

L'analisi dei fori da mina proposta metodologica e prime applicazioni

Gubertini Marco¹

Riassunto

La Società Adriatica di Speleologia ha avviato, nell'anno 2009, una campagna di documentazione di un gruppo di ipogei artificiali situato presso Sistiana (TS). Al fine di una corretta attribuzione temporale delle opere, resa difficoltosa dalla sovrapposizione di interventi antropici in epoche successive, si è elaborato un metodo innovativo di documentazione ed interpretazione delle cavità.

L'analisi dei fori da mina è un metodo di studio delle cavità artificiali scavate in roccia con esplosivo. Si basa sulla misura di alcune caratteristiche dei fori riscontrabili sul contorno del cavo (profondità, diametro, alterazione, aspetto, orientamento, etc.) finalizzata ad individuare gruppi omogenei di cavità. L'obiettivo consiste nel determinare le epoche di scavo, la tecnica utilizzata ed il succedersi di interventi in periodi differenti.

A tal fine sono stati predisposti appositi moduli di rilevamento, si sono discussi i criteri metodologici, si sono introdotti indici statistici e rappresentazioni grafiche; il metodo è stato quindi applicato alle citate cavità, e se ne sono discussi i risultati e la relativa validità.

PAROLE CHIAVE: fori da mina, tecniche di scavo in roccia, baia di Sistiana.

Abstract

THE BLASTHOLES ANALYSIS: METHODOLOGICAL PROPOSAL AND FIRST APPLICATIONS

The Adriatic Society of Speleology started, in 2009, a documentation campaign of a group of artificial hypogea located near Sistiana (TS). To determine correctly the excavation periods, made difficult by the superimposition of human interventions at later dates, has developed an innovative method of documentation and interpretation of the cavities.

The blastholes analysis is a method used to study the artificial cavities excavated in rock with explosives. It involves the measurement of certain characteristics of the holes found on the contour of the cavity (depth, diameter, alteration, appearance, orientation...) to determine homogeneous groups of cavities. The aim is to identify the periods of excavation, the technique used and the sequence of interventions occurred at different times.

The paper presents the survey forms, discusses the methodological criteria, introduces statistical indices and graphical representations; subsequently applies the method to the mentioned cavities and discusses the results and their validity.

KEY WORDS: blastholes, rock excavation techniques, Sistiana bay.

INTRODUZIONE

Adattare il territorio alle proprie esigenze è stato, per l'uomo, una necessità continua nei secoli. Anche nell'ambito specifico dell'esecuzione di scavi nel sottosuolo, la tecnica utilizzata per realizzare cavità in roccia si è evoluta di pari passo con la tecnologia disponibile.

I metodi utilizzati sono stati molti, variando tra epoche e tra civiltà diverse: si è passati dallo scavo mediante fuoco o con cunei di legno, in uso per millenni, all'utilizzo dal XVI secolo dell'esplosivo, fino allo sviluppo in

epoca contemporanea di sistemi meccanizzati quali le Tunnel Boring Machines.

Ogni tecnica di scavo ha caratteristiche proprie che ne hanno limitato l'applicabilità a particolari zone geografiche o periodi temporali. Per ogni tecnica, inoltre, la strumentazione di scavo si è evoluta nel tempo ed è stata differente tra diversi esecutori delle opere (geni civili, geni militari di differenti stati, ditte private...). Se da un'analisi morfologica di una cavità artificiale viene determinata la tecnica di scavo e le caratteristiche della strumentazione utilizzata, mediante un'int-

¹ Società Adriatica di Speleologia, Sezione di Speleologia Urbana, Trieste

grazione con dati storici si potrà risalire al periodo e all'esecutore dello scavo, ed eventualmente allo scopo per cui è stata realizzata.
Sulla base di questo principio è stato elaborato un metodo innovativo per la comprensione delle caratteristiche delle cavità artificiali, ossia l'*analisi dei fori da mina*.

TECNICA DI SCAVO CON ESPLOSIVO

L'*analisi dei fori da mina* si applica alle cavità scavate con una particolare tecnica, ossia mediante perforazione di fori in roccia, riempimento con materiale esplosivo e volata (*drill & blast*).

Tale modalità di scavo è stata la più utilizzata dal XVI secolo ai giorni nostri, in particolare nelle zone caratterizzate da rocce dure come i complessi carbonatici o flyschoidi.

La fig. 1 illustra le diverse fasi di cui si compone tale metodo di scavo:

1. Situazione della cavità precedente alla volata;
2. Esecuzione di fori nella parete da sbancare;
3. Caricamento con esplosivo ed intasamento dei fori;
4. Volata delle cariche esplosive e abbattimento della roccia;
5. Rimozione del materiale sbancato.

Si passa quindi alla volata successiva, riprendendo le operazioni sul nuovo fronte di scavo.

L'approccio di analisi proposto si basa sul fatto che, successivamente alla volata, restano visibili sulla parete parti dei fori da mina non completamente esplosi.

I fori da mina residui possono essere *trasversali*, *longitudinali* o *misti* (fig. 2).

I **fori trasversali** sono dati dalla mancata esplosione della parte terminale del foro, e solitamente si trovano all'interno della parete di avanzamento (fig. 3). Hanno diametro di alcuni centimetri ed una profondità dell'ordine del centimetro o del decimetro.

I **fori longitudinali** sono dati dall'esplosione di un solo lato del foro, e sono solitamente ubicati ai lati del fronte di avanzamento (fig. 4).

Si possono notare per la presenza di una cavità semicilindrica sulla parete della galleria, con un diametro di alcuni centimetri ed una lunghezza dell'ordine del centimetro o del decimetro.

I **fori misti** sono costituiti da un tratto di foro longitudinale, che si sviluppa lungo il profilo del cavo, e da un tratto trasversale, interno alla parete di avanzamento.

