

L'utilizzo delle tecniche GIS per la valutazione della suscettibilità a sprofondamenti: il caso di studio di Altamura (BA)

Using GIS techniques to assess the sinkhole susceptibility: the case study of Altamura (Bari province, Southern Italy)

PEPE P. (*), GARZIANO G. (*), PARISE M. (**)

RIASSUNTO - La città di Altamura, nell'altipiano carsico delle Murge in Puglia, è stata interessata a partire dal 2006 da numerosi eventi di sprofondamento connessi alla presenza di cave sotterranee in calcarenite, la roccia locale maggiormente utilizzata come materiale da costruzione. Essendo la calcarenite generalmente posta al di sotto di una copertura di argille, di spessore variabile da pochi metri a un massimo di 15 m, le cave vennero realizzate in sotterraneo, e sono attualmente all'origine di vari problemi di instabilità nell'area. Questo a causa dell'abbandono delle cave e dei progressivi fenomeni di alterazione che hanno interessato l'ammasso roccioso, portando nel tempo allo sviluppo di rotture da volte e pareti degli ambienti ipogei. Le instabilità prodottesi nel sottosuolo hanno innescato fenomeni di propagazione verso l'alto, sino ad intaccare la superficie del suolo, con formazione di sprofondamenti. Dato che gli sprofondamenti si sono verificati all'interno dell'area urbana e in corrispondenza di zone di futura espansione edilizia, le Autorità locali hanno promulgato nel 2008 delle norme specifiche secondo le quali tutti gli edifici ubicati in zone considerate a rischio devono eseguire una serie di indagini geologiche finalizzate alla verifica delle situazioni di pericolo, ed eventualmente alla rimozione del pericolo stesso. Queste indagini hanno fatto sì che negli scorsi anni si sia raccolta ad Altamura una gran mole di dati, provenienti da differenti fonti e di tipologia diversa, per la cui gestione è necessario l'utilizzo di Sistemi Informativi Geografici (GIS).

Con tale obiettivo è stato avviato un progetto a cura di Apogeo e CNR-IRPI, grazie ad una borsa di studio della Regione Puglia ("Ritorno al futuro" bando della Regione Puglia, POR Puglia F.S.E. 2007/2013, Bollettino Ufficiale della Regione Puglia, n. 203, 17/12/2009) per implementare la struttura di una banca-dati geologica che consentisse la raccolta, l'analisi, la rappresentazione e l'utilizzo di tutte le informazioni disponibili. La banca dati è stata creata suddividendo le informazioni in sette gruppi, a loro volta divisi in livelli che riguardano un aspetto specifico della banca dati: cartografia, uso del suolo, geomorfologia, idrologia, indagini dirette e indirette, esplorazioni speleologiche, normativa esistente. Tutti questi dati sono stati raccolti e analizzati per quella porzione del territorio di Altamura considerata a rischio idrogeologico. L'analisi dei dati disponibili, inclusi data e luogo di occorrenza degli sprofondamenti negli ultimi decenni, ha permesso di sviluppare modelli per la produzione di una carta della suscettibilità agli sprofondamenti. Tale carta rappresenta un primo risultato derivante dall'elevato livello di conoscenza acquisito sui caratteri geologici del territorio, e costituisce, allo stesso tempo, un utile strumento per la mitigazione del rischio connesso a sprofondamenti di origine antropica.

PAROLE CHIAVE: sprofondamenti, pericolosità, danni, GIS, Puglia

(*) Apogeo, Altamura

(**) CNR-IRPI, Via Amendola 122-I, 70126 Bari; m.parise@ba.irpi.cnr.it

ABSTRACT - The town of Altamura, in the Murge plateau of inland Apulia (Bari province) has been affected since 2006 by a number of sinkholes related to the presence of underground quarries of calcarenite, the local rock mostly used for building purposes. Being the calcarenite generally located below a cover of a few to 15 meters of clays, quarries developed underground, and are at present at the origin of several instability problems in the area. This is due to abandonment of the quarries, and progressive weathering of the rock mass, which brought to development of failures from both the walls and vaults of the underground quarries. Eventually, such instabilities may propagate upward until reaching the surface, thus creating sinkholes. Since sinkholes developed within the urban area of Altamura, and/or in areas interested by recent or future constructions, the local Authority established in 2008 a code according to which all the buildings located in territories considered at risk had to perform geological studies aimed at verifying, and eventually removing, the hazardous situations. These studies brought in the last years to collect a wide amount of data from different sources, and of different typologies, which management had necessarily to be performed in a GIS environment.

With this goal, a project has been started by Apogeo and CNR-IRPI, taking advantage of a grant by Apulia Region ("Back to future" call by Apulia Region, POR Puglia F.S.E. 2007/2013, Official Bulletin of Apulia Region, no. 203, 17/12/2009) to implement the structure of a dedicated geodatabase to collect, analyze, represent and use all the available information. The database was created by subdividing the information into seven groups (feature datasets), which, in turn, were divided into layers dealing with a peculiar feature of the database: cartography, land use, geomorphology, hydrology, direct and indirect surveys, caving explorations, existing codes. All these data have been collected and analyzed for that portion of the Altamura municipality which is considered to be at risk from a hydro-geological standpoint. Analysis of the available data, including the time and site of occurrence of sinkholes in the last decades, allowed to develop models to produce a sinkhole susceptibility map. Such a map represents a first result deriving from the high level of acquired knowledge on the geological features of the territory, and is, at the same time, a useful tool for mitigating the risk related to anthropogenic sinkholes.

KEY WORDS: sinkholes, hazard, damage, GIS, Apulia

1. - INTRODUZIONE

La presenza di cavità antropiche nell'area urbana di Altamura ha da tempo innescato una serie di problematiche connesse a fenomeni di sprofondamento (*sinkhole*, WALTHAM *et alii*, 2005; PARISE & FLOREA, 2008). Tali eventi sono connessi alla presenza di cavità di origine antropica derivanti dalla

passata coltivazione di cave sotterranee di calcarenite dalle quali si estraeva la locale roccia (comunemente indicata come "tufo") da utilizzare nell'edilizia (BERARDI *et alii*, 2009, 2010).

Il comune di Altamura, per le sue caratteristiche legate all'assetto dei bacini idrografici, ricade sotto la tutela dell'Autorità di Bacino della Basilicata; nel 2008 in seguito a gravi sprofondamenti ha provveduto ad emanare un'ordinanza sindacale (n. 135/2008) con la quale disponeva a tutti i proprietari di lotti edificati in area a rischio idrogeologico di fornire uno studio geologico finalizzato alla verifica e rimozione delle situazioni di pericolo per la pubblica e privata incolumità (BERARDI *et alii*, 2009; BUZZANCA *et alii*, 2009). Alla stessa stregua, anche l'Autorità di Bacino della Basilicata ha definito delle norme di riferimento (Norme Tecniche di Attuazione del PAI) che riguardano gli interventi di nuova edificazione, di completamento e ampliamento di manufatti esistenti in aree a rischio idrogeologico, attraverso le quali prevede una serie di prescrizioni per l'ottenimento del parere di compatibilità idrogeologica riguardante eventuali interventi edificatori da realizzarsi nelle aree a rischio idrogeologico (l'art. 18 delle NTA). Tali studi sono supportati da indagini di tipo diretto e indiretto che tendono ad accertare le reali condizioni del sottosuolo e a dare informazioni riguardanti la stabilità di quest'ultimo. In corrispondenza della superficie di riferimento, l'Autorità di Bacino della Basilicata ha individuato un'area classificata a rischio idrogeologico.

