

Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 24 dicembre 2022

D.g.r. 15 dicembre 2022- n. XI/7564

Integrazione dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio relativa al tema degli sprofondamenti (Sinkhole) (Art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12)

LA GIUNTA REGIONALE

Visti:

- la l.r. 11 marzo 2005, n. 12 «Legge per il governo del territorio» ed in particolare gli articoli 55 «Attività regionali per il governo delle acque, la difesa del suolo e la prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici» e 57 «Componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio»;
- la l.r. 15 marzo 2016, n. 4 «Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua» ed in particolare l'art. 3 «Competenze della Regione relative alla difesa del suolo e alla gestione delle acque pubbliche» comma 1, lettera c) e l'art. 6 «Quadro regionale delle conoscenze sulla difesa del suolo e sul demanio idrico fluviale», comma 1»;
- la d.g.r. 30 novembre 2011, n. 2616 che fornisce i «Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1 della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12»;

Considerato che la componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT ha la finalità di prevenire i rischi naturali supportando e guidando le scelte pianificatorie attraverso la definizione dell'assetto geologico, idrogeologico e sismico (l.r. 12/05 - art. 57, comma 1 lettera a) del territorio comunale e l'individuazione delle aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica (l.r. 12/05 - art. 57, comma 1, lettera b);

Dato atto che, a seguito di un evento di dissesto legato ad un fenomeno di sprofondamento connesso alla presenza di cavità sotterranee («occhi pollini»), verificatosi il 4 giugno 2016 nei Comuni di Bernareggio e di Aicurzio (Provincia di Monza e della Brianza), sono state attivate forme di collaborazione tecnico istituzionali tra tutti i soggetti a vario titolo competenti sulla problematica (Prefettura di Monza e della Brianza, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Regione Lombardia, Provincia di Monza e della Brianza, Ambito Territoriale Ottimale (ATO) di Monza Brianza, BrianzaAcque, Comuni) finalizzate, tra l'altro, alla messa a punto di linee guida per:

- l'individuazione delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee che possono evolvere verso la superficie determinando sprofondamenti;
- la zonazione di dettaglio della pericolosità entro le medesime;
- le indagini da svolgere entro le aree individuate, nella fase attuativa delle trasformazioni urbanistiche;

Richiamate:

- la d.g.r. XI/941 del 3 dicembre 2018 «Approvazione dello schema di accordo di collaborazione con la Prefettura di Monza e Brianza, la Provincia di Monza e Brianza, l'ATO di Monza e Brianza, i Comuni di Bernareggio e di Aicurzio per l'aggiornamento del quadro conoscitivo inerente il fenomeno degli «occhi pollini» nel territorio della Provincia di Monza e della Brianza e per la definizione delle procedure di aggiornamento della componente geologica dei piani di governo del territorio e di gestione delle acque meteoriche pubbliche e private»;
- la d.g.r. 1346 del 4 marzo 2019 «Approvazione dello schema di convenzione con l'istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale «ISPRA» per il coordinamento delle attività finalizzate allo sviluppo delle conoscenze in materia di sinkhole (cavità sotterranee) di origine naturale sul territorio della Regione Lombardia e per l'alimentazione del «database nazionale dei Sinkhole»;

Ritenuto opportuno, al fine di migliorare l'azione regionale in tema di prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici nella pianificazione territoriale in attuazione dell'art. 55 della l.r. 12/2005 relativamente alla categoria di dissesti legata agli sprofondamenti (sinkhole), integrare i «Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, approvati con d.g.r. 30 novembre 2011, n. 2616 con le linee guida prodotte nell'ambito degli accordi tecnico-istituzionali sopracitati e costituite dai seguenti documenti, allegati alla presente deliberazione:

- Allegato A «Sinkhole e cavità sotterranee - Integrazione al testo dei Criteri e indirizzi per la definizione della componen-

te geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio»;

- Allegato B «Sinkhole e cavità sotterranee - Linee guida per l'individuazione delle aree, la valutazione della pericolosità e le indagini sito specifiche»;
- Allegato B1 «Scheda per il censimento dei sinkhole»;

Dato atto che, come riferisce il Dirigente proponente, le Linee guida in approvazione sono state elaborate in collaborazione e con la supervisione scientifica dell'Istituto Superiore per la Ricerca e la protezione delle Acque (ISPRA) e che sulle medesime è stato svolto un percorso partecipativo che ha coinvolto, oltre agli Enti aderenti agli Accordi sopracitati, l'Ordine dei Geologi della Lombardia, le Province e la Città Metropolitana di Milano, i cui esiti sono stati tenuti in conto nella redazione dei documenti in approvazione;

Ritenuto pertanto:

- di approvare, per le ragioni e le finalità su esposte gli Allegati A, B e B1, parti integranti e sostanziali della presente deliberazione;
- di pubblicare la presente Deliberazione sul BURL;
- di dare la massima diffusione alla presente deliberazione con i relativi Allegati A, B e B1 ai soggetti istituzionalmente interessati;

Visto il Programma Regionale di Sviluppo della XI legislatura approvato con d.c.r. n. 64 del 10 luglio 2018 e la declinazione dello stesso nella missione 9 - Sviluppo sostenibile e tutela del territorio e dell'ambiente, programma 9.1 - Difesa del suolo e, in particolare, il risultato atteso 184. «Pianificazione dell'assetto geologico, idrogeologico e sismico e la disciplina di uso del suolo a scala di bacino (PAI, Direttiva alluvioni) e sottobacino»;

Vista la l.r. 7 luglio 2008, n. 20 «Testo Unico delle leggi regionali in materia di organizzazione e personale», nonché i provvedimenti organizzativi della XI legislatura;

Ad unanimità dei voti, espressi nelle forme di legge;

DELIBERA

1. di approvare, per le ragioni e le finalità su esposte:

- l'Allegato A «Sinkhole e cavità sotterranee - Integrazione al testo dei Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio»;
- l'Allegato B «Sinkhole e cavità sotterranee - Linee guida per l'individuazione delle aree, la valutazione della pericolosità e le indagini sito specifiche»;
- l'Allegato B1 «Scheda per il censimento dei Sinkhole»,

parti integranti e sostanziali della presente deliberazione;

2. di dare atto che gli allegati A, B e B1 integrano i «Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio» approvati con d.g.r. 30 Novembre 2011, n. 2616;

3. di pubblicare la presente deliberazione sul BURL;

4. di dare la massima diffusione alla presente deliberazione con i relativi Allegati A e B ai soggetti istituzionalmente interessati.

Il segretario: Enrico Gasparini

— • —

Allegato A - Sinkhole e cavità sotterranee - Integrazione al testo dei Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologia e sismica del piano di governo del territorio

Le integrazioni riportate di seguito si riferiscono ai capitoli, paragrafi e allegati facenti parte dei Criteri e indirizzi per la redazione della componente geologica dei PGT approvati con d.g.r. 2616/2011.

1. Fase di analisi

1.1 Ricerca storica e bibliografica

Se nel territorio in esame si sono verificati in passato eventi di dissesto legati a fenomeni di sprofondamento, la fase di ricerca storica e bibliografica dovrà includere la raccolta delle informazioni relative a tali eventi, la loro descrizione e catalogazione utilizzando la scheda proposta da ISPRA e riportata nell'Allegato B1, nonché la loro georeferenziazione e rappresentazione nella cartografia di analisi.

In assenza di manifestazioni superficiali di sprofondamento, ma in presenza nel sottosuolo di condizioni favorevoli alla loro formazione/evoluzione, così come riportate nell'Allegato B **"Sinkhole e cavità sotterranee - Linee guida per l'individuazione delle aree, la valutazione della pericolosità e le indagini sito specifiche"**, l'indagine storica e bibliografica dovrà includere la ricerca di eventuali segni premonitori, quali evidenze di movimenti del suolo e di lesioni sugli edifici esistenti, con interviste ai tecnici comunali, ai gestori del servizio idrico integrato, agli abitanti e con consultazione della bibliografia locale (archivi comunali, parrocchiali), nonché acquisizione di informazioni presso gli enti competenti all'attività mineraria con particolare riferimento ad attività estrattive in sottosuolo.

Le informazioni raccolte durante tale fase andranno descritte nella Relazione geologica generale.

1.2 Cartografia di inquadramento

1.2.1 Elementi litologici, geologico-tecnici con elementi pedologici

Nella cartografia di inquadramento dovrà essere posta particolare cura nell'identificazione e rappresentazione delle aree con condizioni favorevoli alla formazione/evoluzione di fenomeni di sprofondamento, secondo le indicazioni riportate nell'Allegato B (cause predisponenti e innescanti).