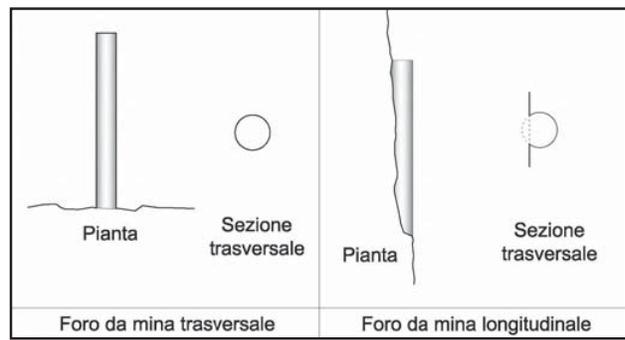


Fig. 2 - Fori da mina trasversali e longitudinali.
Fig. 2 - Transversal and longitudinal boreholes.

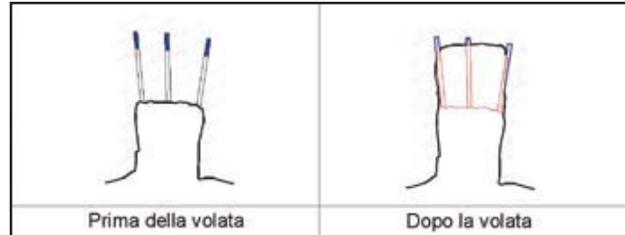


Fig. 3 - Formazione dei fori da mina trasversali.
Fig. 3 - Transverse boreholes formation.

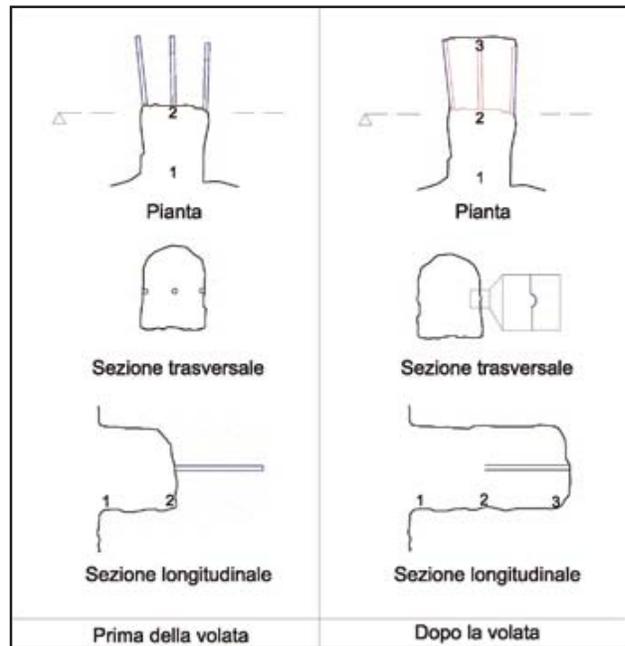


Fig. 4 - Formazione dei fori da mina longitudinali.
Fig. 4 - Longitudinal boreholes formation.

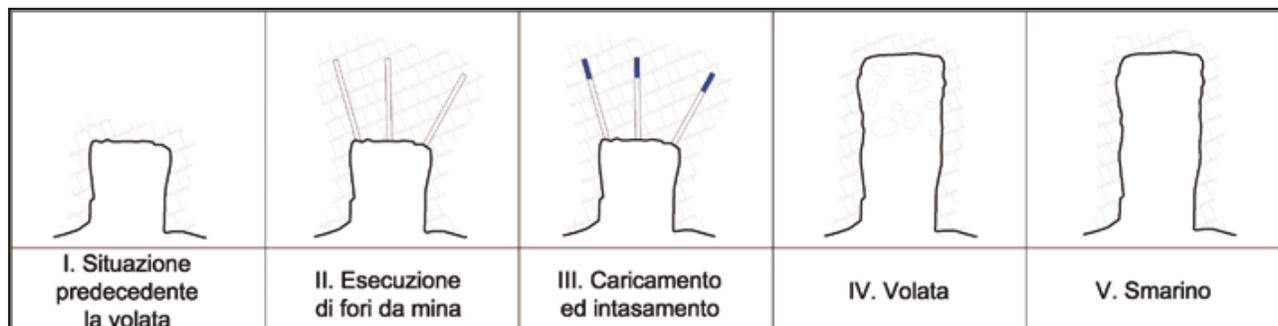


Fig. 1 - Tecnica di scavo di cavità in roccia.
Fig. 1 - Technique of cavity excavation in rock.

PROPOSTA METODOLOGICA

L'analisi dei fori da mina si basa sulla determinazione di alcune caratteristiche dei fori attualmente riscontrabili sul contorno delle cavità (profondità, diametro, alterazione, aspetto, orientamento, etc.), e dovuti alle operazioni di scavo.

I dati ottenuti per ogni cavità vengono quindi elaborati, al fine di stimare il diametro di perforazione, la dispersione delle misure ed individuare l'eventuale distribuzione multimodale.

I risultati relativi a cavità differenti vengono quindi confrontati ed correlati con le informazioni di tipo storico, al fine di formulare ipotesi sui periodi di costruzione ed ampliamento delle cavità, sugli esecutori delle opere e sullo scopo dell'ipogeo.

Fase 1: Misura delle caratteristiche del foro

Per ogni foro individuato nella cavità vengono determinati il diametro, la profondità ed altre caratteristiche qualitative; i dati vengono annotati su un modulo predisposto, di cui è riportato un esempio in Tab. 1.

Inoltre vengono segnate, sul rilievo della cavità, la posizione e la direzione del foro.

Le caratteristiche determinate per ogni foro sono le seguenti:

Numero. Ad ogni foro di una data cavità viene assegnato un numero progressivo, utilizzato per localizzarne la posizione sul rilievo.

Forma. Per i fori trasversali si indica la forma prevalente (*Circolare, Approssimativamente circolare, Irregolare*). Nei casi in cui il foro abbia una evidente forma poligonale (figg. 5 e 6), questo viene indicato (es. *Ettagonale, Triangolare*). Per i fori longitudinali si indica *Longitudinale*, indicando tra le note un'eventuale sezione non circolare.

Diametro. Per i fori trasversali è il diametro del foro, influenzato dal diametro dell'apparecchio di perforazione e dall'alterazione subita dal foro. È solitamente dell'ordine dei centimetri.

Per i fori longitudinali è la distanza tra le due pareti del foro nel punto in cui è avvenuta la rottura della roccia (indicata con *c* nella fig. 7).

