

LA PALEONTOLOGIA E LA DIVULGAZIONE: *l'attività scientifica nella Caverna Generosa e il progetto turistico di Realtà Aumentata*

a cura di Fabio Bona e Lucia Angiolini

Da oltre venti anni proseguono gli scavi e le ricerche scientifiche nella Caverna Generosa (Lombardia, Como), da sempre associati alla divulgazione scientifica in situ. I lavori condotti negli ultimi due anni, nell'ambito di un progetto INTERREG (Progetto SCOPRI), hanno permesso di migliorare sensibilmente l'attività di divulgazione, rendendo la visita della grotta un'esperienza unica. Se da un lato sono stati forniti nuovi strumenti utili per rendere maggiormente comprensibili e valorizzare gli aspetti scientifici del sito, dall'altro si è cercato di rendere emotivamente efficace e coinvolgente l'esperienza. Oltre ad un nuovo impianto di illuminazione, è stato possibile introdurre applicazioni di Realtà Aumentata, tramite l'utilizzo di speciali visori che rendono la visita immersiva, aggiungendo immagini e suoni che coinvolgono il turista senza privarlo della coscienza spaziale in cui si trova.



INTRODUZIONE

Il massiccio del Monte Generoso

L'area che si estende dalle sponde occidentali del Lago di Como a quelle orientali del Lago di Lugano è costituita quasi interamente da rocce carbonatiche sedimentate durante il Giurassico Inferiore (tra circa 200 e 180 milioni di anni fa) nel Bacino Lombardo, nel punto più profondo del bacino deposizionale. Qui, lo spessore del Calcere di Moltrasio, la formazione che costituisce la gran parte del massiccio del Monte Generoso (Bernoulli 1964), raggiunge alcune migliaia di metri. Sono presenti anche rocce più antiche, triassiche, che affiorano localmente sul versante svizzero, lungo la strada che risale verso Arogno, mentre le unità più recenti (Giurassico Medio-Cretaceo) sono presenti attorno a Bellavista e nella parte inferiore della valle della Breggia nei pressi di Morbio Inferiore (fig. 1).

La successione del Calcere di Moltrasio si compone di calcari più o meno marnosi, grigio scuri, bioturbati, con rari intervalli calcarenitici e frequenti liste o noduli di selce nera, donde il nome di "calcere selcifero lombardo" conferito nel passato a queste unità. La stratificazione è ben sviluppata e gli strati hanno spessori che variano da meno di un centimetro sino ad un metro.

Il carsismo

Il Monte Generoso è un massiccio carsico e, a causa della presenza discontinua e irregolare di selce nel Calcere di Moltrasio, i fenomeni carsici superficiali sono relativamente importanti ed irregolarmente distribuiti (fig. 2). I fenomeni profondi sono, invece, molto sviluppati, antichi e, in gran parte, ancora sconosciuti.

L'intensa fratturazione presente sul Monte Generoso, soprattutto nel settore Nord, favorisce un assorbimento delle acque molto rapido e arealmente diffuso favorendo così la formazione di cavità per lo più sub-orizzontali. Solo il versante meridionale del monte, essendo meno intensamente fratturato, permette più frequentemente la formazione di cavità verticali. In generale, data la complessità dei reticoli di fratture, si può ipotizzare l'esistenza di sistemi di condotte interne non accessibili.

La struttura tettonica del Monte Generoso ha caratterizzato l'intera evoluzione carsica del massiccio.

Ad oggi, sul Monte Generoso sono conosciute 87 grotte. La più lunga cavità esplorata è il "Sistema Immacolata", il cui sviluppo supera attualmente i 4 km e raggiunge quasi 400 m di profondità (Bini & Cappa 1975).



Fig. 2 - Vista della Vetta del Monte Generoso da nord-est.

Keywords

Lombardia
Caverna Generosa
Orso delle caverne
Uomo di Neanderthal

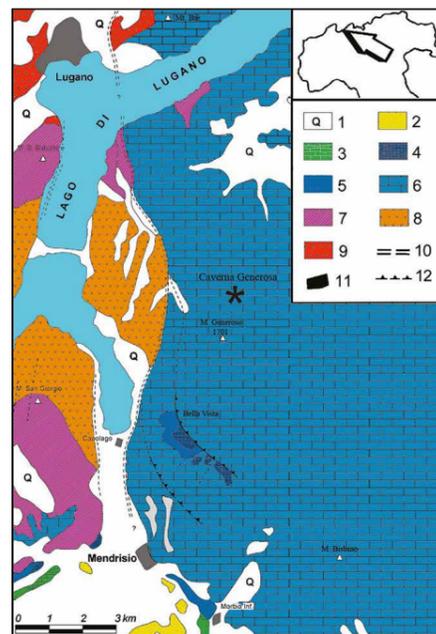


Fig. 1 - Carta geologica del Monte Generoso. 1 - Quaternario; 2 - Eocene; 3 - Cretaceo; 4 - Giurassico Sup.; 5 - Giurassico M.; 6 - Giurassico Inferiore; 7 - Triassico; 8 - Vulcaniti; 9 - Basamento; 10 - Faglie principali; 11 - Sovrascorrimenti; 12 - Centri abitati.