Con particolare riferimento alla fascia di territorio denominata Alta Pianura lombarda, caratterizzata dalla presenza degli "occhi pollini", l'individuazione di tali aree, dovrà avere quale riferimento obbligatorio gli studi condotti a scala provinciale, per la Provincia di Monza e della Brianza, o essere condotta secondo una metodologia analoga.

Nel riportare in carta l'ubicazione dei dati geotecnici, geognostici e geofisici a disposizione (realizzati per interventi edilizi, ricerche idriche, monitoraggio e bonifica di aree, ricerca petrolifera ecc.) o di scavi aperti (allegando alla relazione i relativi dati geotecnici e stratigrafici) andranno adeguatamente evidenziati (con apposita simbologia) i settori territoriali contraddistinti da indagini in sito che forniscano indicazioni sulla possibile presenza di situazioni

favorevoli al manifestarsi di sprofondamenti o che abbiano dimostrato la presenza accertata di condizioni di criticità geotecnica riconducibili a strutture polliniche nel primo sottosuolo.

1.4 Analisi della pericolosità sismica

1.4.1 Risposta sismica locale – Generalità

Effetti di instabilità

Le aree con presumibile presenza/evoluzione di cavità sotterranee andranno considerate come settori territoriali ad elevata criticità geotecnica potenziale, ovvero caratterizzati da possibili condizioni di instabilità, in particolare legata allo sviluppo di fenomeni di cedimento di non sottovalutabile entità.

1.4.3 Analisi della sismicità del territorio e carta della pericolosità sismica locale

Nella carta della pericolosità sismica locale, le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee che possono determinare fenomeni di sprofondamento, andranno attribuite, in base alle valutazioni del professionista:

- nel caso degli occhi pollini o di fenomeni di sprofondamento connessi a presenza superficiale di terreno sciolto di spessore rilevante (soffusione, variazioni del livello di falda per emungimenti eccessivi, etc.) allo scenario Z4a "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi" specificando la potenziale presenza di strutture polliniche in grado di dar luogo ad effetti di instabilità;
- ad una nuova Zona Z2c "Aree a potenziale presenza di cavità sotterranee".

2. Fase di sintesi/valutazione

2.1 Carta di sintesi

Nella carta di sintesi, le "Aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee" andranno opportunamente riportate. A seconda della tipologia e secondo la valutazione del professionista che redige la componente geologica, potranno rientrare tra le "Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche", come categoria a sé stante o come sottocategoria delle "aree con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali", oppure tra le "Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità".

All'interno delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee, nell'ambito della redazione/aggiornamento della componente geologica del PGT è opportuno che, oltre alla loro individuazione, siano sviluppati studi di approfondimento finalizzati ad una zonazione di maggior dettaglio della pericolosità. Tali studi sono obbligatori qualora le aree individuate interferiscano con l'edificato esistente o in progetto, soprattutto quando sia prevista la realizzazione di nuovi edifici strategici e rilevanti oppure qualora le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee interessino l'intero territorio comunale o aree vaste, com'è il caso dell'alta pianura lombarda (N.B. Il territorio

della Provincia di Monza e Brianza dispone già di una zonazione a scala provinciale).

Gli esiti della zonazione saranno riportati nella cartografia di sintesi oltre che negli elaborati della Fase di proposta (Carta di fattibilità geologica). Per la metodologia da seguire per la redazione degli studi di dettaglio si rinvia all'Allegato B – Fase 2.

Qualora non vengano realizzati studi di dettaglio in fase di redazione/aggiornamento della componente geologica dei PGT, all'interno delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee deve essere obbligatoriamente prevista nelle norme geologiche di piano la realizzazione, in fase attuativa, delle indagini riportate nell'Allegato B – Fase 3.

3. Fase di proposta

3.1 Carta di fattibilità geologica e 3.2 Indicazioni per l'attribuzione delle classi di fattibilità

Nella carta di fattibilità geologica delle azioni di piano, alle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee, deve essere attribuita una classe di fattibilità geologica di ingresso "3" (consistenti limitazioni). Tali aree devono essere distinte chiaramente in carta attraverso l'uso di una specifica sottoclasse. In caso sia stata svolta una valutazione di dettaglio della pericolosità potranno essere adottate più sottoclassi o classi differenti: classe di fattibilità 2, per le aree a minor pericolosità di dettaglio; classe di fattibilità 4 per le aree entro le quali la valutazione di dettaglio della pericolosità abbia evidenziato l'impossibilità di trasformazioni d'uso del suolo.

4. Relazione geologica - Norme geologiche di piano

Nelle norme geologiche di piano, per le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee, devono essere date precise indicazioni in merito alle indagini di approfondimento, da svolgere in coerenza con quanto riportato nelle linee guida di cui all'Allegato B (Fase 3), alle prescrizioni per le tipologie costruttive e alle eventuali opere di mitigazione del rischio da realizzarsi.

In particolare:

- qualora non venga svolta in sede pianificatoria una zonazione di dettaglio della pericolosità, entro le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee le trasformazioni edilizie devono essere obbligatoriamente precedute dagli approfondimenti indicati nella Fase 3 dell'Allegato B;
- qualora sia stata svolta in sede pianificatoria una valutazione di dettaglio della pericolosità, il professionista che redige la componente geologica potrà graduare le indagini da svolgere in sede attuativa degli interventi a seconda del grado di pericolosità di dettaglio, riservando gli approfondimenti riportati nella Fase 3 dell'Allegato B alle aree a maggior grado di pericolosità.

Allegato B - Sinkhole e cavità sotterranee – Linee guida per l'individuazione delle aree, la valutazione della pericolosità e le indagini sito specifiche

Sommario

Premessa.....	
Classificazione degli sprofondamenti (sinkhole)	
Cause predisponenti e innescanti	
Fase 1 – Individuazione delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee	
Fase 2 - Zonazione della pericolosità entro le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee	
Metodologia seguita nello studio pilota di “Aggiornamento del quadro conoscitivo relativo alla suscettività del territorio della provincia di Monza e della Brianza al fenomeno degli occhi pollini”	
Metodologia seguita da ISPRA-Regione Lazio e CNR IGAG per l'analisi della suscettibilità ai sinkhole del territorio della Regione Lazio.	
Fase 3 - Indagini da svolgere nelle aree ad alta pericolosità per la presenza/evoluzione di cavità sotterranee o nelle aree ove non sono state svolte zonazioni di pericolosità	
Presentazione dei risultati relativi ad indagini sito-specifiche.....	
Monitoraggio	
Gestione delle acque meteoriche	

Premessa

Con la finalità di migliorare l'azione regionale in tema di prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici nella pianificazione territoriale, in attuazione dell'art. 55 “Attività regionali per il governo delle acque, la difesa del suolo e la prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici” della l.r. 12/2005 “Legge per il governo del territorio”, anche attraverso l'implementazione del “Quadro regionale delle conoscenze sulla difesa del suolo e sul demanio idrico fluviale” di cui all'art. 6 della l.r. 4/2016 “Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua”, è opportuno integrare i criteri attuativi dell'art. 57 della l.r. 12/2005 con indicazioni e linee guida relative all'analisi delle forme di dissesto denominate “sinkhole”, sprofondamenti generati da cavità sotterranee di origine naturale o antropica oppure da condizioni geologico-stratigrafiche favorevoli al loro sviluppo o evoluzione.

Su tale categoria di dissesto, a partire dal 2002, ISPRA ha avviato a livello nazionale un'attività di ricerca, valutazione e mappatura, che ha portato alla realizzazione di un catalogo specifico, il “Database Nazionale dei Sinkhole”, attraverso:

- studi sui processi genetici che portano alla loro formazione in relazione ai diversi contesti geologico-strutturali, geomorfologici e idrogeologici;
- linee guida per la loro classificazione;

- messa a punto di una scheda per la catalogazione.

Relativamente alla Lombardia, il Database Nazionale dei Sinkhole include attualmente la rappresentazione di 109 sinkhole/cavità, distribuiti lungo la valle del Po, tra la Val Seriana e la Val Cavallina, nell'Alta pianura lombarda (Provincia di Monza e della Brianza).