Attendibilità diametro. È un indicatore della qualità della misura del diametro; può valere *A* (misura attendibile), *B* (misura indicativa) o *C* (misura imprecisa). È influenzato da problemi di misura, quali difficoltà nel posizionamento del calibro o sezione molto irregolare del foro.



Fig. 5 - Foro trasversale a tre lati.
Fig. 5 - Three-sided transversal borehole.



Fig. 6 - Foro trasversale a sette lati.
Fig. 6 - Seven-sided transversal borehole.

Cavità	N° foro	Forma	Diametro	Attend.Ø	Prof.	Svasato	Crollo	Largh.
K9	1	Appr. Circ.	3,2	C	15	B	B	
K9	2	Appr. Circ.	4,2	C	11	B	A	
K9	3	Circolare	5,7	B	10	B	B	
K9	4	Circolare	3,8	A	12	B	C	
K9	5	Irregolare	4,0	A	11	C	C	
K9	6	Circolare	3,8	A	10	C	C	
K9	7	Longitud.	4,0	A	75	B	B	1,3
K9	8	Longitud.	3,8	A	43	B	B	2,3
K9	9	Longitud.	1,9	A	20	C	B	3
K9	10	Ettagonale	3,8	B	10	B	C	
K9	11	Ettagonale	4,0	C	17	B	C	

Tab. 1 - Modulo di raccolta dati.
Tab. 1 - Data collection form.

Profondità. È la profondità del foro trasversale, o la lunghezza del foro longitudinale: si riferisce in entrambi i casi alla lunghezza del tratto non completamente esploso di foro. Non è indicata nel caso in cui il foro sia ostruito.

Svaso. Tale parametro è un indicatore dell'alterazione del foro, e si riferisce alla presenza di un allargamento nella sua parte più superficiale. Può valere A (svaso consistente), B (svaso leggero), C (assenza di svaso). Tale parametro influenza la significatività del valore di diametro misurato.

Crollo. Questo parametro è un indicatore dell'alterazione riscontrata lungo l'intera lunghezza del foro. Può valere A (crollo consistente), B (crollo leggero), C (assenza di crollo). Tale parametro influenza la significatività del valore di diametro misurato.

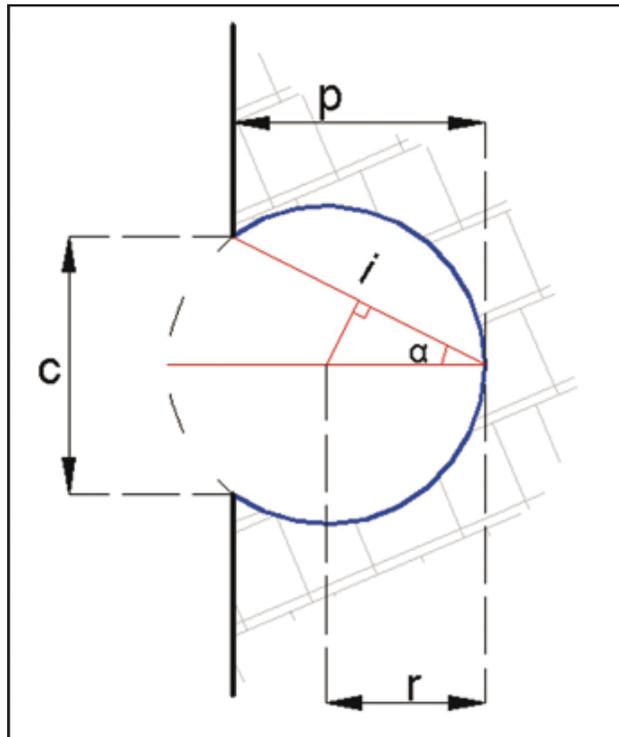


Fig. 7 - Geometria di un foro da mina longitudinale.
Fig. 7 - Longitudinal borehole geometry.

Larghezza. È un parametro misurato solo per i fori longitudinali. Intuitivamente è il diametro residuo del foro in direzione ortogonale alla parete (indicato con *p* nella fig. 7).

Fase 2: Elaborazione dei dati

Correzione del diametro per fori longitudinali

Le caratteristiche misurate per i fori longitudinali sono, idealmente, la corda di circonferenza *c* ed il segmento *p* passante per il punto medio della corda ed il centro (fig. 7). Viene quindi stimato il valore del corrispondente diametro *d* del foro.

Poichè

$$i = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + p^2}$$

E

$$\cos \alpha = \frac{p}{i} = \frac{i/2}{r}$$

si ottiene il valore del diametro

$$d = 2r = 2 \frac{i/2}{\cos \alpha} = \frac{i^2}{p} = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + p^2}{p}$$

del quale si è utilizzata l'approssimazione al millimetro. Va tuttavia considerato che, in generale, il segmento *p* misurato non sarà ortogonale alla parete né al segmento *d*, a causa dell'irregolarità della parete rocciosa e dell'imprecisione nel posizionamento degli strumenti di misura. Il valore stimato sarà dunque indicativo, in quanto affetto da un errore non trascurabile.

Punteggio del foro ed rappresentazione grafica

Per ognuna delle caratteristiche menzionate vengono assegnati dei punteggi, riportati in Tab. 2.

Si sommano dunque i punteggi parziali relativi alle singole caratteristiche del foro, ottenendo l'indice BQ_S (Blasthole Quality for a Single hole) dell'attendibilità della misura.

$$BQ_S = P_{Forma} + P_{Svasatura} + P_{Crollo} + P_{Attend. diam.}$$

Forma	Punteggio
Circolare	1
Appr.circ.	0,7
Irregolare	0,3
Longitud.	1
Altre forme	0,7

Svasatura	Codice	Punteggio
Marcata	A	0,3
Media	B	0,6
Irrilevante	C	1

Attend.Ø	Codice	Punteggio
Alta	A	1
Media	B	0,5
Bassa	C	0,3

Crollo	Codice	Punteggio
Marcata	A	0,3
Media	B	0,6
Irrilevante	C	1

Tab. 2 - Punteggi assegnati alle caratteristiche qualitative del foro.
Tab. 2 - Score assigned to the qualitative properties of the borehole.