LA GROTTA

La Caverna Generosa (LO CO 2694) si apre sul versante orientale del Monte Generoso, in provincia di Como a pochi passi dal confine con la Svizzera. Fu scoperta durante l'inverno 1988 da due speleologi dell'Associazione Speleologica Svizzera, che ne individuarono l'apertura sotto al manto nevoso. La Caverna Generosa è costituita da un cunicolo iniziale, lungo circa 25 m, per mezzo del quale si accede ad una prima sala (denominata "Saletta") dalla quale, attraverso un sifone, si passa in una sala più ampia (denominata "Sala Terminale") (figg. 3 e 4). All'interno di quest'ultima sono stati rinvenuti i primi reperti che hanno dato il via agli scavi paleontologici.

Gli scavi

Il primo studio paleontologico è stato eseguito nel 1989, ad opera del prof. Fusco di UniMi che ha condotto una prima analisi del materiale proveniente dalla superficie della "Sala Terminale". Nel 1991, il prof. Tintori (UniMi) ha svolto la prima campagna di scavo nella "Sala Terminale", a cui hanno fatto seguito altre tre campagne (1993, 1994 e 1996). Un'importante svolta sia per le attività scientifiche sia per quelle di divulgazione è avvenuta nel 1998: grazie ad un accordo raggiunto con la Ferrovia Montegeneroso SA, è stato infatti realizzato lo scavo dei primi 40 metri dello stretto cunicolo di accesso per ampliare il passaggio, ai fini della possibilità di organizzare delle visite turistiche. L'ampliamento del cunicolo ha permesso un facile accesso alla grotta, favorendo anche la continuità degli scavi e degli studi scientifici fino ad oggi.

Gli studi

Gli scavi, eseguiti rigorosamente strato per strato, hanno permesso la raccolta di migliaia di resti fossili databili ad un intervallo cronologico che copre buona parte del Pleistocene Superiore e dell'Olocene.

I fossili consistono, per lo più, di resti di macro e micromammiferi, dove l'orso delle caverne (*Ursus spelaeus*) è dominante (fig. 5). Molto importante è stato il rinvenimento di dieci schegge di selce musteriense, opera dell'uomo di Neanderthal (*Homo neanderthalensis*), testimoniando la frequentazione dell'area anche da parte di questa specie umana estinta (Bona et al. 2007).

Le analisi svolte su migliaia di ossa di orso delle caverne hanno permesso di conoscere quali fossero le dinamiche di mortalità e quale sesso la frequentasse maggiormente. Lo studio, svolto con meticolosità stratigrafica, ha permesso così di comprendere come la grotta fosse frequentata principalmente da femmine di *Ursus spelaeus*, che la utilizzavano come tana dove partorire ed allevare i cuccioli, relativamente al sicuro dai predatori. Questo tipo di utilizzo della grotta sembra protrarsi per quasi tutta la frequentazione da parte degli orsi delle caverne (Bona 2004; 2005) ed è in accordo con studi pregressi, che hanno permesso di comprendere come la femmina di orso per partorire cercasse grotte isolate, lontane

