

I sinkholes in Pianura Padana

The sinkholes in the Padana Plain

BIANCHI E. (*), CASTELLARIN A. (**),
RODORIGO S. (*), VICO G. (*)

1. - INTRODUZIONE

In Pianura Padana sono stati segnalati, nell'ultimo ventennio, alcuni fenomeni di sprofondamento che hanno interessato le alluvioni della valle del Po e le coperture più superficiali. Tali fenomeni appaiono sostanzialmente diversi da quelli presenti in altre regioni italiane per dimensioni e profondità (diametri di qualche metro profondità comprese tra i due e i tre metri). Nella letteratura sull'argomento la presenza di tali voragini, definiti *scavernamenti*, viene ricondotta a cause quali la neotettonica (PELLEGRINI & VEZZANI, 1978; VETTORE *et alii*, 2004), il degassamento naturale (BONORI *et alii*, 2000), la suffosione superficiale nonché il *piping* operato dall'incisione fluviale (VETTORE *et alii*, 2004). Il fenomeno sembra molto diffuso e frequente nell'intera pianura con particolare diffusione nelle provincie di Modena e Bologna (Sala Bolognese, VETTORE *et alii*, 2004); ne viene pertanto riportata di seguito una breve trattazione.

2. - LE PROVINCE DI MODENA E BOLOGNA

Nell'area che comprende la bassa pianura tra le provincie di Modena e Bologna sono conosciuti e segnalati da tempo fenomeni di "scavernamento", dovuti a sprofondamenti di piccole dimensioni che, recentemente, sono stati messi in relazione con fenomeni di compattazione differenziale degli strati di torba presente ad alcune decine di metri di profondità (CASTELLARIN *et alii*, 2006).

2.1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICO

La bassa pianura delle provincie di Modena e Bologna ricade nel settore centrale della regione Emilia Romagna, il cui territorio comprende il settore esterno della catena appenninica settentrionale, costituitosi nel Miocene superiore-Pliocene, e parte della pianura padana, interessata da deformazioni sepolte, relative principalmente all'intervallo Pliocene superiore-Quaternario (fig. 1).

Fino alla fine degli anni '70 si riteneva che il fronte della catena appenninica corrispondesse al limite morfologico delineato dal margine tra catena attuale e la pianura. Le ricerche dell'AGIP finalizzate alla ricerca degli idrocarburi, hanno rivoluzionato le conoscenze relative all'assetto strutturale dell'intera pianura e dei suoi rapporti con l'Appennino retrostante. Attraverso l'acquisizione di sezioni sismiche calibrate da pozzi profondi (estese a tutto il territorio padano-adriatico) è stata documentata e individuata con precisione l'esistenza di un sistema di embricazione sepolto che si estende fino ad oltre 40 km a nord del margine pede-appenninico (PIERI & GROPPi, 1981, BIGI *et alii*, 1992). Nel settore emiliano, il fronte della catena appenninica (fig. 1) è individuabile negli archi più esterni delle Pieghe sepolte Emiliane e Ferraresi. Ingenti spessori di sedimenti pleistocenici e olocenici ad assetto tabulare sigillano il sistema strutturale sottostante.

Dal Miocene superiore in poi, per effetto degli elevati tassi di subsidenza (con forte gradiente verso

(*) Independent Resources plc.

(**) Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna, Italia.