Tale punteggio del foro può variare tra 0,3 per un foro molto alterato (forma irregolare, attendibilità del diametro C, svasso A, crollo A) e 4,0 per un foro lievemente alterato (forma circolare o longitudinale, attendibilità del diametro A, scavo C, crollo C).

Si crea quindi un istogramma per ogni cavità: ognuno di questi riporta la frequenza assoluta dei diametri di foro in classi di ampiezza 0,1 cm.

Le barre dell'istogramma sono divise tra colore rosso, arancione, giallo e bianco. Si differenziano per quanto segue:

In rosso sono indicati i fori individuati nella cavità aventi il punteggio massimo, ossia 4. Sono fori ad *attendibilità alta*, che rappresentano valori vicini all'effettivo diametro dell'apparecchiatura di scavo;

In arancione sono indicati i fori con punteggio compreso tra 3 e 4: sono fori ad attendibilità discreta, in quanto *leggermente alterati*;

In giallo sono indicati i fori aventi ottenuto punteggio compreso tra 2 e 3: sono fori ad attendibilità mediocre, in quanto *notevolmente alterati*;

In bianco sono indicati i fori aventi ottenuto punteggio compreso tra 0 e 2: sono fori ad attendibilità scarsa, in quanto *molto alterati*.

Indicatori statistici

Si calcolano quindi i seguenti indicatori statistici, relativi ad ogni cavità considerata:

μ_s : è la media semplice dei diametri, calcolata con

$$\mu_s = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N d_i$$

ed indicando con N il numero totale di fori, e con d_i il diametro dell'i-esimo foro individuato nella cavità;

μ_p : è la media dei diametri pesata sui punteggi dei singoli fori, calcolata con

$$\mu_p = \frac{\sum_{i=1}^N d_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^N p_i}$$

ed indicando con p_i il punteggio BQ_S dell'i-esimo foro individuato nella cavità.

È un indicatore che tiene maggiormente conto dei fori più attendibili per il calcolo della media, ed è dunque più rappresentativo del diametro del foro non alterato; σ_s : è lo scarto quadratico medio (o deviazione standard) dei diametri, calcolato con

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (d_i - \mu_s)^2}$$

Indica la dispersione dei dati attorno al valor medio, ed è basso se i valori di diametro sono vicini ad esso;

σ_p : è lo scarto quadratico medio dei diametri ponderato sui punteggi dei singoli fori, calcolato con

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (d_i - \mu_p)^2 \cdot p_i}{\sum_{i=1}^N p_i}}$$

È un indicatore che tiene maggiormente conto dei fori

più attendibili per il calcolo dello scarto quadratico medio, ed è dunque più rappresentativo della dispersione dei diametri;

Si introduce inoltre l'indice BQ_C (*Blasthole Quality for a Cavity*), relativo all'affidabilità delle misure effettuate nei fori contenuti in una singola cavità. È inversamente proporzionale allo scarto quadratico medio e direttamente proporzionale al punteggio medio dei fori contenuti nella cavità, ed è calcolato con:

$$BQ_C = \frac{\mu_s}{\sigma_s} \cdot \frac{p_{med}}{p_{max}}$$

Indicando con:

p_{med} : la media semplice dei punteggi BQ_S relativi agli i fori nella cavità in esame;

p_{max} : il punteggio massimo ottenibile, ossia 4.

Poiché tiene conto dei due effetti di dispersione e attendibilità, è il parametro che meglio indica quanto le misure effettuate nella cavità siano rappresentative del diametro del foro non alterato. Nel caso di alti valori di BQ_C ci si potrà basare sui valori misurati per datare la cavità, mentre maggiore cautela andrà posta nel caso di valori bassi.

CONSIDERAZIONI SULLA METODOLOGIA ADOTTATA

Il diametro di un foro appena perforato in roccia può essere descritto con una variabile casuale V1, caratterizzata da una propria densità di probabilità (fig. 8, in nero). Pur considerando una data forma e dimensione del fioretto ed una data tipologia di roccia, vi saranno numerosi fattori variabili (resistenza della roccia, presenza di fessurazioni, diametro del fioretto, abilità dell'operatore) che incideranno in maniera più o meno significativa sul diametro effettivamente perforato.

Dal momento della perforazione fino a quello della misura, il foro sarà soggetto ad una serie di alterazioni che incideranno sulla sua forma: in primo luogo l'esplosione della mina che vi sarà posta all'interno, ma anche il successivo assestamento lungo le fratture, il crollo delle parti fratturate, l'effetto di agenti atmosferici... Al momento della misura il diametro del foro sarà dunque descritto da una variabile casuale V2, caratterizzata da

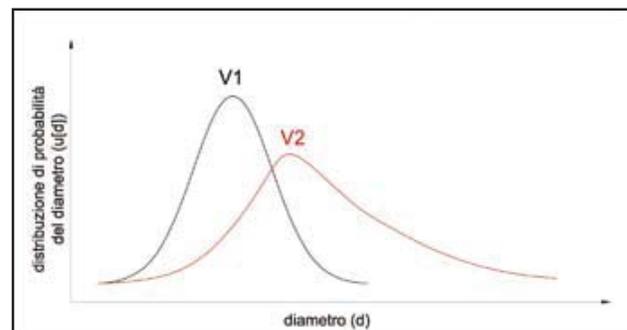


Fig. 8 - Rappresentazione qualitativa della densità di probabilità della variabile casuale che descrive il diametro di un foro appena eseguito (V1) e di un foro soggetto ad alterazione (V2).
 Fig. 8 - Qualitative representation of the probability density function of the stochastic variable that describes the diameter of a recently drilled hole (V1) and the diameter of a hole subject to alteration (V2).

una maggior dispersione ed eventualmente un maggior valor medio.

Sebbene i diametri misurati siano descritti dalla variabile V2, le considerazioni dovrebbero idealmente essere svolte sulla densità di probabilità della variabile V1.

Il punteggio assegnato ai singoli fori permette dunque di valutare l'affidabilità del valore misurato rispetto a quello originario.