Tale lavoro è stato sviluppato nell'ottica di approfondire un approccio metodologico volto a definire dei criteri per conseguire un'analisi di pericolosità spaziale legata al verificarsi di fenomeni di *sinkholes* in ambito urbano.

Il presente lavoro è stato realizzato creando una struttura dati coerente con le necessità di controllo e di analisi di un Ente pubblico che gestisce i dati territoriali e che necessita di poter fare valutazioni spaziali in merito ad eventuali interventi di mitigazione o bonifica. A tal proposito è stato creato un geo-database che ha permesso di implementare le procedure per effettuare le opportune valutazioni territoriali in merito.

La tecnologia GIS ha permesso di tradurre in

variabili quantitative tutte le caratteristiche territoriali ed elaborare la loro distribuzione spaziale al fine di ottenere la mappa di pericolosità spaziale ai *sinkholes* riferita all'area di studio. Le variabili considerate riguardano aspetti geo-morfologici, idrologici e di uso del suolo legati al territorio. L'analisi territoriale è stata condotta adottando un sistema di ponderazione delle variabili, basato sulla tecnica della comparazione a coppie (*Pairwise Comparison*), rientrando nelle tecniche decisionali multi-criterio (*Multicriteria Decision Analysis*).

2. - INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CRONOLOGIA DEGLI EVENTI

Il territorio comunale in esame ricade nel settore più interno delle Murge alte, in particolare in corrispondenza del suo margine occidentale che

degrada al di sotto della Avanfossa Bradanica, ai margini con la Piattaforma Carbonatica Apula (fig. 1); si tratta di un bacino di sedimentazione terrigena di origine plio-pleistocenica che si estende in un'ampia fascia fra la Catena Appenninica Meridionale e l'Avampese Apulo.

Oltre ai depositi alluvionali e ai Depositi marini terrazzati, nell'area affiorano le seguenti formazioni geologiche, elencate in ordine di sovrapposizione stratigrafico-strutturale:

il Calcarea di Altamura (Turoniano superiore?-Maastrichtiano) appartenente all'Unità della Piattaforma carbonatica apula interna, su cui sorge la gran parte del centro urbano,

le Calcareniti di Gravina (Pliocene medio?-Pleistocene inferiore secondo CIARANFI *et alii*, 1988; Pliocene superiore?-Pleistocene inferiore secondo PIERI *et alii*, 1994, 1996; TROPEANO & SABATO, 2000) afferenti ai depositi del ciclo della

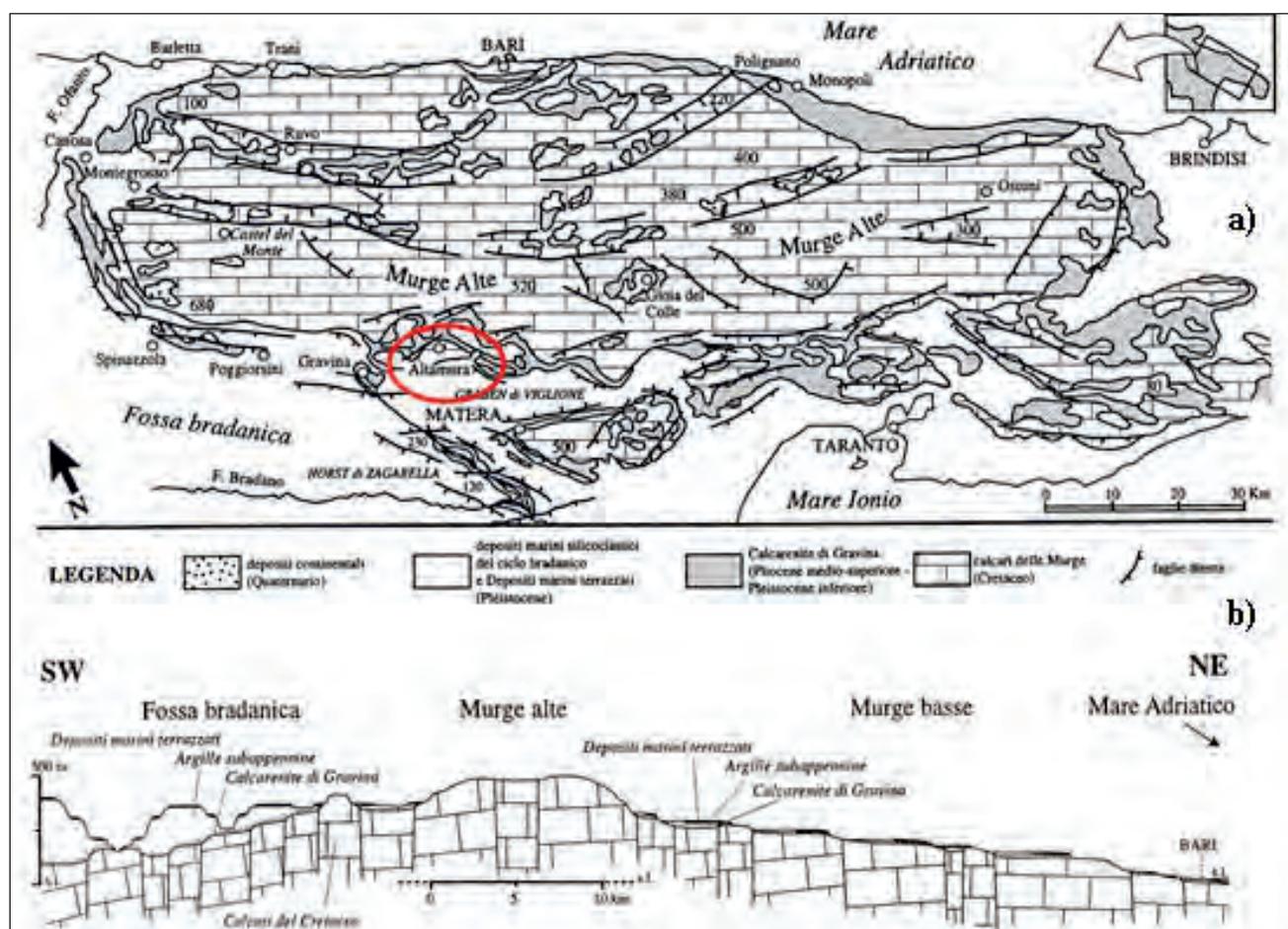


Fig. 1 - Carta geologica schematica (a) e sezione geologica (b) dell'area delle Murge (da TROPEANO *et alii*, 1998). La zona di Altamura è evidenziata dal cerchietto rosso.
- Schematic geological map (a) and section (b) of the Murge (after TROPEANO *et alii*, 1998). The Altamura area is shown by the red circle.

