

Il Catalogo Regionale unificato dei sinkholes del Lazio e le aree a rischio

The Unified Regional Catalog of Latium sinkholes and its risk areas

MELONI F. (*), NISIO S. (**), CIOTOLI G. (***),
LIPERI L. (*), TONELLI V. (*), ZIZZARI P. (*)

RIASSUNTO - Il Lazio è un territorio particolarmente interessato da sprofondamenti catastrofici (*sinkholes*), presentando aree in cui il fenomeno appare in modo sporadico ed altre aree in cui esso è particolarmente intenso (San Vittorino e Pianura Pontina). L'evento può generare danni ingenti quando si verifica in aree urbane, o attraversate da infrastrutture.

Nel Lazio l'ultimo fenomeno di dimensioni ragguardevoli si è verificato nel 2001 nel Comune di Marcellina, in area agricola, senza causare tuttavia danni alle infrastrutture vicine (rete elettrica ad alta tensione e metanodotto).

Da anni quindi la Regione Lazio si interessa dello studio, del censimento e della catalogazione dei fenomeni dei *sinkhole* al fine di delimitare e normare le aree suscettibili.

I primi esempi di normativa sono stati proposti per due aree peculiari: Piana di San Vittorino (Ri) e Pontinia (Lt). Successivamente è stato realizzato il primo catalogo e la prima normativa regionale per determinare gli studi da effettuare nelle aree individuate a rischio (CAPELLI *et alii*, 2002) e proposte per l'edificazione.

A questi è seguito un nuovo studio per il censimento e la catalogazione delle aree a rischio (LIPERI *et alii*, 2010). Quest'ultimo studio ha comportato l'utilizzo di fonti cartografiche recenti ed antiche e documentazione storica e scientifica, nonché a verifiche sul campo, portando ad un notevole incremento del numero di sinkhole.

Al fine di ottenere una mappatura maggiormente com-

pleta del fenomeno sia come numero di eventi che come completezza delle informazioni è stata effettuata l'unificazione tra il catalogo della Regione Lazio e il catalogo Nazionale dell'ISPRA, l'Istituto che da anni è in prima fila nello studio del fenomeno. In particolare per il territorio del Lazio il catalogo ISPRA è molto consistente e basato su studi dettagliati in campagna, su documentazione storica e su cartografie antiche.

Lo sforzo è stato quello di eliminare eventuali duplicazioni di eventi, di corredare con maggiori informazioni storiche ogni sinkhole al fine di tentare di caratterizzarne la genesi, di datare l'evento (mediante testimonianze e cronache storiche nonché cartografie di varie epoche) e di caratterizzarne l'ambiente (caratterizzazione geologica ed idrogeologica, tipo di acque per i sinkhole annegati, vegetazione circostante, grado di urbanizzazione). Sono state effettuate inoltre correlazioni con l'assetto tettonico-strutturale del territorio regionale.

Il fine ultimo è pervenire ad una interpretazione geologica del fenomeno per poter classificare ogni fenomeno e stabilire la frequenza di occorrenza in ogni area suscettibile al fine della predisposizione di una normativa per l'utilizzo delle sinkhole prone areas, basata sul livello di rischio associato.

PAROLE CHIAVE: sinkhole, Regione Lazio, catalogo sprofondamenti, banche dati, suscettibilità

(*) Regione Lazio - Direzione Regionale Ambiente-Area Difesa del Suolo e Concessioni Demaniali

(**) ISPRA- Dipartimento Difesa del Suolo

(***) IGAG-CNR, Istituto di Geologia e Geingegneria Ambientale

ABSTRACT - Lazio is a land particularly affected by catastrophic collapses. It shows some areas where the sinkholes appear to be sporadic and, on the contrary, other areas that are particularly affected by sinkholes (St. Victorinus and the Pontine Plain).

The event can cause considerable damage when it occurs in a urban areas or in areas with infrastructural networks. In Lazio, the last event of considerable size occurred in 2001, near the town of Marcellina in agricultural area, without causing damage to nearby infrastructure (high-voltage electricity grid and pipeline).

For years, the Lazio Region conducted studies on Sinkholes in order to define and govern the risk areas. The first example of rules in Latium region were those imposed for St. Victorinus plain (Ri) and for a small land in the Pontine Plain (Lt). It was subsequently produced the first catalog and the first regional regulation to determine the studies that they have to conduct in risk areas when propose it for the edification (CAPELLI *et alii*, 2002). Then it was followed by a new study for a better identification and classification of risk areas (LIPERI *et alii*, 2010). This studies involved the use of cartographic sources, historical documentation, as well as field trips, and allowed to reach a significant increase in the number of sinkholes.

In order to obtain a more complete mapping of the phenomenon both as number of events either as completeness of the information we made the unification of the catalog of Latium Region and the National ISPRA catalog. In particular ISPRA, which is forefront in the study of the phenomenon, has carried out a consistent catalog for Latium region, based on detailed studies, on historical sources and on old maps.

The effort has been to eliminate some sinkhole duplication and to equip them with more historical information in order to characterize the moment of genesis, or at least a range of time as close as possible to the date of the event (eg with historical evidence of the presence of the sinkhole to a given time or with more maps in a range of time). As well, to characterize the geological and hydrogeological environment, the water type, the surrounding vegetation and degree of urbanization. Correlations were also performed with the tectonic and structural trends.

The ultimate goal is now to understand the sinkhole genesis and frequency of occurrence in each area and to establish a rule for the use of all these areas, based on the risk level.

KEY WORD: sinkhole, Latium Region, sinkhole catalog, database, susceptibility.

1. - INTRODUZIONE

Per scopi diversi ISPRA e Regione Lazio studiano i fenomeni di sinkhole. I primi con finalità scientifiche quali la comprensione dei meccanismi di innesco e propagazione, l'individuazione dei fat-

tori predisponenti ed innescenti nonché la definizione delle aree a rischio. I secondi con finalità di pianificazione territoriale, di monitoraggio del territorio e di prevenzione dei rischi per l'edificato e per la popolazione.

L'interesse dell'ISPRA riguardo gli sprofondamenti di origini naturale è nato nell'anno 2000 (*Progetto sinkhole*), in seno al Servizio Geologico Nazionale-DSTN. Il Progetto sinkholes ebbe come obiettivo il censimento a scala nazionale nonché lo studio e la ricerca dei meccanismi genetici dei sinkholes nelle aree di pianura, cioè di quei fenomeni di sprofondamento naturale che si formano al di sotto di coperture terrigene di elevato spessore.

L'interesse della Regione Lazio nello studio dei sinkholes è scaturito per il susseguirsi, durante la vita amministrativa dell'Ente, di più fenomeni di sprofondamento improvviso del terreno, che hanno suscitato grande interesse ai fini della prevenzione e della pianificazione territoriale. Si ricordano tra gli eventi più peculiari: il sinkhole di Doganella di Ninfa, nel comune di Sermoneta (Lt), che causò nel 1984 l'interruzione della strada provinciale (fig. 1) (AA.VV., 1993; BONO, 1995; DI FILIPPO *et alii*, 2002); quelli di Pozzo del Casello o Laghetto Micciani e Lago Nuovo avvenuti alla fine del 1800, nella Piana di San Vittorino (fig. 2) (NOLASCO, 1996, 1998), comuni di Cittaducale (Ri) e Castel Sant'Angelo (Ri); il sinkhole di Pozzo grande nel 2001 (fig. 3) a Marcellina (Rm) (ARGENTIERI *et alii*, 2002). Inoltre va ricordato il sinkhole verificatosi nel 1992 presso lo stabilimento Pettinicchio (fig. 4) lungo la via Appia nel comune di Sermoneta (Lt), causato dall'attività umana a seguito di una perforazione per ricerche idriche (CHIESA, 1992, ALBANESE *et alii*, 2004).

2. - LE RICERCHE PREGRESSE ED I PRIMI CATALOGHI

A partire dal 1986, la Regione Lazio ha iniziato i primi studi sulle aree a rischio sinkhole, in particolare furono effettuate alcune ricerche presso la Piana di San Vittorino (NOLASCO, 1986 e 1996, tra gli altri) con la predisposizione della prima normativa ai fini di pianificazione territoriale (REGIONE LAZIO, 1997;



Fig. 1 – Sinkhole di Doganella di Ninfa in comune di Sermoneta (Lt), ultimo evento accaduto in provincia di Latina nel 1984 (foto Meloni 2012).
- *Doganella di Ninfa Sinkhole in the plain of Sermoneta (Lt), this is the last event that occurred in the province of Latina in 1984 (photo Meloni, 2012).*



Fig. 2 – Sinkholes nella Piana di San Vittorino (Cittaducale, provincia di Rieti): in primo piano, Pozzo del Casello o laghetto Micciani e sullo sfondo lago Nuovo, entrambi formati alla fine del 1800.
- *Sinkholes in the Plains of San Vittorino (Cittaducale, province of Rieti): in the foreground, Pozzo del Casello o laghetto Micciani and lago Nuovo in the background, both formed at the end of 1800.*



Fig. 3 – Sinkhole di Marcellina (Rm), località Pozzo Grande, verificatosi nel 2001 su terreni coltivati ad uliveto e frutteto. In vicinanza vi sono strutture ad elevata vulnerabilità: traliccio dell'alta tensione, in alto a destra, e metnodotto (CAPELLI *et alii*, 2002).

- Marcellina Sinkhole (Rm), Pozzo Grande, which occurred in 2001 on land planted with olive and fruit trees. In the neighbourhood there are infrastructures of high vulnerability: high voltage pylon, top right, and pipeline (CAPELLI *et alii*, 2002).



Fig. 4 – Sinkhole verificatosi nel marzo 1992, a seguito di una perforazione per ricerche idriche presso lo stabilimento Pettinicchio (via Appia, loc. Tor Tre Ponti). Dopo aver raggiunto i calcari si sono avuti fenomeni di franamento delle pareti del pozzo, probabilmente per fenomeni di liquefazione a carico delle frazioni più sabbiose, (foto: Carlomagno).

- Sinkhole occurred in March 1992, following a drilling well for water at the Pettinicchio plant (via Appia, near Tor Tre Ponti). After the limestone bedrock was drilled a phenomena of landslide inside the well occurred, probably for liquefaction phenomena dependent of the most sandy fractions, (photo: Carlomagno).

DGR 8989 del 12.11.1996 “*Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Individuazione delle aree a rischio nella Piana di San Vittorino (Rieti). Norme di Prevenzione.*”), contenente alcune limitazioni all’edificazione nei comuni di Castel Sant’Angelo e Cittaducale (Ri) interessati dai fenomeni di sprofondamento (fig. 5). Nello stesso periodo (1994-1996) durante l’esame del P.R.G. di Pontinia la Regione Lazio ha imposto delle limitazioni all’edificazione ed all’apertura di pozzi (RE-

GIONE LAZIO, 1994 a, b; 1996 a, b) nell’area dei laghi del Vescovo-Gricilli (fig. 6).

Successivamente, tra il 1999 e il 2002, è stato realizzato il primo catalogo dei sinkholes, in collaborazione con il Dipartimento di Geologia dell’Università di Roma Tre (CAPELLI *et alii*, 2002, 2004 esteso all’intero territorio regionale (fig. 7), ed emanata la prima normativa di livello regionale (REGIONE LAZIO, 2002; DGR 1152 del 2 agosto 2002 – “*Integrazione alla deliberazione n. 2649 del 18 maggio 1999 <<Linee guida e documentazione per l’indagine geologica e vegetazionale>>. Normativa tecnica per le indagini da effettuare nelle zone indiziate di rischio sinkhole.*”), che mantiene tuttavia in vigore le norme già disposte per San Vittorino e Pontinia.

Nel 2007, dopo alcuni anni di applicazione delle norme, la Regione Lazio ha deciso di rivedere il catalogo dei Sinkhole, con l’obiettivo di aumentarne la completezza di informazioni contenute e di migliorare la normativa, non sempre adeguata alle singole situazioni geologiche (CATALANO *et alii*, 2011).

L’approfondimento delle ricerche, rispetto al lavoro svolto nel 2002, ha riguardato soprattutto la raccolta delle fonti cartografiche (fig. 8). È stato, infatti, svolto un lavoro di esame sistematico delle cartografie recenti, quali la carta tecnica regionale (REGIONE LAZIO, 1981), la carta topografica a scala 1:25.000 (I.G.M., sec. XIX-XX b), le foto aeree di varie annate (REGIONE LAZIO, 1999-2000, 2002-2003), le cartografie storiche (AA.VV., sec. XVI-XIX), le carte topografiche delle bonifiche delle paludi pontine a scala 1:5.000 e dell’agro romano a scala 1:8.000 (I.G.M., 1926-1932, 1904). In modo parziale erano stati consultati anche i catasti Alessandrino, Gregoriano e Rustico (AA.VV., 1655-1667, 1816-1859, 1870-1952); inoltre per alcuni casi peculiari si è ricorsi alla consultazione del Catasto attuale (1951/1961-2011) e delle foto aeree IGM (1954-2000) nonché delle collezioni fotografiche (1880ca-2011).

L’arricchimento del catalogo è stato notevole, anche se le incertezze sulla genesi di alcune forme, prevalentemente individuate su base cartografica, ha fatto propendere per una classificazione basata sul grado di probabilità di presenza di un sinkhole, rimandando a successivi studi la verifica della genesi più probabile (LIPERI *et alii*, 2010; fig. 9)

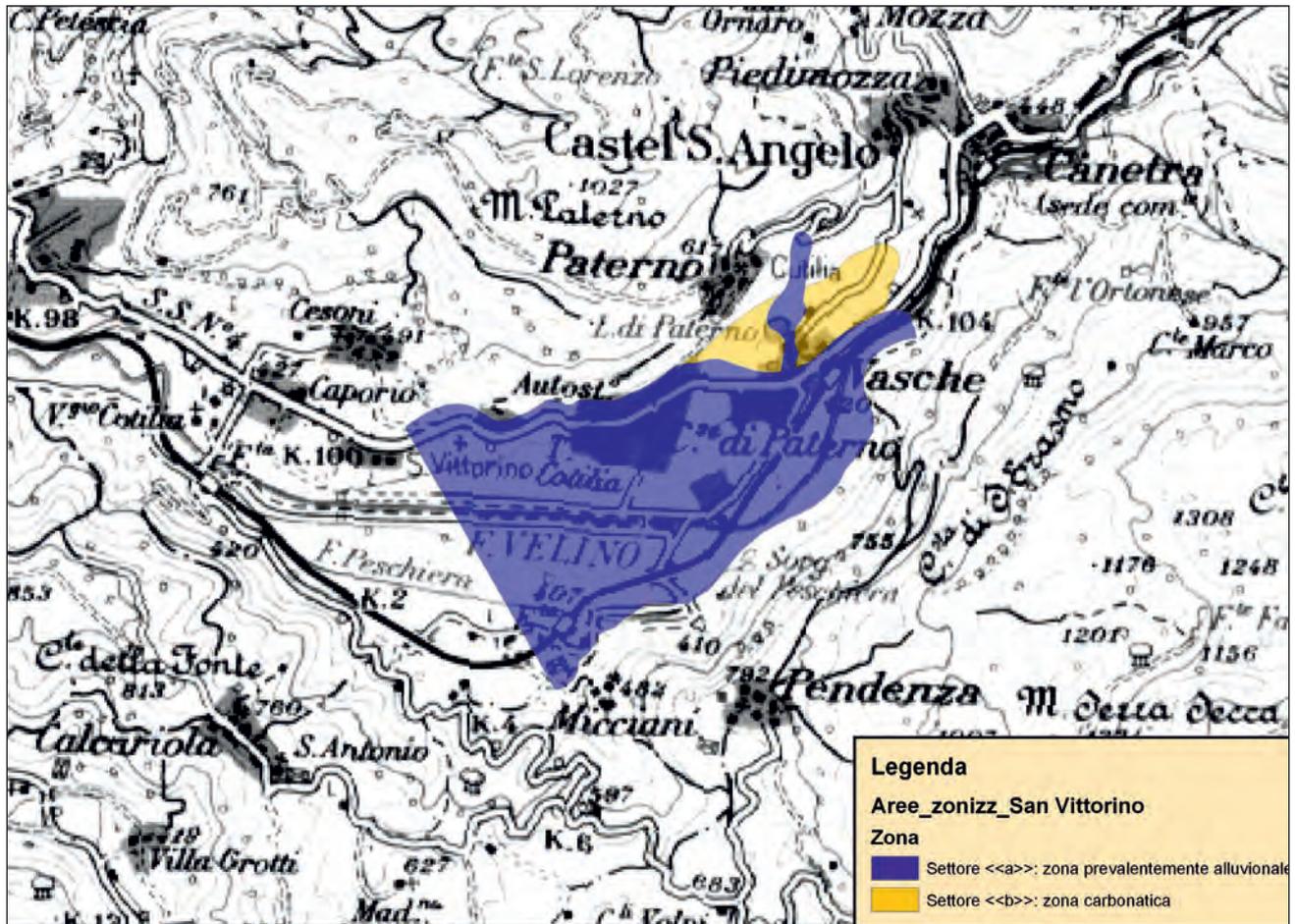


Fig. 5 – Zonizzazione dell'area di San Vittorino (DGR 12.11.1996 n. 8989): settore a – zona prevalentemente alluvionale, dove è vietata l'edificazione; settore b – zona calcarea, dove è possibile edificare previa specifiche indagini geologiche.

- Zoning of the Plain of San Vittorino (DGR 12.11.1996 n. 8989): sector a - mainly alluvial area, where the building is prohibited, sector b - limestone area, where you can build upon previous geological investigations.

Contemporaneamente l'ISPRA dal 2000, nell'ambito di un progetto di mappatura dei sinkholes sull'intero territorio nazionale ed archiviazione dei dati (*Database nazionale sei sinkhole*), ha condotto studi indipendenti su alcune regioni italiane, e dunque anche sul Lazio, utilizzando informazioni cartografiche recenti (Carta topografica IGM a scala 1:25.000 e foto aeree), cartografie storiche, pubblicazioni scientifiche, documentazione bibliografica ed archivistica e con un costante lavoro di verifica sul terreno delle forme individuate.

I primi risultati conseguiti dall'ISPRA sono stati il censimento ed il database pubblicato già nel 2004 sul web, presentato in occasione del I Workshop internazionale sui sinkholes (APAT, 2004a, b; CAMPOBASSO *et alii*, 2004; NISIO, 2005, 2006; 2010), nonché la realizzazione di una proposta di classifi-

cazione dei sinkholes naturali in base alla casistica italiana (NISIO & SALVATI, 2004; NISIO *et alii*, 2005; CARAMANNA *et alii*, 2008). Successivamente, nel 2009, durante il II Workshop internazionale sui sinkholes, fu presentato il catalogo aggiornato, in linea attualmente sul web dell'ISPRA (NISIO 2008 a; ISPRA, 2010 a, b).