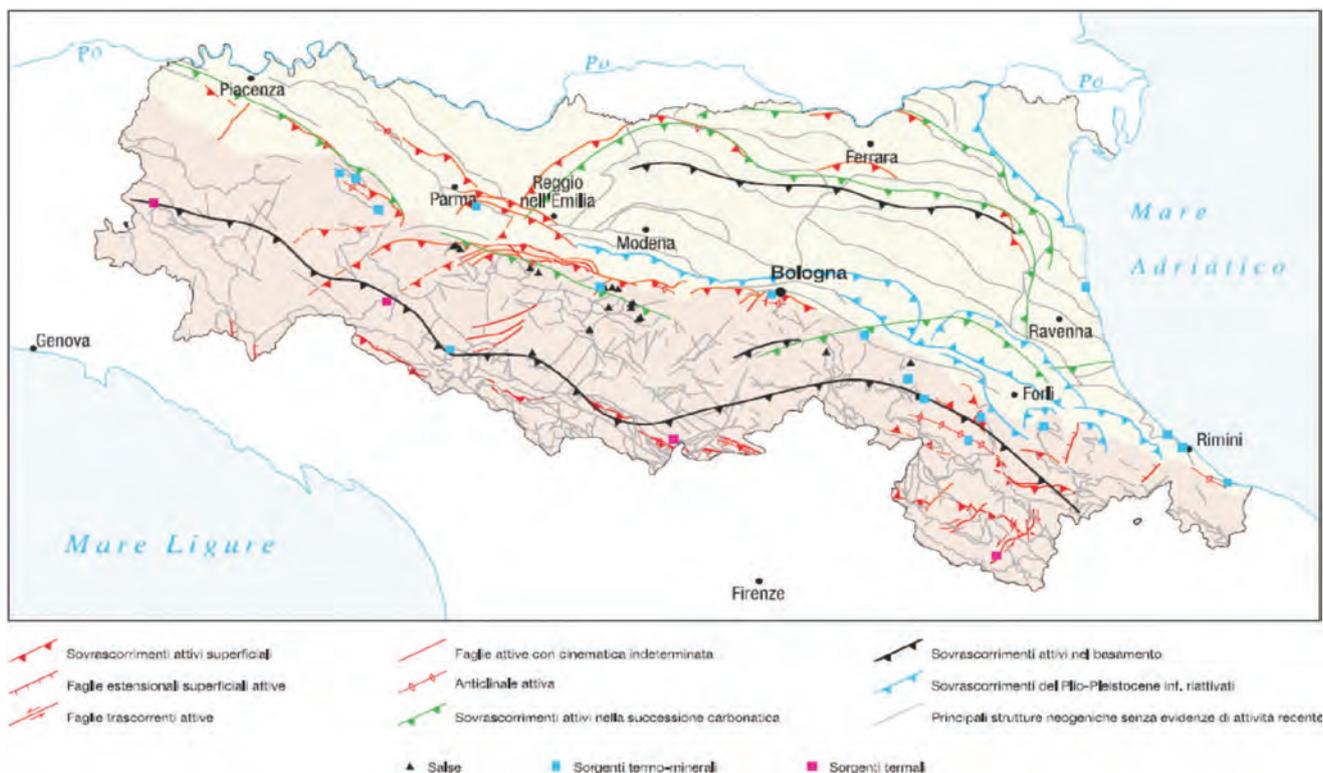


Fig. 1 - Aspetto strutturale della regione Emilia Romagna.
- Emilia Romagna structural sketch map.

sud), il Bacino Padano viene interpretato come avansfossa dell'Appennino settentrionale. Tale avansfossa trarrebbe origine più che dal carico degli accumuli tettonici sul retro, dal sottoscorrimento per subduzione della litosfera padano-adriatica sotto l'orogene appenninico come proposto, anche in base ai dati di tomografia sismica, ad es. da CASTELLARIN *et alii*, 1994. L'indietreggiamento verso nord della placca in subduzione nel Pliocene (*hinge roll back*) è in grado di spiegare: 1) la propagazione dell'avansfossa verso nord fino al bordo sudalpino attuale (ad esempio Pliocene marino del Colle di S. Bartolomeo di Salò, del bordo meridionale della bassa Val Seriana); 2) la presenza ed avanzamento verso nord-est della tettonica estensionale tirrenica (Graben della Toscana fino alla zona del Mugello a ridosso del crinale appenninico); 3) la presenza della base del Pliocene a 8 km di profondità al margine meridionale della pianura Padana (alla confluenza degli "archi delle pieghe" sepolte). Tali assetti risultano molto ben evidenziati nello *Structural Model of Italy* (BIGI *et alii*, 1992).

L'arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole può essere suddiviso in tre settori: le Pieghe Ferraresi, le pieghe Romagnole (si estendono alla zona emersa della catena) ed, infine, le Pieghe Adriatiche, situate tra le Pieghe Romagnole e la "monoclinale Adriatica" (DONDI *et alii*, 1982). Le

Pieghe Ferraresi sono costituite dalle strutture più complesse presenti in quest'area, e sono separate da un sistema di faglie inverse e sovrascorrimenti dalla monoclinale pedealpina.

Le aree frontali appenniniche dal settore del versante adriatico della catena fino alla zona sepolta padano-adriatica sono caratterizzate da una vivace attività sismica di bassa e media intensità (GUIDOBONI & COMASTRI, 2005; PONDRELLI *et alii* 2002, BOCCALETTI *et alii*, 2004, BURRATO *et alii*, 2003; VALENSISE & PANTOSTI, 2001; SELVAGGI *et alii*, 2001; MONTONE *et alii*, 2004; MONTONE & MARIUCCI, 1999). In base ai dati delle sezioni sismiche calibrate e alle ricostruzioni strutturali del sottosuolo padano si può ritenere che gli accrescimenti strutturali al fronte dei sovrascorrimenti e, in fuori sequenza, al margine affiorante della catena attuale, siano cessati con il Pleistocene (CASTELLARIN *et alii*, 1985; CASTELLARIN 2001; BERTOTTI *et alii*, 1997). Infatti, le sezioni sismiche riprocessate (PIERI, 1983) e ad alta risoluzione (inedite) indicano che il sistema strutturale è in pausa di accrescimento almeno dal Pleistocene superiore. Ciò non esclude una possibile ripresa futura di questa attività e, inoltre, si prende atto della attività residua attuale. Ci si riferisce agli eventi di rilascio degli *stress* accumulati che possono spiegare l'attività sismica recente e

attuale, caratterizzata da profondità ipocentrica relativamente elevata (20-25 km).

Per quanto riguarda le evidenze superficiali riferibili a fenomeni di neotettonica, sono state rilevate faglie o zone di disgiunzione o frattura nelle coperture sovrastanti le anticlinali sepolte di Mirandola e della Dorsale Ferrarese. Possibili faglie, nella zona di Mirandola, Canalazzo di Finale e Concordia sono state individuate tramite l'analisi e la correlazione stratigrafica di pozzi per acqua (GASPERI & PELLEGRINI, 1968; PELLEGRINI & VEZZANI, 1978; CASTALDINI *et alii*, 1979).

Queste dislocazioni vanno ad interessare la copertura olocenica, come documentano i rigetti bassi o addirittura nulli di queste strutture che presentano estensione e profondità limitate. BONORI *et alii*, (2000) hanno interpretato alcune di queste strutture, al di sopra della dorsale Ferrarese sepolta, come l'evidenza di migrazione di fluidi verso l'alto, da zone molto superficiali. La faglia di Canalazzo, infatti, può essere interpretata come un allineamento di "scavernamenti" superficiali, dovuti alla compattazione e al costipamento della torba, presente a profondità comprese fra 30 e 90 metri.