Fossa Bradanica e localmente affioranti (porzione settentrionale e nord-orientale del centro abitato, settori nord-occidentale e orientali del territorio comunale),

le Argille subappennine (Pleistocene inferiore) afferenti ai depositi del ciclo della Fossa Bradanica, affioranti solo localmente al di sopra della precedente formazione nei settori orientali del territorio comunale.

La formazione del Calcere di Altamura è costituita prevalentemente da carbonati stratificati detritici biancastri o grigi a grana prevalentemente fine, talora dolomitizzati (AZZAROLI *et alii*, 1968); la successione carbonatica si è depositata in un dominio di piattaforma interna di bassa energia, caratterizzato prevalentemente da litofacies a tessitura fango sostenuta in ambienti protetti di mare basso (PIERI & TROPEANO, 1999; CHECCONI *et alii*, 2008). Localmente si intercalano depositi residuali con terre rosse (paleosuoli) e si rinvengono strutture da disseccamento che marcano fasi di esposizione subaerea accompagnate da paleocarsismo (IANNONE, 2003). Il contatto con la sottostante formazione geologica, il Calcere di Bari (Valanginiano pro parte-Turoniano inferiore?; CIARANFI *et alii*, 1988), è evidenziato dalla presenza di una discontinuità stratigrafica marcata da depositi bauxitici del Turoniano (RICCHETTI *et alii*, 1988).

In trasgressione sul Calcere di Altamura sono presenti le Calcareniti di Gravina, costituite essenzialmente da biocalcareniti e biocalciruditi in grossi banchi con intercalazioni calcilutitiche; alla base localmente nelle depressioni morfotettoniche sono presenti argille limi calcarei continentali (PIERI, 1975; IANNONE & PIERI, 1979, 1982). Su questa formazione seguono in continuità di sedimentazione le Argille subappennine che affiorano secondo piccoli lembi nel settore orientale dell'area in esame. Infine nell'area affiorano i Depositi marini terrazzati (Pleistocene medio-superiore secondo CIARANFI *et alii*, 1988), un complesso di depositi di spiaggia e piana costiera riferibili a numerose unità litostratigrafiche terrazzate in vari ordini collegate a distinte fasi eustatico-tettoniche. Essi presentano esigui spessori con assetto suborizzontale dei depositi che poggiano in discordanza su superfici di abrasione poste a quote

diverse e incise nel substrato di diversa natura. Da un punto di vista litologico, questi depositi sono rappresentati da sabbie, conglomerati, calcareniti e calcari coralgali; spesso alla base delle unità il contatto trasgressivo è marcato da orizzonti discontinui di terra rossa o da livelli di conglomerati. Oltre che per la presenza dei Depositi marini terrazzati, le avvenute oscillazioni eustatiche e le conseguenti variazioni della linea di costa sono evidenziate, nell'area in esame, dall'esistenza di evidenti scarpate morfologiche, poste a diverse altezze, corrispondenti a paleolinee di riva collegate tra loro dalle superfici di abrasione sotto forma di spianate variamente estese.

L'area specifica di riferimento per il presente studio si colloca a nord-ovest del centro abitato di Altamura in corrispondenza della formazione della Calcarenite di Gravina.

La rete caveale di San Tommaso, al margine nord-orientale della città di Altamura, a circa 2 km dall'abitato lungo la strada provinciale per Sante-ramo, è costituita da oltre 10 km di gallerie sotterranee, realizzate per l'estrazione di materiale da costruzione all'interno di livelli calcarenitici posizionati tra i 10 e i 20 metri di profondità. Come in molti altri luoghi del territorio pugliese, una volta che le cave sono state abbandonate se ne è andata progressivamente perdendo la memoria, e con il passare del tempo l'espansione urbana si è via via spinta ad occupare i luoghi al di sotto dei quali si aprivano le antiche cave (BARNABA *et alii*, 2010; PARISE, 2010, 2011; FIORE & PARISE, 2011). Ad eccezione di una poco documentata notizia che fa risalire il primo sprofondamento in zona al 1947, gli eventi più recenti si concentrano a partire dal marzo 2006, allorquando nel Parco Pepe, presso Via Di Vagno, uno sprofondamento inghiottì un giardiniere, fortunatamente soccorso e salvato in tempo (MARTIMUCCI *et alii*, 2010). A seguito di tale evento, si intensificarono le esplorazioni da parte di speleologi del Centro Altamurano Ricerche Speleologiche (CARS), che, dopo le prime sporadiche esplorazioni che risalivano ai primi anni '90, dal 2003 avevano avviato più sistematiche ricerche sulle cave sotterranee.

Il 7 maggio 2007 nell'asfalto di Via Barcellona si apre una voragine che evidenzia la presenza di

ambienti ipogei a circa 20 metri di profondità (MARTIMUCCI *et alii*, 2010; SPILOTRO *et alii*, 2010); la voragine, prodotta dal crollo della volta di una cava sotterranea, causa lo sgombero di una villetta bifamiliare. Successivamente, il 3 dicembre 2008, in Via Fornaci si apre un nuovo sprofondamento (fig. 2).

3. - RACCOLTA DATI E CREAZIONE DEL GEO-DATABASE

Sulla scorta dei numerosi dati pervenuti in seguito all'ordinanza comunale, è stato creato un geo-database in cui si sono definiti dei criteri comuni per la loro registrazione.

È stato definito un protocollo per l'acquisizione dei dati, basato innanzitutto sulla possibilità di inserire informazioni in ambito GIS, per il quale è

stato adottato un sistema di riferimento comune (WGS 84 – UTM 33 N). I dati sono stati strutturati suddividendo le informazioni necessarie in 7 gruppi tematici di dati (*feature dataset*) che racchiudono strati informativi (*layer*) specifici del database (tabella 1).

I dati che si interfacciano con un geo-database in GIS integrano le informazioni geografiche e quelle descrittive corrispondenti agli attributi.

4. - APPROCCIO MULTI - CRITERIO NELLA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SPAZIALE AI SINKHOLES

Per poter ottenere la mappa di pericolosità spaziale da *sinkholes*, si è cercato di attribuire dei criteri di Esclusione, Repulsione, Attrazione (attribuzione



Fig. 2 - Sprofondamento verificatosi in via Fornaci il 2 dicembre 2008.
– Sinkhole occurred at Fornaci street on December 2, 2008.

Tab. 1 - *Struttura dei gruppi tematici di dati e degli strati informativi ad essi associati.*

- Structure of the thematic groups and related layers.