Le ricerche specifiche compiute dall'ISPRA, riguardo le *sinkhole prone areas*, sono iniziate proprio dagli studi svolti in un'area del territorio della regione Lazio durante il rilevamento del foglio CARG (anno 1995), Pescorocchiano (CENTAMORE & NISIO 2002 a, b; CENTAMORE *et alii*, 2004). Durante tali lavori è stato approfondito lo studio di una delle più note aree suscettibili ai fenomeni di sprofondamento nel comune di Cittaducale (La Piana di S. Vittorino; ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004; 2010; BEAUBIEN *et alii*, 2003; CIOTOLI *et alii*, 1998;

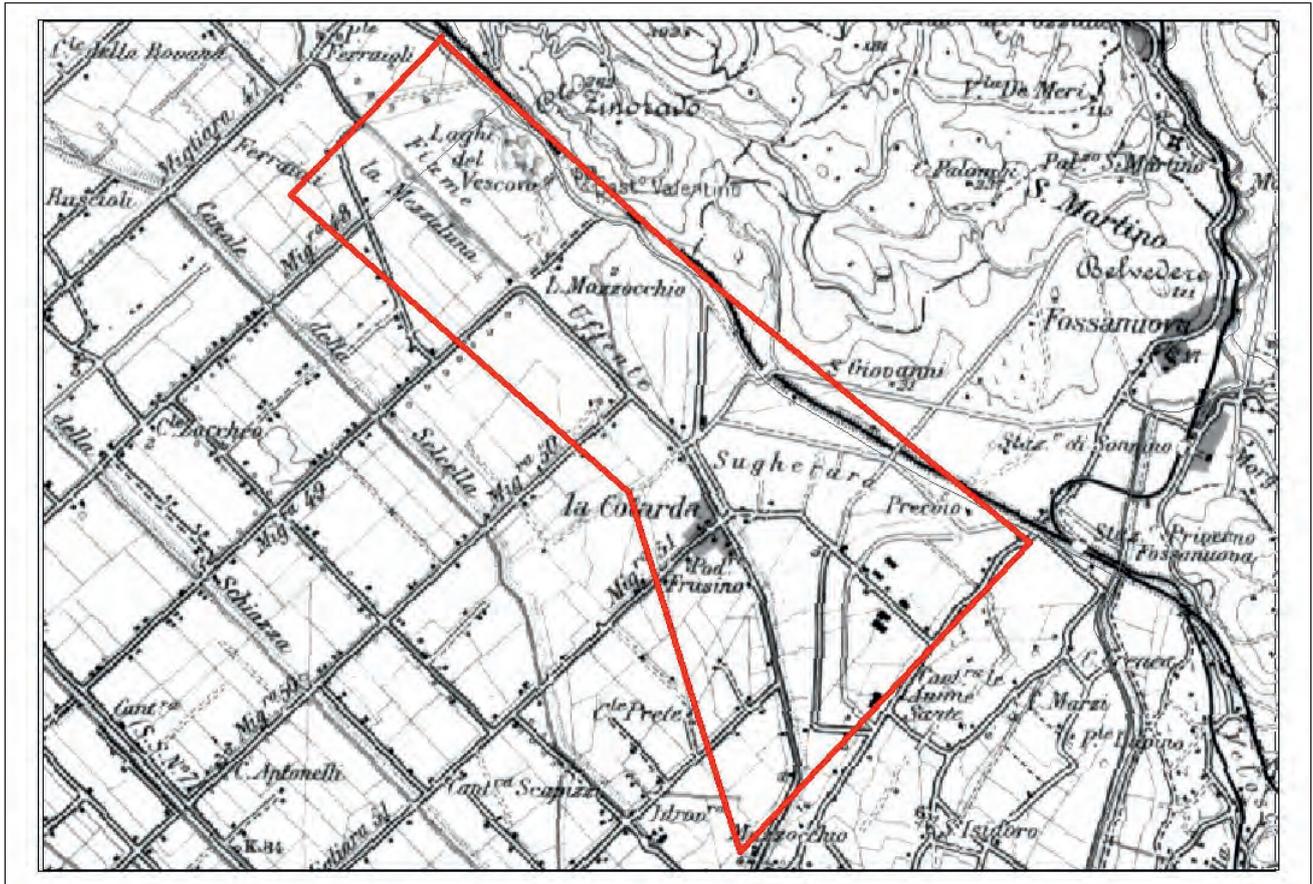


Fig. 6 – Settore di pianura in località la Cotarda nel Comune di Pontinia (Lt), in cui è stata vietata l'edificazione durante l'approvazione del P.R.G. (1994-1996), in quanto l'area era a rischio sinkhole.

- Cotarda plain in the municipality of Pontinia (Lt), during the approval of the PRG (1994-1996) in this area, known at sinkhole risk, was prohibited the building.



Fig. 7 – Catalogo dei Sinkholes del Lazio dell'anno 2002: progetto Regione Lazio – Dipartimento di Geologia dell'Università di Roma Tre. I pallini bianchi individuano 96 sinkholes distribuiti nelle provincie di Roma, Rieti, Latina e Frosinone. Sono stati censiti anche alcuni tra i più grandi cave *collapse*. – 2002 Sinkholes Catalogue of Lazio region: Project between Lazio Region and Roma Tre University - Department of Geology. The white dots identify 96 sinkholes distributed in the provinces of Rome, Rieti, Latina and Frosinone. There are also some of the largest cave collapse sinkholes of Latium region.

FONTI DEL CATALOGO

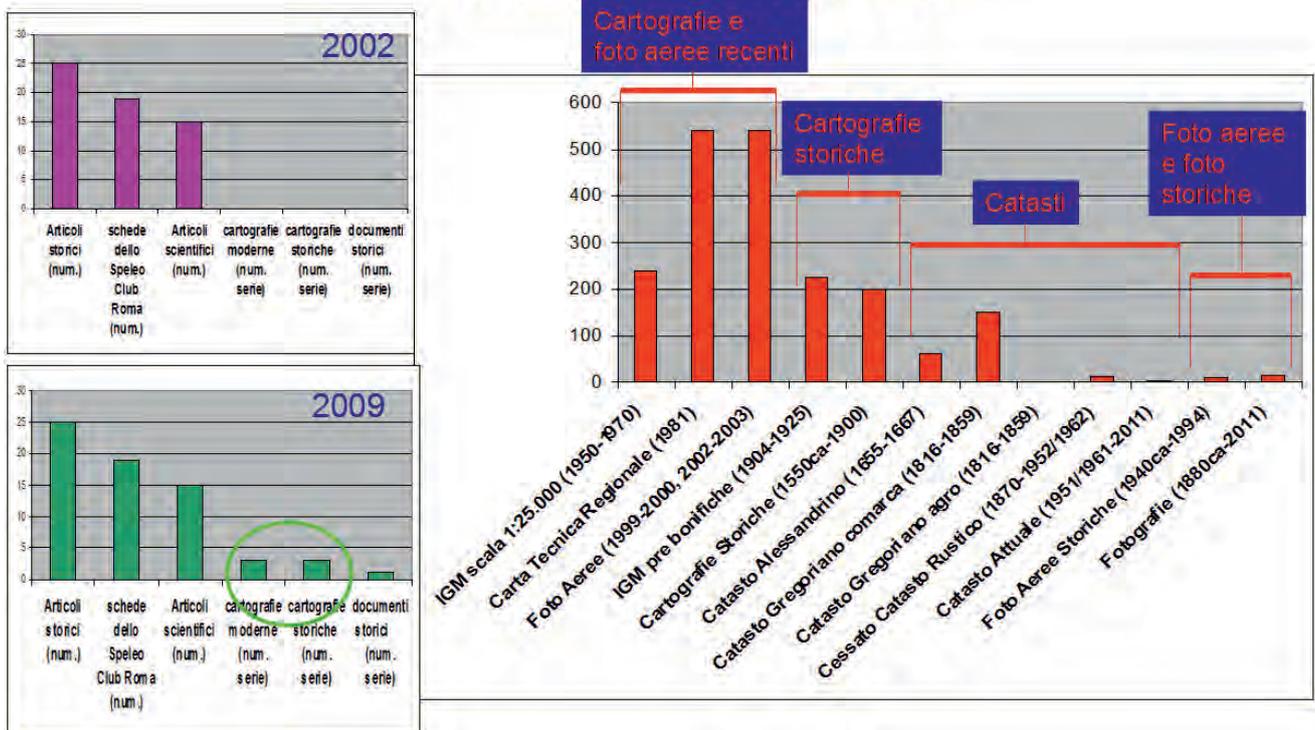


Fig. 8 – Confronto tra i dati bibliografici consultati durante il progetto Sinkhole del Lazio del 2002 e del successivo progetto del 2009; a destra sono stati “esplosi” i dati relativi alle serie fotografiche e cartografiche indicate con un ellisse verde nel grafico in basso a sinistra.
 - Comparison of bibliographic data consulted during the 2002 Lazio Sinkhole project and the subsequent 2009 project, on the right have been “exploded” data relating to the series of photographs and cartographies indicated by a green ellipse in the graph at the bottom left.

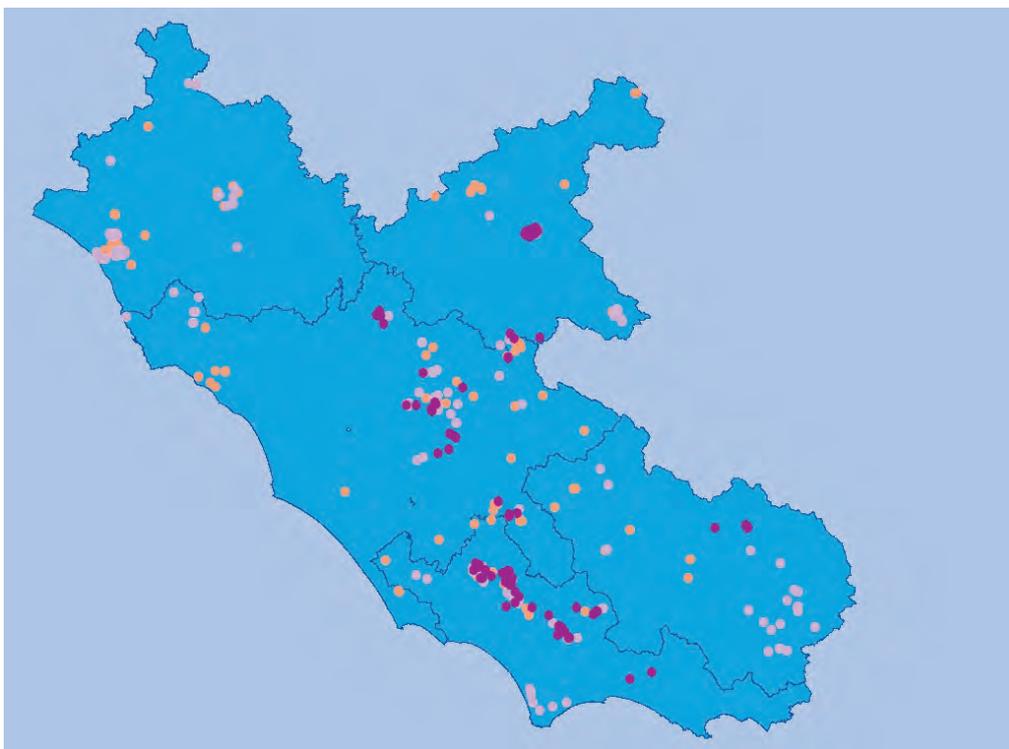


Fig. 9 – Catalogo dei Sinkholes del Lazio dell’anno 2009; i colori indicano il grado di probabilità che le forme individuate siano effettivamente sinkhole: arancione “possibile”, rosa “probabile”, viola “certo”.
 – 2009 Sinkholes Catalog of Lazio region, the colors indicate the degree of probability that the forms identified would be actually sinkhole: orange “possible”, pink “probable”, purple “reliable”.

2001; CENTAMORE & NISIO, 2000; 2002). Altre ricerche hanno riguardato molte aree del Lazio (NISIO, 2003; Nisio 2008b) sino alla stesura di un primo catalogo che mostra un fenomeno ampiamente diffuso in tutte le province del territorio laziale (fig. 10).

Successivamente, il lavoro venne ampliato in alcune aree più peculiari interessate dal fenomeno, per le quali sono stati effettuati approfondimenti specifici: Piana delle acque Albule (CARAMANNA 2002) Pianura Pontina (CARAMANNA *et alii*, 2004), Piana di Cassino, Piana di San Vittorino (CARAMANNA *et alii*, 2006), che hanno riguardato la raccolta di documenti storici e archivistici, di cartografie storiche, di relazioni tecniche, cronache e racconti, e, in alcuni casi, di illustrazioni del fenomeno in dipinti d'epoca (BERSANI *et alii*, 2010; NISIO, 2008 a,b; ISPRA, 2010; NISIO & SCAPOLA, 2010 a, 2010 b). Il risultato è stato la pubblicazione del nuovo catalogo (NISIO, 2008 a; ISPRA, 2010 b).

3. - IL CATALOGO UNIFICATO

Considerato il rischio insito nella coesistenza di più cataloghi (possibilità di duplicazione degli eventi, differente ubicazione e/o diversa denominazione) i due Enti hanno deciso insieme, nel

2011, di unificare i database (CIOTOLI *et alii*, 2012).

La procedura di rivalutazione e accorpamento delle informazioni di ogni sinkhole censito nei cataloghi di provenienza ha prodotto come risultato un "Catalogo Unificato", nel quale le informazioni associate ad ogni sinkhole rappresentano l'insieme delle informazioni raccolte durante i singoli studi. Per ogni evento è stato eseguito il riscontro sul terreno, seppure con diverso grado di approfondimento.

Il posizionamento di ogni singolo sinkhole è avvenuto in ambiente GIS utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000, con sistema di riferimento cartografico ED1950-UTM-zona 33N (fig. 11).

In pochi casi, in cui i sinkhole sono stati individuati sulla base di fonti storiche molto antiche (testuali o cartografiche) e non sono più individuabili sul terreno, il posizionamento è stato effettuato al meglio delle attuali conoscenze disponibili, con possibilità di riubicazione futura.

Il catalogo è costituito da 393 sinkhole classificati con la classificazione proposta da ISPRA (NISIO, 2008 b) e coincidenti nella maggior parte dei casi con la tipologia di *piping sinkhole* e in pochi casi, ma numericamente significativi, *cover collapse sinkhole*, o *cave collapse sinkhole* (Vallecorsa; Altopiani di Arcinazzo).

L'incremento rispetto ai cataloghi precedenti è



Fig. 10 – Catalogo ISPRA dei Sinkholes del Lazio, quale parte del catalogo Nazionale dei Sinkhole del 2008. Risultano censiti 180 sinkholes distribuiti in tutte e 5 le province del Lazio.

- *ISPRA Sinkholes Catalogue of Lazio region, as part of the 2008 National Sinkholes catalogue. Have been surveyed 180 sinkholes distributed in all the five provinces of Lazio.*

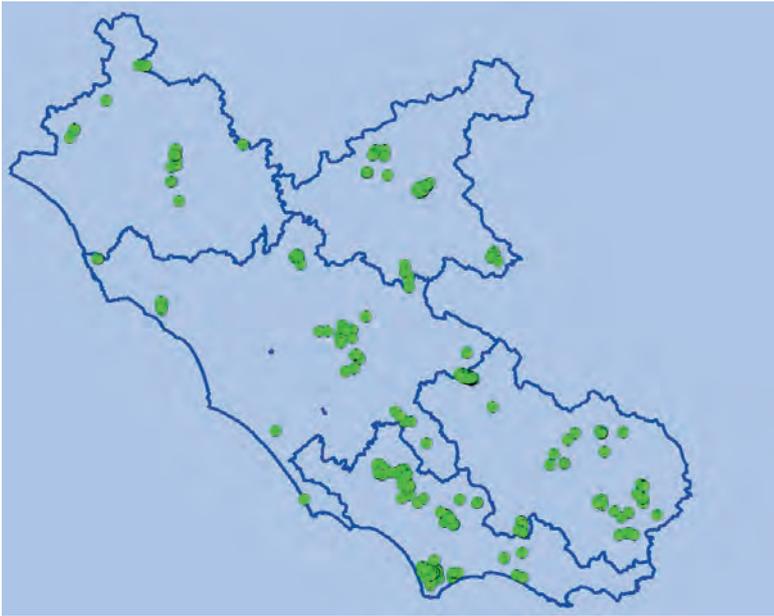


Fig. 11 – Catalogo dei Sinkholes del Lazio del 2011, Unificato Regione Lazio – ISPRA. Il catalogo è frutto del confronto e revisione dei cataloghi ISPRA 2008 e Regione Lazio 2009. Risultano censiti 394 sinkholes distribuiti nelle 5 provincie del Lazio.

– 2011 Sinkholes catalogue of Lazio region, Unified Lazio Region - ISPRA. The catalogue is the result of the comparison and review of 2008 ISPRA catalogue and of 2009 Regione Lazio catalogue. Have been surveyed 394 sinkholes distributed in the five provinces of Lazio.

notevole (fig. 12). Si passa infatti dai 96 elementi del catalogo Regione Lazio 2002, ai circa 150 del successivo catalogo del 2009 (eventi certi), ai 180 del primo catalogo ISPRA (APAT, 2008), ai 276 del nuovo catalogo ISPRA (2010 b), ai 393 del catalogo unificato.

Rispetto al primo catalogo, quello del 2002, l'incremento riguarda tutte le provincie ed è percentualmente più consistente per la provincia di Frosinone, mentre 22 nuovi casi vengono segnalati nella provincia di Viterbo, prima non presente (fig. 13).

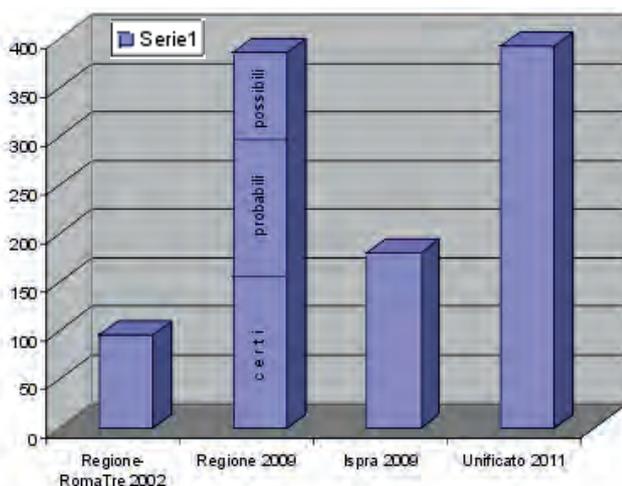


Fig. 12 – Confronto tra tutti i cataloghi dal 2002 al 2011. Si nota il notevole incremento, nel numero di eventi che, dai 96 del catalogo 2002, passa ai 394 del catalogo 2011.

- Comparison between all catalogues from 2002 to 2011. We can note the significant increase in the number of events from 96, in 2002 catalogue, to 394 in 2011 Catalogue.

È considerevole anche il numero di comuni coinvolti che da 22, nel catalogo 2002, passa a 68 nel catalogo unificato 2011 (figg. 14, 15), con incrementi notevoli nelle provincie di Roma e di Frosinone.

Questo indica che la suscettibilità e dunque il rischio da Sinkhole per la regione è triplicato, in quanto ad estensione territoriale, e quadruplicato se si considera il numero complessivo di sinkhole individuati.

4. - GLI ELEMENTI DEL CATALOGO UNIFICATO E LA METODOLOGIA DI RICERCA E DI ANALISI

Per la realizzazione del catalogo sono stati considerati utili i parametri “geometrici” ed i parametri “temporali” necessari, sia per ubicare l’evento e descriverne le dimensioni, che per datarne la formazione ed evoluzione (fig. 16).

Tra i parametri geometrici sono stati considerati l’ubicazione e i riferimenti amministrativi e toponomastici (Provincia; Comune; denominazione sinkhole, quando presente; Toponimo; coordinate geometriche), le dimensioni areali (forma e profondità).

La disponibilità di cartografie su cui poter rintracciare i possibili sinkholes facilita enormemente il problema della loro ubicazione, tranne nei casi di eventi di più piccole dimensioni, che spesso, so-

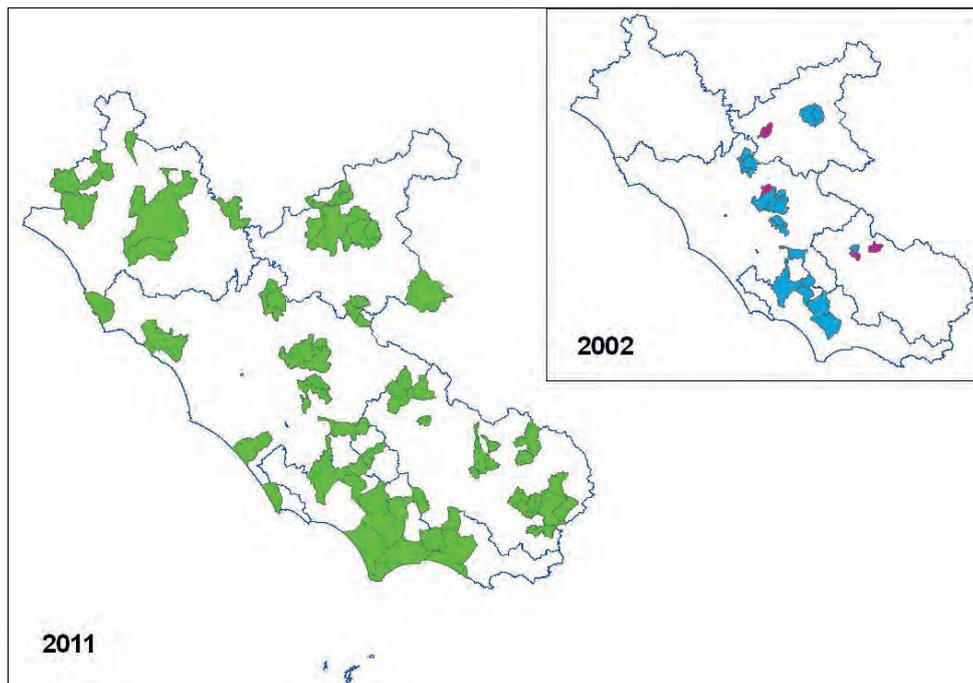


Fig. 13 – Confronto tra il catalogo 2002 e 2011 per numero di comuni coinvolti. Si passa da 22 comuni, nel catalogo 2002 a 68 nel 2011, con un incremento dal 5,8% al 18,0% sul totale dei comuni del Lazio.
 - Comparison between 2002 and 2011 catalogues vs municipalities involved. You go from 22 municipalities in the 2002 catalogue to 68 in 2011 catalogue, with an increase from 5.8% to 18.0% of total municipalities in Lazio.