Fase 3: Integrazione e interpretazione dei risultati

Per interpretare i risultati si considera che, se le distribuzioni di frequenza relative a due cavità sono notevolmente differenti, i fori possono essere stati eseguiti con attrezzature diverse. Se si è in grado di associare gli attrezzi di perforazione con le condizioni storico-geografiche in cui sono stati utilizzati (es.: il diametro di 3,8 cm con i perforatori in dotazione alla tedesca Organisation TODT nell'area di Trieste nella seconda guerra mondiale), sarà quindi possibile determinare per una data cavità il relativo esecutore e l'epoca di scavo.

Questo obiettivo è raggiunto con l'integrazione di varie tipologie di dati, ossia le distribuzioni di frequenza relative alle cavità, la conoscenza delle tipologie di macchine perforatrici e fioretti utilizzati nelle differenti epoche e condizioni, l'eventuale conoscenza da fonti storiche dell'epoca di realizzazione dell'opera o dell'esecutore, e le eventuali osservazioni aggiuntive (es.: forma dei fori, struttura e posizione dell'ipogeo).

Applicazione al sito "Baia di Sistiana"

Il metodo descritto finora è stato applicato ad un progetto di studio delle cavità artificiali presenti nell'area della Baia di Sistiana (TS), denominato Progetto Sistiana. Tale progetto è stato finalizzato alla documentazione fotografica, alla georeferenziazione, al rilevamento ed alla comprensione delle caratteristiche storico-costrut-

tive degli ipogei e di vari altri punti degni di interesse (cavità naturali, relitti, postazioni, monumenti...).

Ha impegnato un gruppo di speleologi per 13 uscite effettuate nel corso dell'anno 2009, e si è basato su ricerche precedentemente svolte dalla Società Adriatica di Speleologia.

Nella zona in questione sono presenti due cave di calcare, utilizzate fino alla fine del XIX sec. Nel periodo del primo conflitto mondiale la zona di Sistiana, vicina al fronte del Monte Hermada, è stata fortificata dalle truppe austroungariche, con lo scavo di ripari in roccia e l'adattamento di grotte naturali, come riportato da fotografie e testimonianze d'epoca.

Durante l'ultimo conflitto la baia è stata utilizzata dall'esercito tedesco: in particolare, nel periodo tra settembre 1943 e maggio 1945 si sono succedute la Wehrmacht e la Kriegsmarine, che vi installò una base per sommergibili tascabili Molch.

Nell'area della baia sono presenti numerose cavità ipogee (fig. 9), la cui attribuzione ad uno dei tre periodi descritti non è sempre semplice. In generale, infatti, gli elementi storici o strutturali non sono sufficienti a contestualizzare correttamente le opere; è inoltre probabile che queste siano state riutilizzate o ampliate in epoche successive a quella di costruzione.

Il metodo di analisi dei fori da mina è stato applicato alle cavità dell'area, con la misurazione di 136 fori in 19 cavità. Si sono rappresentati gli istogrammi relativi ad ognuna delle cavità (fig. 10). Sui rilievi, inoltre, sono state riportate le posizioni e le direzioni dei fori misurati (fig. 11).

In fig. 12 è riportato l'istogramma relativo a tutti i fori misurati. La distribuzione è bimodale, centrata attorno ai valori di 2,0 cm e 3,5 cm.

Sono state sviluppate varie ipotesi finalizzate ad associare i diametri dei fori ai tre periodi storici considerati, in base alle conoscenze storiche pregresse ed alle



Fig. 9 - Ubicazione delle 30 cavità artificiali nell'area della Baia di Sistiana (in rosso) e degli altri 15 punti di interesse (in blu).

Fig. 9 - Location of the 30 artificial cavities in the Sistiana Bay area (in red) and the other 15 points of interest (in blue).