<i>gruppi tematici</i>	<i>strati informativi</i>
CARTOGRAFIA DI BASE	AERO_LIN AERO_POINT EDIFICI CATASTALE 2011
DATI TERRITORIALI	USO DEL SUOLO
GEOMORFOLOGIA	LITOTIPI FAGLIE TERRAZZO MORFOLOGICO SINKHOLES
IDROLOGIA	ALLAGAMENTI RECAPITI ENDOREICI RETICOLI IDROGRAFICI
INDAGINI	INDAGINI DIRETTE STRATIGRAFIE INDAGINI INDIRETTE ANOMALIE DELLE INDAGINI INDIRETTE
RILIEVI SPELEOLOGICI	CONTORNO CAVITÀ MIRE CAVITÀ ELEMENTI CAVITÀ DIREZIONI DI SCAVO
VINCOLISTICA	PAI 2010
TABELLE CORRELATE	LINK PRATICHE PARTICELLE PRATICHE CCS PROTOCOLLI GENERALI R_CATASTALE

criteri ERA; tabella 2), assegnando dei valori agli attributi territoriali degli strati informativi, e quindi attribuendo opportuni pesi alle mappe intermedie derivanti dalla elaborazione di tali informazioni. Un tale approccio non ha soltanto una valenza descrittiva e caratterizzante del territorio, ma mira all'individuazione di aree che, per caratteristiche intrinseche o derivate, risultino particolarmente soggette a tale tipologia di fenomeni e pertanto richiedono particolare attenzione e riguardo ai fini di un monitoraggio.

Gli strumenti utilizzati per perseguire l'obiettivo finale sono stati:

- la metodologia dell'analisi multi-criterio che ha

permesso di analizzare il territorio del comune di Altamura, e individuare le aree territoriali vulnerabili caratterizzando i diversi gradi di suscettibilità ai *sinkholes*;

- lo *Spatial Analyst* attraverso il quale è stata fatta la sovrapposizione cartografica (*overlay mapping*) per le elaborazioni spaziali.

Le variabili corrispondenti ai valori attribuito considerate valide nella elaborazione dei dati utili a definire la mappa di pericolosità spaziale da *sinkholes* sono:

- 1 - Presenza di cavità;
- 2 - Presenza di dissesti sotterranei;
- 3 - Profondità della cavità;

Tab. 2 – Valori attribuiti ai criteri ERA dai quali si sono ottenute le mappe tematiche.

– Values of ERA criteria used to obtain the thematic maps.

VALORI DI ATTRIBUZIONE ALLE CARTE	Criteri ERA
<p style="text-align: center;">0</p>  <p style="text-align: center;">60</p>	ESCLUSIONE
	REPULSIONE
	ATTRAZIONE

- 4 - Litotipi;
- 5 - Uso del suolo;
- 6 - Idrografia superficiale;
- 7 - Presenza di faglie;
- 8 - Livello di sismicità dell'area.

Sulla scorta delle caratteristiche territoriali del sito campione, sono state escluse dall'elaborazione dei dati le informazioni riguardanti la tettonica (presenza di faglie) e il livello di sismicità dell'area poiché si tratta di informazioni rispettivamente non presenti e/o uniformi in tutta l'area.

La metodologia per l'analisi multi-criterio (MALCZEWSKI, 1999) è stata condotta adottando la tecnica della matrice comparativa di strati informativi a coppie (SAATY, 1980). Attraverso tale procedura sono stati elaborati degli strati informativi che hanno permesso di ottenere la mappa di pericolosità:

CARTA DELLA PRESENZA DELLE CAVITÀ (fig. 3)

CARTA DEI DISSESTI SOTTERRANEI (fig. 4)

CARTA DELLA PROFONDITÀ DELLE CAVITÀ (fig. 5)

CARTA DELL'USO DEL SUOLO (fig. 6)

CARTA LITO-IDROLOGICA (fig. 7)

Il materiale cartografico è stato elaborato partendo dalle informazioni inserite nel geo-database di partenza; i cinque tematismi inseriti nelle carte sono stati ottenuti considerando le caratteristiche del territorio che maggiormente possono influire a generare tale tipo di fenomeni.

L'elaborazione e la sovrapposizione digitale dei tematismi di base hanno prodotto la mappa di pericolosità spaziale. Attraverso tale carta tematica è stato approfondito l'aspetto territoriale studiando le interazioni possibili tra le caratteristiche spaziali e la suscettibilità esistente sul territorio oggetto di studio.

Le caratteristiche e le conseguenze legate a tale tipo di eventi comportano la necessità di individuare le aree soggette a maggiore pericolo, al fine di porre maggiore attenzione sul territorio; risulta di prioritario interesse stabilire le zone in cui si concentra una maggiore suscettibilità ai *sinkhole* e quindi poter prevedere eventuali misure di mitigazione.

Tutte le mappe elaborate sono in formato raster e, attribuendole dei pesi, è stato possibile sommare i valori dei pixel ottenuti e acquisire la mappa di pericolosità spaziale ai *sinkholes* (fig. 8). I valori ottenuti e riportati in legenda segnano in altri termini il grado di pericolosità spaziale da *sinkholes* che è massimo a 60 e si abbassa per valori decrescenti.

5. - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Altamura risulta interessato, al pari di molti altri in Puglia, dalla presenza di estese reti caveali sotterranee, che hanno causato eventi di sprofondamento e che determinano un indubbio rischio per l'antropizzato che insiste su di esse. Diversamente che in molti altri siti del territorio regionale, ad Altamura è stato intrapreso un percorso focalizzato alla raccolta dati sul sottosuolo, ed alla loro gestione e disseminazione, al fine di ricavare le informazioni necessarie alla bonifica dei luoghi. Il presente lavoro ha brevemente descritto la gestione, mediante GIS, dei dati territoriali che possono avere un ruolo nel determinare i fenomeni di *sinkhole*; attraverso tale attività si offre un possibile punto di partenza per il supporto ad eventuali interventi riferiti alle opere di mitigazione del rischio idrogeologico e ad una gestione coerente dell'assetto territoriale che si rapporta allo sviluppo di un tessuto urbanizzato.