Anche l'Inventario nazionale dei fenomeni franosi (IFFI), realizzato da ISPRA in collaborazione con le Regioni, include, tra le categorie di frane rappresentate, gli "sprofondamenti" e le "aree con sprofondamenti diffusi". In tale inventario, relativamente al territorio lombardo sono attualmente rappresentate 44 aree di questo tipo che interessano il territorio dei Comuni di Santa Brigida, Rogno, Esine, Piario, Clusone, Costa Volpino, Medolago e Lovere (sprofondamenti), Taceno, Lovere, Idro e Pessina Cremonese (aree con sprofondamenti diffusi) dovute nella maggior parte dei casi alla presenza nel sottosuolo di litotipi potenzialmente soggetti a fenomeni di dissoluzione (depositi evaporitici) anche oggetto nel passato di coltivazione mineraria o di cava. L'individuazione di tali aree deriva in gran parte dalle componenti geologiche dei PGT.

Alcune delle aree rappresentate nell'IFFI compaiono quali aree a rischio idrogeologico molto elevato nell'Allegato 4.1. all'Elaborato 2 "Atlante dei dissesti idraulici e idrogeologici" del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI) (es. area RME 147 LO-BG - Santa Brigida).

I tre quadri conoscitivi sopracitati contengono per la Lombardia una rappresentazione molto parziale del fenomeno, ed è pertanto opportuno implementarli.

Ad esempio, tra i contesti lombardi ove sono presenti condizioni geologiche favorevoli al verificarsi di sprofondamenti è sicuramente da considerare, a causa della sua estensione e del grado di urbanizzazione presente, la fascia di territorio denominata "Alta Pianura" ed in particolare la zona compresa tra i fiumi Adda e Ticino. Caratteristici di quest'area sono i cosiddetti "occhi pollini", cavità sotterranee che possono portare a sprofondamenti improvvisi del terreno con coinvolgimento delle sovrastrutture.

In questo territorio, a seguito di un evento di sprofondamento verificatosi in Comune di Bernareggio (MB) il 14 giugno 2016, attraverso un accordo stipulato tra Provincia di Monza e della Brianza, ATO Monza e Brianza e BrianzAcque, è stato avviato uno studio "pilota" finalizzato alla zonazione di dettaglio della pericolosità rispetto al fenomeno degli "occhi pollini". Tale accordo è parte di un progetto più ampio che coinvolge la Prefettura di Monza e Brianza, i Comuni della Provincia e Regione Lombardia la quale, attraverso la stipula di una specifica convenzione con ISPRA, si è impegnata ad aggiornare il Data Base Nazionale dei Sinkhole con i dati prodotti nello studio pilota e ad integrare la tematica negli Indirizzi e criteri per la redazione della componente geologica dei PGT attraverso la messa a punto di linee guida, con il supporto scientifico di ISPRA.

Il presente documento include:

- la classificazione dei sinkhole proposta da ISPRA in base alla casistica italiana, con specifici riferimenti ad esempi rilevati sul territorio lombardo;

- l'approccio da seguire nella componente geologica dei PGT o in studi d'area vasta per l'individuazione delle aree potenzialmente esposte alla problematica;
- l'illustrazione sintetica della metodologia messa a punto per la zonazione della pericolosità, rispetto al fenomeno degli occhi pollini, nel territorio della Provincia di Monza e della Brianza, quale riferimento per studi da svolgere a scala comunale o sovracomunale;
- l'illustrazione sintetica della metodologia seguita da ISPRA, Regione Lazio e CNR-IGAG per la redazione di una Carta di suscettibilità ai Sinkholes basata sull'analisi geo-statistica, quale ulteriore riferimento per studi da svolgere ad ampia scala;
- linee guida da seguire per le indagini da svolgere in sede attuativa in aree ad elevata pericolosità per la potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee. Tali linee guida traggono spunto dalla bibliografia sul tema raccolta da ISPRA e dagli indirizzi già in vigore in altre Regioni (es. Regione Sardegna, Regione Lazio).

Classificazione degli sprofondamenti (sinkhole)

Secondo la classificazione proposta da ISPRA (Fig. 1) in base alla casistica italiana, i sinkhole o potenziali sinkhole possono essere suddivisi in due grandi categorie: **naturali e antropogenici**.

I **sinkhole naturali** sono voragini, generalmente di forma sub-circolare con diametro variabile da alcuni metri a poche centinaia di metri. Il processo di formazione della voragine è in genere rapido ed avviene nell'arco di poche ore. Il sinkhole può essere colmato rapidamente da acqua di falda o di risalita trasformandolo nell'arco di un certo periodo di tempo in un piccolo lago. I sinkhole naturali possono essere suddivisi, in base ai processi genetici, nelle seguenti categorie:

- a) Sinkhole di origine carsica:** questi fenomeni corrispondono alle doline, che si originano per fenomeni solamente carsici di dissoluzione della roccia. I meccanismi che determinano la formazione della cavità in superficie sono i seguenti:
 - *la sola dissoluzione o solution*
 - *la lenta subsidenza o subsidence*
 - *il crollo o collapse.*
- b) Sinkhole di suffosione superficiale:** si tratta di cavità di forma circolare che si realizzano in terreni sciolti per fenomeni di erosione dal basso con formazione di condotti verticali e/o sub-orizzontali che possono interessare i primi metri della copertura eluviale colluviale e/o i terreni sciolti sottostanti. In questa categoria sono stati classificati gli "occhi pollini", sinkhole potenzialmente in evoluzione, corrispondenti a cavità od orizzonti di debolezza sotterranei presenti nell'alta pianura lombarda fino a profondità di circa 20 metri che, pur non manifestando necessariamente evidenze superficiali, potrebbero evolvere in tal senso fino allo sprofondamento;
- c) Sinkhole per piping:** caratteristica distintiva è un meccanismo profondo di erosione dal basso che investe spessori notevoli di copertura. Questa tipologia è rappresentata da cavità colmate d'acqua, attraverso il processo di

annegamento, che si aprono su coperture a granulometrie variabili ma prevalentemente fini (argille siltose o limi con spessori superiori ai cento metri) impermeabili o semipermeabili, in cui è improbabile una filtrazione verso il basso. Ciò che distingue questi sinkhole, è il fatto che l'acqua di riempimento, mineralizzata e con risalita di gas, presenta una prevalenza tale da renderla a volte artesianiana al piano campagna o al di sopra di esso, generando quindi delle sorgenti. La coesistenza di acque mineralizzate e di emissioni gassose, sostanzialmente riconducibili a CO_2 , H_2S , assente o limitata nei sinkhole classificati nelle altre categorie, induce ad invocare un modello genetico ed evolutivo che si discosta da quelli comunemente accettati. Si può ipotizzare un ruolo attivo e di primo piano svolto dal "fattore A/G" (Artesianismo/Gas), sia nella genesi che nello sviluppo di questo tipo di fenomeni. In particolare, si pensa che, al momento della formazione di questi fenomeni, la risalita di acque miscelate a gas di origine profonda possa aver meccanicamente contribuito in maniera determinante all'attivazione degli sprofondamenti. In Regione Lombardia, al momento, non sono noti fenomeni di questo tipo;

d) Sinkhole di evorsione: sono relativi a processi erosivi provocati da turbolenze ad asse verticale (dall'alto verso il basso), mulinelli, che si verificano generalmente in grandi piane alluvionali (es. Pianura Padana) in seguito a rotte arginali, denominati anche "bugni", "gorghi", "laghetti di rotta". Le forme risultanti da tali processi possono essere depressioni asciutte o laghetti sub-circolari in aree di pianura, di dimensioni osservate con diametri variabili da 30 a 100 m e profondità fino a un massimo di 13 -15 m. Tali forme risultano collocate ove si può ritenere che si sia prodotta la confluenza di notevoli quantità d'acqua, ai piedi di un argine fluviale in corrispondenza di una rotta, o in un territorio depresso nel luogo di convogliamento di acque tracimate, oppure in punti in cui queste hanno dovuto attraversare strutture lineari come argini, dossi, cordoni litoranei. Queste cavità si formano su terreni in cui è presente una grande percentuale di sabbia. In tali condizioni possono anche associarsi processi di *suffosione superficiale* e sifonamento; infatti, in condizioni di elevata pressione idrostatica, in tali ambienti e negli stessi punti, è anche frequente la formazione di "fontanazzi".