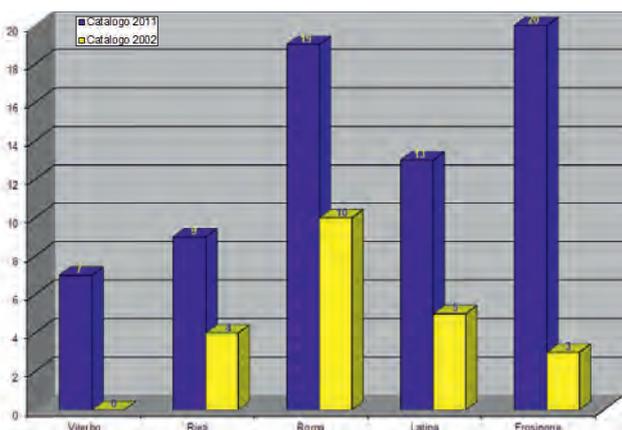


Fig. 14 – Numero di comuni interessati da sinkholes suddiviso per provincia; confronto tra il catalogo 2002 ed il catalogo 2011.
 - Number of municipalities affected by sinkholes vs provinces; comparison between the 2002 catalogue and the 2011 catalogue.

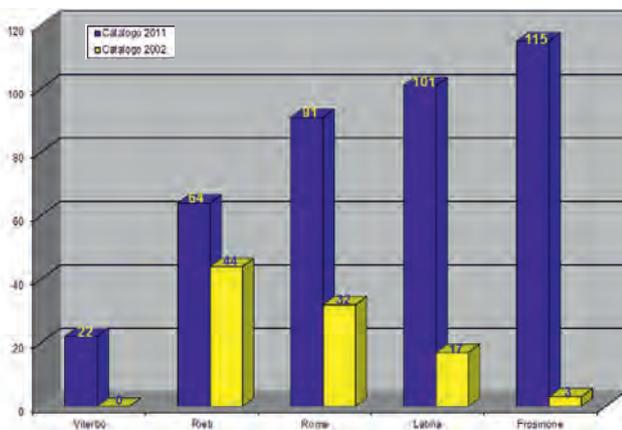


Fig. 15 – Numero di sinkholes all'interno di ogni provincia; confronto tra il catalogo 2002 ed il catalogo 2011.
 - Number of sinkholes within each province; comparison between 2002 and 2011 catalogue.

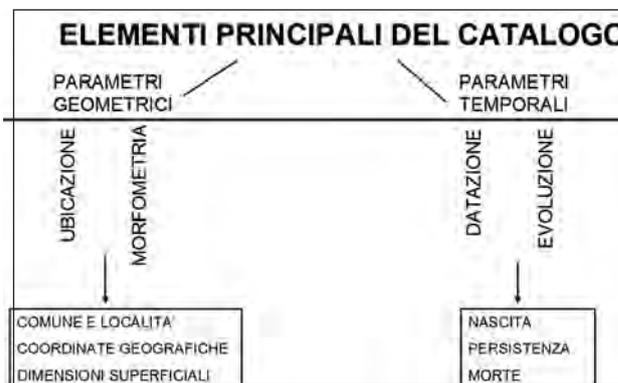


Fig. 16 – Schema degli elementi principali del catalogo dei sinkholes del Lazio 2011: elementi geometrici e temporali.
 - Diagram of the main elements of the 2011 sinkholes catalogue of the Lazio: geometric and temporal elements.

prattutto se più antichi, sfuggono al dettaglio cartografico. I casi di maggiore difficoltà sono quelli in cui alla descrizione del fenomeno, recuperata attraverso fonti storiche testuali, a volte con indicazioni di toponimi oggi non più individuabili, non si abbina la presenza di cartografie che fotografino l'evento. In tali casi l'ubicazione diventa molto difficoltosa.

Tra i parametri temporali sono importanti la datazione dell'evento di sprofondamento (la *comparsa*, la *nascita*), l'arco temporale in cui rimane individuabile (la *persistenza*), il momento del suo completo mascheramento per interrimento naturale o colmamento artificiale (l'*estinzione*, la *morte*).

Questi parametri sono molto importanti per descrivere l'evoluzione del fenomeno. Infatti permettono di valutare la *frequenza di ricomparsa* in un determinato sito (riattivazione), che è essenziale per la costruzione di carte di rischio. Si possono inoltre studiare i fenomeni che ne garantiscono la persistenza (p. es. risalita di acqua e gas) o che ne favoriscono l'interrimento più o meno rapido (p. es. per effetto di un drenaggio centripeto).

Purtroppo questo tipo di informazioni risultano molto scarse in quanto spesso il fenomeno avviene in zone isolate, poco frequentate e lontano da centri abitati e commerciali (vicino ad abitazioni, a centri di scambio commerciale e a via di transito). Pertanto, frequentemente tende ad essere non osservato o semplicemente "dimenticato" quando avviene in zone isolate del territorio, soprattutto se con condizioni ambientali insalubri (presenza di gas venefici, zone malariche) o di difficile accesso (zone depresse, aree con abbondante vegetazione). Inoltre nei casi di maggiore importanza l'istante dello sprofondamento o i suoi effetti secondari (boato e vibrazione sismica) sfuggono frequentemente all'osservazione diretta. Questo comporta che il fenomeno viene più frequentemente osservato nelle sue *forme residue* (lago, cavità, depressione), in un momento successivo allo sprofondamento e con tempi di ritardo che possono variare da qualche ora, fino ad anni. Nel caso in cui la notizia arriva a noi attraverso fonti documentarie, ne possono de-

rivare spesso errori di data o datazioni approssimative e confuse (vedi p.es. MARINELLI, 1904a); mentre nel caso sia rilevabile solo da fonti cartografiche la datazione può essere riferita solo ad un arco temporale più o meno ampio (fig. 17).

A conferma di quanto detto, l'esame del catalogo mostra la presenza che solo una modesta percentuale (9%) di sinkholes (n. 35 sinkholes) dotati di una precisa datazione (intesa solitamente come anno, a volte corredata anche di mese e giorno), mentre il restante 91% (n. 358 sinkholes) è privo di qualsiasi indicazione temporale. È evidente il buco di informazioni nell'arco temporale 1200-1700 che renderebbe necessario approfondire le ricerche concentrandosi su fonti documentarie e cartografiche storiche.

5. - LE FONTI DOCUMENTARIE E CARTOGRAFICHE

La capacità informativa e la continuità di copertura temporale è diversa per ogni tipologia di fonte, sia documentaria che cartografica, con conseguente influenza sulla possibilità di reperire informazioni sui Sinkhole.

Le fonti documentarie sono ben rappresentate nell'intero arco temporale che val dal 1200 ad oggi (fig. 18). Nel periodo 1200-1440 sono rappresentate esclusivamente da documentazione archivistica, da diari e da cronache manoscritte. Con

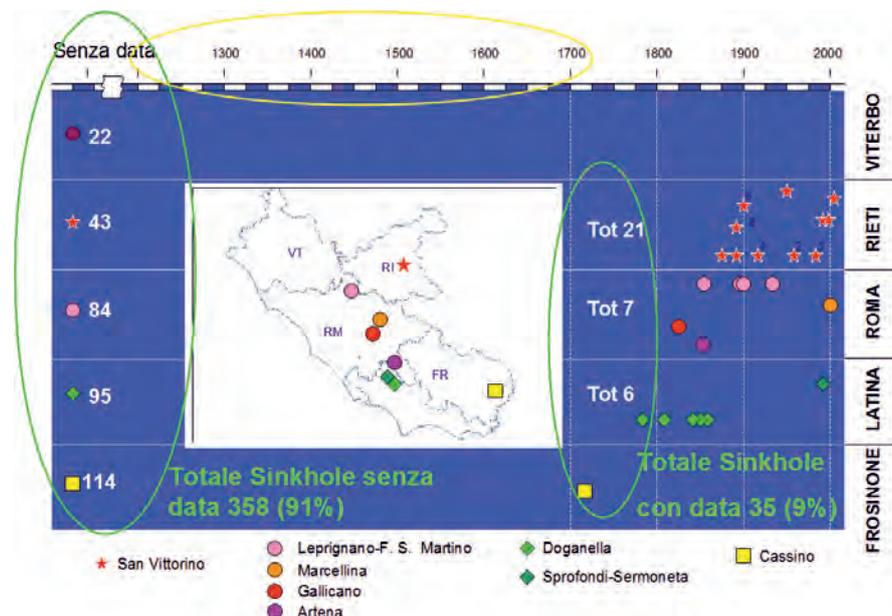


Fig. 17 – Il Catalogo dei Sinkholes del Lazio 2011, graficizzato in funzione del tempo e della provincia: si nota che la maggior parte dei sinkholes non è corredo da elementi temporali (91%) e solo il 9% ne è fornito, con una netta prevalenza per la piana di San Vittorino (provincia di Rieti), studiata più a lungo e con maggior dettaglio.

- The 2011 Sinkholes Catalogue of Lazio, has been plotted as a function of time for any province: it has been noted that most of sinkholes is not accompanied by temporal elements (91%) and only 9% of them are supplied of a date, with a prevalence in the plains of St. Victorinus (province of Rieti), examined for longer and with more detail.

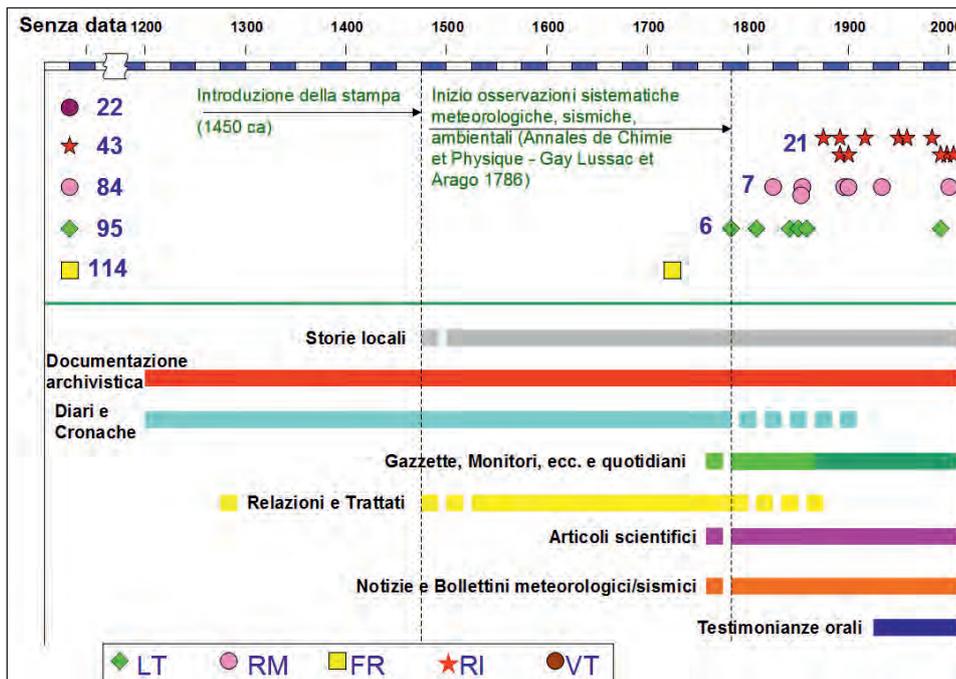


Fig. 18 – Graficizzazione dei sinkholes in funzione del tempo, confrontato con la disponibilità di fonti documentarie e cronachistiche, che subiscono importanti incrementi con l'introduzione della stampa (1450 ca.) e con lo sviluppo delle scienze moderne (1750 ca.). Nel grafico è indicato l'anno di inizio della pubblicazione di GAY-LUSSAC & ARAGO (1786) che inizia la raccolta di osservazioni sistematiche a carattere ambientale.

- Sinkholes plotted as a function of time and compared with availability of documentary and chronicles sources, which undergo major increases with the introduction of printing (1450 approx.) and with the development of modern science (about 1750). The graph indicates also the starting year of the publications of GAY-LUSSAC & ARAGO (1786) which begin the collection of systematic observations of environmental phenomena.

l'avvento della stampa (dal 1450 ca) iniziano ad essere pubblicati trattati a carattere scientifico-naturalistico che argomentano, tra l'altro, della composizione della terra e dei fenomeni naturali. Inoltre con il proliferare delle stamperie iniziano ad essere prodotte in gran copia le relazioni e le narrazioni, spesso riguardanti eventi eccezionali (frane, alluvioni, terremoti, ecc.), con possibilità quindi di avere narrazioni su sprofondamenti del terreno come soggetto primario della relazione o come elemento accessorio che accompagna altri fenomeni più eclatanti (p. es. nel caso di terremoti con associati fenomeni di sprofondamento). Con il successivo sviluppo delle scienze moderne (1750-1786 ca) inizia una fiorente produzione di giornali a cadenza periodica, di riviste a carattere scientifico e di bollettini periodici di osservazioni su fenomeni naturali; questo porta ad una copiosa produzione di informazioni a carattere ambientale periodico (vedi p. es. GAY LUSSAC & ARAGO, 1786 e seguenti; PERREY, 1847-1875; etc.), di documentazione cronachistica e di relazioni tecnico-scientifiche, che permettono una maggiore facilità di reperire informazioni su fenomeni di sprofondamento.

Dal canto loro le fonti cartografiche utilizzabili con buona qualità della proiezione e del dettaglio coprono complessivamente un'arco temporale abbastanza ampio che va dal 1550 ad oggi (AA.VV.,

sec. XVI-sec. XIX; IGM, 1904, 1926-1932; fig. 19). Il dettaglio cartografico di ogni mappa è molto diverso in base al tipo di obiettivo dell'autore e del committente. Si passa infatti da carte generali dell'Italia, a carte che coprono tutto il Lazio mostrando un certo grado di dettaglio (generalmente carte riferibili a parte dello Stato della Chiesa o a parte del Regno di Napoli), a carte molto dettagliate per settori ridotti di territorio, generalmente ben eseguite e riferibili a tematiche specifiche (p. es. carte di bonifica, carta dei confini di stati, ecc.).

Queste cartografie coprono complessivamente una parte significativa del territorio (fig. 20) e con il loro dettaglio forniscono informazioni essenziali per lo studio dei sinkhole.

Ancora di maggior dettaglio sono i catasti che, per così dire, "fotografano" dall'inizio dell'800 il territorio del Lazio, con una continuità spazio-temporale che arriva fino ad oggi (AA.VV., 1655-1667, 1816-1859, 1870-1952).

A queste fonti si aggiungono dalla prima metà del '900 le foto aeree che, inizialmente con copertura parziale e su tematiche specifiche (foto aree RAF, foto aeree SASTRI), diventano via via di estremo dettaglio e copertura globale (IGM, 1954-2000).

La rappresentazione di un sinkhole in questi tipi di documenti cartografici dipende, da un lato, dalle dimensioni del sinkhole e, dall'altro, dalla scala e dal dettaglio della rappresentazione cartografica.

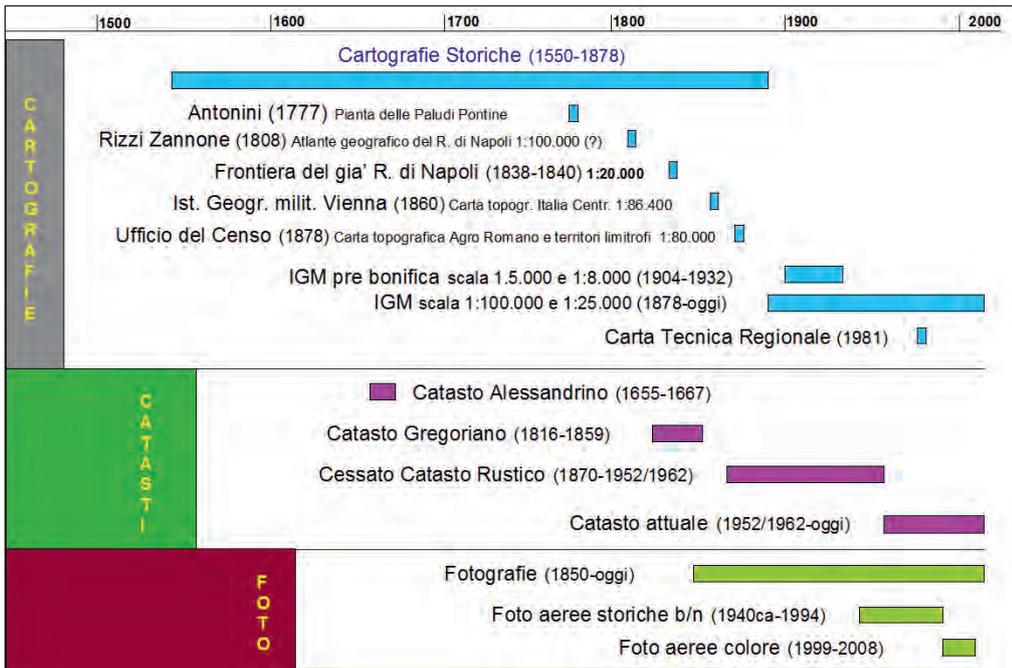


Fig. 19 – Produzione di rappresentazioni cartografiche del territorio, suddivisa per categorie: cartografie, disponibili dal 1550 ca., a volte con ottimo dettaglio (dalla fine del '700 nel Lazio); catasti, disponibili per brevi tratti spazio-temporali nel '600 e poi con continuità dall'inizio dell'800; foto, rappresentate da fotografie, disponibili dalla fine dell'800, e da foto aeree, disponibili dalla metà del '900.

- Production of cartographic representations of the territory, divided into categories: maps, were available from about 1550, sometimes with great detail (from the end of 1700 in Lazio); Land registers, are available for short space-time stretches in the 1600 and then continuously since 1800; photos, represented by photographs, available from the end of the 1800, and aerial photographs, available from the middle of 1900.

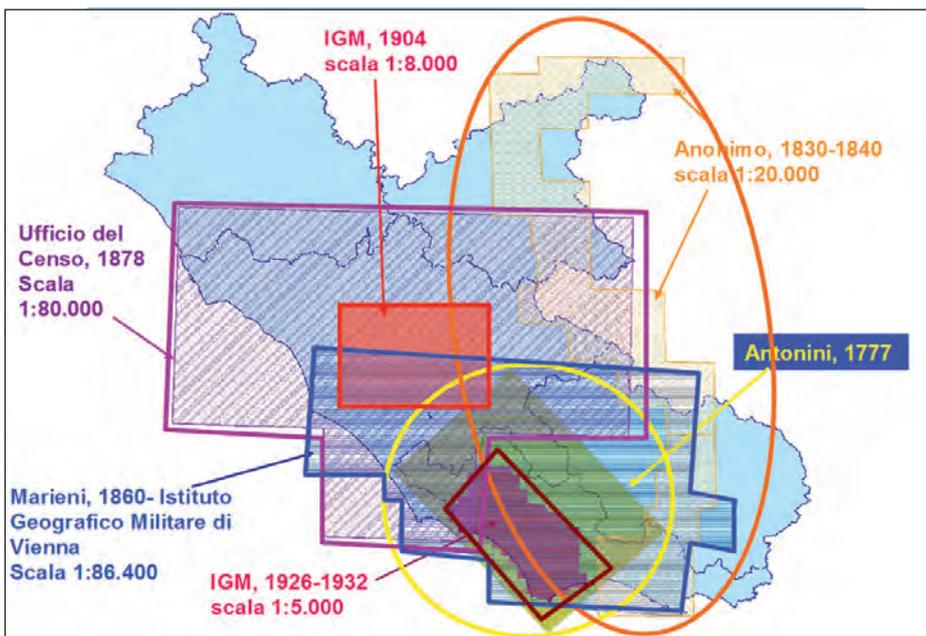


Fig. 20 – Copertura territoriale delle cartografie di maggior dettaglio sviluppate tra la fine del '700 e la prima metà del '900. Un ruolo importante è svolto dalle carte delle bonifiche.

- Coverage of more detailed maps developed between the 1700 and the first half of 1900. An important role is played by reclamation cards.

6. - ANALISI CARTOGRAFICHE STORICHE SPAZIO-TEMPORALI

In considerazione della ricchezza di fonti cartografiche dal 1550 ca. (AA.VV., sec. XVI-XIX, 1655-1667, 1816-1859; IGM, 1904, 1926-1932) e della facilità di reperibilità rispetto alle fonti documentarie, che presuppongono una ricerca più mirata, si è tentato il posizionamento e la datazione dei sinkhole ef-

ettuando *analisi cartografiche temporali e spaziali*.