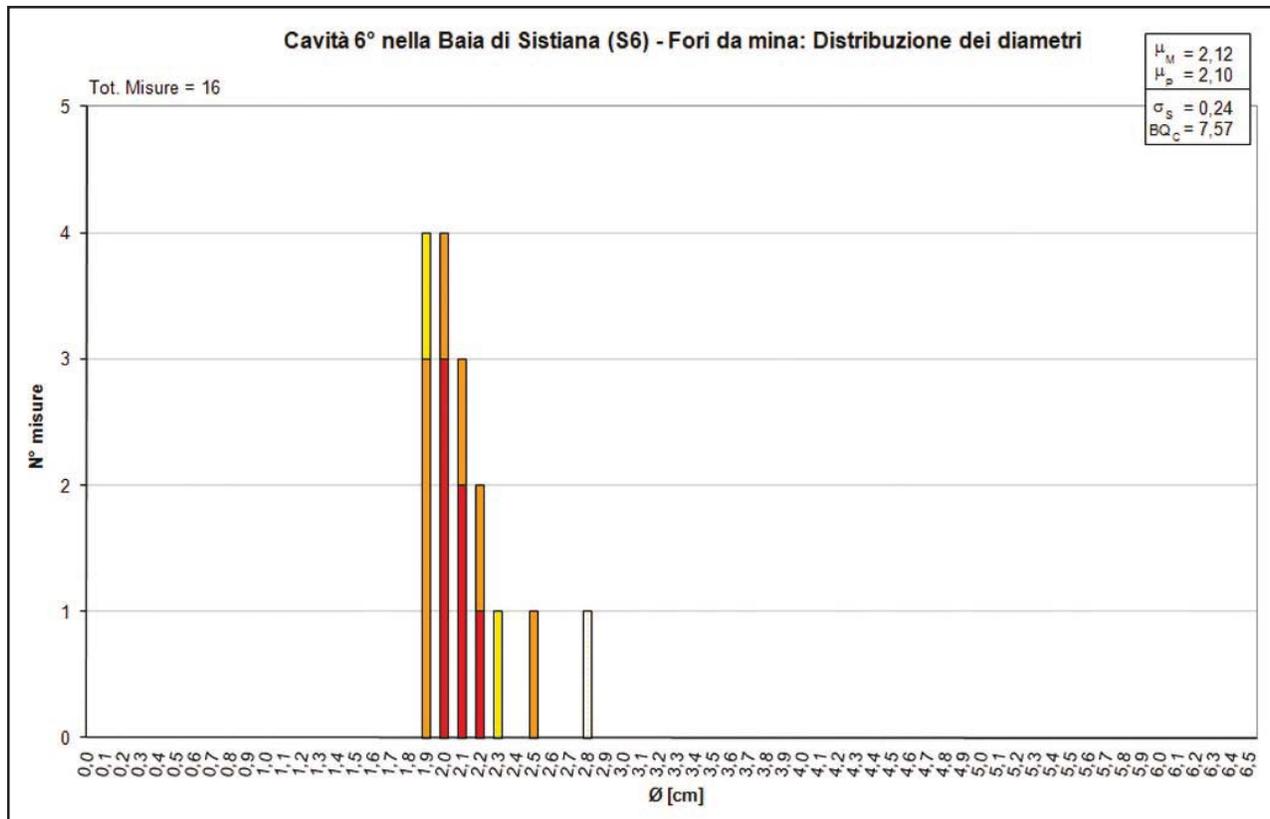
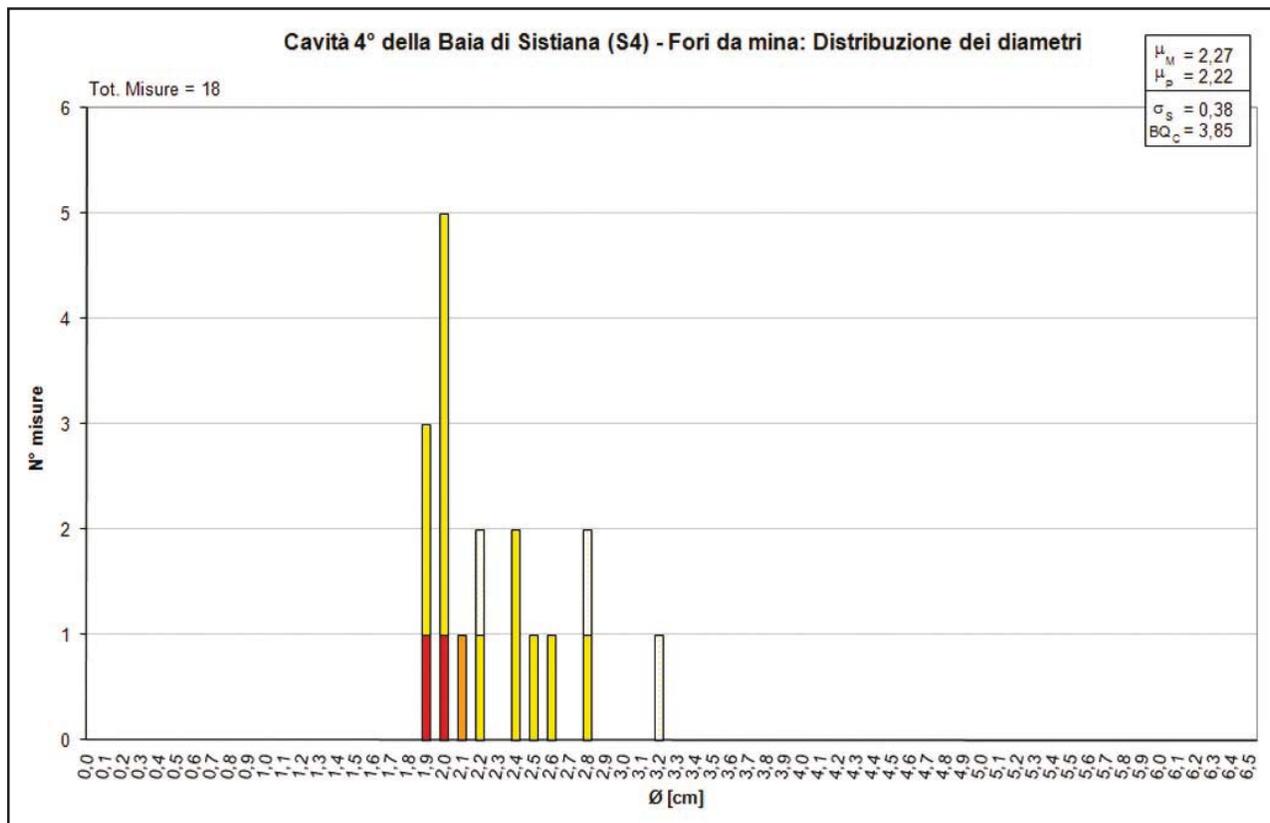


Fig. 10 - Distribuzioni di frequenza dei diametri dei fori misurati in due cavità nella Baia di Sistiana.
 Fig. 10 - Frequency distribution of the measured blasthole diameters of two cavities in the Sistiana Bay.

osservazioni aggiuntive (quali la forma dei fori e alcune caratteristiche costruttive).

Si ritiene che gli ipogei scavati durante il periodo di sfruttamento della cava avessero un diametro vicino ai 2,0 cm. Tali cavità erano realisticamente fornelli di mina con camera d'esplosione, utilizzati per lo sbrancamento di grosse quantità di roccia.

Il secondo gruppo di fori è probabilmente costituito dalla sovrapposizione di due differenti distribuzioni, centrate attorno ai valori di 3,2 e 3,8 cm. L'attribuzione ai due conflitti mondiali è tuttavia incerta, in quanto

i dati, al momento attuale, non sono sufficienti per esprimersi compiutamente a riguardo.

Una delle possibili ipotesi prevede che i fori scavati nel secondo conflitto mondiale dalle truppe tedesche avessero generalmente un diametro di ~3.1 cm, ed i fori scavati nel primo conflitto mondiale dalle truppe austriache un diametro di ~3.8 cm.