In un territorio così fortemente interessato da eventi di sprofondamento connessi a cavità antropiche, ed in particolare a cave sotterranee (PARISE

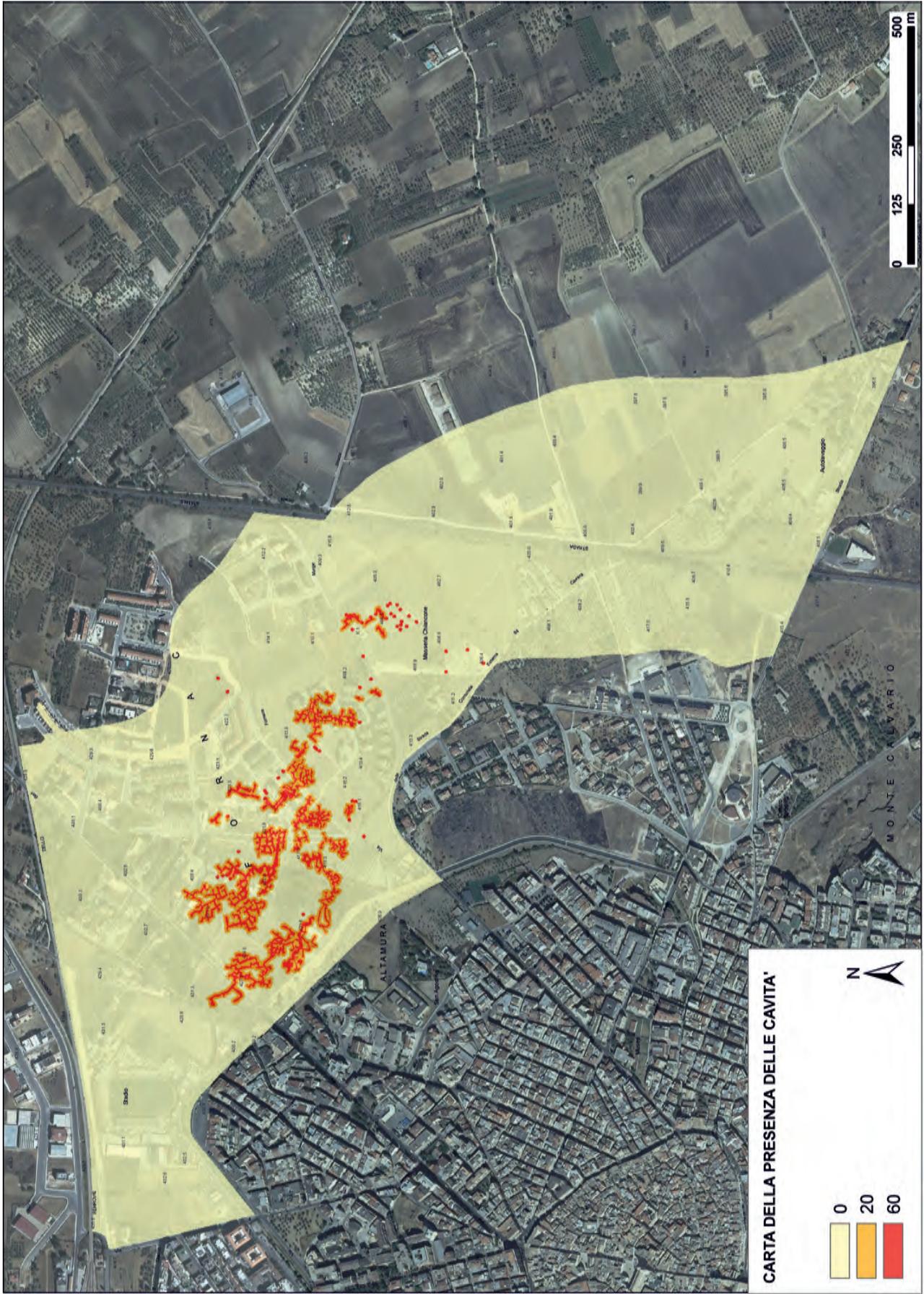


Fig. 3 - Carta della presenza delle cavità riferita all'area a rischio idrogeologico. - Map showing the presence of cavities in the area at risk.

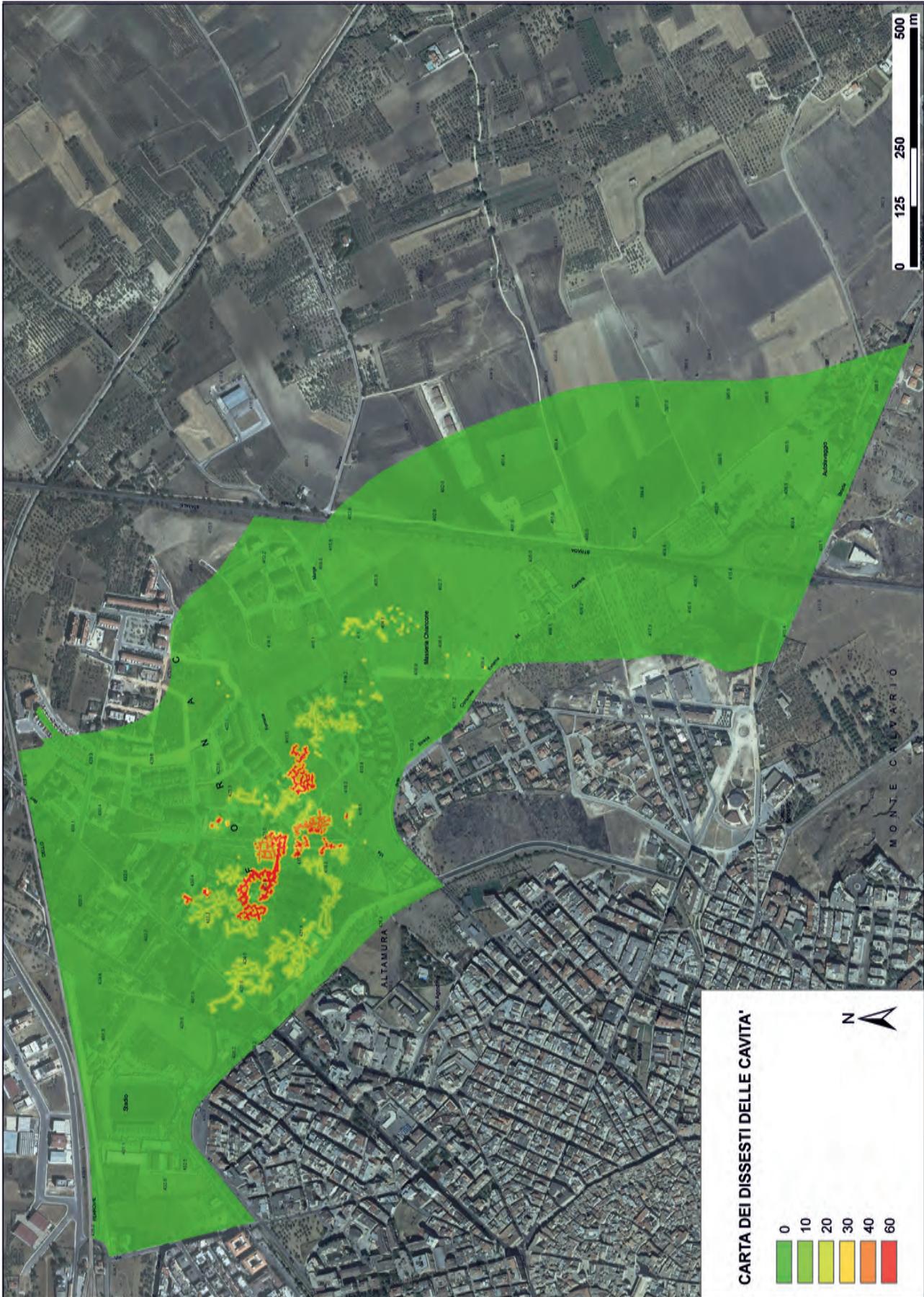


Fig. 4 - Carta dei dissesti delle cavità riferita all'area a rischio idrogeologico. - Map of the instabilities within the cavities in the area at risk.