I **sinkhole antropogenici** sono voragini di forma e dimensioni varie, originate dalla presenza di un vuoto sotterraneo (cavità) realizzato dall'uomo per un particolare fine (es. cave/miniere sotterranee costituite da reti di gallerie a volte non bonificate dopo il loro utilizzo) o generatosi indirettamente a causa di attività umane (es. dilavamento dei terreni sciolti al di sotto del manto stradale dovuto a disfunzioni della rete dei sottoservizi) o dal sommarsi di entrambe le cause.

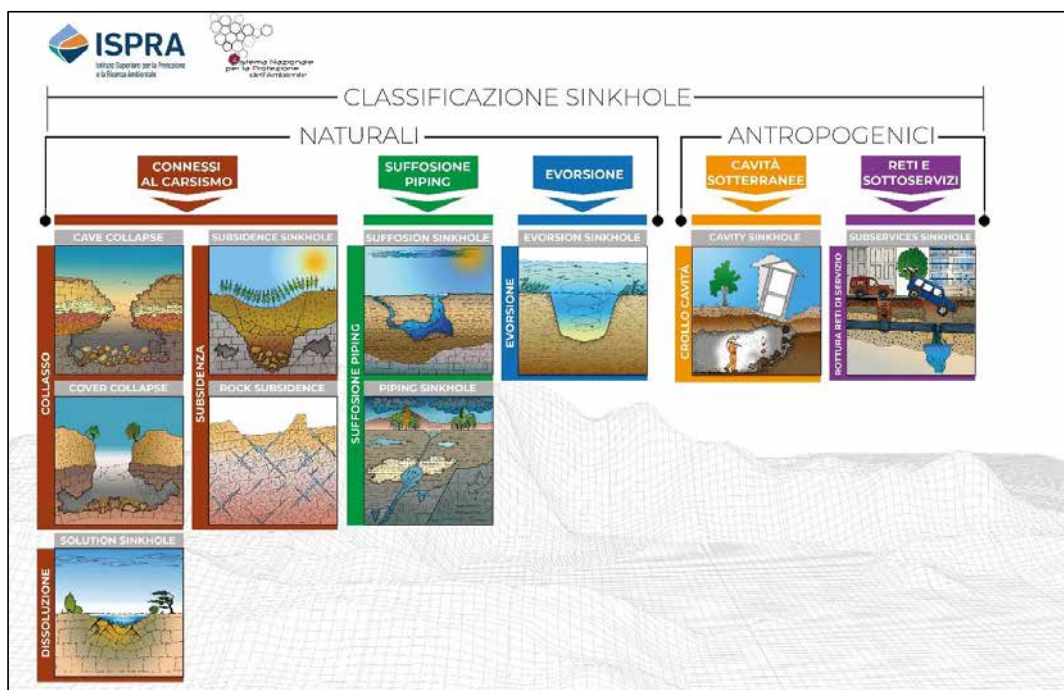


Fig. 1 – Classificazione sinkhole secondo ISPRA

Cause predisponenti e innescanti

I sinkhole si originano in contesti di complesse situazioni geologico-strutturali ed idrogeologiche del territorio che ne costituiscono le cause predisponenti. Vengono innescati per motivi di diversa natura quali un sisma, un periodo di siccità, o una alluvione o l'emungimento di grandi quantitativi di acqua dal sottosuolo che possono provocare variazioni rapide del livello piezometrico.

Le cause, molteplici e spesso concomitanti, possono essere appunto distinte in predisponenti ed innescanti il fenomeno, così come di seguito riassunte in via indicativa e non esaustiva:

Cause predisponenti

- presenza di un substrato carbonatico o costituito da roccia solubile (calcari, dolomie, evaporiti o rocce solfatiche) sottoposto a fenomeni carsici; presenza di una morfologia del bedrock accidentata, sia a piccola che a grande scala, con macroforme carsiche (*doline*, *uvala*, *crepacci* e *grotte*) e con cavità carsiche presenti al tetto del substrato (interfaccia suolo/roccia) risultato di processi corrosivi e pedogenetici per i sinkhole di origine carsica e per piping;
- presenza di un pacco di sedimenti impermeabili o semi-permeabili al tetto del substrato costituito da limi, argille, sabbie a differente granulometria omogenee o eterogenee per i sinkhole di evorsione e per piping;

- Scadenti caratteristiche fisico-meccaniche (consolidazione, addensamento, resistenza) dei materiali costituenti il manto superiore per i sinkhole di eversione e per piping;
- presenza di un reticolo di fratture o faglie che permettano una maggiore circolazione idrica e una notevole erosione meccanica per i sinkhole di eversione, suffosione, piping e carsici;
- presenza di abbondanti acque di circolazione sotterranea per i sinkhole di suffosione superficiale, piping e carsici;
- presenza di gas nel sottosuolo, generalmente CO₂ e H₂S, che consentano la dissoluzione dei materiali di copertura e la risalita delle acque per i sinkhole di piping;
- scarsa presenza di un manto vegetale che possa esercitare un effetto limitante nei confronti della mobilitazione dei terreni;
- presenza di cavità sotterranee di origine antropica (siti minerari/aree interessate da attività estrattive passate) per i sinkhole antropogenici.

Cause innescanti

- intensità elevata delle precipitazioni piovose e alternanza di periodi secchi e piovosi con conseguente incremento della circolazione d'acqua nel sottosuolo, oscillazioni del livello piezometrico, ecc;
- scosse sismiche;
- carichi superficiali;
- attività antropiche (estrattive, emungimenti di acqua, etc.). Il forte emungimento per uso irriguo ed idropotabile fa sì che si sviluppino, in prossimità dei pozzi, coni di depressione tali da far aumentare notevolmente la velocità dei flussi idrici e quindi l'asportazione delle particelle dei sedimenti e la subsidenza delle coperture alluvionali.

Maggiori informazioni sulla classificazione, sulle cause predisponenti e sui fattori innescanti sono reperibili sul sito ISPRA, periodicamente aggiornato, al quale si rimanda (<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/sinkholes-e-cavita-sotterranee>). Al medesimo sito si rimanda anche per l'indicazione della bibliografia di riferimento sul tema sinkhole.

Fase 1 – Individuazione delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee

Il manifestarsi in superficie di fenomeni di sprofondamento, connessi alla presenza o all'evoluzione di cavità sotterranee, è da ricondurre ai diversi fattori predisponenti e innescanti elencati in precedenza.

Vi sono pertanto delle aree ove questi fattori sono prioritariamente presenti, ad esempio:

- siti minerari/aree interessate da attività estrattive passate;
- siti archeologici;
- aree carsiche;

- aree con presenza di litotipi potenzialmente soggetti a fenomeni di dissoluzione (depositi evaporitici);
- aree con condizioni favorevoli allo sviluppo di occhi pollini; a tale scopo si invita a far riferimento allo studio pilota di "Aggiornamento del quadro conoscitivo relativo alla suscettività del territorio della provincia di Monza e della Brianza al fenomeno degli occhi pollini";
- aree individuate da indagini stratigrafiche preesistenti o indagini geognostiche realizzate *ad hoc* con presenza di livelli/orizzonti a scadenti caratteristiche geotecniche, oppure con cavità vere e proprie, a profondità potenzialmente interferenti con le fondazioni (o anche superiore);
- aree con evidenze di variazioni plano-altimetriche del suolo, ove si sono osservate lesioni/cedimenti negli edifici, nei sottoservizi e nelle sovrastrutture e ove si sono verificati eventi di sprofondamento pregressi.

L'individuazione delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee rientra nella fase di analisi per la redazione/aggiornamento della componente geologica Idrogeologica e sismica del PGT, nell'ambito della quale il territorio comunale viene inquadrato dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico, stratigrafico e strutturale.

In tale fase devono essere consultate le banche dati tematiche disponibili sul Geoportale della Lombardia quali, in particolare, le seguenti: [Cartografia geologica \(Progetto CARG\)](#), [Banca Dati Geologica di Sottosuolo](#), [Dati interferometria radar](#), [Suscettività al fenomeno degli occhi pollini nel territorio di Monza e della Brianza](#), [Inventario dei fenomeni franosi \(IFFI\)](#) oltre al [Database nazionale dei sinkhole e ad altri quadri conoscitivi di riferimento che verranno messi a disposizione a tale scopo attraverso il Geoportale della Lombardia](#).

Se nel territorio in esame si sono verificati in passato eventi di dissesto legati a fenomeni di sprofondamento, la fase di ricerca storica e bibliografica dovrà includere la raccolta delle informazioni relative a tali eventi, la loro descrizione e catalogazione utilizzando la scheda proposta da ISPRA e riportata nell'Allegato B1, nonché la loro georeferenziazione e rappresentazione nella cartografia di analisi. La compilazione della scheda è soprattutto funzionale alla caratterizzazione e classificazione del fenomeno (cause predisponenti, innescanti e possibile evoluzione del fenomeno), dalle quali discende la scelta delle tecniche di intervento e di monitoraggio.