L'*analisi cartografica temporale* per ogni sinkhole censito, viene eseguita attraverso la graficizzazione delle cartografie in funzione dell'anno di rilevamento e/o di stampa. Ciò permette di valutarne l'assenza, la presenza, e l'estinzione, elementi che possono aiutare a circoscrivere il momento della comparsa, la persistenza e l'estinzione (colamento/interrimento) di un sinkhole.

L'analisi cartografica spaziale nel caso di sinkholes estinti permette di tentarne il posizionamento su cartografie attuali. L'esame in sequenza temporale degli elementi caratteristici del territorio permette di trasferire con gradualità la posizione del sinkhole sulle cartografie più recenti.

Il lavoro, ancora in fase iniziale, dovrebbe portare a completare il data base dei sinkhole, permettendo l'ubicazione di nuovi sinkhole e, per i molti sinkhole esistenti, di corredarli di datazioni (comparsa, persistenza, estinzione).

In sequenza sono riprodotti i casi del lago Torno (*Lacus Turni*) tra i comuni di Roma e Pomezia (Rm; figg. 21, 22), del lago di Cotronia nel comune di Cisterna di Latina (Lt; figg. 23, 24), del lago Croce nel comune di Isola del Liri (Fr; figg. 25, 26), del lago della Torre di Sezze nel comune

di Sezze (Lt; figg. 27-33).

Per il lago Torno (Pomezia e Roma), l'Analisi cartografica, eseguita per individuare gli elementi temporali caratteristici (data di formazione, persistenza, data di interrimento), permette di verificare l'arco temporale in cui il lago non risultava presente, il momento in cui inizia ad essere rappresentato in carta ed il momento in cui scompare definitivamente dalle cartografie (momento che rappresenta il suo definitivo interrimento, drenaggio o colmamento). Nel dettaglio (fig. 21) il lago compare tra il 1649 e il 1693 (da notare l'anomalia di alcune cartografie stampate all'estero, tra il 1705 e il 1729, con molta probabilità copie di cartografie del '600); rimane visibile fino almeno al 1802, dopodiché tra il 1802 e il 1860 non compare più, probabilmente a seguito di interrimento, o bonifica.

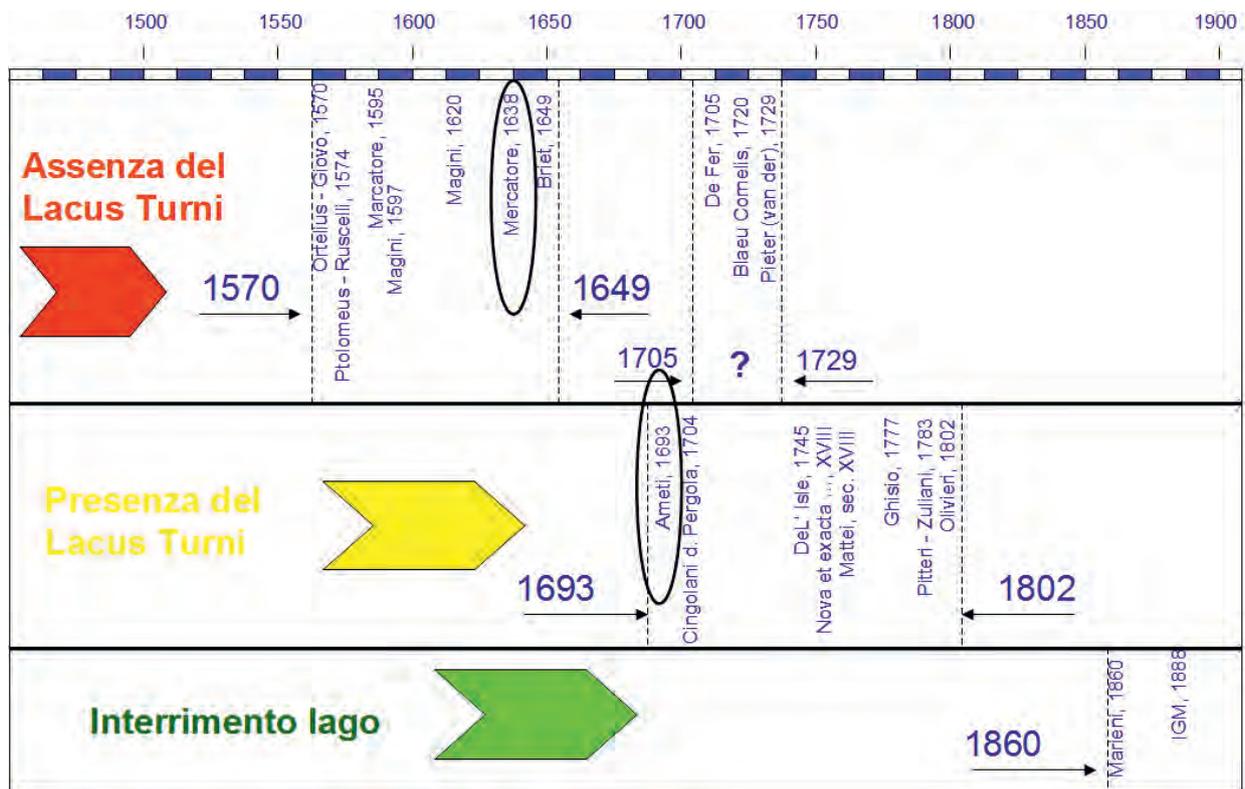


Fig. 21 – Esempio di *Analisi cartografica* eseguita per individuare gli elementi temporali caratteristici per il lago Torno (Pomezia, Rm): *data di formazione, persistenza, data di interrimento*. La graficizzazione in funzione dell'anno di rilevamento e/o di stampa delle cartografie permette di verificare l'arco di tempo in cui il lago non risultava presente, il momento in cui inizia ad essere rappresentato in carta ed il momento in cui scompare definitivamente dalle cartografie (momento che rappresenta il suo definitivo interrimento, drenaggio o colmamento). Dall'esame delle cartografie si evince che il lago è comparso tra il 1649 e il 1693 (da notare l'anomalia di alcune cartografie stampate all'estero, tra il 1705 e il 1729, con molta probabilità copie di cartografie del '600); è rimasto visibile fino almeno al 1802, dopodiché tra il 1802 e il 1860 si è interrato, oppure è stato colmato. Con le ellissi, vengono indicate le cartografie più rappresentative riportate nella figura 22.

- Example of *Cartographic Analysis* performed to identify the characteristic time elements for the Torno Lake (Pomezia, Rome): *date of formation, persistence, date of filling*. The graph, as a function of the detection and/or printing date of maps, allows to verify the time span in which the lake was not present, the time at which begins to be represented on paper and the time at which disappears completely from the maps (represented by his final silting, draining or filling). An examination of the maps shows that the lake appeared between 1649 and 1693 (note the anomaly of some maps printed abroad between 1705 and 1729, probably copies of maps of XVIII century); remained visible until 1802, then between 1802 and 1860 it has been buried, or has been filled. With ellipses, have been indicated the most representative maps shown in figure 22.

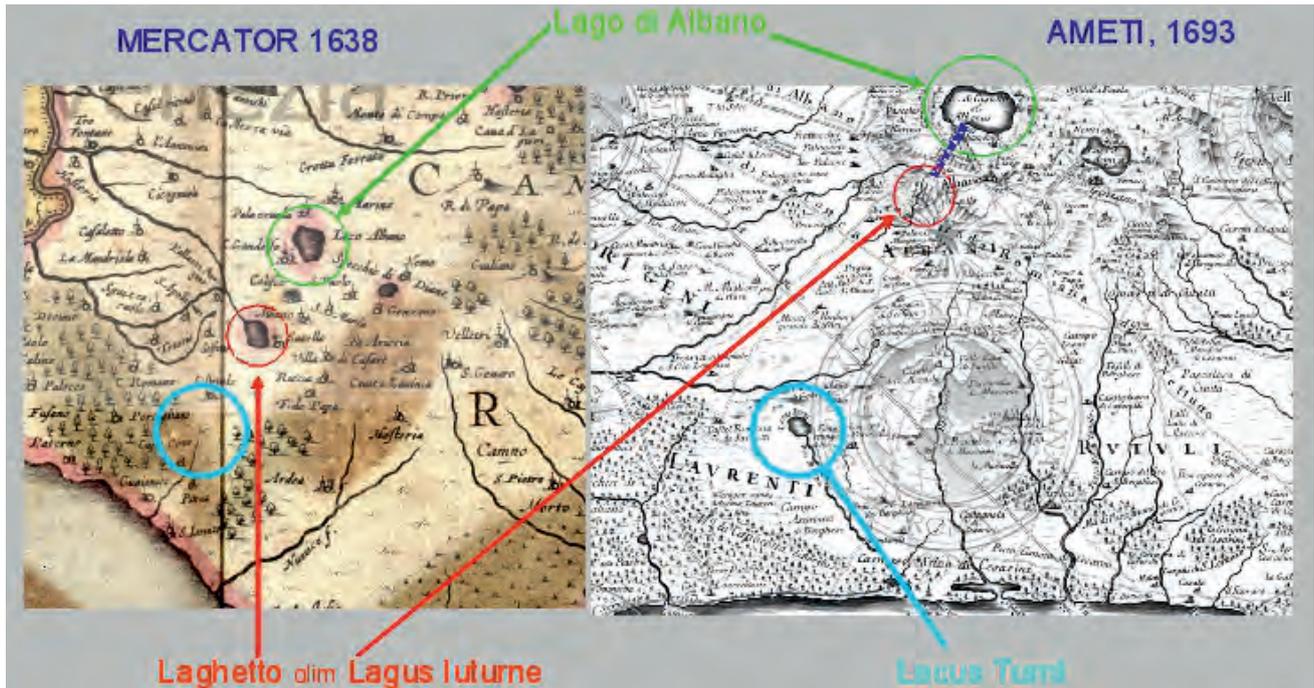


Fig. 22 – Confronto tra due cartografie caratteristiche del gruppo di carte che certificano l'assenza (a sinistra) e la presenza (a destra) del lago Torno (*lacus Turni*). Per una buona identificazione è stato necessario verificare molti degli elementi presenti: altri laghi, andamento dei drenaggi idrici (verso il fiume Tevere o verso il mar Tirreno), opere di regimazione e di bonifica (vedi *Lagus Iuturne*).

- Comparison between two characteristic maps of the group of maps that certify the absence (left) and presence (right) of Torno Lake (*lacus Turni*). For a good identification was necessary to verify many of the elements: other lakes, the trend of water drainage (toward Tiber River or towards the Tyrrhenian Sea), artificial water drainage and land reclamation works (see *Lacus Iuturne*).

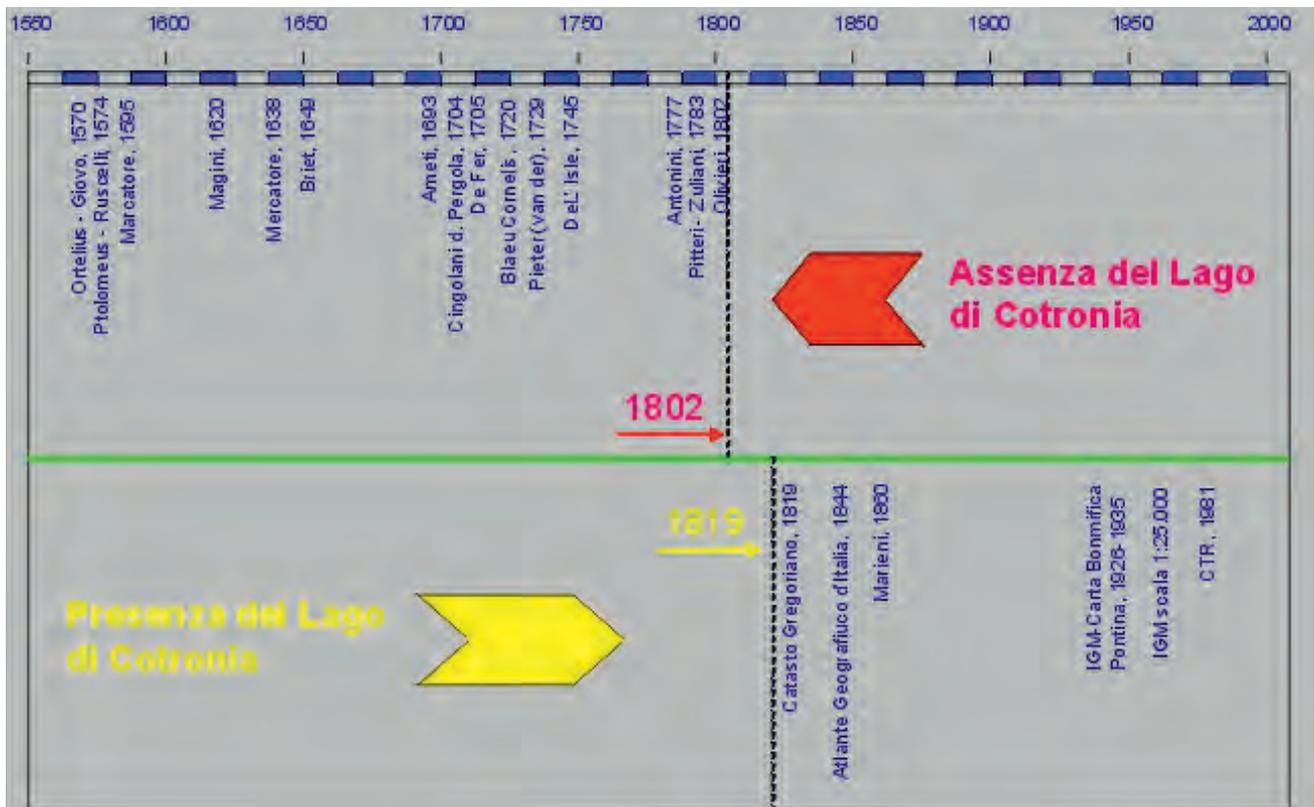


Fig. 23 – Analisi Cartografica per il lago di Cotronia (Cisterna di Latina, Lt). La sua presenza è collocabile in un periodo di tempo compreso tra il 1802 e il 1819 (anno in cui è presente nella cartografia catastale). Il lago è tuttora esistente anche se in fase di interrimento.

- Cartographic Analysis for Cotronia Lake (Cisterna di Latina, Lt). Its presence can be placed in a period of time between 1802 and 1819 (the year in which it is present in the cadastral map). Now the lake is still existing although in phase of silting.

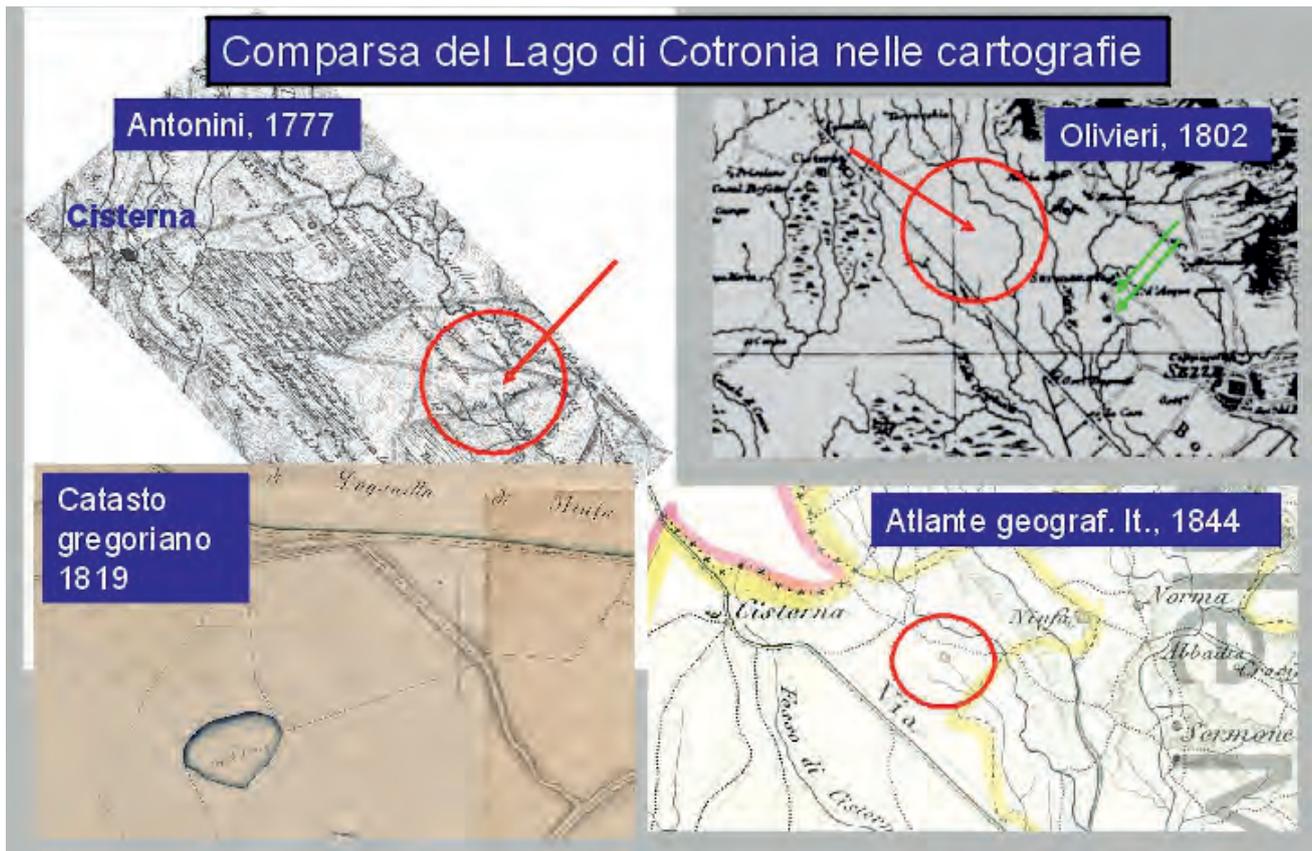


Fig. 24 – Confronto tra le cartografie rappresentative del periodo precedente alla comparsa del lago di Cotronia e successive. ANTONINI (1777) esegue un rilevamento estremamente accurato del territorio ed il fatto che non riporti il lago ne certifica l'assenza ancora nel 1777. Lo stesso si potrebbe dire per OLIVIERI (1802) che riporta due laghetti o due cavità nei pressi di Sermoneta (freccie verdi), ora non più visibili, ma non riporta il lago di Cotronia. Anche il Catasto Gregoriano è un elemento di certezza della presenza del lago già nel 1819.

- Comparison of maps representing the period preceding and following its appearance of Cotrone Lake. ANTONINI (1777) performs a highly accurate survey of the area and the fact that he didn't draw the lake will certify the absence until 1777. The same could be said for OLIVIERI (1802) which drew two lakes, or two cavities, near Sermoneta (green arrows), now no longer visible, but do not mention the Cotrone lake. Even the Gregorian Cadastre is an element of certainty of the presence of the lake already in 1819.

Per una buona identificazione del Lago è stato necessario verificare molti degli elementi presenti (fig. 22): altri laghi, andamento dei drenaggi idrici (verso il F. Tevere o verso il mar Tirreno), opere di regimazione e di bonifica (vedi p. es., *Lagus Iturne*).

Nel caso del lago di Cotronia (Cisterna di Latina, Lt) la sua presenza (figg. 23, 24) è collocabile in un periodo di tempo compreso tra il 1802 e il 1819 (anno in cui è presente nella cartografia catastale). Il lago è tuttora esistente anche se in fase di interrimento. La datazione eseguita per la sua comparsa è molto importante perché porta a rivalutare le fonti documentali disponibili (MARINELLI; 1904a; ALMAGIÀ, 1904a,b) che datavano i Sinkhole denominati "Sprofondi" (da 1 a 4) tra il 1809 e il 1857. Infatti una ipotesi, tutta da verificare, è che il Sinkhole avvenuto nel 1809 possa essere riferito al lago di Cotronia e non a uno degli Sprofondi. A tale scopo dovrà essere effettuata una ri-

cerca documentale mirata, principalmente su fonti cronachistiche, per arrivare ad una sua datazione precisa ed a un riscontro con i sinkholes "Sprofondi".

Le cartografie storiche possono essere efficacemente utilizzate anche per un'analisi cartografica spaziale al fine di ubicare Sinkhole non più presenti su cartografie attuali e per la loro successiva georeferenziazione.

Un esempio è costituito dal lago della Croce, del quale si avevano notizie vaghe, e che non è attualmente più individuabile. La sola cartografia che finora ne ha permesso l'individuazione è stata la carta delle frontiere del Regno di Napoli (fig. 25). Una volta individuata la posizione, attraverso elementi caratteristici del territorio (posizione del centro abitato, strade e fiume Liri), è stato facilmente riconoscibile anche sulle cartografie e sulle foto aeree attuali, al punto che sono ben identificabili

anche le forme residue della bonifica (fig. 26).