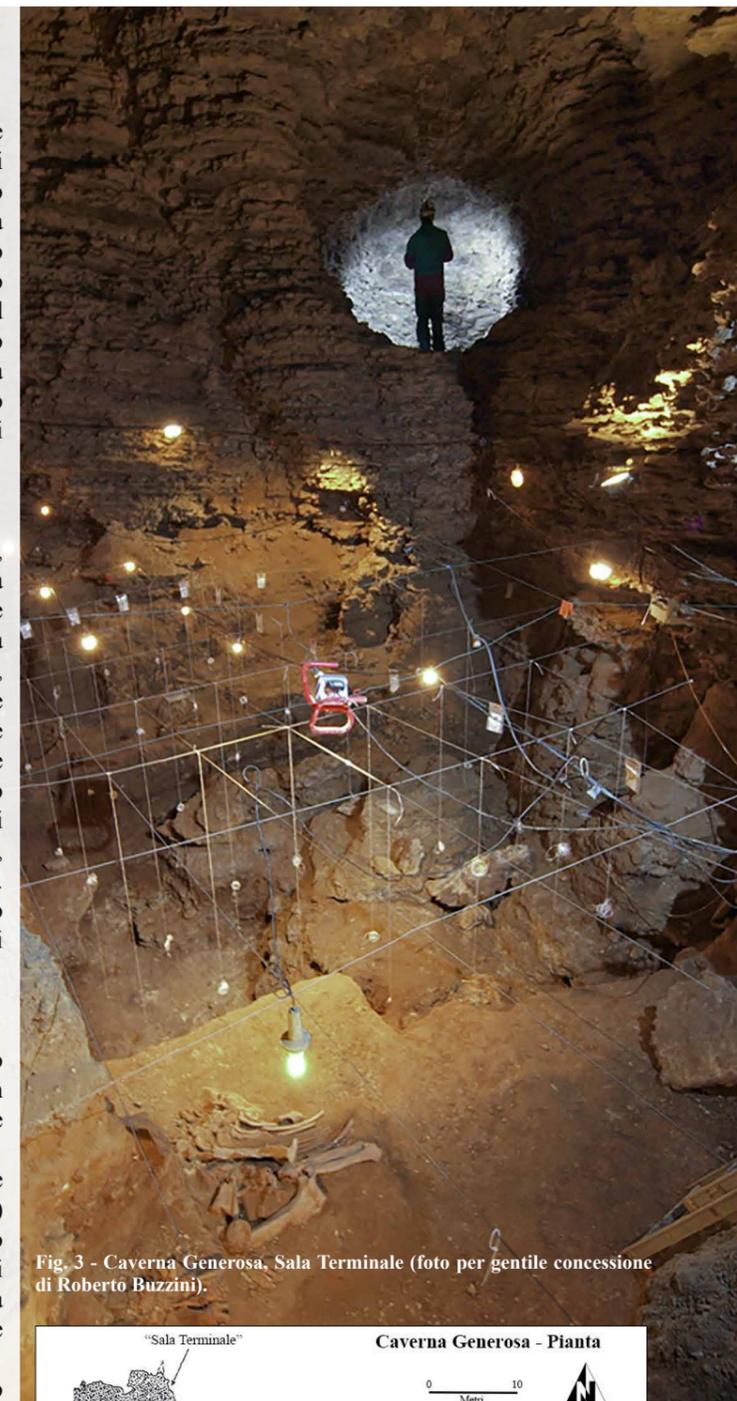


Fig. 3 - Caverna Generosa, Sala Terminale (foto per gentile concessione di Roberto Buzzini).

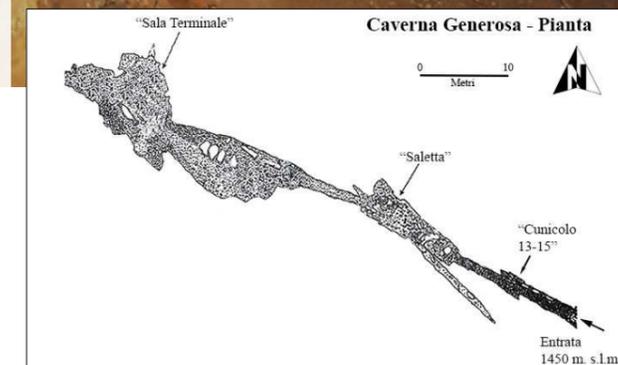


Fig. 4 - Caverna Generosa, pianta semplificata.



Fig. 5 - Caverna Generosa, cranio di giovane orso delle caverne in fase di scavo.

dai luoghi di svernamento dei maschi, molto pericolosi per i cuccioli (Kurten 1976). Quindi, migliaia di anni fa, la Caverna Generosa dovette assolvere molto bene questa funzione di *nursery*.

Studi svolti sulle porzioni distali degli arti e sulle ossa lunghe di orso delle caverne hanno permesso di verificare come anche le dimensioni siano variate nel tempo in corrispondenza dei cambiamenti climatici, diventando leggermente più grandi durante le oscillazioni più fredde (Toškan & Bona 2012).

Le analisi di micromorfologia eseguite sui sedimenti della Sala Terminale hanno evidenziato come l'azione bioturbante degli orsi fosse piuttosto intensa, probabilmente dovuta all'atto di scavare giacigli dove trascorrere il letargo invernale (Sessa et al. 2020). Questo tipo di attività svolta dagli orsi delle caverne è ben documentata, per esempio, nella grotta

di Chauvet dove un sottile strato stalagmitico ha preservato la paleosuperficie con i giacigli degli orsi (Fosse & Philippe 2005).