In assenza di manifestazioni superficiali di sprofondamento, ma in presenza nel sottosuolo di condizioni favorevoli alla loro formazione/evoluzione, l'indagine storica e bibliografica dovrà includere la ricerca di eventuali segni premonitori quali evidenze di movimenti del suolo e di lesioni sugli edifici esistenti, con interviste ai tecnici comunali, ai gestori del servizio idrico integrato, agli abitanti e con consultazione della bibliografia locale (archivi comunali, parrocchiali), nonché acquisizione di informazioni presso gli enti competenti all'attività mineraria con particolare riferimento ad attività estrattive in sottoterraneo.

All'interno delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee, nell'ambito della componente geologica del PGT è opportuno che, oltre alla loro individuazione, siano sviluppati studi di approfondimento finalizzati ad una zonazione della pericolosità. Tali studi sono obbligatori qualora le aree individuate interferiscano con l'edificato esistente o di progetto in particolare quando sia prevista la realizzazione di nuovi edifici strategici e rilevanti (D.d.u.o. 22 maggio 2019, n. 7237) oppure qualora le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee interessino l'intero territorio comunale o aree vaste, com'è il caso dell'alta pianura lombarda (N.B. Il territorio della Provincia di Monza e Brianza dispone già di una zonazione della pericolosità a scala provinciale).

Qualora tali studi non vengano realizzati in fase di redazione/aggiornamento della componente geologica del PGT, nella carta di fattibilità geologica delle azioni di piano, dovrà essere attribuita una classe di fattibilità geologica 3 (consistenti limitazioni) e nelle norme geologiche di piano dovranno essere previste obbligatoriamente, in fase attuativa, le indagini di approfondimento indicate nel seguito (Fase 3), che potranno evidenziare l'impossibilità di trasformazioni dell'uso del suolo oppure la loro possibilità, condizionata, ad esempio, nella modalità di realizzazione delle fondazioni o nella necessità di preventivi interventi di consolidamento del sottosuolo.

In caso di svolgimento degli studi di zonazione di dettaglio della pericolosità, potranno essere adottate più sottoclassi o classi differenti: classe di fattibilità 2, per le aree a minor pericolosità di dettaglio; classe di fattibilità 4 per le aree entro le quali la valutazione di dettaglio della pericolosità ha evidenziato l'impossibilità di trasformazioni d'uso del suolo.

Fase 2 - Zonazione della pericolosità entro le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee

La zonazione di dettaglio della pericolosità è obbligatoria in fase di redazione/aggiornamento della componente geologica del PGT:

- qualora le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee delimitate nella Fase 1 interessino l'intero territorio comunale o aree vaste, com'è il caso dell'alta pianura lombarda. Si evidenzia che tale zonazione, per il territorio della Provincia di Monza e della Brianza, è già disponibile negli studi svolti a scala provinciale ed è di riferimento obbligatorio;
- qualora entro le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee delimitate nella Fase 1:
 - o ricadano aree già edificate, per le quali si condurrà anche una valutazione di dettaglio del rischio;
 - o sia prevista la realizzazione di nuovi edifici, soprattutto se strategici e rilevanti (D.d.u.o. 22 maggio 2019, n. 7237).

Quale metodologia per la realizzazione degli studi finalizzati alla zonazione della pericolosità entro le aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee, si riporta:

- la metodologia seguita nello studio pilota di “Aggiornamento del quadro conoscitivo relativo alla suscettività del territorio della provincia di Monza e della Brianza al fenomeno degli occhi pollini”.
- la metodologia seguita da ISPRA-Regione Lazio e CNR IGAG per l'analisi della suscettibilità ai sinkhole del territorio della Regione Lazio.

Di queste metodologie si riporta di seguito una sintesi descrittiva.

Metodologia seguita nello studio pilota di “Aggiornamento del quadro conoscitivo relativo alla suscettività del territorio della provincia di Monza e della Brianza al fenomeno degli occhi pollini”

Lo studio pilota finalizzato alla zonazione di dettaglio della pericolosità dovuta al fenomeno degli “occhi pollini” è stato condotto nell’ambito di un accordo stipulato tra Provincia di Monza e della Brianza, ATO Monza e Brianza e BrianzAcque. La prima fase si è completata nel 2020 ed ha riguardato i 15 comuni più orientali del territorio della Provincia di Monza e della Brianza; nel 2022 si è completata la seconda fase che riguarda i restanti Comuni della Provincia. Come già anticipato, il lavoro rientra in un progetto più ampio che vede la partecipazione anche della Prefettura di Monza e Brianza, dei Comuni della Provincia e di Regione Lombardia, che a sua volta ha stipulato una convenzione con ISPRA, per l'alimentazione, con i dati prodotti nello studio, del Data Base Nazionale dei Sinkhole.

Lo studio ha aggiornato e approfondito la precedente individuazione e zonazione delle aree suscettibili al fenomeno degli occhi pollini condotta nel 2011, prevalentemente sulla base della cartografia geologica di superficie, e recepita nel PTCP di Monza e Brianza, che ha anche incluso linee guida per gli approfondimenti da svolgere da parte dei Comuni.

Lo studio ha incluso le seguenti fasi¹:

- Ricostruzione geologica di superficie e di sottosuolo utilizzando la cartografia geologica alla scala 1:50.000 e 1:10.000 prodotta nell'ambito del Progetto CARG;
- Ricostruzione idrogeologica;
- Inquadramento bibliografico relativa al tema “occhi pollini”;
- Raccolta dati storici relativi ad eventi di sprofondamento che hanno raggiunto la superficie con aperture di voragini o abbassamenti della superficie del terreno o che sono stati messi in luce durante l'apertura di scavi, o ancora che hanno interessato i sottoservizi attraverso interviste con tecnici delle amministrazioni locali, gestori del servizio idrico integrato e analisi delle componenti geologiche degli strumenti urbanistici comunali;
- Raccolta capillare di dati stratigrafici preesistenti relativi a indagini dirette (sondaggi, pozzi) e indirette (prove penetrometriche statiche, dinamiche, indagini geoelettriche, indagini sismiche tipo Masw) dalle seguenti fonti:

¹ Lo studio completo è disponibile sul [sito istituzionale della Provincia di Monza e della Brianza](#) e sul [sito di Regione Lombardia](#)

- o Banca Dati geologica di sottosuolo regionale costruita nell'ambito del Progetto CARG e integrata con i dati derivanti dalle componenti geologiche dei PGT dei Comuni;
 - o Relazioni geologiche e geotecniche redatte ai sensi delle Norme Geologiche di Piano comunali e delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17 gennaio 2018) stilate successivamente al 2011 (data dello studio utilizzato nel vigente PTCP);
- Georeferenziazione delle indagini, catalogazione, normalizzazione e analisi integrata dei dati stratigrafici raccolti con individuazione e ricostruzione di livelli a potenziale presenza di occhi pollini in profondità e arealmente;
- Analisi delle relazioni tra distribuzione dei livelli a potenziale presenza di occhi pollini, geologia di sottosuolo, di superficie, relazioni con la falda;
- Rappresentazione cartografica della pericolosità rispetto al fenomeno degli occhi pollini utilizzando 4 classi: H4-alta, H3-media, H2-moderata e H1- bassa in base al contesto geologico di superficie e di sottosuolo ricostruito in base ai dati disponibili e tenendo in considerazione il modello genetico di sviluppo delle cavità;
- Rappresentazione cartografica del rischio attraverso l'attribuzione di un valore di danno coerente con quello indicato nell'Allegato 4 alla d.g.r. 2616/2011 per gli studi di approfondimento entro le aree esposte al rischio idraulico, e vulnerabilità a ciascuna categoria di uso del suolo, utilizzando la banca dati DUSAF, il Data Base Topografico della Regione Lombardia e le più recenti mappature elaborate ai fini della redazione della carta del consumo di suolo ai sensi della l.r. 31/2014 nell'aggiornamento 2022; Valutazione del rischio per gli ambiti di trasformazione previsti nei PGT vigenti dei Comuni;
- Definizione di indirizzi preliminari finalizzati a migliorare l'azione di prevenzione del rischio legato alla possibile presenza o insorgenza di occhi pollini, definiti tenendo conto del diverso grado di pericolosità, e articolati in azioni rivolte alla migliore identificazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni e azioni rivolte alla gestione delle acque meteoriche allo scopo di limitare l'insorgenza e/o lo sviluppo del fenomeno.
- Tra gli indirizzi relativi all'esecuzione delle indagini, viene indicata ad esempio la necessità di indagini specifiche anche nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, a maggior cautela rispetto alle NTC2018 - par. 6.6.2. se ricadenti in aree classificate come H4 e H3; viene indicata la profondità alla quale vanno spinte le indagini nelle diverse zone, vengono indicati vantaggi e svantaggi di diversi metodi di indagine diretta e indiretta in relazione alla problematica degli occhi pollini.