Il sottosuolo dell'area di pianura è costituito da alluvioni del Pleistocene sup. e Olocene. Depositi di transizione (sabbie e ghiaie di ambiente litorale, peliti sabbiose e ghiaie deltizie) caratterizzano il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale. Nella parte superiore della successione è stata osservata una alternanza di depositi marini e di accumuli continentali che possono essersi sviluppati durante le fasi di ritiro delle acque dell'antico golfo padano realizzatosi sotto il controllo degli eventi cataglaciali-anaglaciali e della tettonica verticale (sollevamento della catena e subsidenza nella pianura).

La piana alluvionale emiliana è delimitata a nord dal Fiume Po, ed è caratterizzata da depositi a granulometria fine, limi e argille, e cordoni sabbiosi disposti parallelamente ai corsi d'acqua (dossi fluviali); in prossimità del Fiume Po le alluvioni si presentano a granulometria grossolana, essendo dovute agli apporti prevalenti del fiume stesso. La pianura viene distinta in tre fasce dal punto di vista altimetrico: l'alta pianura compresa tra i 100 ed i 30 m s.l.m., la media pianura compresa tra i 30 ed i 20 m s.l.m. e la bassa pianura.

2.2. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nel sottosuolo della pianura e sul margine appenninico padano sono state riconosciute tre unità idrogeologiche, separate da barriere di permeabilità di estensione regionale, denominate Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano

campagna (DI DIO, 1998).

L'unità idrogeologica A è costituita da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale, organizzati in strati lenticolari di spessore molto variabile, da alcune decine di centimetri a svariati metri, in genere costituiti da un letto di conglomerati eterometrici ed eterogenei, con matrice sabbiosa, talora disorganizzati, talora embriicati, generalmente poco cementati, e da un tetto sabbioso-limoso. La base degli strati è di tipo erosivo. Sono presenti paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto con le unità idrogeologiche sottostanti B e C e le unità affioranti lungo il margine appenninico padano è frequentemente discordante. L'età del Gruppo Acquifero A, attualmente sfruttato in modo intensivo, è Pleistocene medio-Olocene.

L'unità idrogeologica B, è costituita da prevalenti argille limose di pianura alluvionale con intercalati livelli discontinui di ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei e sabbie; sono presenti alcuni paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto sulle unità affioranti lungo il margine appenninico padano è frequentemente discordante. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pleistocene medio; il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente.

L'unità idrogeologica C è formata da depositi di delta-conoide e marino-marginali costituiti da sabbie e areniti, generalmente poco cementate o con cementazione disomogenea, ben selezionate con granulometria media e fine, talora grossolana, in genere ben stratificate e con evidente laminazione incrociata. Spesso sono massive e ricche in bioclasti, con frequenti intercalazioni, da sottili a molto spesse, di conglomerati eterogenei ed eterometrici e di peliti. Lo spessore dell'unità in affioramento raramente è maggiore di cento metri. Il contatto con le unità affioranti lungo il margine appenninico padano è generalmente netto, di tipo erosivo ed in discordanza angolare. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pliocene Inferiore - Pleistocene Medio. Il Gruppo acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

A fare da *aquitardo basale* alle sovrastanti unità idrogeologiche è un insieme di unità complessivamente impermeabili che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul margine appenninico padano, costituiscono il limite della circolazione idrica-sotterranea.

Si segnala la presenza nella zona esaminata, dell'acquifero A₂, sedimentato circa 125.000-200.000 anni fa, ricco di materiale morbido, carat-

terizzato da ambiente riducente e presenza di metano disciolto, che si trova a profondità comprese tra 30 e 80 metri dal piano campagna.

2.3. - GLI “SCAVERNAMENTI” SUPERFICIALI E I FENOMENI AD ESSI CORRELATI

Le morfologia degli “scavernamenti” è essenzialmente di due tipi (MARTELLI, 2002):

1) cavità dell'ordine di qualche metro e profondità generalmente inferiore a 2 m, a geometria variabile. Talvolta il collasso del materiale di margine all'interno dello sprofondamento modifica la forma iniziale.

2) cavità strette (15-50 cm) a forma di conca a sezione da sub-circolare ad ellittica. In quest'ultimo caso, generalmente l'asse maggiore può superare 2 m di lunghezza con un tratto iniziale rappresentato da una tipica fessura a cunicolo.

Gli “scavernamenti” superficiali sono stati rilevati prevalentemente nei terreni agricoli incolti o adibiti a frutteto, mentre risultano rari nei terreni soggetti a coltivazioni stagionali, in quanto questi ultimi subiscono una aratura periodica e quindi la porzione superficiale del suolo, rimaneggiata, ne maschera la presenza.

Tali fenomeni in alcuni casi possono manifestarsi al passaggio di un mezzo agricolo o di un animale o ancora di una persona (fig. 2). La disposizione in pianta degli “scavernamenti” è per lo più irregolare: le buche, dove numerose, si presentano in gruppi sparsi su una superficie di alcuni ettari, con rari allineamenti di qualche decina di metri, ma più spesso in ordine casuale.

In molti casi, le cavità superficiali che si formano si presentano a imbuto rovesciato o come reticolati di fessure.

In passato sono stati eseguiti tentativi di riempimento delle cavità con terra e sassi da parte dei proprietari o conduttori dei terreni agricoli, ma il fenomeno



Fig. 2 - Apertura improvvisa di uno scavernamento.
- Sudden opening of a little sinkhole.

meno si è ripetuto in tempi generalmente brevi.