L'eccezione è data da una delle cavità scavate con certezza nel secondo conflitto (Cannoniera S9), in cui i fori hanno diametro ~3.8 cm. All'interno della baia i fori ettagonali sono stati individuati solo in questa cavità;

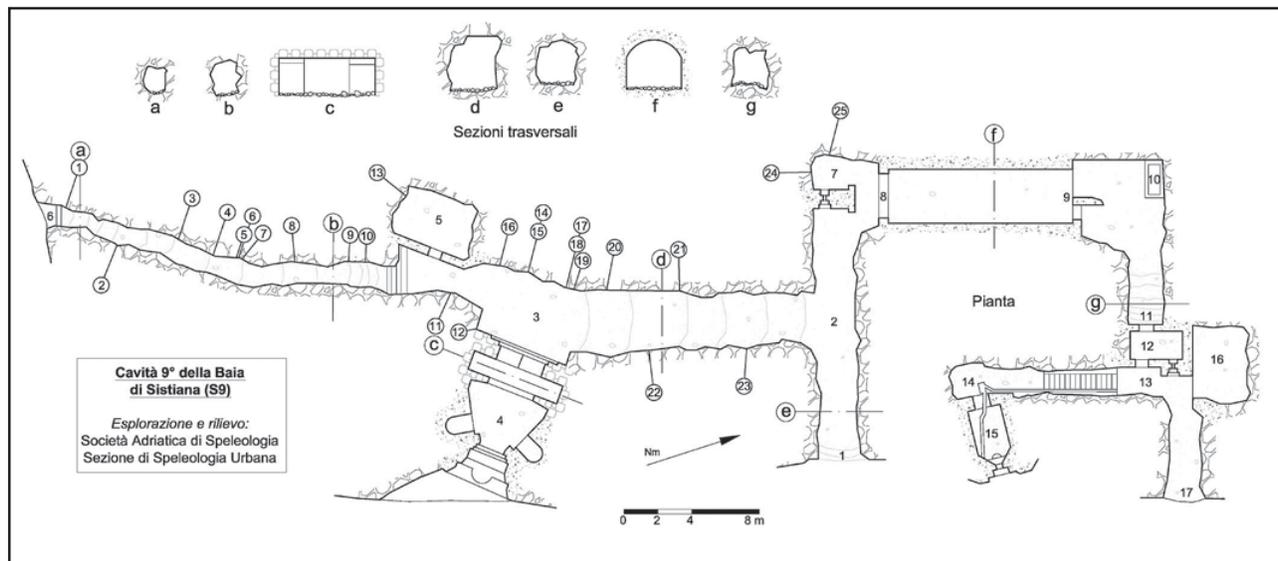
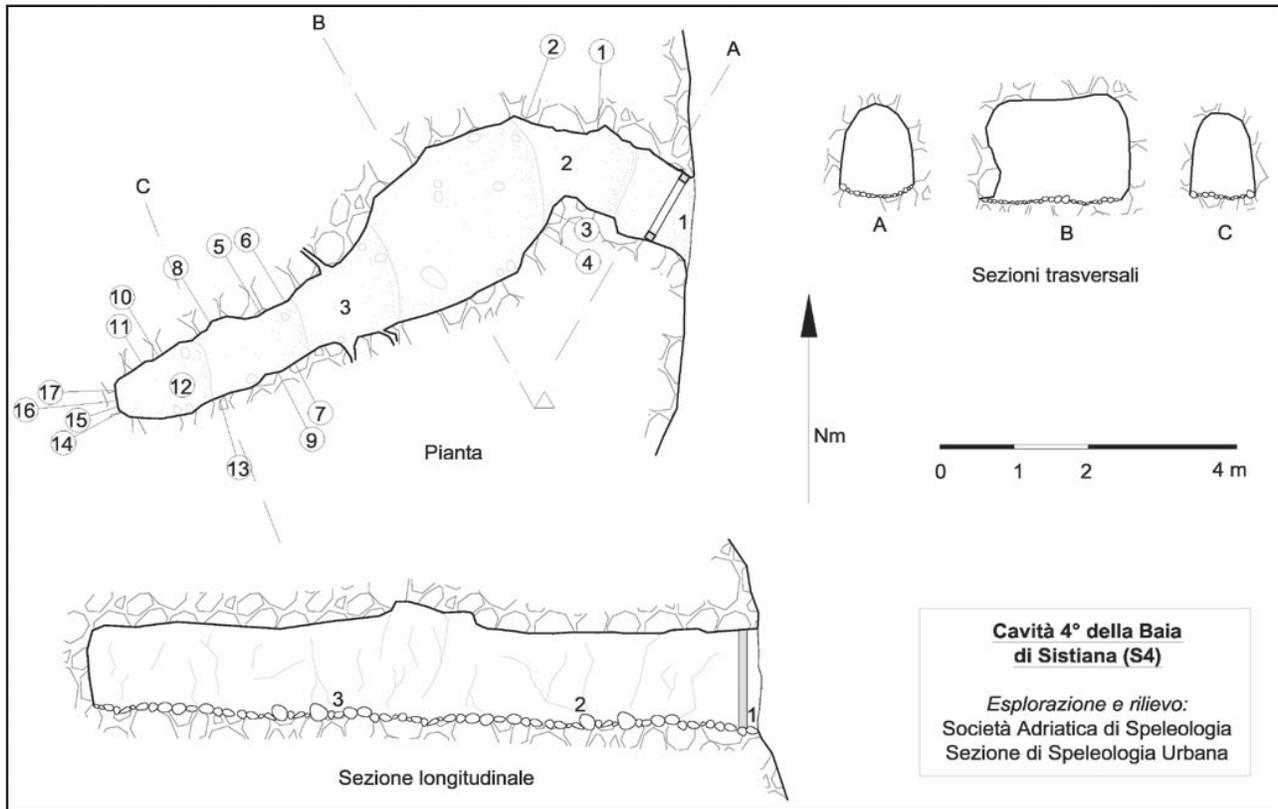


Fig. 11 - Rilievi di due cavità in Baia di Sistiana. Sono riportate le posizioni e gli orientamenti dei fori misurati.
 Fig. 11 - Maps of two cavities in the Sistiana Bay, showing the positions and the directions of the measured blastholes.