[Metodologia seguita da ISPRA-Regione Lazio e CNR IGAG per l'analisi della suscettibilità ai sinkhole del territorio della Regione Lazio.](#)

Nell'ambito di una collaborazione attivata tra ISPRA, Regione Lazio e CNR-IGAG è stato condotto uno studio della Suscettibilità ai sinkholes di origine naturale sul

territorio del Lazio che ha portato alla redazione della Carta di suscettibilità ai Sinkholes del Lazio basata sull'analisi geo-statistica². 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.

La valutazione della suscettibilità è stata effettuata utilizzando alcuni parametri ambientali (litologia, profondità del substrato, permeabilità, piezometria, sorgenti dolci minerali, termominerali e loro portata, punti di emissione di gas del sottosuolo, faglie e faglie attive, epicentri ed intensità dei terremoti, doline, uso del suolo, gravimetria) che si ritiene possano entrare in gioco nel processo di formazione di un sinkhole e attraverso l'assegnazione di un peso ad ogni elemento. I risultati sono stati espressi in termini di probabilità che il fenomeno si manifesti nello spazio (considerando un tempo infinito). Il calcolo dei pesi che sono stati assegnati a ciascuno dei fattori predisponenti è stato basato su l'applicazione di una tecnica statistica multivariata: la regressione logistica binaria.

Il territorio del Lazio, i cui fenomeni di sinkhole più peculiari si manifestano nelle aree di pianura, è stato pertanto zonato sulla base della sua suscettibilità al fenomeno sinkhole.

Le aree maggiormente suscettibili sono risultate alcune aree di piana alluvionale o costiera, conche intramontane, in cui il substrato carbonatico è ribassato da faglie di importanza regionale che favoriscono la circolazione di fluidi e gas. Alcuni fenomeni di 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 tali fenomeni sono la Piana delle Acque Albule in provincia di Roma e la Piana di Viterbo.

Le più peculiari conche intramontane laziali 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. Nella provincia di Frosinone sono casi di studio la Piana di Sora, l'area di Posta Fibreno, la Piana di Cassino. Molti fenomeni di sinkholes si sviluppano nella pianura costiera Pontina in provincia di Latina.

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.

Per maggiori informazioni relative al metodo utilizzato, si rinvia al sito istituzionale ISPRA.

² CIOTOLI G. (*), DI LORETO E. (**), LIPERI L. (**), MELONI F. (**), NISIO S. (*), SERICOLA A. (**) - Carta dei sinkholes del Lazio 2012 e sviluppo futuro del progetto sinkhole - Mem. Descr. Carta Geol. D'It. XCIX (2015), pp. 189 – 202.

Fase 3 - Indagini da svolgere nelle aree ad alta pericolosità per la presenza/evoluzione di cavità sotterranee o nelle aree ove non sono state svolte zonazioni di pericolosità

Entro le aree che, a seguito della zonazione di dettaglio della pericolosità svolta nella Fase 2, risultino a maggior pericolosità oppure entro le aree individuate nella Fase 1, qualora non venga svolta una zonazione di dettaglio della pericolosità nell'ambito della componente geologica del PGT, le norme geologiche di piano devono obbligatoriamente prevedere, nella fase attuativa degli interventi, anche di tipo infrastrutturale, approfondimenti che dovrebbero includere i seguenti elementi:

1. **inquadramento di dettaglio dell'area di studio** dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico, stratigrafico e strutturale;
2. **indagine locale** su eventuali fenomeni di sprofondamento verificatisi sull'area e in un intorno significativo, su evidenze di movimenti della superficie e su lesioni sugli edifici esistenti nell'area e nelle zone limitrofe, con interviste ai tecnici comunali, agli abitanti, ai gestori del servizio idrico integrato, ecc.;
3. **indagine geofisica** (rilievo gravimetrico o microgravimetrico, geoelettrico, elettromagnetico, radar, sismico di superficie o in foro o altro) condotta utilizzando uno o più metodi di prospezione, opportunamente scelti in base alla situazione locale (area da investigare, profondità da raggiungere, stratigrafia ipotizzata, presenza o meno di materiali fini in superficie che possono limitare la penetrazione in profondità, possibili interferenze quali presenza di sottoservizi, ecc.). La scelta del metodo di indagine ritenuto più adeguato andrà argomentata e motivata dai professionisti incaricati. Indicazioni operative sui diversi metodi sono illustrate nella Tabella 1;
4. **indagine geognostica diretta** comprendente prove penetrometriche e uno o più sondaggi a carotaggio continuo, in numero e distribuzione dipendenti dall'estensione dell'area da investigare, utili per la verifica delle stratigrafie preesistenti, per la taratura dei rilievi geofisici di superficie e/o per la realizzazione di rilievi geofisici in foro (es. tomografie sismiche tra fori adiacenti) e la loro calibrazione. La profondità d'indagine deve essere definita in modo tale che sia utile alla taratura dei dati relativi ai rilievi geofisici, nonché alla verifica delle stratigrafie esistenti. Le indagini devono in ogni caso raggiungere le profondità alle quali è più probabile che si attestino cavità o orizzonti a bassa o nulla resistenza, se questa informazione è indicata negli studi a carattere sovralocale (comunale o di area vasta). Indicazioni operative sui diversi metodi sono illustrate nella Tabella 1;
5. **delimitazione, caratterizzazione e classificazione dei sinkhole** (naturali o antropogenici) secondo la classificazione ISPRA e utilizzando la scheda di cui all'Allegato B1 **o delle aree a potenziale presenza di sinkhole**;
6. **analisi della pericolosità/suscettività dell'area e delle aree limitrofe**;

7. **relazione descrittiva degli approfondimenti svolti** con cartografia e sezioni di sintesi delle informazioni raccolte con zonazione delle aree a diverso grado di pericolosità potenziale.

Tabella 1 - Principali metodologie di indagine, vantaggi e svantaggi

INDAGINE	VANTAGGI	SVANTAGGI
Prove penetrometriche dinamiche (PPD)	- Economiche, di facile realizzazione - Buona definizione della profondità sulla verticale in caso di intercettazione di cavità vuote - Per la loro economicità e per il fatto di acquisire dati di resistenza in continuo, costituiscono la prova principe ai fini della delineazione del quadro geotecnico di riferimento. La loro distribuzione minimale deve essere condotta seguendo la distribuzione geometrica consigliata dalla AGI 1977 e s.m.i. (maglia regolare anche per strutture di modesta entità) - La loro corretta distribuzione consente la migliore mappatura di base realizzabile attraverso prove dirette di tipo meccanico	- Puntuali, quindi ad esempio l'intercettazione di occhi pollini è fortuita - La profondità raggiungibile dipende dal tipo di terreno - Prove indirette, quindi non consentono la visione diretta della stratigrafia di sottosuolo - Non è sempre fattibile riconoscere gli occhi pollini, quando questi si presentano come cavità riempite da depositi detensionati o cavità di piccole dimensioni
Prove penetrometriche statiche (PPS)	- Definizione delle litologie attraversate migliore che nelle PPD - Per la loro economicità e per il fatto di acquisire dati di resistenza in continuo, costituiscono la prova principe ai fini della delineazione del quadro geotecnico di riferimento. La loro distribuzione minimale deve essere condotta seguendo la distribuzione geometrica consigliata dalla AGI 1977 e s.m.i. (maglia regolare anche per strutture di modesta entità) - La loro corretta distribuzione consente la migliore mappatura di base realizzabile attraverso prove dirette di tipo meccanico	Stessi delle PPD, in più: - Adatte per terreni fini
Prove SPT in foro di sondaggio	- Prove standardizzate - Raggiungono profondità maggiori rispetto alle PPD o PPS - Se eseguite con punta aperta, consentono di prelevare un campione di terreno - Eventuali livelli a rifiuto possono essere superati con l'esecuzione del foro	- Sono puntuali come le PPD e PPS - Non sono continue lungo la verticale e quindi è possibile non intercettare un occhio pollino; - Costi e tempi di realizzazione maggiori che per le PPD
Sondaggi	- Consentono la visione diretta dei terreni attraversati - Possono essere eventualmente accoppiati a prove SPT - La loro esecuzione, sempre consigliabile, deve essere considerata un compendio	- Sono puntuali - Costi elevati - L'esecuzione del sondaggio può obliterare un occhio pollino, in special modo se si usa acqua quale fluido di circolazione