Più complessa è stata l'individuazione del lago della Torre di Sezze, a causa delle importanti modifiche della fisionomia del territorio a seguito delle bonifiche, con alterazioni dei corsi d'acqua e delle strade. Nel caso specifico anche la scomparsa della Torre di Sezze ha aumentato le difficoltà. Il lago ben rappresentato nel catasto Alessandrino (sec. XVII, fig. 27), mostra già un reticolo idrografico notevolmente diverso rispetto alla Carta del MAGINI (1620), che ancora riporta il lago, ma usa una diversa denominazione per il suo emissario (da fiume Rosciolo diventa fosso della Selcitta). Per il posizionamento del lago sulle cartografie attuali è stata pertanto necessaria un'analisi dei pochi elementi cartografici presenti, laghi, corsi d'acqua, strade, torri, punti caratteristici (vedi frecce in fig. 28) da riubicare in sequenza temporale sulle successive cartografie.

Alla fine del sec. XVII, le opere di bonifica alterano in modo significativo i drenaggi fluviali rendendoli rettilinei e, come mostra la carta dell'AMETI (1693), il lago della Torre di Sezze non è più presente (probabilmente bonificato) e nell'area è rimasta un'area di palude (fig. 29).

Ulteriori opere di bonifica vengono effettuate nella seconda metà del sec. XVIII, come mostra la carta di ANTONINI (1777) realizzata ai fini della bonifica dell'agro Pontino (fig. 30). Il lago della Torre di Sezze, bonificato, non è più presente ma è individuabile in una zona depressa a monte del fosso della Selcetta e risulta attraversato da un canale di drenaggio. Il dettaglio di questa carta e la qualità della rappresentazione cartografica sono elevati e questo ne permette la georeferenziazione, con minimi scarti, in ambiente GIS ed il trasferimento della posizione su cartografie recenti. Nelle successive rappresentazioni cartografiche (figg. 31, 32)

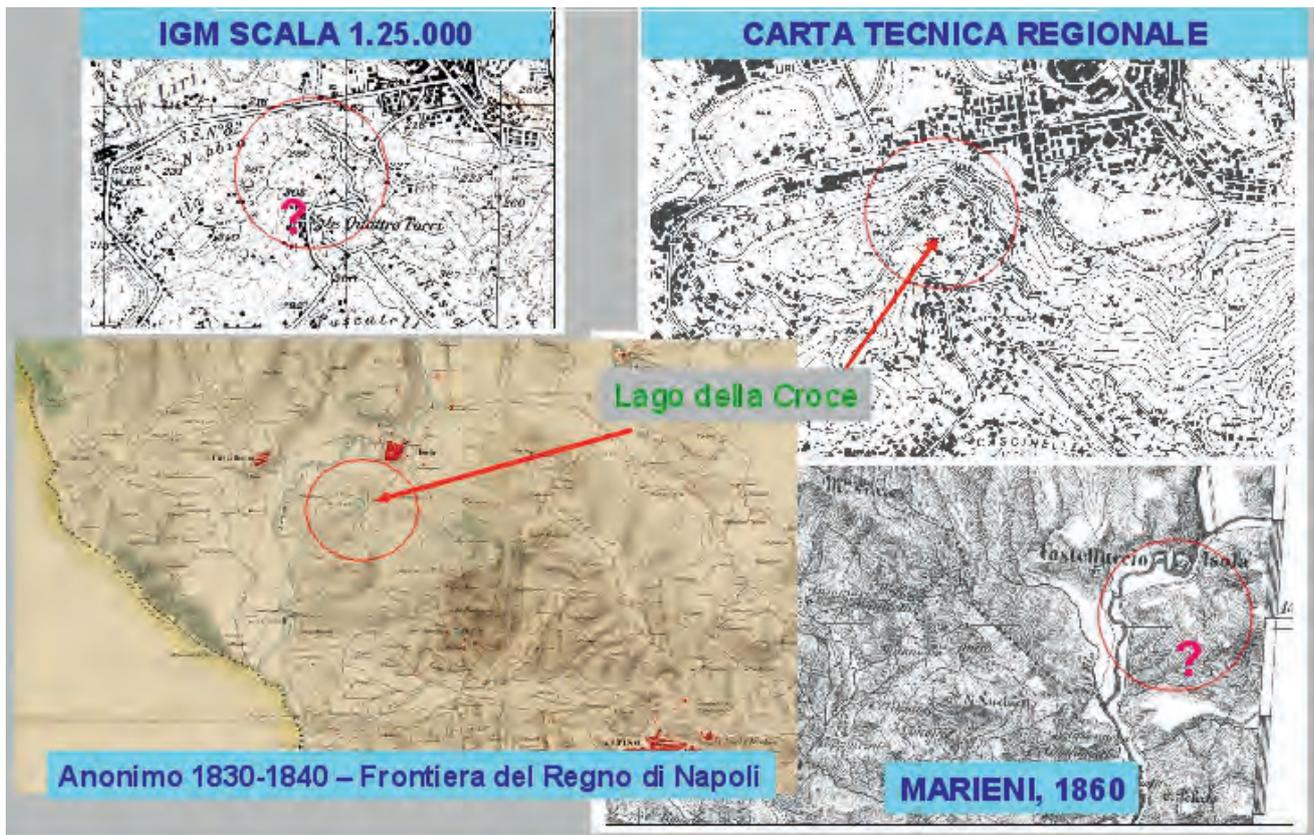


Fig. 25 – Esempio di utilizzo di cartografie storiche per ubicare il lago della Croce, già conosciuto per altre vie, ma per il quale non era stata possibile una individuazione univoca sul territorio. La sua presenza è ben individuabile sulla base della carta delle frontiere del Regno di Napoli e della Carta tecnica regionale.

Da notare che in altre cartografie non risulta individuabile, molto probabilmente per problemi di scala e per il successivo interrimento.

- Example of using historical maps to locate the Rood lake, already known in other ways, but it was not possible to identify in a unique territory. Its presence is readily identifiable on the basis of the map of borders of Naples Kingdom and the Regional Technical Map. Note that in other cartographies is not detectable, probably due to problems of scale and for the subsequent silting.



Fig. 26 – Foto aerea del 2002-2003 che mostra chiaramente il bordo superiore del lago (cerchio grande rosso) il fondo (cerchio azzurro) ed il canale di drenaggio che ha permesso la sua definitiva estinzione.

- 2002-2003 aerial photo clearly shows the upper edge of the lake (large red circle), the bottom (blue circle) and the drainage channel that allowed its ultimate extinction.

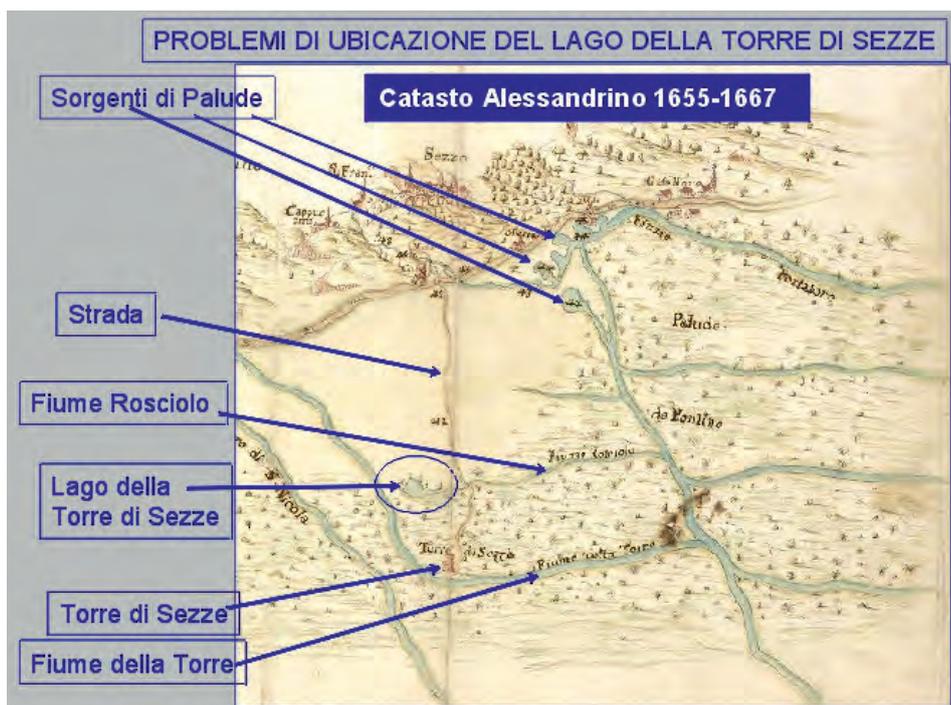


Fig. 27 – Individuazione del lago della Torre di Sezze sul Catasto Alessandrino (sec. XVII). Per il posizionamento del Lago sulle cartografie attuali è stata necessaria un'analisi dei pochi elementi cartografici presenti, laghi, corsi d'acqua, strade e torri, da riubicare in sequenza temporale sulle successive cartografie.

- Identification of Torre di Sezze Lake on the Alexandrian Cadastre (seventeenth century). For the positioning of the Lake on current maps was needed analysis the few visible features, as lakes, rivers, roads and towers, to relocate in time sequence on subsequent maps.



Fig. 28 – Nella cartografia del MAGINI (1620) la rappresentazione cartografica è decisamente migliore e gli stessi elementi assumono delle forme leggermente diverse, o delle denominazioni diverse: il fiume Rosciolo del Catasto Alessandrino (fig. 27) diventa *fosso della Selcitta*. Sono anche individuabili tre punti caratteristici del drenaggio fluviale (freccie grandi), utile per orientarsi nelle successive cartografie, in un'area interessata da frequenti opere di bonifica.

- The cartography of MAGINI (1620) shows a mapping much better than others and the same elements are of slightly different forms, or different names: the Rosciolo river in Alexandrian Cadastre (fig. 27) becomes *Selcitta ditch*. It is possible also to identify three characteristic points of the drainage canal (large arrows), useful for orientation in subsequent maps, in an area affected by frequent land reclamation.

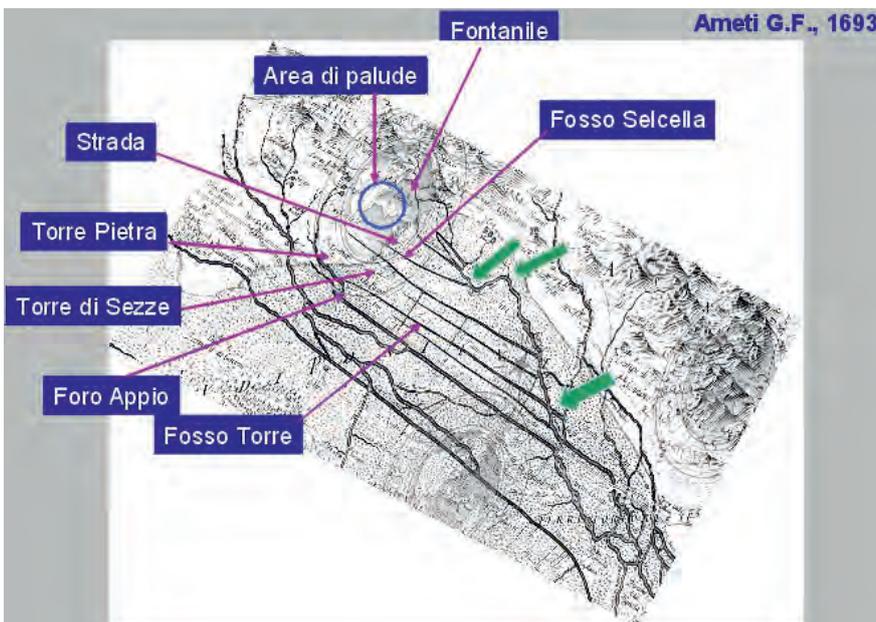


Fig. 29 – Nella carta dell'AMETI (1693) i dettagli cartografici aumentano ma i drenaggi fluviali sono stati ampiamente modificati e resi rettilinei da opere di bonifica; il lago della Torre di Sezze non è più presente (probabilmente bonificato) e nell'area è rimasta un'area di palude; sono ancora visibili i tre punti individuati nella precedente cartografia.

- In the AMETI's map (1693) cartographic detail increases but the river drainages have been extensively modified and made straight for land reclamation; the Tower of Sezze lake is no longer present (probably reclaimed) and in the same place remained an area of swamp, can be still see the three elements identified in previous mapping.

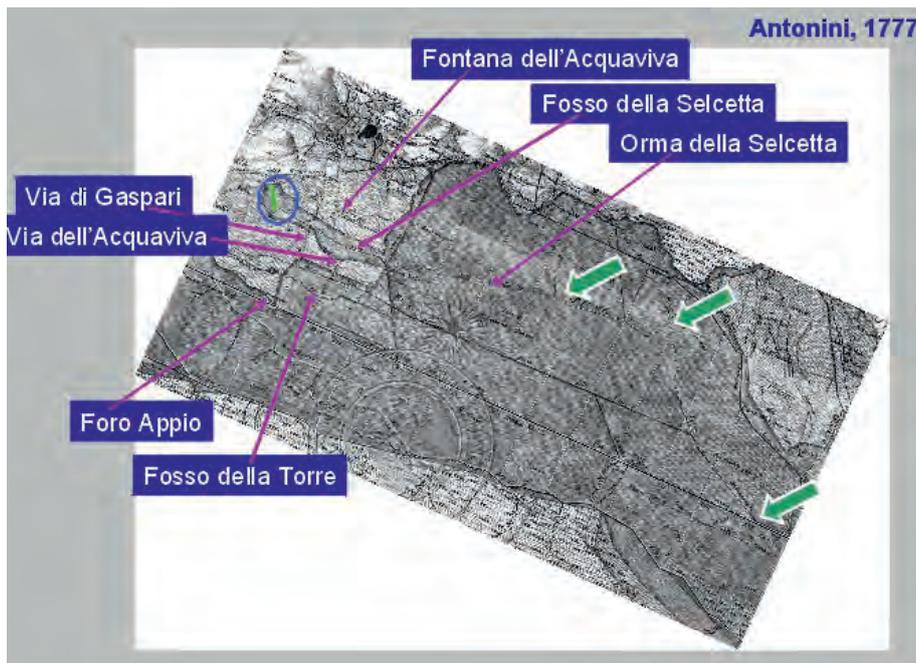


Fig. 30 – Nella carta di ANTONINI (1777) realizzata ai fini della bonifica dell'agro Pontino, si notano ulteriori opere di bonifica, che eliminano i corsi d'acqua precedentemente presi a riferimento (frecche grandi), ancora visibili e denominati "orme". Il lago della Torre di Sezze, bonificato, non è più presente ma è individuabile in una zona depressa a monte del fosso della Selcetta ed è attraversato da un canale di drenaggio. Il dettaglio di questa carta e la qualità della rappresentazione cartografica è elevato e questo ne permette la georeferenziazione con minimi scarti in ambiente GIS ed il trasferimento della posizione del lago della Torre di Sezze su cartografie recenti.

- In the ANTONINI's map (1777), made in order to reclaim the Pontina plain, you can see further land reclamation projects, which eliminate water courses previously taken as a reference (large arrows), but still visible and called "footprints". The Torre di Sezze lake, reclaimed, no longer exists but is detectable in a depressed area upstream of the Selcetta ditch and is crossed by a drainage channel. The detail and the quality of the mapping is high and this allows georeferencing with minimal waste in a GIS environment and transferring the position of the Torre di Sezze Lake on recent maps.

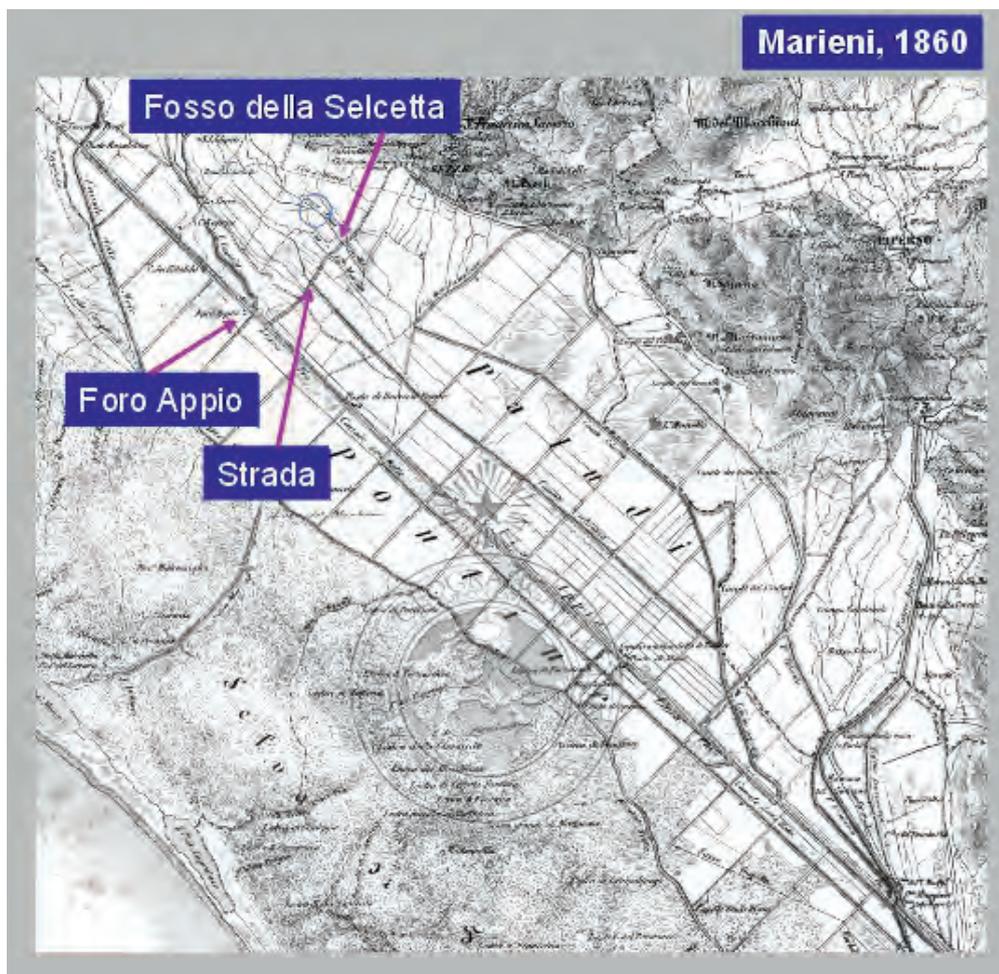


Fig. 31 – Nella carta di MARIENI (1860), georeferenzata in ambiente GIS, il lago della Torre di Sezze non è più individuabile e la sua posizione, precedentemente individuata con ANTONINI (1777), si trova lungo il tratto del fosso della Selcetta il cui corso è stato prolungato per raccogliere i drenaggi di settori posti più a nord.

- In the MARIENI's map (1860), georeferenced in a GIS environment, the Torre di Sezze Lake is no longer detectable and its position, previously identified with ANTONINI (1777), is located along the length of the Selcetta ditch which has been extended to collect the drainage areas of the further northern area.