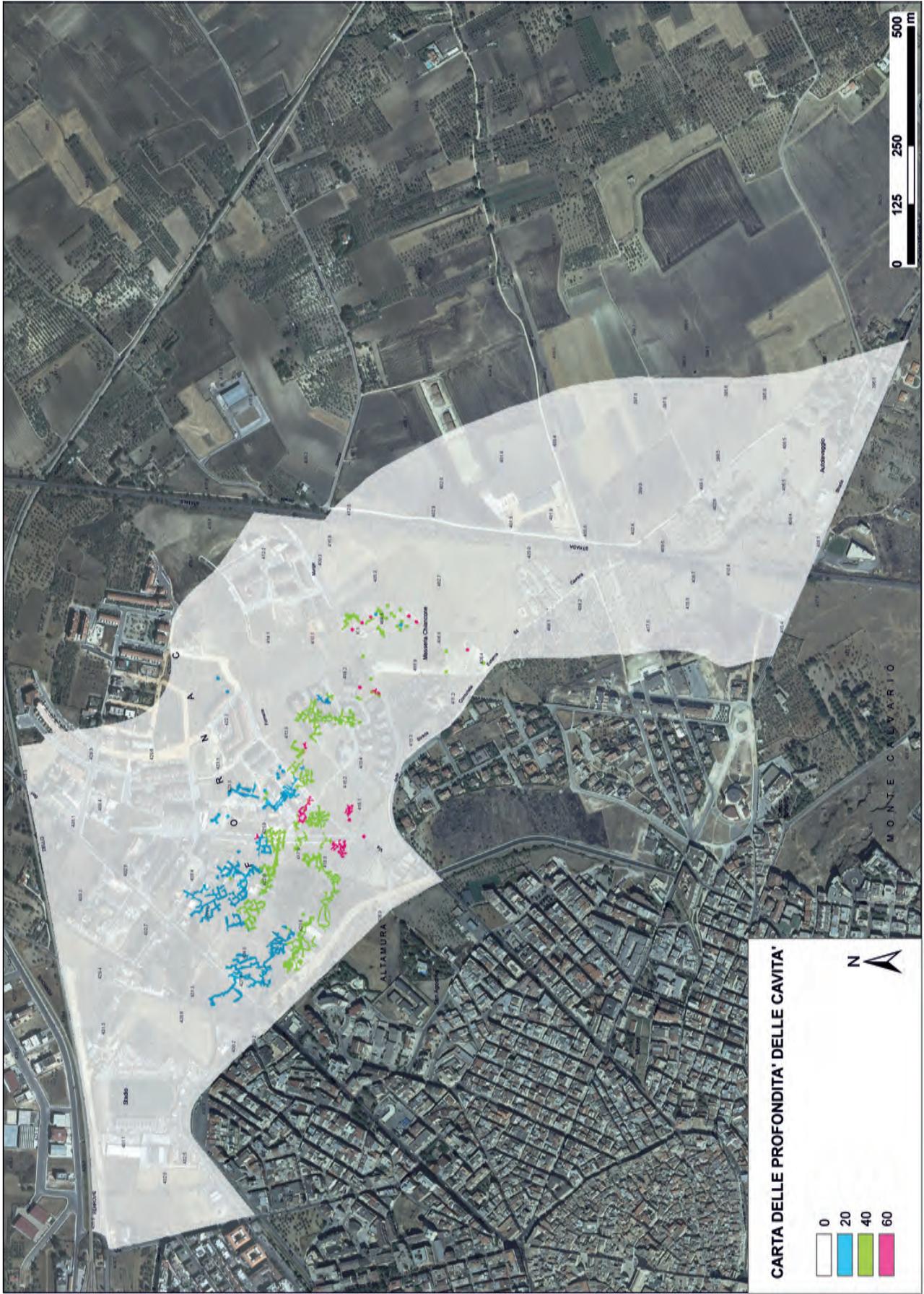


Fig. 5 - Carta del rischio dato delle profondità delle cavità riferita all'area a rischio idrogeologico. - Risk map, deriving from the depths of the cavities in the area at risk.