La formazione delle voragini è stata accompagnata in alcuni casi dalla fuoriuscita di odore maleodorante, probabilmente per effetto di risalita in superficie di gas e di acque a volte salmastre dal colore tendente al rosso e/o al giallo. Inoltre, secondo testimonianze orali degli agricoltori locali, la formazione degli “scavernamenti” è occasionalmente preceduta o accompagnata da sordi rumori non dovuti ad attività antropica, ma interpretabili come l'espressione acustica superficiale di crolli e assestamento di materiale nel sottosuolo. Infine, analogamente a quanto recentemente descritto per queste aree ed altre adiacenti (CASTELLARIN *et alii*, 2006), la caratteristica costante degli “scavernamenti” in questione, è rappresentata dall'assenza totale di trasporto solido “emesso” dalle cavità (tipico invece dei vulcani di fango). Questo esclude categoricamente ogni similitudine con il fenomeno delle “salse” della fascia appenninica a ridosso del margine, caratterizzate dall'emissione, in alcuni casi esplosiva, di notevoli quantità di fango.

2.3.1. - Le possibili cause

In base agli studi recenti si ritiene che gli scavernamenti siano la conseguenza del processo di compattazione di sedimenti ricchi di sostanza organica, soprattutto vegetale e di torba (CASTELLARIN *et alii*, 2006).

La torba è un materiale di colore scuro, nerastro, proveniente dalla parziale decomposizione di vegetali cresciuti in aree paludose o ai margini di bacini lacustri, costituita da accumuli di resti vegetali (tronchi, foglie, muschio e sfagno) più o meno decomposti in ambiente acido e anossico ma con struttura spesso ancora riconoscibile, poco costipati e contenenti percentuali d'acqua elevate, fino al 95%. In caso di perdita d'acqua per compattazione o per pompaggio ad opera di pozzi, la torba può subire una forte riduzione di volume, rispetto al volume iniziale.

Livelli di torba sono presenti nel sottosuolo dell'area in esame. Tali livelli sono stati infatti registrati a profondità superiori ad alcune decine di metri nelle stratigrafie dei pozzi *San Felice sul Panaro 1*, *Dogaro 2*, *Rivara 1*, *Rivara 2* e *Camurana 2*, perforati per ricerche di idrocarburi diversi decenni or sono. Uno strato pressochè continuo di torba è stato anche segnalato a profondità di circa 20 metri lungo il tratto parmense del tracciato della linea ferroviaria “Alta Velocità”.

La torba, durante la sua evoluzione geologica, sviluppa per processi biologici notevoli quantità di gas metano, che spiegherebbe anche le risalite di gas verso la superficie segnalate in relazione agli “scavernamenti”.

Recenti analisi inedite da parte di società interessate allo studio del fenomeno indicano che il gas presente nell'acquifero torboso è caratterizzato isotopicamente da valori di Delta ^{13}C di -72 per mille rispetto allo standard PDB, confermando la natura biogenica del metano stesso (MATTAVELLI *et alii*, 1983, MATTAVELLI & NOVELLI, 1988).

Il consolidamento dei livelli di torba, sovente molto eterogenei in orizzontale, discontinui e disomogenei, avviene per effetto anche di carichi piuttosto limitati. La compattazione della torba e dei sedimenti ricchi di materia organica determina la formazione di vuoti e di camere vuote che tendono ad aumentare le proprie dimensioni mano a mano che si intensifica la riduzione di volume dell'intervallo organico sottostante. La perdita di volume realizzata per consolidamento di sedimenti organici e di torbe non si trasmette in superficie nel caso che il livello superficiale del terreno si scolli rispetto la zona sottostante sottoposta a riduzione di volume. Il terreno superficiale scollato costituisce una sorta di "ponte" che collega le zone adiacenti la cavità, che si indebolisce gradualmente mano a mano che la camera si allarga anche ad opera dei crolli dai bordi e dal tetto della stessa fino al collasso del terreno superficiale cioè alla comparsa degli "scavernamenti".

La causa dei fenomeni di consolidamento è da ricercare nelle variazioni dello stato tensionale nel sottosuolo, legate alle oscillazioni del livello della falda sotterranea. La Provincia di Bologna (2004) afferma che il tasso di subsidenza in molte delle aree censite arriva a toccare i 6/7 cm/anno, ben oltre i valori medi dovuti alla sola compattazione di sedimenti (1 mm/anno). Ciò potrebbe essere connesso, sempre secondo la Provincia di Bologna, ad una generale errata gestione delle risorse idriche sotterranee per l'approvvigionamento idrico ad uso civile, agricolo ed industriale. Si possono segnalare a questo proposito i pozzi abusivi destinati all'approvvigionamento di gas naturale a bassa pressione in casolari isolati nella campagna, molto diffusi nell'immediato dopoguerra fino agli anni sessanta del secolo scorso. La raccolta del gas metano avveniva facendo passare l'acqua estratta in un apparato a forma di campana, dove il metano in soluzione formava delle bolle che venivano captate e concentrate. La pratica dell'estrazione dell'acqua metanata avveniva sia nell'area del Polesine da falde sabbiose senza torba, causando una subsidenza generalizzata, sia nel modenese e nel bolognese da falde torbose, causando gli "scavernamenti".

La verifica della presenza dei pozzi di acqua metanata nella zona degli "scavernamenti" è tutt'oggi ostacolata dalla difficoltà di reperire notizie

precise, anche a decenni di distanza dalla fine della captazione illegale del metano, anche se per esempio è localmente nota la presenza nella zona a sud di Finale Emilia fino agli anni '60 del secolo scorso di un pozzaiolo che era specializzato nella perforazione di pozzi per metano da acqua metanata di falde a qualche decina di metri di profondità.