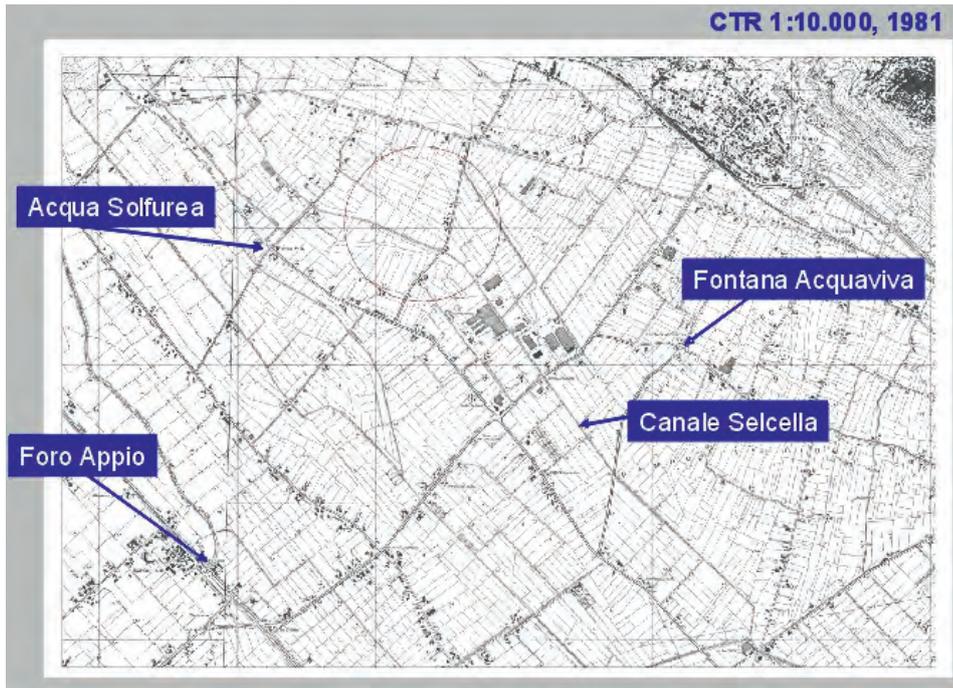


Fig. 32 – Nella Carta Tecnica Regionale (1981), si nota che l'area dove si trovava il lago della Torre di Sezze è attualmente industrializzata e maschera completamente ogni traccia del lago.
 – In Regional Technical Map (1981), we note that the area where the Torre di Sezze lake was, is currently industrialized and it was completely masked any trace of the lake.

non si hanno più tracce della depressione dove sorgeva il lago, l'idrografia subisce ulteriori modifiche (MARIENI, 1860) e l'area assume valenza industriale (vedi Carta Tecnica Regionale, 1981). L'individuazione di questo sinkhole è importante perché va a collocarsi in un settore di collegamento tra i sinkhole posti a nord-ovest ed a sud-est della fascia pedemontana dei Monti Lepini (fig. 33).

Come visto, per ogni singolo sinkhole vi sono

problematiche diverse, che possono essere riferibili: alla difficoltà di ubicazione su cartografie attuali, che spesso non riportano traccia dell'evento; alle bonifiche del territorio che spesso alterano in modo significativo la fisionomia di un'area; alla trasposizione della posizione, generalmente poco precisa, da fonti cartografiche più antiche a quelle più recenti; alla datazione delle cartografie, che spesso non riportano l'anno di rilevamento (o di incisione o di stampa);

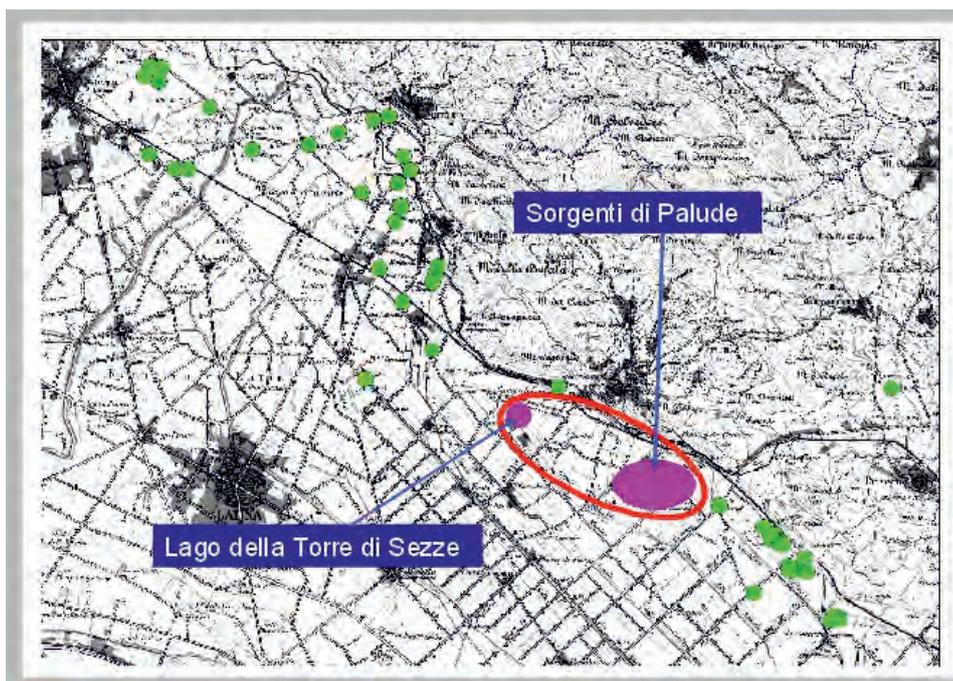


Fig. 33 – Rappresentazione su cartografia IGM a scala 1:100,000 dei Sinkholes del catalogo unificato 2011 e del lago della Torre di Sezze. Il lago viene a coprire un'area di collegamento tra i sinkhole posti a nord-ovest ed a sud-est della fascia pedemontana di Sezze.

- IGM cartographic representation, at a scale of 1:100,000, of Sinkholes present in the 2011 Unified catalogue and with the position of Torre di Sezze Lake. The lake covers an area of connection between the sinkholes placed to north-west and to south-east, in the foothills of Sezze.

oppure alla selezione delle fonti cartografiche più attendibili, per la presenza di cartografie non originali, ma riproduzioni di carte più antiche.

Così come l'ubicazione spaziale di un sinkhole ne permette il suo inserimento nel geodatabase, la sua datazione ne permette di corredarlo della misura del tempo nelle sue varie fasi (nascita, persistenza, colmamento). Questo dato potrà essere utilizzato per effettuare stime di frequenza di ripetizione del fenomeno, in modo da fornire carte di pericolosità e di probabilità di accadimento.

Al momento, avendo a disposizione soprattutto sinkhole privi di datazione, la valutazione del rischio può essere effettuata solo attraverso l'utilizzo di carte di suscettibilità del territorio al fenomeno sinkhole.

7. - RISCHIO SINKHOLE - AREE SUSCETTIBILI

Gli obiettivi perseguibili a seguito della realizzazione del catalogo sono la definizione delle aree a rischio sinkhole e la predisposizione di normative per la pianificazione.

Il primo passo è pertanto la zonizzazione del territorio, sulla base della sua suscettibilità o della sua pericolosità al fenomeno sinkhole. Non

avendo ancora disponibile nella maggior parte dei casi il fattore tempo, è stata realizzata la sola mappa di suscettibilità del territorio.

La valutazione della suscettibilità, è stata effettuata utilizzando alcuni parametri ambientali (variabili) che si ritiene possano entrare in gioco nel processo di formazione di un sinkhole e attraverso l'assegnazione di un peso ad ogni elemento. La figura 34 riporta lo schema del processo di elaborazione dei dati secondo le seguenti fasi operative:

- scelta dell'area di studio e dell'unità territoriale di base (cella di griglia = 2km)
- distribuzione spaziale dei sinkholes
- selezione dei fattori predisponenti e loro trasformazione in layers di tipo raster
- valutazione dei pesi relativi a ciascun fattore, ossia calcolo dei coefficienti β della regressione logistica
- elaborazione della mappa di suscettibilità mediante tecniche di "map algebra"
- verifica del modello di regressione (Curva ROC).

Il calcolo dei pesi da assegnare a ciascuno dei fattori predisponenti è basato su l'applicazione di una tecnica statistica multivariata: la *regressione logistica*. L'analisi di Regressione Logistica (RL) è un caso speciale dell'analisi di regressione lineare allorché la variabile dipendente non è quantitativa, bensì dicotomica.

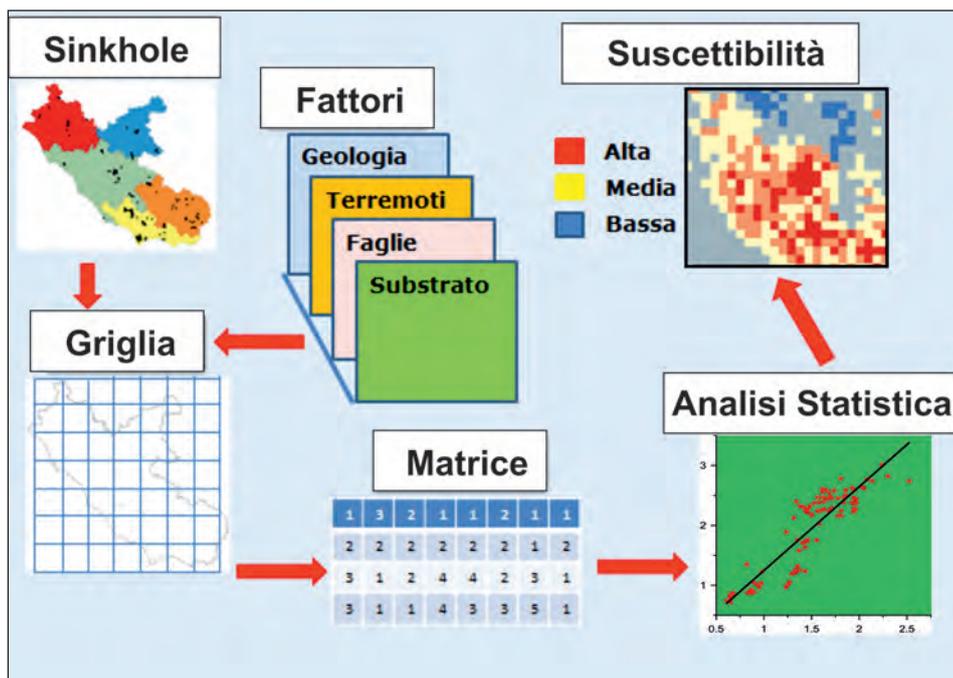


Fig. 34 – Schema generale della metodologia applicata.

- General outline of the employed methodology.

Nel modello RL i risultati sono espressi in termini di probabilità che il fenomeno si manifesti nello spazio (considerando un tempo infinito) e permette, inoltre, il calcolo dei coefficienti di regressione che definiscono il peso di ciascuna variabile nel modello in modo da assegnare un peso ad ogni variabile e superare la soggettività delle tecniche di pesatura euristiche. La trasformazione esponenziale dei coefficienti permette di determinare in termini di probabilità il peso che ciascuna variabile ha nel verificarsi dell'evento.

Il calcolo della probabilità della regressione logistica è dato dalla:

$$Pr = \frac{e^y}{1 + e^y}$$

dove $y = \beta_{10} + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \epsilon_i$

L'elaborazione in ambiente GIS (fig. 35) ha utilizzato numerosi parametri (attualmente 13): Sinkholes, Litologia, Profondità del substrato, Permeabilità, Piezometria, Sorgenti dolci, minerali e

termominerali, Portata delle sorgenti, Punti di emissione di gas del suolo, Faglie attive, Epicentri dei terremoti, Intensità dei sismi, Doline di crollo, Uso del suolo.

Il geodatabase spaziale utilizzato comprende, oltre al catalogo dei sinkholes le informazioni relative ad una serie di strati informativi relazionabili a potenziali fattori predisponenti che possono essere raggruppati in quattro categorie: variabili dicotomiche, variabili categoriali, variabili continue.

Secondo lo schema riportato in figura 34 tutti gli strati informativi sono stati trasformati in un formato *raster* con una dimensione del *pixel* di 2x2 km e sono stati analizzati mediante software GIS (ESRI @ArcMap™ 10). L'elaborazione di alcuni strati informativi di base ha prodotto altri strati informativi utilizzati per la costruzione del modello probabilistico di suscettibilità.

Variabili dicotomiche. Nel caso specifico la mappa dell'ubicazione dei sinkholes è stata trasformata in

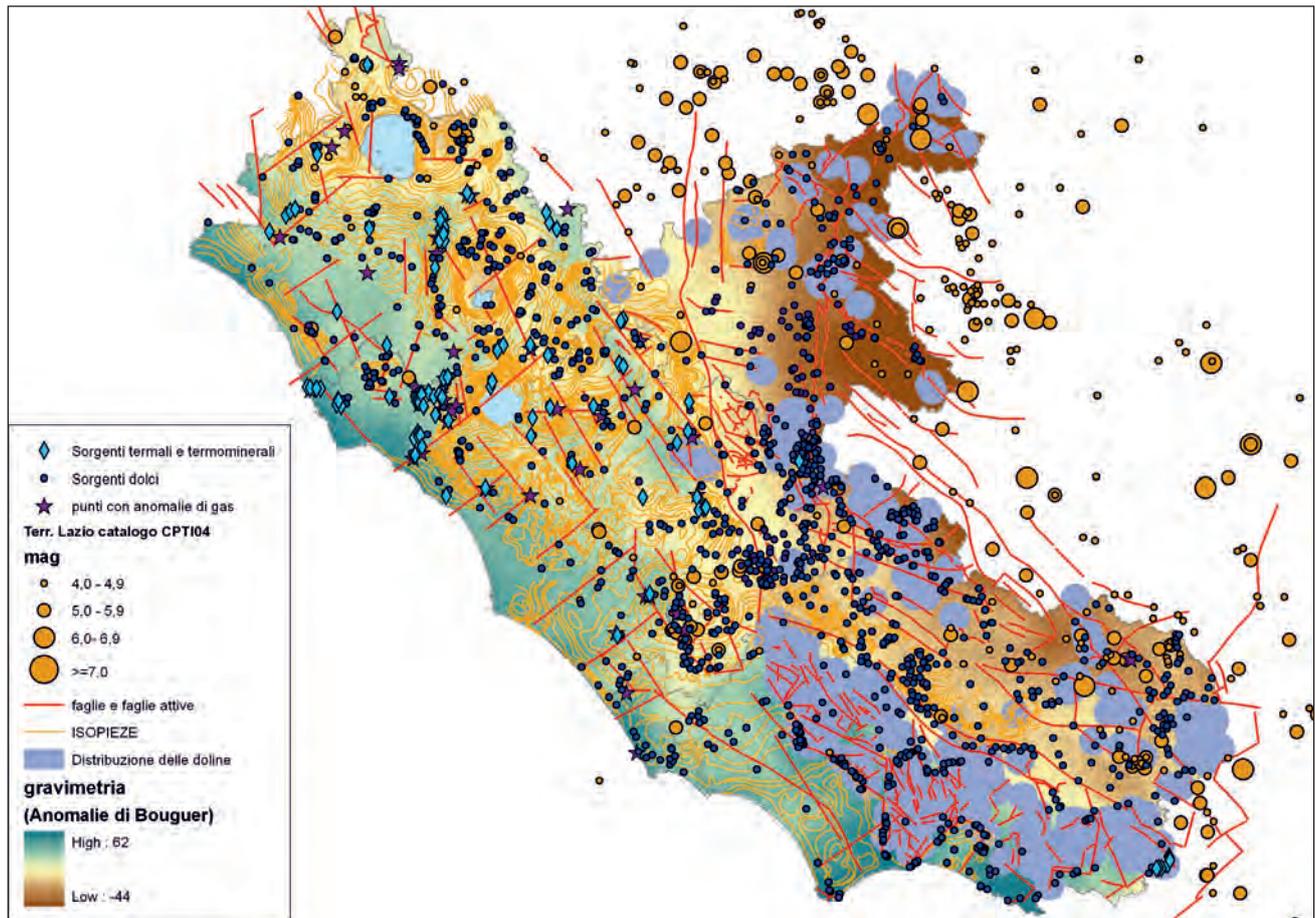


Fig. 35 – Carta dei fattori predisponenti ai sinkholes.
- Map of predisposing factors to sinkholes.

un *layer raster* dove alla cella unitaria di griglia è stato assegnato un valore 1/0 a seconda della presenza/assenza del fenomeno

Variabili categoriali. È stata utilizzata la cartografia geologica di base del Lazio distinta in unità morfo-litotecniche per ognuna delle quali è stata calcolata una frequenza percentuale relativa alla presenza di sinkholes. La frequenza è stata utilizzata per pesare l'area delle unità litotecniche presenti all'interno della cella elementare della griglia raster in funzione dell'area totale della cella di griglia. In questo modo la mappa delle unità litotecniche viene pesata in funzione della presenza di sinkholes e trasformata in una variabile continua.

Variabili continue. Tutte gli altri fattori predisponenti (tematismi lineari e puntuali) sono stati trasformati in *layer* di tipo *raster* con valori continui della cella unitaria di griglia. La trasformazione ha prodotto mappe di densità di elemento puntuale (doline, epicentri di terremoti etc.) e/o lineare (faglie) ed è stata effettuata applicando l'algoritmo della densità di Kernel, che permette di costruire sia densità semplici che pesate, per esempio sulla base della portata delle sorgenti o della magnitudo dei terremoti (fig. 36).

Ciascun strato informativo, dunque, rappresenta un fattore che condiziona la probabilità di verificarsi di un sinkhole, il cui peso è dato dal relativo coefficiente della regressione logistica stimato attraverso il *software* statistico SPSS, dopo aver preparato opportunamente l'intero *dataset di input*. SPSS permette di gestire le variabili indipendenti in modo diverso in relazione alla tipologia: continua o discreta; nel caso delle variabili continue viene determinato un coefficiente per ciascun fattore; nel caso, invece, delle variabili categoriali vengono determinati per ogni fattore tanti coefficienti quante sono le classi. I valori delle variabili indipendenti (fattori predisponenti) e della variabile dipendente (presenza/assenza sinkhole) sono stati ottenuti estraendo il centroide delle celle raster relative ai singoli strati informativi. Il campione è stato poi depurato dai valori nulli, ed è stato suddiviso in due sottocampioni (dati di *training* e dati di *test*), tramite estrazione casuale, in maniera da avere un numero equilibrato di celle con presenza di evento rispetto al numero di celle senza evento.

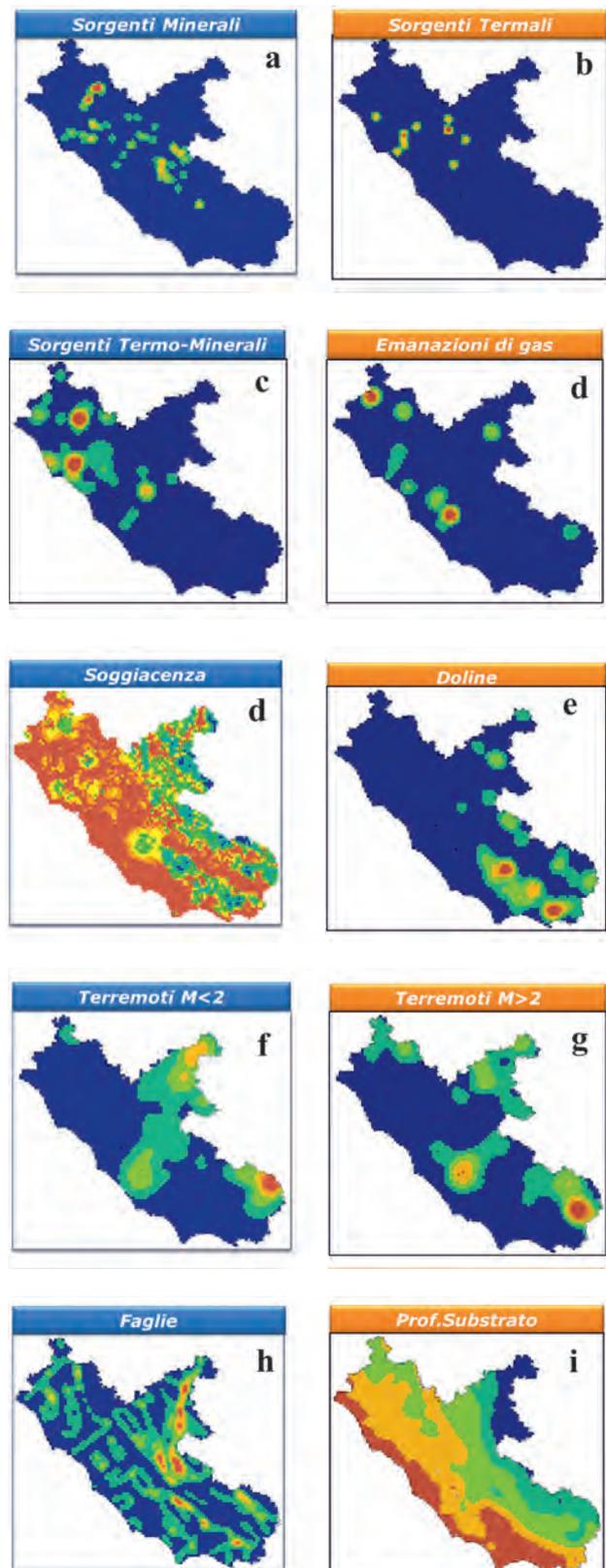


Fig. 36 – Le mappe di densità: sorgenti minerali, termali e termominerali, emanazioni di gas, soggiacenza, doline, terremoti con $M < 2$ e $M > 2$, faglie e profondità del substrato tratto dalla carta gravimetrica.

- The density maps: mineral springs, thermal and thermo-, gas emissions, groundwater depth, sinkholes, earthquakes with $M < 2$ and $M > 2$, faults and depth of the substrate taken from the gravimetric paper.