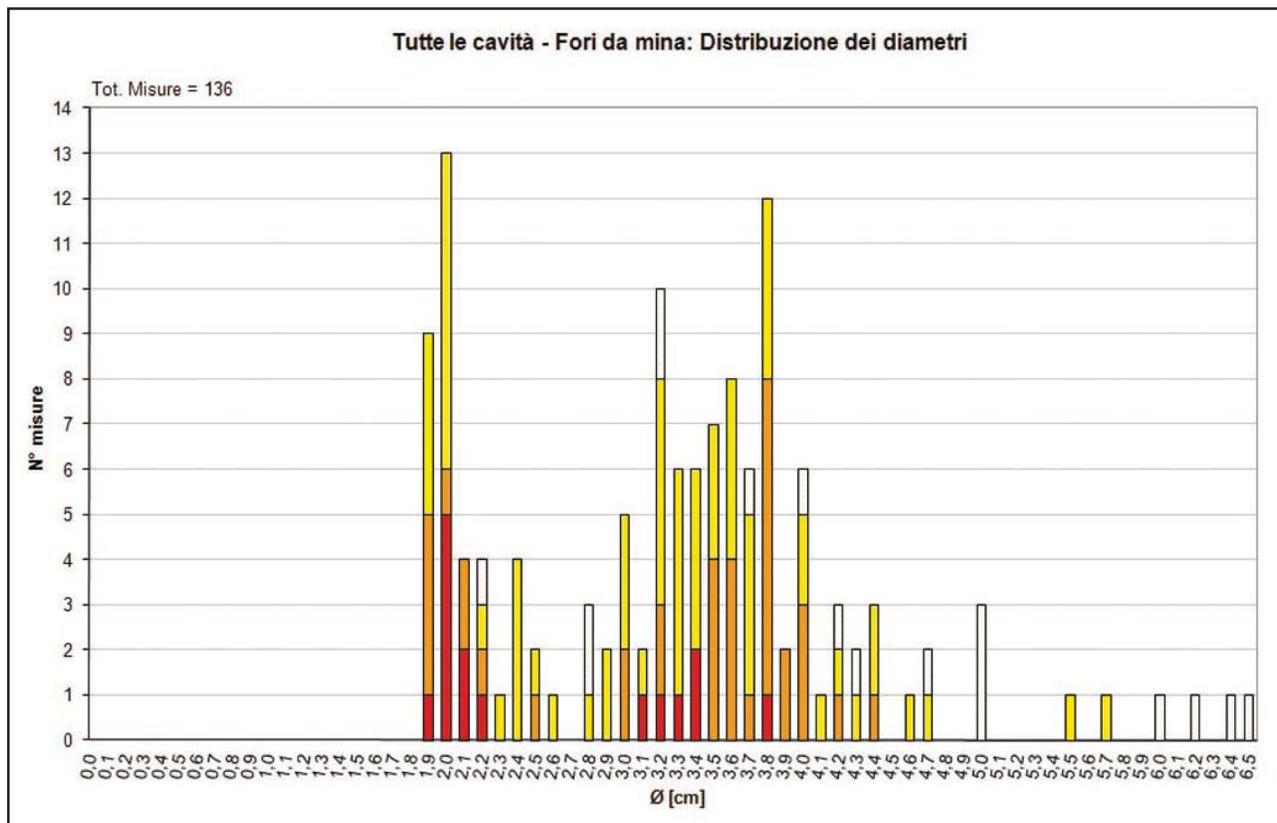


Fig. 12 - Distribuzioni di frequenza dei diametri di tutti i fori misurati nelle cavità della Baia di Sistiana.
 Fig. 12 - Frequency distribution of all the measured blasthole diameters of the cavities in the Sistiana Bay.

sono invece stati individuati in un altro ipogeo della provincia, avente lo stesso scopo e scavato da maestranze tedesche (CA51 FVG-TS, Batterie costiere di Miramare), a conferma delle ipotesi riportate.

In una delle cavità, inoltre, sono stati individuati sia fori del diametro di 2,0 cm che di 3,2 cm, oltre a vari adattamenti in calcestruzzo.

Si ritiene che ciò sia indicativo di uno scavo dell'ipogeo come fornello da mina, e di un successivo ampliamento ed adattamento durante uno dei conflitti bellici.

CRITICITÀ E PROSPETTIVE

La metodologia di analisi proposta costituisce un contributo originale allo studio ed alla comprensione delle caratteristiche storiche e costruttive delle cavità artificiali. Tuttavia, al momento attuale tale metodo presenta delle criticità.

Per quanto riguarda l'esecuzione delle misure, non è sempre risultato semplice effettuare le misure con il calibro, data la forma delle pareti di roccia; si propone dunque la sperimentazione di strumenti differenti o la creazione di nuovi e più adatti allo scopo. Inoltre, non sono stati trattati i criteri di misura e determinazione delle caratteristiche qualitative del foro; dovrà dunque essere proposta una standardizzazione dei criteri di

misura, al fine di rendere comparabili misure prese da operatori differenti.

L'elaborazione dei risultati potrà avvalersi di indicatori statistici differenti da quelli proposti e più significativi. Dovrà essere avviato, inoltre, lo studio delle strumentazioni di perforazione utilizzati in epoche e zone geografiche diverse e da differenti utilizzatori. Si potranno inoltre misurare sistematicamente i fori nelle cavità conosciute di cui sia nota l'origine, in modo da determinare la corrispondenza tra esecutore dello scavo e caratteristiche del foro, e dedurre così l'epoca di costruzione delle cavità la cui datazione sia incerta.

L'ipotesi fondante del metodo, ossia la correlazione tra dimensioni del foro, apparecchiatura di perforazione ed esecutore dello scavo, potrà così essere verificata. Questa, in generale, appare realistica nel caso di cavità scavata da corpi militari, per i quali è verosimile che venisse utilizzata un'unica tipologia di perforatrici; appare poco applicabile a cavità scavate in tempo di pace da ditte private, che potrebbero utilizzare attrezzature molto diverse tra loro.

Per quanto riguarda l'applicazione del metodo alle cavità nell'area della Baia di Sistiana, al momento attuale le ipotesi riportate sono speculative. La conferma o l'invalidazione, infatti, potrà venire dall'approfondimento storico relativo all'area e dallo sviluppo del metodo di interpretazione dei risultati.

Ringraziamenti

La documentazione delle cavità nell'area della Baia di Sistiana è stata possibile grazie a Tatiana Criviliè, Paolo Guglia, Alberto Maizan, Giuseppe Masarin, Francesca Midenà, Piero Slama e all'intera Società Adriatica di Speleologia. Alle attività precedentemente svolte nell'area hanno inoltre contribuito Michele Di Cosmo, Cristian Duro, Alessandro Pesaro, Marco Restaino e Rocco Umer.