Con tutta probabilità, l'ipotesi sull'origine degli "scavernamenti" per compattazione della torba non ha avuto finora occasione di essere provata poiché nei luoghi dove si sono verificati tali fenomeni sono stati eseguiti sondaggi geognostici che non hanno mai superato i 50 m di profondità, quindi nella formulazione delle possibili cause non si è tenuto conto dei dati stratigrafici dei pozzi profondi citati in questo lavoro, i quali sono stati resi pubblici solo di recente (<http://www.neogeo.unisi.it/assomin/>).

In figura 3 viene riportato uno schema dell'assetto stratigrafico e idrogeologico del sottosuolo predisponente il verificarsi dei fenomeni di scavernamento.

Per quanto riguarda possibili relazioni con il verificarsi di eventi sismici, in occasione di alcuni terremoti è stata osservata la formazione di scavernamenti, in accordo con il fatto che le onde sismiche favoriscono la compattazione dei livelli di torba o altri sedimenti facilmente compattabili causando l'espulsione dei fluidi. Ciò è stato riscontrato ad esempio, in occasione del terremoto del maggio 1987, che provocò la formazione di scavernamenti in località Cantarane a nord della frazione di Rivara, comune di San Felice sul Panaro, Modena. In tale zona, oggi è accertata la presenza di torba a debole profondità.

2.3.2. - *A proposito dei gas idrati*

Un processo che può determinare significative perdite di volume è quello della scomposizione dei clatrati in metano e acqua dolce. Condizioni di questo tipo non possono essere invocate per le condizioni climatiche attuali come indica il diagramma di stato solido-fluido per i gas idrati (CASTELLARIN *et alii*, 2006). Per poter individuare condizioni favorevoli allo stato solido dei gas idrati (clatrati) occorre risalire alle condizioni climatiche anaglaciali del Pleistocene (tra 1.000.000.e 650.000 anni fa) che controllarono l'origine della successione di sabbie marine del Litosoma Clioniforme padano (CASTELLARIN *et alii*, 2006).

I clatrati di metano si sarebbero sciolti alla fine della condizioni climatiche favorevoli alla loro formazione, prima della deposizione degli strati più superficiali della pianura, escludendo quindi che l'origine degli "scavernamenti" qui presi in considerazione sia da ricondurre diretta-

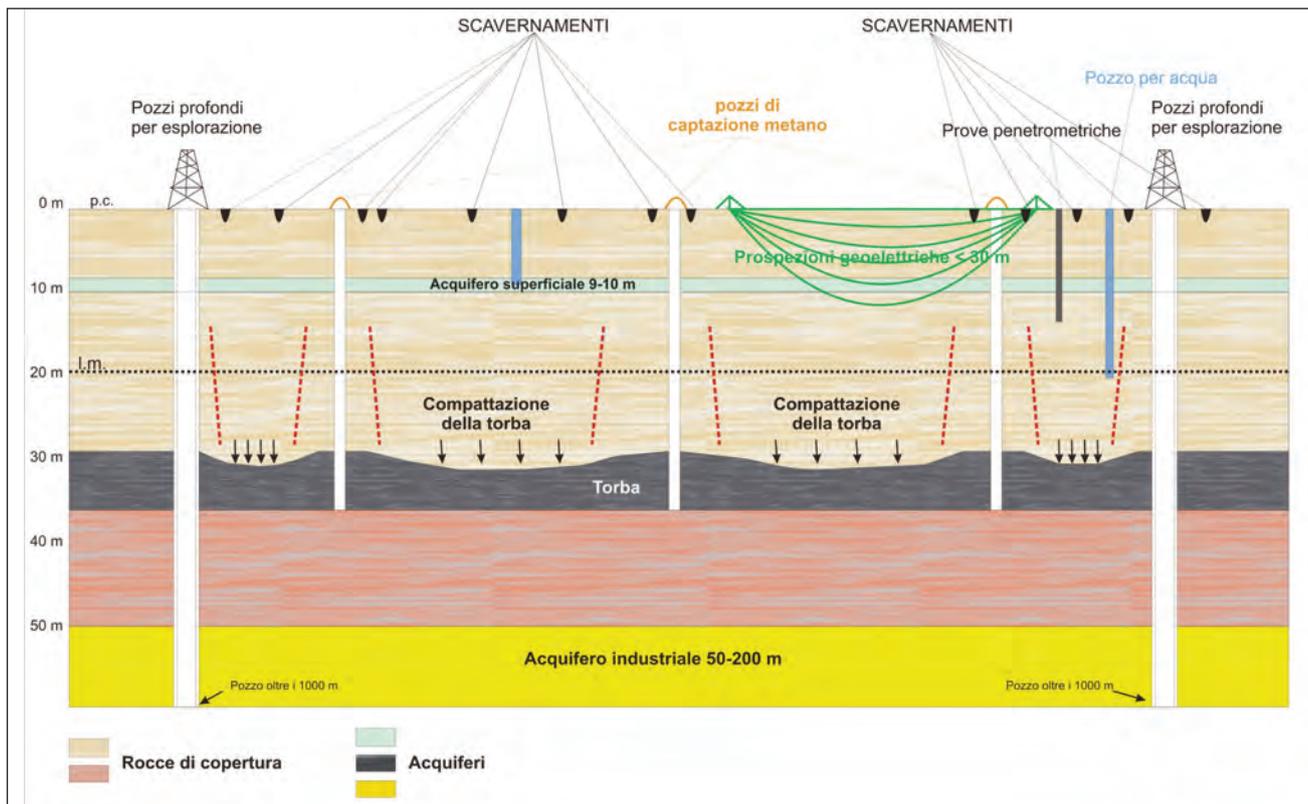


Fig. 3 - Ipotesi di modello di formazione degli scavernamenti nell'area in esame.
 - Hypothesis about the formation of the sinkholes in the area of this study.

mente al recente scioglimento di idrati di metano ipoteticamente preservati a profondità di svariate centinaia di metri.