La carta finale della suscettibilità del territorio del Lazio (fig. 37) mostra una buona copertura delle aree interessate da sinkhole e mostra la presenza di zone dove il grado di suscettibilità è elevato ma non sono stati individuati eventi di sprofondamento.

8. - LA ZONIZZAZIONE E LA NORMATIVA

Attualmente sono state individuate 33 *sinkhole prone areas* nel Lazio, dove in passato o in epoca recente si sono manifestati fenomeni di sprofondamento. L'analisi geostatistica ha permesso inoltre di definire altre aree che presentano le condizioni predisponenti ed innescanti per la formazione del fenomeno ma dove non sono stati registrati, ad oggi, sinkhole (fig. 38).

La normativa in vigore nella Regione Lazio (DGR 1152/2002) non prevede restrizioni ed

adempimenti da seguire in tutte le 33 aree oggi individuate, essendo stata predisposta sulla base dello studio del 2002 (CAPELLI *et alii*, 2002). Inoltre la stessa non prevede distinzioni di indagini in base alla tipologia di sinkhole (*cover collapse sinkhole* e *piping sinkhole*).

Il tipo di indagini da effettuare nelle aree suscettibili, indicate nella DGR citata in modo approssimativo, riguardano l'esecuzione di prove inizialmente limitate (Fase 1: sondaggi geoelettrici, rettangoli di resistività e sondaggi) e, in caso di anomalie geoelettriche, l'esecuzione di ulteriori indagini (Fase 2: tomografie geoelettriche e microgravimetria).

Solo nel caso siano individuate cavità nel sottosuolo è previsto un ulteriore approfondimento riguardante uno studio idrogeologico locale (Fase 3), con un'analisi chimico-fisica di alcuni punti d'acqua (durezza totale, pH, temperatura, conducibilità, grado di saturazione in carbonati, pressione parziale di CO₂) e un'analisi dei gas nel suolo: CO₂, radon, metano, elio (fig. 39).

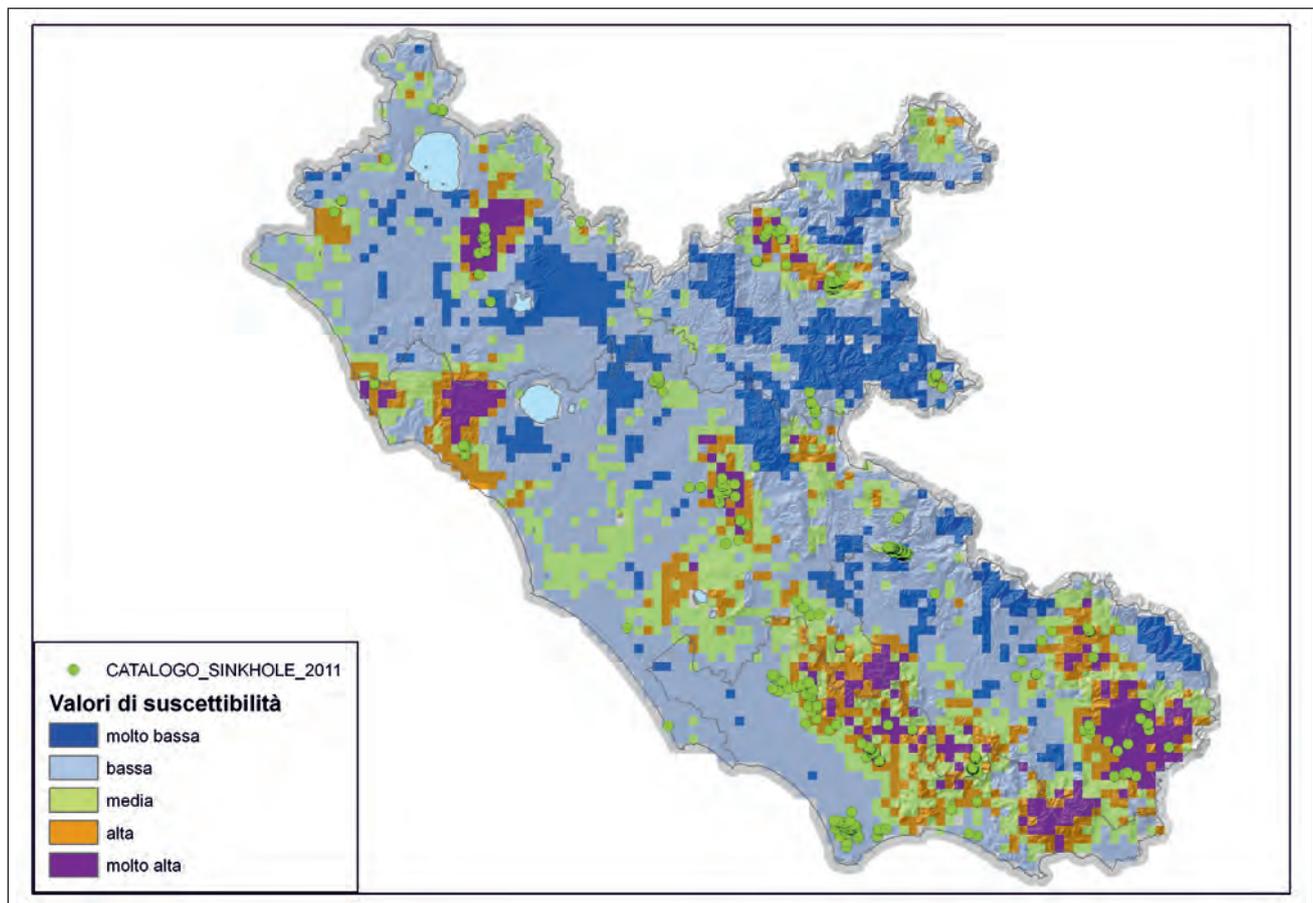


Fig. 37 – Carta della suscettibilità ai sinkholes.
- Susceptibility map to sinkholes.

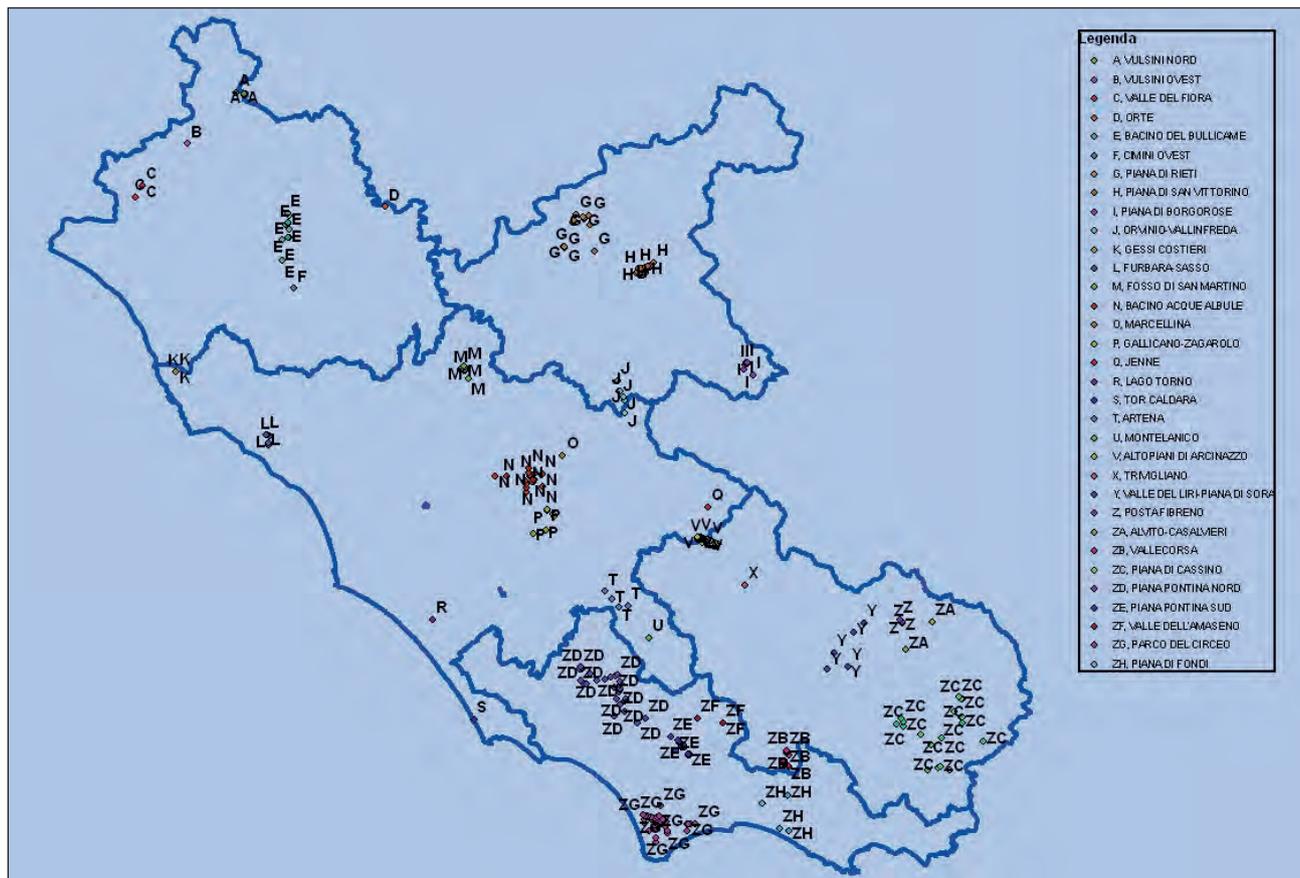
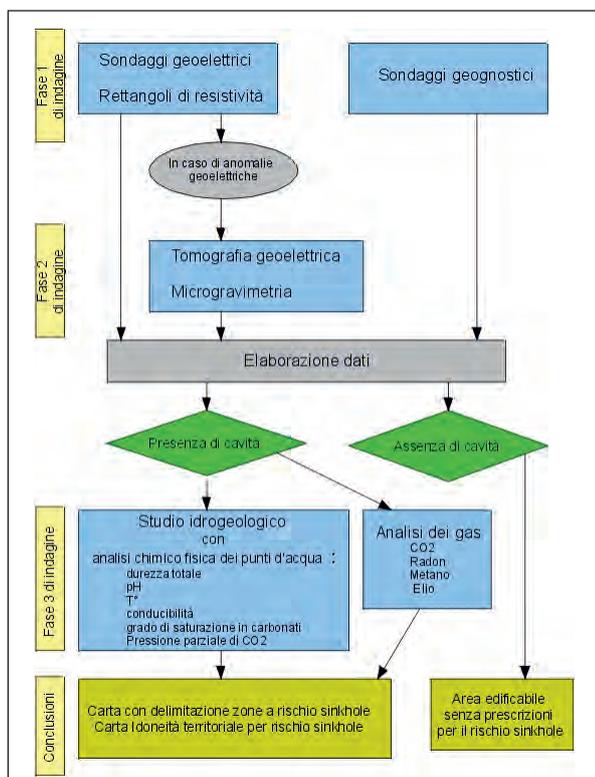


Fig. 38 – I sinkholes del catalogo sono stati suddivisi in 33 aree con caratteristiche geologiche omogenee.
 - The sinkholes in the catalogue have been divided into 33 areas with geological homogeneous features.



In caso i risultati indichino la presenza di cavità nel sottosuolo, l'area può essere ritenuta a rischio sinkhole e vietata totalmente o parzialmente all'edificazione.

Un raffronto tra questa normativa e quelle esistenti in altre regioni italiane ed all'estero è stato riprodotto nella tabella seguente (tab. 1). Si nota che mancano indicazioni sulle indagini da effettuare per individuare il substrato calcareo e norme di tipo assicurativo, presenti solo per lo stato della Florida (USA).

Una maggiore completezza di indagini si ha in caso di interventi in aree in cui sono avvenuti recentemente sinkhole, come nel caso di Camaiore e di Tivoli-Guidonia.

Fig. 39 – Diagramma di flusso delle indagini da eseguire in aree a rischio sinkhole come indicate nella normativa della regione Lazio (DGR 1152/2002).
 - Flow chart of the investigations to be carried out in areas of sinkhole risk as set out in the legislation of the Lazio region (DGR 1152/2002).

Sulla base del nuovo catalogo, delle riflessioni scaturite dall'uso della normativa del 2002 e dal confronto con le altre normative ed interventi sul territorio si sta valutando la predisposizione di una nuova normativa più rispondente alla reale situazione del territorio e più efficace anche in termini di prevenzione e di monitoraggio. Un elemento utile sarebbe comunque la possibilità di assicurare gli edifici e le strutture in aree caratterizzate da rischio sinkhole, anche al fine di garantire la copertura finanziaria per le indagini da eseguire, nel momento che si verificano indizi di presenza di sinkhole in formazione.

9. - CONCLUSIONI

Il territorio della regione Lazio è rappresentato, ad oriente, da vaste estensioni di rocce prevalentemente carbonatiche sottoposte a diffusi processi carsici attualmente attivi (CACCIAMALI, 1892; TUCCIMEL, 1886; DE MAGISTIS & MARINELLI, 1913; CREMA 1915; CULMIN, 1920, 1922; SEGRE 1948, s.d.; DE ANGELIS, 1988), con frequente formazione di doline di crollo. Ad occidente, presso la costa tirrenica, nonché in alcune porzioni interne dell'Appennino, è costituito da aree pianeggianti quali pianure costiere, ampie valli fluviali (fiumi Tevere, Aniene, Velino), conche intramontane, colmate da potenti spessori di sedimenti impermeabili o semi-permeabili, in cui si assiste, spesso, alla presenza di acquiferi imprigionati e circuiti di acque mineralizzate (BONI *et alii*, 1980) nonché di sorgenti di acque dolci caratterizzate da portate elevate (sorgenti del Peschiera, sorgenti di Cassino, Acque Albule etc.).

A ciò si aggiungono vaste aree collinari dove affiorano terreni piroclastici appartenenti ai distretti vulcanici ad attività quaternaria, in cui è abbondante la circolazione di fluidi minerali e termo-minerali dovuta alle manifestazioni post-vulcaniche. Tali condizioni territoriali sono predisponenti la formazione di sinkholes naturali.

Nel Lazio i sinkholes di pianura sono ben noti e studiati da alcuni decenni.

Essi si manifestano, prevalentemente, in alcune aree di piana alluvionale o costiera, in conche intra-

montane, in cui il substrato carbonatico è ribassato da faglie di importanza regionale che favoriscono la circolazione di fluidi e gas (COLOMBI *et alii*, 1999, 2000, 2001 a, b; NISIO, 2003, 2008 a).

Le morfologie di collasso, verificatesi nelle aree di pianura laziali, interessano, i terreni fluvio-lacustri, delle conche interne e delle valli alluvionali, i depositi di transizione delle piane costiere ed i terreni vulcanici. Alcuni sinkholes sono connessi al carsismo sub-superficiale che si verifica su vaste aree di affioramenti di travertino. In quest'ultimo caso le aree nel Lazio maggiormente interessate dai fenomeni di *cave collapse sinkholes* sono la Piana delle Acque Albule in provincia di Roma (MAXIA, 1950, 1954; FACCENNA *et alii*, 1994; GASPARINI, 2001; ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2010; LANZINI *et alii*, 2010) e la Piana di Viterbo (NISIO, 2008 a).

Molte delle aree suscettibili sono sismiche, ed alcuni fenomeni sono stati innescati in occasione di terremoti ad elevata magnitudo (CARAMANNA *et alii*, 1996; MELONI, 2010).

Alcune conche intramontane laziali più peculiari e suscettibili al fenomeno sono state studiate con maggiore dettaglio. La Piana di S. Vittorino presso Cittaducale, in provincia di Rieti, ad esempio, è tra le aree suscettibili più didattiche e studiate in tutto il territorio italiano e ciò si evince anche dalla numerosa letteratura, che prolifera sin dalla fine del 1800 e dall'inizio del 1900 a cui si rimanda per tutti gli approfondimenti (TENORE, 1872; CREMA 1924; RICCARDI 1925, 1951; PANDOLFI, 1927; FACCENNA *et alii*, 1993; MORI, 1938; NOLASCO 1986; 1996; 1998; MARINELLI 1995; CAPELLI & PETITTA, 1998; BIGI *et alii*, 1999; BERSANI *et alii*, 2000; 2001; CAPELLI *et alii*, 2000; BERSANI & CASTELLANO, 2002).

Le aree suscettibili nella provincia di Frosinone sono meno conosciute e studiate gli studi compiuti risalgono a pochi anni fa: la Piana di Sora (NISIO & SCAPOLA 2010 b), l'area di Posta Fibreno (AGRILLO *et alii*, 2004), la Piana di Cassino (NISIO & SCAPOLA 20005, 2010 a, 2010 b).

Nella provincia di Roma i casi più studiati risultano essere oltre al bacino delle Acque Albule, la piana di Pozzo Grande (TIVOLI ARGENTIERI *et alii*, 2002, 2003, 2004 b) e l'area di Galliciano nel Lazio (ALMAGIÀ, 1906).

Tra le valli fluviali particolarmente nota è la Valle del Fosso S. Martino (presso Capena in provincia di Roma PONZI 1853, 1856; BRUNIALTI, 1895; MERCALLI, 1895; FOLGHERAITER, 1896; MODERNI, 1896; CONTI, 1933; Patrizi, 1967; DE RISO *et alii*, 1969; PERSI 1971; DI LORETO *et alii*, 1999).

Inoltre molti sinkholes si sviluppano nella pianura costiera (Pianura Pontina in provincia di Latina; PRONY, 1818; DE ROSSI, 1876; MELI, 1896; MARINELLI 1904 a, b; PICOZZA, 2004) a ridosso della faglia bordiera.

Anche alcune aree collinari e fasce pedemontane caratterizzate da depositi piroclastici sono state interessate in tempi storici da fenomeni di sinkhole, quali, l'area di Artena (NISIO, 2008 a), nonché alcune piane interne nel Viterbese.

Nelle *sinkholes prone areas* è presente una grande circolazione di fluidi.

Negli ultimi anni sono stati effettuati alcuni censimenti degli episodi di sprofondamento dall'epoca storica all'attuale (CAPELLI *et alii*, 2004; CAPELLI *et alii*, 2002; APAT, 2004 b; ISPRA, 2010 b).

Nella presente nota è stato presentato il primo catalogo unificato dei sinkholes che ha messo insieme i dati raccolti nel tempo dall'Università Roma III, dalla Regione Lazio e dall'ISPRA (MELONI *et alii*, 2011).

La raccolta complessiva dei dati (cartografici, di letteratura e inediti) ha permesso di individuare 33 aree a rischio con un totale di 393 sinkholes censiti, attivi, ricolmati o estinti.

I fenomeni censiti mostrano età secolari, molte voragini vengono descritte nelle opere di studiosi romani, altre cavità si sono aperte in seguito a sismi che hanno colpito in passato soprattutto il Lazio settentrionale (terremoto dell'Aquila 1703, di Avezzano 1915). Molte invece sono le voragini che si sono aperte o riattivate in epoca storica e recente. Le più recenti sono le cavità di Doganella di Ninfa (1989, Pianura Pontina), fenomeni di riattivazione nella pianura pontina nel 1991 (laghi del Vescovo), la voragine di Marcellina (2001, Tivoli), l'ultimo episodio a S. Vittorino nel 2005.

I meccanismi di innesco di tali fenomeni sono più complessi dei semplici processi carsici anche perché spesso il substrato carbonatico è a profondità elevate e potrebbe anche non essere influente.

I meccanismi di formazione possono essere ricondotti a processi profondi di erosione dal basso e di dissoluzione facilitata da fluidi in pressione all'interno di un reticolo di faglie e fratture attive che attraversano la copertura.

Processi di liquefazione profonda, possono essere indotti da eventi sismici o da oscillazioni repentine della falda. Ad esclusione di poche aree di pianura i dissesti osservati possono essere classificati quali *deep piping* sinkhole o *cover collapse* sinkhole.