INDAGINE	VANTAGGI	SVANTAGGI
	alle indagini geotecniche in continuo di cui sopra (PPD e PPS)	- Possibile difficoltà nel recupero di materiale molto sciolto
Indagini Ground Penetrating Radar (GPR)	- Si prestano ad indagini su superfici ampie, solo se lisce e regolari, o comunque laddove può essere garantito un efficace accoppiamento tra antenna e terreno - In caso di cavità vuote di media dimensione, a bassa profondità (1-3 m p.c.) e su superfici ottimali, le anomalie radar ad esse associate hanno un'elevata probabilità di riconoscimento utilizzando antenne a media-bassa frequenza (400-500 MHz)	- Necessitano di una taratura - La propagazione degli impulsi EM è fortemente attenuata dai materiali ad alto-assorbimento, quali terreni ad elevata componente argillosa e terreni alterati - Poiché la riflessione degli impulsi è funzione del contrasto nelle proprietà EM dei materiali, nel caso di cavità riempite con materiale di caratteristiche simili a quello di contenimento (in particolare, per la presenza di frazione argillosa diffusa) la probabilità di riconoscimento è molto bassa - In contesti urbanizzati la presenza di sottoservi e infrastrutture a bassa profondità diminuisce la riconoscibilità dei segnali a profondità elevata - Per la generale scarsa profondità di investigazione, soprattutto in terreni a matrice fine ad elevato assorbimento elettromagnetico, viene consigliata solo per la ricerca di strutture tipo "occhi pollini" vuote a piccola profondità (1-3 m circa di profondità da P.C.) - necessario compromesso tra costi e obiettivi di progettazione
Indagini geoelettriche multi-elettrodo 2D e 3D (Earth Resistivity Imaging; ERI)	- Indagine robusta, sia come acquisizione sia come elaborazione, laddove può essere garantito un efficace accoppiamento tra elettrodi ed terreno - Consente di indagare ampi volumi di terreno in profondità con una buona risoluzione (funzione del passo elettrodo), adottando strategie di acquisizione/elaborazione quasi-2D e 3D e in presenza di lunghezze adeguate per gli stendimenti - Consente di ottenere in ogni caso una visione/immagine di insieme del sottosuolo in forma continua e ripetibile	- L'interpretazione dei valori di resistività, soprattutto quando non calibrata a livello locale, è affetta da incertezza in relazione alla complessità, all'eterogeneità e all'anisotropia dei terreni tipici del contesto di formazione degli occhi pollini e richiede necessariamente un approccio integrato geologico-geofisico e idro-geotecnico

INDAGINE	VANTAGGI	SVANTAGGI
	nel tempo, altrimenti non ottenibile con altri metodi indiretti - Costituiscono l'indagine geofisica più versatile e rappresentativa, in quanto sensibile a caratteristiche sia litologico-tessitureali che di saturazione; i risultati sono massimizzati quando realizzate a compendio e integrazione di adeguate indagini geotecniche	- È uno strumento diagnostico potente, ma le anomalie ERI hanno caratteristiche che dipendono sia dalle caratteristiche della struttura sia da quelle del terreno che le circonda, per cui le anomalie non sono prevedibili a priori - Necessario compromesso tra costi e obiettivi di progettazione

Presentazione dei risultati relativi ad indagini sito-specifiche

Le analisi svolte sull'area, in sede attuativa, devono essere puntualmente descritte in una Relazione specifica, corredata da idonea cartografia, che deve includere:

- inquadramento dell'area di studio dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e strutturale, costruito in base ai dati esistenti nonché alla ricerca storica e bibliografica, corredata da idonea cartografia;
- l'esito dell'indagine locale, con rappresentazione dei punti oggetto di verifica/intervista, inclusi quelli che hanno dato esito negativo;
- descrizione dei rilievi geofisici, se svolti, con: a) esplicitazione del motivo che ha condotto alla scelta del metodo; b) rappresentazione della superficie oggetto di rilievo con tracciati/punti di indagine; c) ricostruzioni in sezione e areali del sottosuolo con evidenziazione delle anomalie;
- descrizione delle indagini geognostiche, se realizzate, con ubicazione (posizione indicata nel sistema di coordinate piane UTM32N riferito al sistema geodetico di riferimento WGS84, codice EPSG 32632), stratigrafia, fotografie carote;
- delimitazione e classificazione del/i fenomeno/i e compilazione della scheda riportata in Allegato B1, in caso i fenomeni abbiano generato evidenze superficiali;
- giudizio sintetico sulle limitazioni alle potenziali trasformazioni del suolo, comprendente l'indicazione delle opere di prevenzione e salvaguardia (accorgimenti costruttivi, smaltimento acque meteoriche, monitoraggi da adottare/prevedere) e loro rappresentazione cartografica.

Occorre tener presente che le indagini svolte in sede attuativa degli interventi edilizi secondo le indicazioni fornite dalle Norme Geologiche di Piano potrebbero evidenziare la necessità di subordinare la realizzabilità degli interventi edilizi ad interventi fondazionali e strutturali specifici o l'impossibilità di realizzare gli interventi previsti, anche a causa di un rapporto costi/benefici inaccettabile. È pertanto auspicabile che il Comune svolga la zonazione di dettaglio di cui alla Fase 2 in occasione della revisione della componente geologica, con approfondimento e secondo criteri omogenei a scala comunale e non rinvii questa fase alla fase attuativa.

Si fa presente, inoltre, che le analisi di approfondimento locale suggerite nella presente linea guida possono variare, sia a seconda del grado di pericolosità già definito o atteso, sia della tipologia delle nuove trasformazioni d'uso del suolo previste o dell'urbanizzazione già presente, tenendo conto che la finalità delle analisi è la prevenzione dei rischi in fase di pianificazione o la gestione dei rischi già presenti, sempre cercando un equilibrio tra costi e benefici attesi.

Monitoraggio

In base ai risultati delle indagini, alla tipologia e al processo di formazione del fenomeno rilevato, nonché alla tipologia di intervento di trasformazione del suolo prevista, potrà essere valutata la predisposizione di un piano di monitoraggio delle variazioni plano-altimetriche dell'area mediante il posizionamento razionale di capisaldi di misura, in numero adeguato rispetto all'estensione dell'area stessa e alle sue caratteristiche. A tale scopo potranno essere utilizzati anche i dati di interferometria radar consultabili anche attraverso il Geoportale della Lombardia.

Gestione delle acque meteoriche

Nelle aree interessate dai fenomeni in oggetto, va posta particolare attenzione alle modalità di gestione delle acque meteoriche che, soprattutto in caso di cavità presenti in depositi incoerenti, possono determinare lo sviluppo in estensione, e/o l'insorgenza di nuove discontinuità nei terreni.

È quindi da valutare attentamente in tali zone, nei progetti di invarianza idraulica, l'infiltrazione nel sottosuolo, secondo quanto riportato nel Regolamento Regionale 7/2017.