2.4. - AREE INTERESSATE DA FENOMENI DI SCAVERNAMENTO NELLE PROVINCE DI MODENA E BOLOGNA

Nelle province di Bologna e Modena, vengono segnalati fenomeni di scavernamento nei territori di numerosi comuni (figg. 4, 5).

2.4.1. - Provincia di Bologna.

A Crespellano, è noto uno sprofondamento sul letto del fossato che corre sul fianco est di via Cassoletta. Presente fin dagli anni 70, si comporta, come una sorta di "inghiottitoio" per l'acqua transitante all'interno della "scolina" stessa (MARTELLI, 2002).

A Crevalcore, in località Palata Pepoli, i fenomeni sono molto diffusi.

Presso via Casoni, su un'area condotta a frutteto, sono presenti cavità dell'ordine di qualche metro (fig. 6), oltre a numerose occorrenze di minore entità (le geometrie delle sezioni sono variabili, da sub-circolari ad allungate a informi). Numerosi cedimenti sono presenti sui margini

delle scoline e dal fondo delle stesse originano cunicoli che si spingono a profondità di 1.5- 2 metri circa; a nulla sono valsi, i tentativi di riempimento. Da segnalare lo sprofondamento di alcuni alberi da frutto posti sullo stesso filare e tra loro consecutivi. Dalle informazioni raccolte si apprende che il problema, anche se in forma molto lieve, è sempre stato presente, ma a partire dal Settembre 1999, in seguito a violente precipitazioni, si è notevolmente accentuato ed è tuttora in evoluzione (MARTELLI, 2002).

Ancora in località Palata Pepoli, via Casoni, sono presenti altri due cedimenti del piano di campagna, il primo a geometria sub-circolare, di 1.5 m di diametro circa, e l'altro come una sorta di ampia crepacciatura di 3,5 m di lunghezza. I contorni sono assai poco delineati e la profondità si aggira, per entrambi, attorno a 1,5-2 m circa (MARTELLI, 2002).

FEBO (1999) segnala che a qualche centinaio di metri a Est del sito (area C di FEBO) da uno dei buchi si è avuta testimonianza della fuoriuscita di una nube di gas azzurrognolo per l'ampiezza di circa 2 filari di albero da frutto in data 19 Febbraio 1997. Dato il periodo invernale, il gas potrebbe aver contenuto umidità che si sarebbe condensata al contatto con l'aria fredda. Questa zona è stata interessata da sprofondamenti di inte-

re porzioni di filari di albero da frutto (fig. 7).

In via Melloni, sono segnalati moti subsidenti che, dalle informazioni raccolte, risultano manifestarsi in maniera eclatante a partire dal 1986, anno in cui si è verificato il cedimento strutturale di una porzione di un capannone sito in luogo (cedimento di 8.5 cm della colonna di nord-ovest), nonché di una porzione dell'adiacente piano stradale di via Melloni (MARTELLI, 2002).

FEBO (1999) segnala che nelle vicinanze di questo sito (area E di FEBO) una fascia di deformazione della carreggiata stradale di circa 20 m verificatasi negli anni '95-'96.

In via Provanone, sono presenti manifestazioni di entità e distribuzione variabili, su tutta la tenuta condotta interamente a frutteto: le più eclatanti e numerose (1-1.5 m di diametro di larghezza e 1 m di profondità circa) sono localizzate in un'area spostata verso il Panaro. Le cavità formatesi in seguito agli sprofondamenti del piano campagna, vengono colmate con terra ma, periodicamente, tornano a formarsi e la pioggia, come in altri casi, tende a velocizzare il corso degli eventi (MARTELLI, 2002).

Nel comune di Galliera, sono segnalati spro-

fondamenti all'interno di un frutteto a ridosso dell'argine destro del Reno, di forma subcircolare, diametro variabile dai 15 ai 40 cm, e profondità comprese tra 0,5 e 2 m circa (MARTELLI, 2002).

Nel comune di Sala Bolognese, sono segnalati in località Padulle numerosi scavernamenti di dimensioni ridotte, generalmente del diametro-lunghezza di 0,5 m e profondità massima di 1,5 m (MARTELLI, 2002).

Nel comune di Camposanto, Modena, viene segnalata la comparsa nel settembre 1999 di una cavità, di larghezza-diametro di 1,5 m e profonda 1-1,2 m circa, e in un appezzamento adiacente condotto a frutteto, alcuni sprofondamenti, del diametro di 40 cm circa che, nonostante i periodici riempimenti con terra, continuano a riaprirsi, soprattutto in occasione di forti piogge (MARTELLI, 2002). Altro sprofondamento localizzato sul fondo di una scolina viene segnalato in località Ghironda (MARTELLI, 2002).