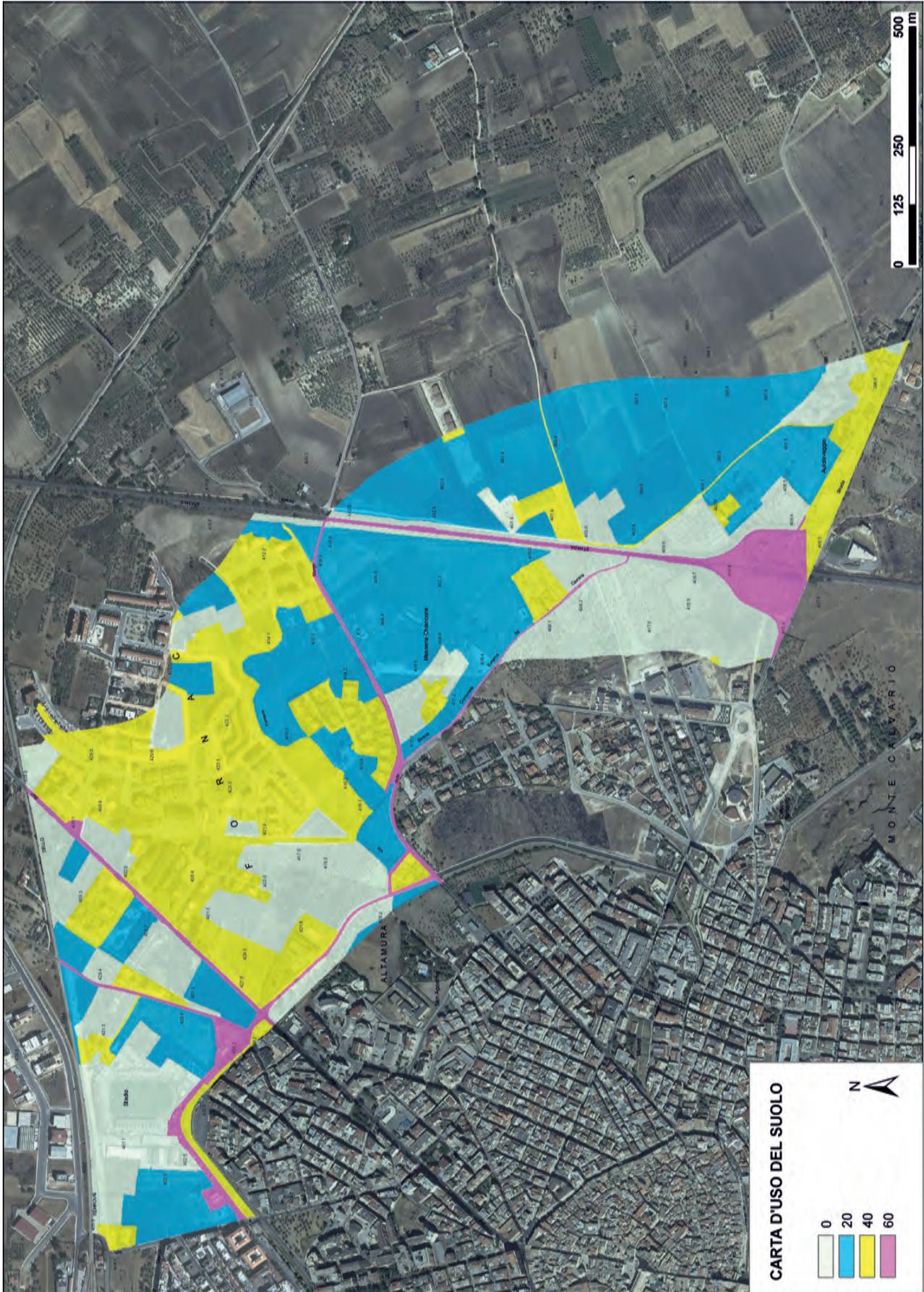


Fig. 6 - Carta d'Uso del Suolo riferita all'area a rischio idrogeologico. - Land use map in the area at risk.

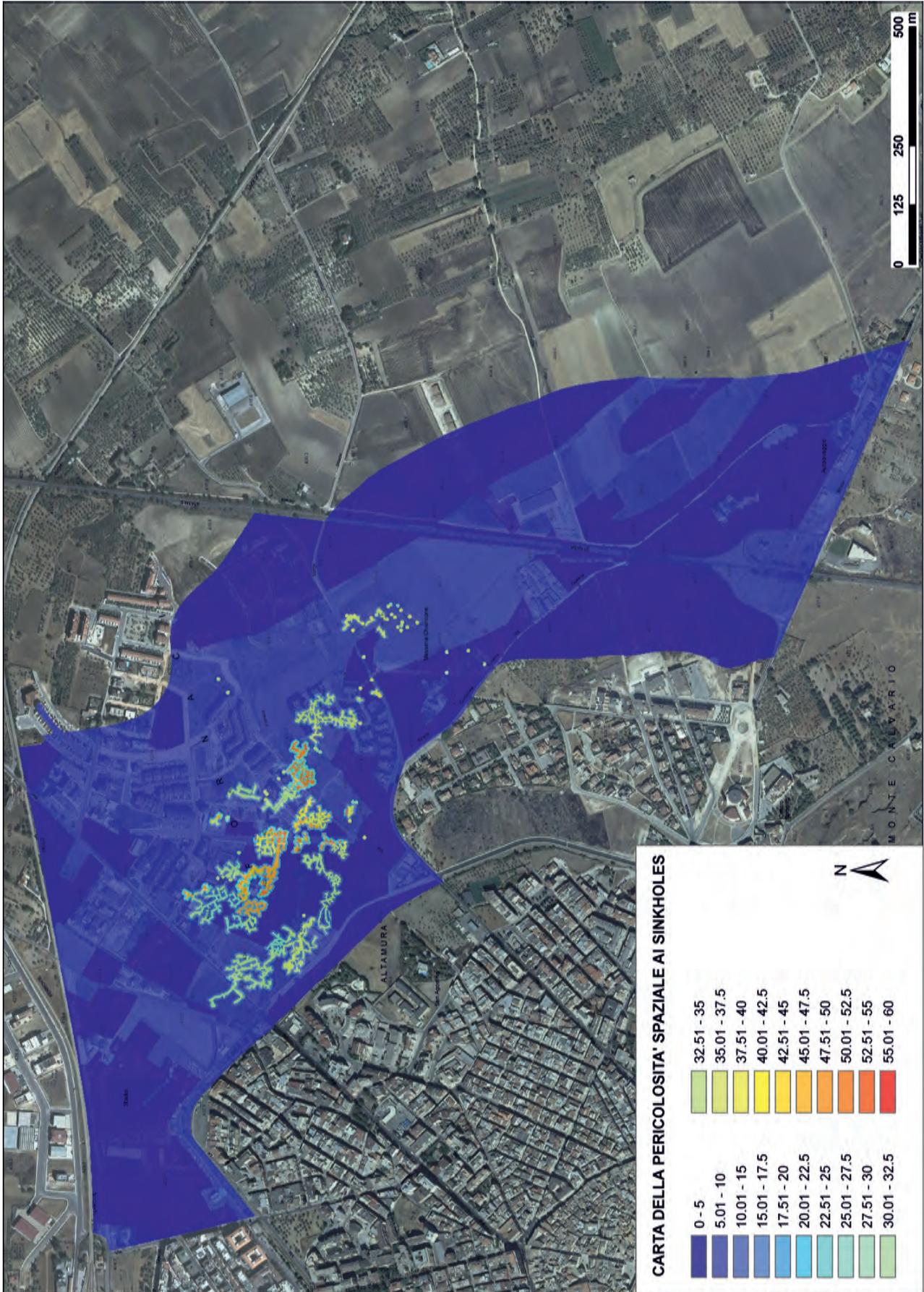


Fig. 8 - Carta della pericolosità spaziale da sinkhole ottenuta dalle carte tematiche mostrate nelle figure precedenti. - Map of the sinkhole spatial hazard, obtained from the maps shown in the previous figures.

& LOLLINO, 2011), quale quello pugliese, ed in cui risultano notevoli i danni (diretti e indiretti) derivanti dall'occorrenza di *sinkhole* (DELLE ROSE *et alii*, 2004; FIORE, 2006), l'esperienza di Altamura si pone indubbiamente come un esempio da seguire in molti altri contesti. Ciò anche alla luce della recente normativa regionale, che per la prima volta considera esplicitamente le cavità artificiali, creando i presupposti per eventuali utilizzi turistici delle stesse, una volta che ne siano state attentamente accertate le condizioni di stabilità (FIORE *et alii*, 2011).

Ringraziamenti

Lavoro svolto nell'ambito delle attività del progetto "Utilizzo di tecniche GIS per la gestione della pericolosità da sinkholes", finanziato dalla Regione Puglia all'interno del programma Ritorno al Futuro (PO Puglia FSE 2007/2013, Avviso 19/2009).

Si ringrazia il Centro Altamurano Ricerche Speleologiche (CARS) per la collaborazione offerta e per il materiale messo a disposizione.

