progress dei Sinkhole del Lazio. Revisione ed implementazione del catalogo - Approccio ecosistemico per la valorizzazione dei siti - Normativa e pianificazione territoriale*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 315-328.
- MELONI F. (2010) - *Terremoti e sprofondamenti - similitudine dei percorsi di ricerca storica, tra casi di sostituzione, effetti nel suolo e liquefazioni*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 97-112.
- MELONI F., NISIO S., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2011) - *The unified regional catalog of Latium sinkholes and risk areas*. Geitalia 2011, 8° Forum italiano di Scienze della Terra, Torino 19 -23 settembre 2011, Epitome, **4**, sess. C3-4.

- MELONI F., CATALANO G., LIPERI L., NOTARMUZI M.C., SERICOLA A. & ZIZZARI P. (2011) – *The Vallecorsa sinkholes (Fr., Latium) between history and current events*. Geitalia 2011, 8° Forum italiano di Scienze della Terra, Torino 19-23 settembre 2011, Epitome, **4**, sess. C-13.
- MELONI F., NISIO S., CIOTOLI G., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2012) – *I Sinkholes nella Regione Lazio – Catalogo 2011 – su carta geologica informatizzata della Regione Lazio (2012)*. Regione Lazio – Ass. Ambiente e sviluppo sostenibile – Area Difesa del Suolo e Concessioni demaniali. Stampa.
- MELONI F., CATALANO G., LIPERI L., NOTARMUZI M.C., SERICOLA A. & ZIZZARI P. (2013 a) – *I sinkholes di Vallecorsa tra storia e attualità*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93** (2013): 299-320, figg. 26, tabb. 2.
- MELONI F., NISIO S., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2013b) – *Il catalogo regionale unificato dei sinkhole del lazio e le aree a rischio*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93** (2013): pp. 321-354, figg. 39, tab. 1.
- MIELE P. (2010) – *Riconoscimento e censimento delle forme di sprofondamento catastrofico in ambiente carsico – area dei M.ti Aurunci occidentali. Lazio meridionale. Compilazione di un database*. Atti 2° Workshop internazionale: “I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell’ambiente naturale ed in quello antropizzato”, Roma 3-4 dicembre 2009, 595-608.
- NISIO S. & SALVATI R. (2004) – *Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana*. Atti Conv. “Stato dell’arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio”, Roma 20-21 maggio 2004: 573-584.
- NISIO S. & SCAPOLA F. (2005) – *Individuazione di aree a rischio sinkhole: nuovi casi nel Lazio meridionale*. Il quaternario, Italian journal of Quaternary Sciences, **18** (2) 223-239.
- NISIO S. & SCAPOLA F. (2010 a) – *Fontana Liri: i laghi-sorgente Solfatara-Bucone indicatori di tettonica recente*. Atti 2° Workshop internazionale: *I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell’ambiente naturale ed in quello antropizzato*, Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA, 607-622.
- NISIO S. & SCAPOLA F. (2010b) – *I sinkholes nel Frusinate*. Atti 2° Workshop internazionale: *I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell’ambiente naturale ed in quello antropizzato*, Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA: 329-348.
- NISIO S. (2003) – *I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale*. Il Quaternario, **16** (1): 121-132.
- NISIO S. (2005) – *Aree a rischio sinkhole*. Annuario dei dati ambientali APAT, 2005: 1151-1155.
- NISIO S. (2006) – *Aree a rischio sinkhole*. Annuario dei dati ambientali APAT, 2006,.
- NISIO S. (2008a) – *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**, pp. 475.
- NISIO S. (2008b) – *I Sinkholes nel Lazio*. In: NISIO (2008 a), Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**: 33-148.
- NISIO S. (2010) – *I sinkholes nelle aree di pianura italiane: i risultati del “Progetto Sinkhole”*. Atti 2° Workshop internazionale: *I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell’ambiente naturale ed in quello antropizzato*, Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA, 13-28.
- NISIO S., CARAMANNA G. & CIOTOLI G. (2007) – *Sinkholes hazard in Italy: first results on the inventory and analysis of some case studies*. In: PARISE & GUNN (Eds.), *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation*, Geological Society, London, Special Publications, 279: 23-45.
- NISIO S., GRACIOTTI R. & VITA L. (2004) – *I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte*. Atti Conv. “Stato dell’arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio”, Roma 20-21 maggio 2004: 557-572.
- NOLASCO F. (1998) – *La piana di San Vittorino. Contributo allo studio dei processi evolutivi dei rischi e della prevenzione*. Regione Lazio-Acea.
- PRATURLON A., CECILI A., CAMPOLUNGI M.P., CINNIRELLI A., FABBRI M., CAPELLI G., MAZZA R., CATALANO G. & MELONI F. (2002) – *Realizzazione della carta litologica con elementi strutturali in formato digitale della Regione Lazio*. Univ. di Roma Tre-Dip. Sc. Geologiche, Regione Lazio Area Difesa Suolo.
- REGIONE LAZIO (1981) – *Carta Tecnica regionale della Regione Lazio alla scala 1:10.000*. Roma.
- REGIONE LAZIO (1997) – *Deliberazione della Giunta Regionale 12 novembre 1996, n. 8989 “Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Individuazione delle aree a rischio nella piana di San Vittorino (Rieti). Norme di prevenzione*. Bollettino Ufficiale della Regione Lazio n° 5 del 20 febbraio 1997 - Supplemento Ordinario n° 2: 2-3.
- REGIONE LAZIO (1999) – *Linee guida e documentazione per l’indagine geologica e vegetazionale*. Estensione dell’applicabilità della legge 2 febbraio 1974, n. 64, Deliberazione Giunta Regionale 18/5/1999, n. 2649, Suppl. Ord. n. 5 B.U.R., Lazio N°26.
- REGIONE LAZIO (2002) – *Linee guida e documentazione per l’indagine geologica e vegetazionale. Normativa tecnica per le indagini da effettuare nelle zone indiziate di rischio sinkhole*. Integrazione alla deliberazione n. 2649 del 18/5/1999, Deliberazione Giunta Regionale 2/8/2002, n. 1159, B.U.R. Lazio N° 30, parte I, 18-25, Roma.