Allegato B1 – Scheda per il censimento dei Sinkhole

PROGETTO SINKHOLE		ISPRA - Dipartimento Difesa del suolo Servizio Geologia applicata e idrogeologia		SCHEDA DI CENSIMENTO DEI FENOMENI DI SINKHOLE a cura di: Nisio S., Caramanna G., Ciotolli G.: modificata da Regione Lombardia novembre 2022											
Sigla		ID Sinkhole¹		Data di formazione: gg/mm/aa ² h											
				Data certa		Data presunta									
GENERALITA'															
Compilazione				Localizzazione											
Data				Regione		Provincia									
Compilatore				Comune											
				Località											
Istituzione				IGM 1:25.000 n°		Toponimo									
CTR Scala		N°		Toponimo		Utm32Long³		Lat							
MORFOMETRIA E POSIZIONE															
Quota del p.c. (m)		Profondità iniziale		Profondità 3		Tipologia dell'area									
Diametro min. (m)		Data 2		Area totale A(m²)		Valle fluviale/Piana alluvionale		Dorsale							
Diametro max. (m)		Diametro 2		Volume (m³)		Conca intramontana		Versante							
Diametro medio (m)		Profondità 2		Profondità del substrato		Pianura costiera		Centro abitato							
Profondità (m)		Data 3		Certa Presunta		Bacino pull a part									
Diametro iniziale (m)		Diametro 3		Distanza della dorsale km		Valle tettonica (graben)									
CAUSE															
Predisponenti						Innescanti									
Copertura con scadenti caratteristiche fisico - meccaniche						Precipitazioni eccezionali									
Substrato carsificabile						Alternanza di eventi alluvionali e di siccità									
Litologia carsificabile in superficie						Variazione rapida della superficie piezometrica									
Faglie/fratture preesistenti						Evento sismico									
Materiale fratturato						Attività estrattive in superficie									
Presenza di fluidi aggressivi						Attività estrattive sotterranee									
Dissoluzione chimica						Attività agricole e pratiche colturali									
Rilevante circolazione idrica						Vibrazioni/Carichi									
Acquifero in pressione															
Contrasto di permeabilità															
Filtrazione di particelle verso il basso															
Cricoclastismo/termoclastismo															
Cavità da attività estrattiva in sottterraneo															
GEOLOGIA															
Unità 1 (top) Nome Formazione Profondità da m a m			Unità 2 Nome formazione Profondità da m a m			Unità 3 Nome formazione Profondità da m a m			Foglio geologico: nome Numero:						
									Sezioni geologiche ☐ Si ☐ No						
Giacitura 1: immers./inclinaz.			Giacitura 2: immers./inclinaz.			Giacitura 3: immers./inclinaz.									
1	2	3	Struttura	1	2	3	Litotecnica	1	2	3	Litologia	1	2	3	
			Massiva				Roccia				Rocce carbonatiche				Conglomerati e breccie
			Stratificata				Roccia lapidea				Travertini				Detriti
			Fissile				Roccia debole				Marne				Terreni prev. ghiaiosi
			Fessurata				Detrito				Flysch calcareo – marnosi				Terreni prev. sabbiosi
			Fratturata				Terra granulare				Arenarie, flysch arenacei				Terreni prev. limosi
			Scistosa				Terra granulare addensata				Argilliti, siltiti, flysch pelitici				Terreni prev. argillosi
			Vacuolare				Terra granulare sciolta				Rocce effusive laviche acide				Terreno eterogeneo/ Alluvioni miste
			Caotica				Terra coesiva				Rocce effusive laviche basiche				Terreno di riporto
			Granulare				Terra coesiva consistente				Rocce effusive piroclastiche				
Se necessario aggiungere i dati di altre unità su un foglio a parte						Terra coesiva poco consist.				Rocce intrusive acide					
						Terra organica				Rocce intrusive basiche					
						Unità complessa				Rocce metamorfiche					
						Unità complessa: alternanza				Rocce gessose, anidritiche, saline					
						Unità complessa: mélange				Rocce sedimentarie silicee					
GEOLOGIA STRUTTURALE															
Presenza di faglie		Attiva		Orientazione di faglie:		Evento sismico		Evento alluvionale							
Diretta		Non attiva		NS		Si ☐ No ☐		Si ☐ No ☐							
Inversa		Distanza dalla faglia principale (Km)		EW		Data		Data							

¹ ID Sinkhole: codiSTATComune+progressivo a livello comunale

² Da valorizzare con la data di formazione del sinkhole oppure, indicando ad esempio “antecedente al.....” o “non determinata”

³ Coordinate geografiche (gradi, primi, secondi)

Trascorrente		Presenza di fratture		NW-SE		Giorni dopo l'evento									
Trastensiva				NE-SW											
				NNE-SSW		Is epicentro									
				NNW-SSW											
				WNW-ESE		Is in loco									
				ENE-WSW											
METODOLOGIA UTILIZZATA PER LE OSSERVAZIONI CLASSIFICAZIONE ATTIVITA'															
Fotointerpretazione*		Tipologia/Mecanismo		n.d.		Stato di attività		n.d.		Velocità di formazione					
Rilevamento sul terreno		Antropogenici (anthropogenic sinkhole)				Attivo				Molto lento					
Monitoraggio		Naturali (Natural sinkhole) a) Carsici subsidenza Cover subsidence sinkhole Rock subsidence sinkhole crollo Cave collapse sinkhole Cover collapse sinkhole b) Eversione c) Suffosione superficialed) Piping sinkhole				Annegato				Lento					
Dallo storico/archivio						Ricolmato		naturalmente		Rapido					
Segnalazione						Riattivato		Data:		Estremamente rapido					
*in caso di scelta fotointerpretazione Id_volo (rif. Tabella volo_aer) Numero strisciata Numero fotogramma								Direzione:		Stadio evolutivo					
								Giovane							
				Maturo											
				Senile											
				Estinto											
				n. d. potenzialmente in evoluzione											
		Evoluzione morfometrica		Stile											
		Costante				Singolo									
		In allargamento				Gemellato									
		In diminuzione				Multiplo									
IDROGEOLOGIA															
Acque superficiali nell'area		Acque nel sinkhole		Caratteristiche acquifero		Falda									
Sorgenti		Assenti		sorgenti		Assente		Prof. (m)							
N°		Stagnanti		N°		T		n° falde							
Q. tot. l/sec		Immissario		Q. tot. l/sec		K(cm/sec)		Libera							
		Emissario				Cl		In pressione		Pozzi n°					
GEOCHIMICA															
Gas		Composizione della fase gassosa libera				Parametri chimico-fisici									
Presenti		CO2 (%):		CH4 (ppm):		N2 (%):		pH		Cond (µS/cm)					
assenti		H2S (ppm):		He (ppm):		O2 (%):		Eh (mV)		O2 (mg/l)					
		H2 (ppm):		Rn (Bq/l):		Altro:		T°C		Alcalinità (mg/l)					
GEOFISICA															
Sismica		Geoelettrica		Gravimetrica		note									
Stendimento		ρ Ohm.m		Zone di anomalia											
Down hole				Si											
Cross hole		G (mod. taglio)		No											
Vp (m/sec)				Profondità m											
Vs (m/sec)		μ (coeff. Poisson)													
E (mod Young)															
SEGNI PREMONITORI								USO DEL SUOLO							
Crolli localizzati				Inclinaz. pali o alberi		Aree urbanizzate		Bosco ceduo							
Rigonfiamenti				Scomparsa sorgenti		Aree estrattive		Bosco d'alto fusto							
Cedimenti				Scomparsa corsi d'acqua		Seminativo		Incolto nudo							
Lesioni dei manufatti				Comparsa sorgenti		Seminativo arboreo		Incolto macchia							
Fenditure, fratture				Variaz. Livello acqua pozzi		Colture specializzate		Cespugliato							
Scricchiolio strutture				Variaz. Portata sorgenti		Vegetazione riparia		Incolto prato pascolo							
Acqua in pressione nel suolo				Rumori sotterranei		Rimboscimento									
DANNI								n.d.							
Persone		Morti N.		Feriti N.		Evacuati N.		A rischio N.							
Edifici		Privati N.		Pubblici N.		Privati a rischio N.		Pubblici a rischio N.							
		Grado		Grado		Grado		Grado							
Centri abitati		Beni culturali		Corso d'acqua											
Attività economiche		Infrastrutture di servizio		Denominazione											
Terreno agricolo				Danno		scomparsa									
Strutture servizio pubblico						deviazione									
Grado di danno: N = non valutabile; L = lieve (estetico); M = medio (funzionale); G = grave (strutturale o perdita totale)															
STATO DELLE CONOSCENZE								CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE				INTERVENTI			
Relaz. tecniche				Copertura				Substrato				Sist. Idraul. - Protezione			
Relaz. sopralluogo				Progetto preliminare				1 2 3				Canalette superficiali			
Relazione geologica				Prog. Esecutivo/definitivo				IP				Trincee drenanti			
Indagini e monitoraggio				Ys				C				Pozzi drenanti			
Perforazioni, geognostiche				Piezometri				Yn				Dreni suborizzontali			
Analisi geotecniche lab.				Fessurimetri				W%				Gallerie drenanti			
Indagini idrogeologiche				Estensimetri				φ				Reti			
Geoelettrica				Clinometro				C				Colmamento			
Sismica				Assesmetro				Cu				Altro:			

[illegible]