Nel comune di Finale Emilia, a sud ovest del polo industriale dei piastrellifici, vengono segnalati cedimenti in aree poste in sinistra del F. Panaro (zona F) da FEBO (1999). All'epoca dell'ultimo conflitto mondiale erano qui conosciuti degli sca-

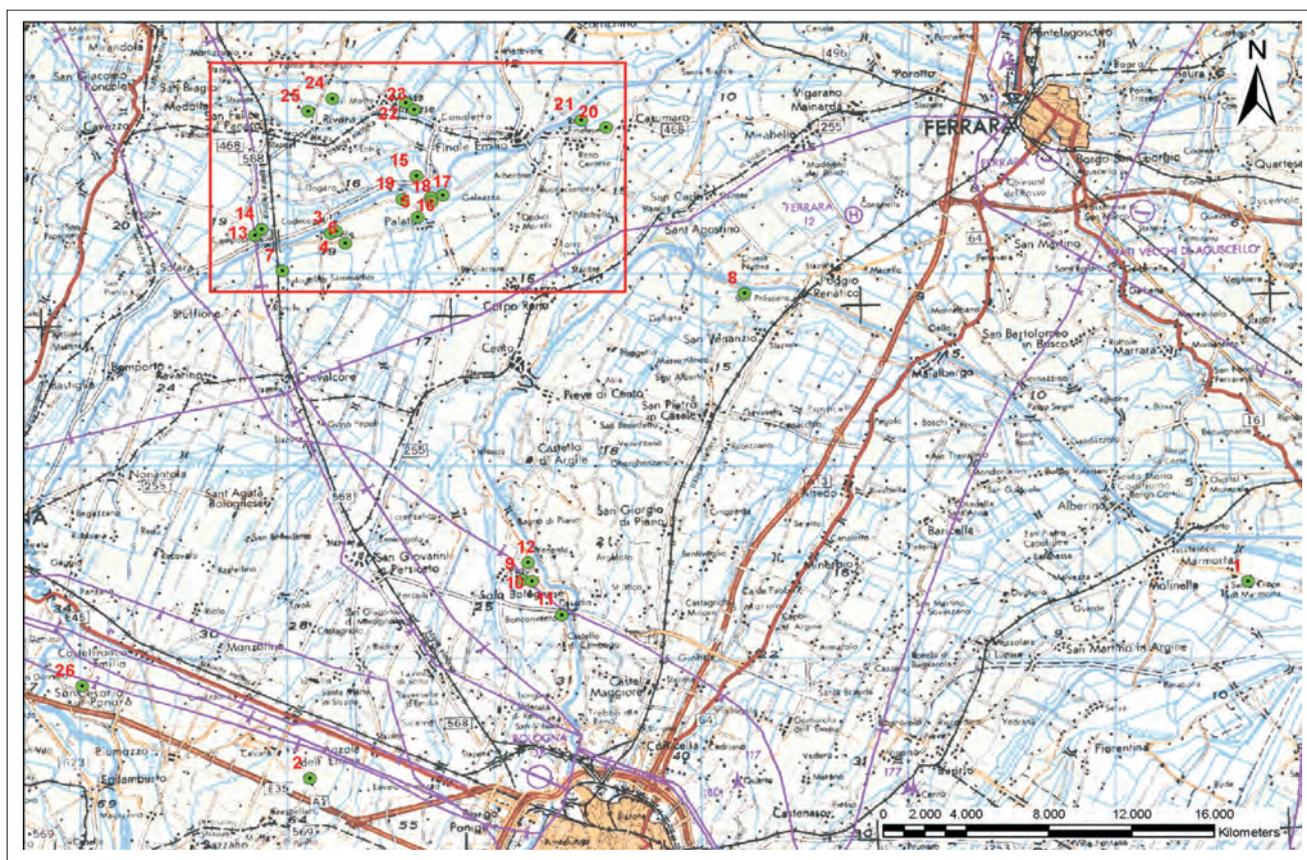


Fig. 4 - Localizzazione di diversi sinkholes in alcune aree della provincia di Modena e Bologna.
- Location of several sinkholes in some areas in Bologna and Modena provinces.