BIBLIOGRAFIA

- AZZAROLI A., PERNO U. & RADINA B. (1968) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 188 Gravina di Puglia*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 57 pp.
- BARNABA F., CAGGIANO T., CASTORANI A., DELLE ROSE M., DI SANTO A.R., DRAGONE V., FIORE A., LIMONI P.P., PARISE M. & SANTALOIA F. (2010) - *Sprofondamenti connessi a cavità antropiche nella regione Puglia*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009: 653-672.
- BERARDI C., CAGGIANO T. & FIORE A. (2009) - *Pericolosità geomorfologica da sprofondamenti. L'attività estrattiva storica in sotterraneo: il caso di Altamura (BA)*. 3° Congresso Nazionale AIGA, San Giovanni Valdarno (AR), 25-27 febbraio 2009.
- BERARDI C., BUONAMASSA G., DENORA A., FIORE A., LORUSSO G., PEPE P., WALSH N. & ZACCARIA V. (2010) - *Attività di censimento per la pianificazione nelle aree interessate da cavità antropiche. Il Catasto delle Cavità Sotterranee (CCS) di Altamura (BA). Un modello litotecnico e di comportamento previsionale*. 2° Workshop Int. "Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 673-683.
- BUZZANCA L., CAGGIANO T., CASTORANI A., FIORE A., DENORA D., DI SANTO A.R., PALERMO M.T. & PELLEGRINO R. (2009) - *Sistemi di monitoraggio e caratterizzazione di aree a pericolosità geomorfologica molto elevata per la presenza di cavità antropiche in aree urbanizzate dell'Avampese apulo: i casi di Altamura (BA) e Gallipoli (LE)*. Geoitalia 2009, VII Forum Italiano di Scienze della Terra, Rimini 9-11 settembre 2009.
- CHECCONI A., RETTORI R. & SPALLUTO L. (2008) - *Biostratigrafia a foraminiferi del Cretaceo Superiore della successione di Parco Priore (Calcere di Altamura, Piattaforma Apula, Italia Meridionale)*. Annali dell'Università degli Studi di Ferrara, Museologia Scientifica e Naturalistica, **4**: 1-9.
- CIARANFI N., PIERI P. & RICCHETTI G. (1988) - *Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 449-460.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A. & PARISE M. (2004) - *Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment*. Natural Hazards and Earth System Sciences **4**, 747-755.
- FIORE A. (2006) - *Pericolosità geologica connessa alla presenza di cavità sotterranee. Atto di indirizzo dell'Autorità di Bacino della Puglia*. Geologi & Territorio, **1-2-3**: 3-11.
- FIORE A. & PARISE M. (2011) - *Cronologia degli eventi di sprofondamento in Puglia, con particolare riferimento alle interazioni con l'ambiente antropizzato*. Presente volume.
- FIORE A., MARTIMUCCI V. & PARISE M. (2011) - *Nuove opportunità per la conservazione e valorizzazione delle cavità artificiali in Puglia*. Opera Ipogea, **1/2**.
- IANNONE A. (2003) - *Facies analysis of Upper Cretaceous peritidal limestones characterized by the presence of dinosaur tracks (Altamura, Southern Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **55**: 1-12.
- IANNONE A. & PIERI P. (1979) - *Considerazioni critiche sui "Tufi Calcarei" delle Murge - Nuovi dati litostratigrafici e paleoambientali*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **21**: 33-58.
- IANNONE A. & PIERI P. (1982) - *Caratteri neotettonici delle Murge*. Geologia Applicata e Idrogeologia, **18**: 147-159.
- MALCZEWSKI J. (1999) - *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, John Wiley.
- MARTIMUCCI V., RAGONE G., DENORA A. & CRISTALLO F. (2010) - *Le cave di tufo di Altamura - Prime relazioni e notizie sulle esplorazioni*. Atti del XII Incontro Regionale di Speleologia "Spelaion 07", Altamura, 7-9 dicembre 2007: 91-102.
- PARISE M. (2010) - *The impacts of quarrying in the Apulian karst*. In: F. CARRASCO F., J.W. LA MOREAUX, J.J. DURAN VALSERO & B. ANDREO (Eds.): *Advances in research in karst media*. Springer: 441-447.
- PARISE M. (2011) - *Alcune considerazioni sulle cave sotterranee in Puglia e sulle relative problematiche*. Opera Ipogea, **1/2**.
- PARISE M. & FLOREA L.J. (2008) - *I sinkholes nella letteratura scientifica internazionale: una breve rassegna, con particolare riferimento agli Stati Uniti d'America*. In: S. NISIO (Ed.): "I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane". Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**: 427-450.
- PARISE M. & LOLLINO P. (2011) - *A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and man-made underground caves in Southern Italy*. Geomorphology, **134** (1-2): 132-143.
- PIERI P. (1975) - *Geologia della città di Bari*. Mem. Soc. Geol. It., **14**: 379-407.
- PIERI P., SABATO L. & TROPEANO M. (1994) - *Evoluzione tettonico-sedimentaria della Fossa Bradanica a sud dell'Ofanto nel Pleistocene*. Guida alle Escursioni del 77° Congresso Na-

- zionale della Società Geologica Italiana: 35-54.
- PIERI P., SABATO L. & TROPEANO M. (1996) - *Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa Bradanica nel Pleistocene*. Mem. Soc. Geol. It., **51**: 501-515.
- PIERI P. & TROPEANO M. (1999) - *Itinerario n°6. Da Canosa di Puglia a Spinazzola*. In: AA.VV., *Guide Geologiche Regionali - Puglia e Monte Vulture*. BE-MA Editrice: 201-202.
- RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F. & PIERI P. (1988) - *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampaese Apulo*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 57-82.
- SAATY T.L. (1980) - *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill.
- SPILOTRO G., SPECCHIO V. & PEPE P. (2010) - *L'evento del 07.05.2007 di Via Barcellona, Altamura. Il contributo del C.ARS alle strategie d'intervento di valutazione del rischio connesso (Provincia di Bari, Puglia)*. Atti del XII Incontro Regionale di Speleologia "Spelaion 07", Altamura, 7-9 dicembre 2007: 103-107.
- TROPEANO M. & SABATO L. (2000) - *Response of Plio-Pleistocene mixed bioclastic-lithoclastic temperate-water carbonate systems to forced regressions: the Calcarene di Gravina Formation, Puglia, SE Italy*. In: D. HUNT & R.L. GAWTHORPE (a cura di), *Sedimentary responses to forced regressions*. Geological Society of London, spec. publ. 172: 217-243.
- TROPEANO M., SABATO L., PIERI P. & DOGLIONI C. (1998) - *Geodynamic and stratigraphic history of the Bradanic Trough (south Apennines Foredeep - Italy)*. Proceedings 15th International Sedimentological Congress, Alicante (Spain), Abstract: 772-773.
- WALTHAM T., BELL F. & CULSHAW M. (2005) - *Sinkholes and subsidence. Karst and cavernous rocks in engineering and construction*, pp. 382, Springer Praxis.