Gli sviluppi futuri del database unificato saranno l'implementazione del catalogo con l'approfondimento delle ricerche su fonti storiche e cartografiche, per definire le date di formazione dei fenomeni; la definizione della tipologia dei sinkholes in base al più probabile meccanismo genetico; l'arricchimento del modello di valutazione della suscettibilità con l'aggiunta di ulteriori livelli e con l'integrazione di quelli già esistenti; la zonizzazione del territorio e l'aggiornamento delle normative.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (sec. XVI-XIX) – *Cartografie storiche*. Biblioteca Nazionale Marciana, Venezia, e Biblioteca Soc. Geogr. It., Roma.
- AA.VV. (1655-1667) – *Catasto Alessandrino*. Mappe Acquerellate. Archivio di Stato di Roma.
- AA.VV. (1816-1859) – *Catasto Gregoriano Comarca e Agro*. Archivio di Stato di Roma.
- AA.VV. (1870-1952) – *Cessato Catasto Rustico*. Archivio di Stato di Roma.
- AA.VV. (1993) - *Guide Geologiche Regionali – 14 Itinerari – Lazio – Sosta 3.5 - Doganella. Voragine di Collasso ("Sinkhole")*. Roma, BE.MA, 123.
- AA.VV. (s.d.) - *Schede informative sulle cavità del Lazio*. Speleo Club Roma.
- 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>.
- AGRILLO E., BONO P., CASELLA L., D'ANDREA L. & CARAMANNA G. (2004) - *Cavità di collasso recenti e antiche nel bacino lacustre di Posta Fibreno (Frosinone)*. 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, 11-18.
- 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.
- ALDEGA L., ARGENTIERI A., DE RITA D., FABBRI M., GIAMPAOLO C. & LORETELLI S. (2004) - *Contributo dello studio mineralogico alla ricostruzione dell'evoluzione geologica del bacino di Pozzo Grande (Marcellina, Roma)*, 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, 53-62.
- ALMAGIÀ R. (1906) - *Cavità di sprofondamento nei tufi presso Galliciano (Lazio)* Mondo sotterraneo, A. 2., n. 5-6 (mar.-giu. 1906), 94-99.
- ALMAGIÀ R. (1904) - *Ulteriori notizie sugli sprofondi della Pianura Pontina* Mondo Sotterraneo 52-56.
- ALMAGIÀ R. (1911) - *La Val di Comino o Cominese*. Boll. Soc. Geogr. It. 48.
- 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 2004, 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.
- ANTINORI V. (1841) - *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento*. Tip. Galileiana, Firenze, 1841, pp. 133.
- ANTONINI C. (1777) - *Pianta delle Paludi Pontine formata per ordine di N.ro. Sig.re Pio Papa VI. Incisione camerale*. sl. Biblioteca della Soc. Geogr. It., Roma.
- AQUATER (2001) - *Relazione relativa alla voragine ed alle indagini geofisiche effettuate nell'area di Pozzo Grande*. Elaborato inedito commissionato della società SNAM - ENI Group.
- ARGENTIERI A., CAPELLI G., LORETELLI S., SALVATI R. & VECCHIA P. (2001) - *La pericolosità da sinkhole nel territorio della Provincia di Roma: il caso di Marcellina*. In: "Il carsismo nell'area mediterranea. Geologia, Paleogeografia, Biologia. 2° Incontro di Studi", Castro Marina (LE), Centro Studi Orsa Maggiore.
- ARGENTIERI A., CAPELLI G., DI FILIPPO M., LORETELLI S., SALVATI R., TORO B. & VECCHIA P. (2002) - *Il sinkhole di Marcellina (Roma) del 25/1/2001: primi dati stratigrafici, idrogeologici e geofisici*. Atti dei Convegni Lincei, "Il Dissesto idrogeologico: inventario e prospettive" 181, (XIX Giornata dell'Ambiente - Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 5/6/2001), 243-255.
- ARGENTIERI A., CECCHINI F., DI FILIPPO M., DI NEZZA M., MARGOTTINI S. & TORO B. (2004) - *La depressione di "Il Laghetto" (Roma): un possibile sinkhole?*, 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.
- ARGENTIERI A., LORETELLI S., VECCHIA P. & SCIARRA P. (2004) *Il ruolo del servizio geologico della provincia di roma nel governo del territorio: il caso del sinkhole di Marcellina (Roma)*. 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
- ARGENTIERI A., VECCHIA P., SALVATI R., CAPELLI G. & LORETELLI S. (2003) - *La pericolosità da sinkhole nel territorio della Provincia di Roma: il caso di Marcellina*. Atti del 2° Incontro di Studi "Il carsismo nell'area mediterranea" (Castro Marina, Lecce, 14-16/9/2001), Thalassia Salentina, 26 (Suppl.), 95-105.
- ASTOLFI G. (1887) - *Pianta delle Paludi Pontine formata per ordine di N.ro Sig.re Pio Papa VI (incisioni di Carlo Antonioni)*, 1:4000, 4 carte, 61x88 cm.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE (2002) - *Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (adottato dal Comitato Istituzionale con Delibera n° 101 del 1/8/2002)*, 3 CD-ROM.
- BEAUBIEN S.E., CIOTOLI G., LOMBARDI S., NISIO S. & NOLASCO F. (2003) - *Indagini Geologiche E Geochimiche per lo Studio del Rischio Sinkholes nella Piana di S. Vittorino* Atti Conv. 4° Forum FIST, Bellaria (Rimini), 16-18 sett. 2003. Vol Abs., 357-359.
- BERSANI P. & CASTELLANO F. (2002) - *I sinkhole della Piana di S. Vittorino (Rieti) e il rischio idraulico connesso*. In: "Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana". Atti del Convegno 31 marzo 2000 (GR), Regione Toscana, 47-61.
- BERSANI P., BIAGI P. & PIOTTI A. (2001) - *Gli sprofondamenti della Piana di S. Vittorino*. Tevere-Studi, 17, 8-13.
- BERSANI P., BIAGI P. F., FERRANTI C. & PIOTTI A. (2000) - *Gli sprofondamenti della Piana di S. Vittorino (Rieti)*. L'Aquila, 1/2000, 39-48.
- BERSANI P., CANALINI A. & NISIO S. (2010) - *Segnalazione di fenomeni di sprofondamento nell'area di Sasso di Furbara (Santa 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.
- BIGI G., CAPELLI G., MAZZA R., PAROTTO M., PETITTA M. & SALVATI R. (1999) - *Strutture di collasso della piana di S. Vittorino (fiume Velino, Lazio): interazione tra circolazione idrica sotterranea e tettonica attiva*. Convegno Conoscenza e salvaguardia delle aree di Pianura. Ferrara Italy, 8-11 novembre 1999.
- 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.
- BRUNIALTI A. (1895) - *Il nuovo Lago di Leprignano*. L'Illustrazione italiana, 22: 339-340.
- CACCIAMALI G.B. (1892) - *Gli Anticrateri dell'Appennino Sorano*.

- Boll. Club Alpino Italiano, **25** (58), a. 1891.
- 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 2004". 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.
- CAPELLI G. & PETITTA M. (1998) - *La Piana di S. Vittorino: rischi geologici e idrogeologici*. Tevere rivista dell'Autorità di Bacino del Tevere.
- CAPELLI G., DELITALIA M. C., PRIMAVERA P., SALVATI R., TADDEUCCI A. & TUCCIMEI P. (2004) - *Lo studio degli "spring-sinkhole" del gruppo dei laghi del Vescovo (Pianura Pontina) attraverso l'uso del "Radon Budget"*, 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.
- CAPELLI G., PETITTA M. & SALVATI R. (2000) - *Relationships between catastrophic subsidence hazards and groundwater in the Velino Valley (Central Italy)* – Proceedings Sixth International Symposium on Land Subsidence SISOLS 2000, Ravenna, Italy. **1**, 123-136.
- CARAMANNA G. (2002) - *I laghetti sorgivi delle Acque Albule*. In: GIARDINI M. (a cura di) Atti: "Il Trivertino. Aspetti naturalistici e sfruttamento industriale all'inizio del terzo millennio", Prov. di Roma, pp. 33-43.
- 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**, 123.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G. & NISIO S. (2008) *A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas*. Journal of Natural Hazard, **45**, 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**, 121.
- CARAMANNA G., NISIO S. & VITA L. (2004) - *Fenomeni di anegamento 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 2004, 285-298.
- 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. Giovani 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) - *Mappa di Suscettibilità ai sinkholes nel Lazio e le aree a rischio*. 13° Conferenza italiana utenti Esri, Roma 18-19 aprile 2012.
- COLOMBI A., DI LORETO E., NOLASCO F., CAPELLI G. & SALVATI R. (2001) - *The purposes of the main sinkhole project in the Latium region of Central Italy*. Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology, BECK & HERRING (Eds.): 73-76.
- COLOMBI A., SALVATI R. & CAPELLI G. (2000) - *Groundwater overexploitation. Triggering issue in catastrophic subsidence genesis and occurrence (Pontina Plain, Central Italy)*. Conference on Future Groundwater Resources at Risk, June 25th-27th 2001 Lisbon, Portugal.
- COLOMBI A., SALVATI R. & CAPELLI G. (2001) - *Sinkhole in Latium Region (Central Italy). Purposes of the Main Project: in Geotechnical and Environmental applications of karst geology and hydrology*. B.F. BECK & J. GAYLE HERRING (Eds.), Balkema, The Netherlands.
- 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.
- CONTI V. (1933) - *Il lago prodigiosa*. Capena Doviziosa, XI, 25-31.
- CREMA C. (1915) - *Improvvisa formazione di una dolina presso Montecelio in provincia di Roma*. Boll. Soc. Geol. It., **34**, 273-276, tav. 13.
- CREMA C. (1924) - *Sprofondamenti carsici del Gennaio 1915 nella Valle del Velino*. In: "Tra i monti del Lazio e dell'Abruzzo", **1**, 3-14.

- CUMIN G. (1920) - *Una dolina di crollo presso Tivoli*. Boll. Soc. Geol. It., 358-360.
- CUMIN G. (1922) - *Le doline del Piano delle Quartara presso Sezze (Lazio)*. Boll. R. Soc. Geogr. It., 315 - 319.
- DE ANGELIS G. (1988) - *Monti Lucretili*. Provincia di Roma (Ed.), Roma.
- DE MAGISTRIS L.F. & MARINELLI O. (1913) - *La "Fossa Lupara" nei monti Prenestini (Lazio)*. Mondo Sotterraneo, **9**, (4-5), 77-80.
- DE RISO R. & NICOTERA P. (1969) - *I fenomeni di subsidenza del Fosso S. Martino, Capena-Roma, in relazione alla linea ferroviaria Settebagni-Orte*. Mem. Soc. Nat. Napoli, **1**, 165-180
- DE ROSSI M.S. (1876) - *Meteorologia endogena*. Fratelli Dumolard, Milano, **1**: pp. 220-225.
- DI FILIPPO M., PALMIERI M. & TORO B. (2002) - *Studio gravimetrico del sinkhole di Doganella di Ninfa (Latina)*. In: "Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana". Atti Conv. 31 marzo 2000, GR., Regione Toscana, 62-70.
- DI LORETO E., LIPERI L. & PIRO M. (1999) - *La riqualificazione ambientale del Geotopo "Lago Puzzo" nel Comune di Fiano Romano, RM.*, Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **54**, 339-346.
- 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. Descr. Carta Geol. d'It., **44**, pp. 12, Roma.
- FOLGHERAITER G. (1896) - *Sopra il nuovo lago di Leprignano*. Frammenti concernenti la geofisica dei pressi di Roma, **3**, 1-17, Roma.
- GAY LUSSAC J.L. & ARAGO F. (1786) - *Annales de Chemie et de Physique*. Paris.
- 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. ¾, 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 XX GNGTS, pp. 9.
- GOVERNA M.E., LOMBARDI S., MASCIOTTO L., RLBA M. & ZUPPI G.M. (s.d.) - *Karst and geothermal water circulation in the Central Apennines (Italy)*. IAEA-AG, **239**.
- I.G.M. (sec. XIX-XX a) - *Carta geografica d'Italia a scala 1:100.000*. Varie edizioni, Firenze.
- I.G.M. (sec. XIX-XX b) - *Carta topografica d'Italia a scala 1:25.000*. Varie edizioni, Firenze.
- I.G.M. (1904) - *Carta dell'Agro romano, nel rapporto di 1:8.000, per la zona soggetta al bonificamento agrario*. Fogli 1-77, Firenze.
- I.G.M. (1926-1932) - *Bonifica di Piscinara, Bonificazione pontina*. Carte topografiche pre-bonifica alla scala 1:5.000. Fogli B3-T12. Firenze.
- I.G.M. (1954-2000) - *Aerofoto - varie annate*. Copertura per la Regione Lazio, Firenze.
- 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 (2010 b) - *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 sinkholes, 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 Sinkholes 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.
- MAGINI F. (1620) - *Campagna di Roma olim Latium*. Biblioteca Nazionale Marciana di Venezia.
- MARIENI G. (1860) - *Stato della Chiesa*. Ist. Geogr. Mil. Vienna. Bibl. Soc. Geogr. It., Roma.
- MARINELLI O. (1904a) - *Gli "sprofondi" della pianura pontina*. Mondo Sotterraneo, **1** (1), 13-18, **1** (2), 29-36.
- MARINELLI O. (1904b) - *Ulteriori notizie sugli "Sprofondi" della Pianura Pontina*. Mondo Sotterraneo, **1** (3), 52-56.
- MARINELLI R. (1995) - *Le terre contese*. Comune di Borgovelino (RI) Gruppo Tipografico Editoriale, L'Aquila.
- MAXIA C. (1950) - *Il Bacino delle Acque Albule (Lazio)*, Contr. Sc. Geol. Suppl. Ric. Sc., Roma 20, pp. 3-20;
- MAXIA C. (1954) - *La Geologia dei Monti Cornicolani (Lazio)*. Pubblicazione Istituto di Geologia e Paleontologia, **11**, Università di Roma.
- MELI R. (1896) - *Breve relazione delle escursioni geologiche eseguite all'isola del Giglio e al Lago nuovo di Leprignano*. Ann. Scuola Applicaz Ingegneri, 12-16. Roma.
- 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, VIII 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, VIII Forum Italiano di Scienze della Terra, Torino 19 - 23 settembre 2011, Epitome, **4**, sess. C-13.
- MELONI F., CATALANO G., LIPERI L., NOTARMUZI M.C., SERICOLA A. & ZIZZARI P. (2012) - *I sinkholes di Vallecorsa tra storia e attualità*. Questo volume (in press.).
- MERCALLI G. (1895) - *Il nuovo lago di Leprignano*. Natura e Arte, Milano.
- MIELE P. (2010) - *Riconoscimento e censimento delle forme di sprofondamento catastrofico in ambiente carsico - area dei M.ti Au-*

- runci 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.
- MODERNI P. (1896) - *Il nuovo Lago e gli avvallamenti di suolo nei dintorni di Leprignano (Roma)*, Bollettino del R. Comitato geologico, n. 1, 1-12.
- MORI A. (1938) - *Sulla formazione di alcuni laghetti presso Cittaducale.* In: "La petrografia per tutti".
- 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. (2010a) - *Fontana Liri: i laghi-sorgente Solfatarata-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. (2008 a) - *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane.* Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**, 475 pp.
- NISIO S. (2008b) - *I Sinkholes nel Lazio.* In: NISIO, 2008a, 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. (1986) - *Sprofondamenti del terreno in località Sciamargutta presso Cotilia Terme.* Roma.
- NOLASCO F. (1996) - *La piana di San Vittorino. Contributo allo studio dei processi evolutivi, dei rischi e della prevenzione.* Bollettino Ufficiale della Regione Lazio n° 5 del 20 febbraio 1997 - Supplemento Ordinario n° 2, pp. 5-35 (in Regione Lazio, 1997).
- NOLASCO F. (1998) - *La Piana di S. Vittorino. Contributo allo studio dei processi evolutivi dei rischi e della prevenzione.* Regione Lazio-Acea.
- PANDOLFI (DON) O. (1927) - *La valle di S. Vittorino.* Diocesi di Cittaducale.
- PATRIZI G. (1967) - *Sullo stato attuale del lago Puzzo (Fiano Romano, Lazio).* In: Atti del XX Congresso Geologico Italiano, 29 marzo-3 aprile 1967, Soc. Geogr. It., 3-7, Roma.
- PERREY A. (1847-1875) - *Note sur les Tremblements de terre en ...*, Mem. Acad. Sci. Arts Belles - Lett., Dijon; Mem. Cour. Acad. Bruxelles.
- PERSI P. (1971) - *Osservazioni morfogenetiche su due laghetti carsici della Sabina meridionale.* Natura e Montagna, **18** (4), 59-63.
- PICOZZA R. (2004) - *Evoluzione nel tempo dei "Laghi del Vescovo": un esempio di sinkhole nella Pianura Pontina (Lazio sud-occidentale).* 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.
- PINTUS G. (s.d.) - *Gli Sproforni di Sermoneta.* Sermoneta, dattiloscritto.
- PONZI G. (1853) - *Sopra la grotta di Collepardo.* II sess., paragrafo Fisica Terrestre.
- PONZI G. (1856) - *Sulla eruzione solforosa avvenuta nei giorni 28, 29, 30, Ottobre sotto il paese di Leprignano, nella contrada denominata il Lagopuzzo,* Atti Pont. Acc. Naz. Lincei, 10, 71-77, Roma.
- PONZI G. (1860) - *Nuove scoperte nel territorio di Monticelli dell'Abate don Carlo Rusconi,* Atti Pont. Acc. Lincei, XIII;
- PRONY (1818) - *Des marais Pontis.* Paris 1818, p. 243.
- REGIONE LAZIO (1981) - *Carta Tecnica regionale della Regione Lazio alla scala 1:10.000,* Roma.
- REGIONE LAZIO (1994a) - *Fasc. 1314 - Parere ai sensi dell'art. 13 della Legge 2.2.74 n. 64. Comune di Pontinia. Piano Regolatore Generale.* Assessorato Ambiente., fasc. 1314, prot. 1664 del 13.06.1994. A cura di Nolasco F. Lettera dattiloscritta. Roma.
- REGIONE LAZIO (1994b) - *Fasc. 1523 - Parere ai sensi dell'art. 13 della Legge 2.2.74 n. 64. Comune di Pontinia. Piano Regolatore Generale. Modifica parere ex art. 13 legge 64/74 limitatamente alla zona industriale di Mazzocchio.* Assessorato Ambiente, prot. 3529 del 10.11.1994. A cura di Nolasco F. Lettera dattiloscritta. Roma.
- REGIONE LAZIO (1996a) - *Fasc. 1706 - Parere ai sensi dell'art. 13 della Legge 2.2.74 n. 64. Comune di Pontinia. Piano Regolatore Generale.* Assessorato U.T.V.R.A., prot. 1586 del 12.04.1996. A cura di: F. NOLASCO & G. HERMANIN, Lettera dattiloscritta, Roma.
- REGIONE LAZIO (1996b) - *Fasc. 1706 - Parere ai sensi dell'art. 13 della Legge 2.2.74 n. 64. Comune di Pontinia. Piano Regolatore Generale. Prescrizioni tecniche e normative per l'escavazione dei pozzi.* Assessorato U.T.V.R.A., prot. 6099 del 26.09.1996. A cura di: F. NOLASCO & G. HERMANIN, Lettera dattiloscritta. Roma.
- REGIONE LAZIO (1997) - *Deliberazione della Giunta Regionale 12 novembre 1996, n. 8989 "Legge 2 febbraio 1974, n. 64. In-*

- dividuaione 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, pp. 2-3.
- REGIONE LAZIO (1999) – *Deliberazione Giunta Regionale 18/5/1999, n. 2649 “Linee guida e documentazione per l’indagine geologica e vegetazionale. Estensione dell’applicabilità della legge 2 febbraio 1974, n. 64”*, Suppl. Ord. n. 5 B.U.R. Lazio N°26.
- REGIONE LAZIO (1999-2000) – *Foto aeree a colori della Regione Lazio*. Roma.
- REGIONE LAZIO (2002-2003) – *Foto aeree a colori della Regione Lazio*, Roma.
- REGIONE LAZIO (2002) – *Deliberazione Giunta Regionale 2/8/2002, n. 1159 “Integrazione alla deliberazione n. 2649 del 18/5/1999- Linee guida e documentazione per l’indagine geologica e vegetazionale. Normativa tecnica per le indagini da effettuare nelle zone indiziate di rischio sinkhole”*. B.U.R. Lazio N° 30, parte I, 18-25, Roma.
- RICCARDI M. (1951) – *Nuove ricerche sulla Piana di S. Vittorino*. Boll. Soc. Geogr. It., IV, Fasc. V.
- RICCARDI R. (1925) - *Doline alluvionali nella Piana di Rieti*. La Geografia, 13 (4-6), 229-234.
- SEGRE A.G. (1948) - *I fenomeni carsici e la Speleologia del Lazio*. Pubbl. Ist. Geogr. Univer. Roma, s. A, 7.
- SEGRE A.G. (s.d.) - *Le cognizioni speleologiche sull’appennino latino-abruzzese nella storia degli studi naturalistici*. 7-17.
- TENORE G. (1872) – *Sulle azioni chimiche e meccaniche dell’acqua come cagioni attuali modificatrici nella Valle del Velino nel secondo Abruzzo Ulteriore (Piana di San Vittorino)*.
- TUCCIMEI G. A. (1886) - *Sopra le cavità naturali dei Monti Sabini*. Atti Acc. Pont. Nuovi Lincei, 40, s. 1°.