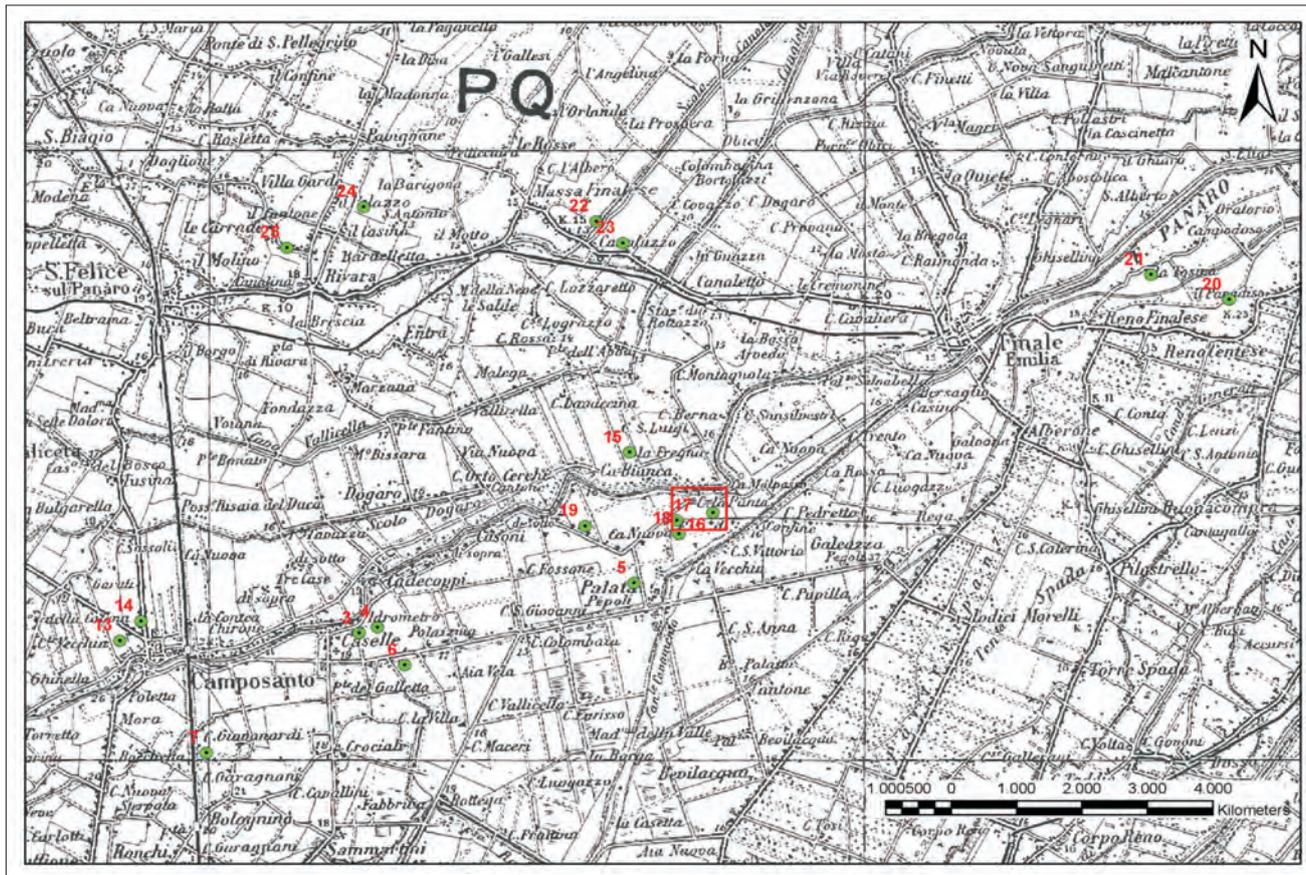


Fig. 5 - Localizzazione di diversi sinkholes in alcune aree nei comuni di S. Felice Sul Panaro, Camposanto, Finale Emilia.
 - Location of several sinkholes in some areas within the S. Felice Sul Panaro, Camposanto, Finale Emilia communes.



Fig. 6 - Piccolo scavramento presso via Casoni, in località Palata Pepoli a Crevalcore (BO).
 - Little sinkhole near via Casoni, Palata Pepoli, Crevalcore (BO).

vernamenti in grado di assorbire la portata delle scoline di irrigazione e di ripascere un vicino macero (lunga vasca in terra per la macerazione della canapa). Si tratta della zona del sinkhole descritto alla scheda n. 407 dell’inventario alla pagina web: www.sinkholes.it.

In via Selvabella, sono presenti sprofondamenti di cospicue dimensioni (da 1 a 3,5 m di diame-



Fig. 7 - Sprofondamenti di intere porzioni di filari di albero da frutto presso Palata Pepoli (Crevalcore-BO).
 - Sinkholes along rows of fruit tree near Palata Pepoli (Crevalcore-BO).

tro-larghezza e profondità scarsamente definibili) distribuiti all'interno di un frutteto, colmati periodicamente, che tendono nel tempo a riaprirsi, soprattutto dopo forti piogge (MARTELLI, 2002).

Un altro appezzamento ubicato nelle vicinanze, a sua volta interessato da sprofondamenti (fig. 8), è stato investigato con sondaggi geognostici che non raggiungono lo strato ricco di torba e con rilievi penetrometrici, rilievi geoelettrici, sismica a riflessione e rilievi radar (BONORI *et alii*, 2000; FEBO, 1999), la cui penetrazione sembra troppo scarsa per poter discriminare o riconoscere lo strato di torba. Sono stati anche monitorati in dettaglio i pozzi per acqua della zona, in relazione sia a chimismo che a livello freatico.

In località Cà Bianca, è presente una serie di cavità, del diametro di 1 m circa e profonde dai 2 ai 2,5 m, disposte, approssimativamente, su un allineamento trasverso alla direzione dei filari. Le cavità che vengono colmate continuano ad aprirsi e, in più, si è avuta la comparsa recente di altre 2-3 unità. In corrispondenza di una vicina rampa di accesso all'argine destro del Panaro, sono da segnalare alcune cavità di modesta sezione, profonde circa 1 metro (MARTELLI, 2002).

Si segnalano, infine le località Reno Finalese, Massa Finalese, "Pereto del Prete", conosciuta per



Fig. 8 - Scavernamenti investigati attraverso sondaggi geognostici nelle vicinanze di via Selvabella, Finale Emilia (MO).
- Sinkholes studied by geognostic surveys near via Selvabella, Finale Emilia (MO).



a



b



c

Fig. 9 - a), b), c): scavernamenti a carattere lineare in occasione del terremoto del 8-9 Maggio 1987, San Felice sul Panaro (MO).

- a), b), c): Linear sinkholes during the 8-9 May 1987 earthquake, San Felice sul Panaro (MO).

tali fenomeni sin dall'800, e, nel comune di San Felice sul Panaro, località Rivara, dove è stata segnalata l'apertura in campo aperto di alcuni "scavernamenti" a carattere lineare in occasione del terremoto del 8-9 Maggio 1987 (fig. 9a, b, c).

2.5. - ANALISI E CONSIDERAZIONI

In base ai dati raccolti e alle descrizioni dei fenomeni, l'origine degli "scavernamenti" va ricercata in sottrazioni di massa in zone poco profonde della successione stratigrafica. Il fenomeno è strettamente legato alla distribuzione della torba o/e sedimenti facilmente compattabili, presenti nelle prime decine di metri sotto il piano campagna. In molti casi il fenomeno è amplificato dall'eccessivo pompaggio dell'acqua metanifera presente nella torba stessa.

Questo indica nella compattazione della torba a debole profondità (alcune decine di metri) la causa principale degli "scavernamenti" osservati.