Le analisi sistematiche delle ricche associazioni a micromammiferi rinvenute nella Caverna Generosa hanno permesso di proporre una ricostruzione paleoambientale di buona parte del Pleistocene Superiore e dell'Olocene, individuando diverse fluttuazioni che corrispondono ad alternanze di momenti più temperati e momenti più rigidi dell'ultimo glaciale e l'instaurarsi delle condizioni interglaciali attuali.

Nello specifico, partendo dallo studio dei fossili rinvenuti alla base della serie della Sala Terminale, dati ben oltre i 50.000 anni fa, le condizioni ambientali dedotte evidenziano un costante miglioramento climatico fino al tetto della serie della stessa Sala Terminale, circa 38.000-40.000 anni fa (fig. 6). Alla base delle serie del Cunicolo 13-15, livello IV, datato a 36.000-37.000 anni fa, si trovano indicativamente le stesse condizioni testimoniate dai livelli al tetto della serie della Sala Terminale. Dal livello III fino al livello I del Cunicolo 13-15, i dati faunistici e sedimentologici evidenziano un deterioramento climatico indicante l'attivarsi delle condizioni che hanno portato all'ultimo massimo glaciale (LMG). Nel livello 0, la microfauna, molto abbondante, evidenzia l'avvenuto passaggio alle condizioni climatiche oloceniche che si sono instaurate a partire da circa 10.000 anni fa (Bona et al. 2009, Bona & Savoldi 2016) (fig. 7). Gli orsi hanno frequentato la grotta durante le fasi in cui le condizioni climatiche erano più favorevoli, tra 50.000 e 30.000 anni fa circa, lasciando una documentazione paleontologica eccezionale, ora a disposizione del grande pubblico.

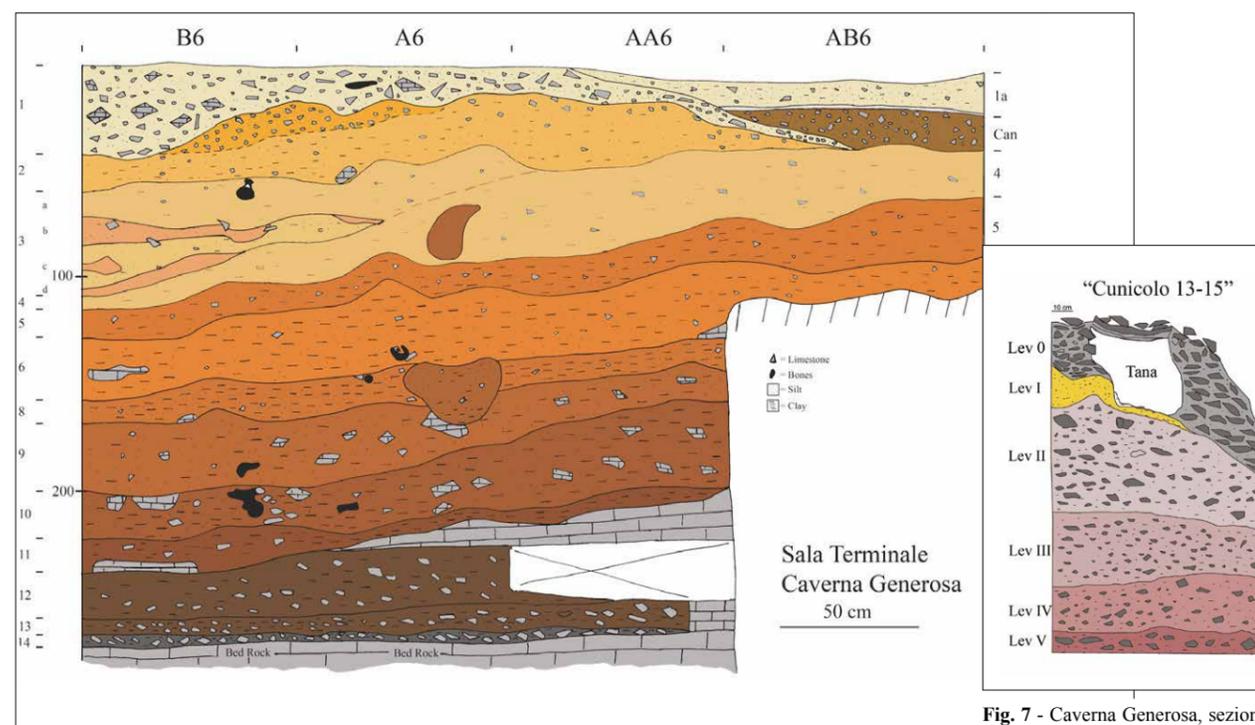


Fig. 6 - Caverna Generosa, sezione della serie stratigrafica della Sala Terminale.

Fig. 7 - Caverna Generosa, sezione della serie stratigrafica finora indagata del Cunicolo 13-15.

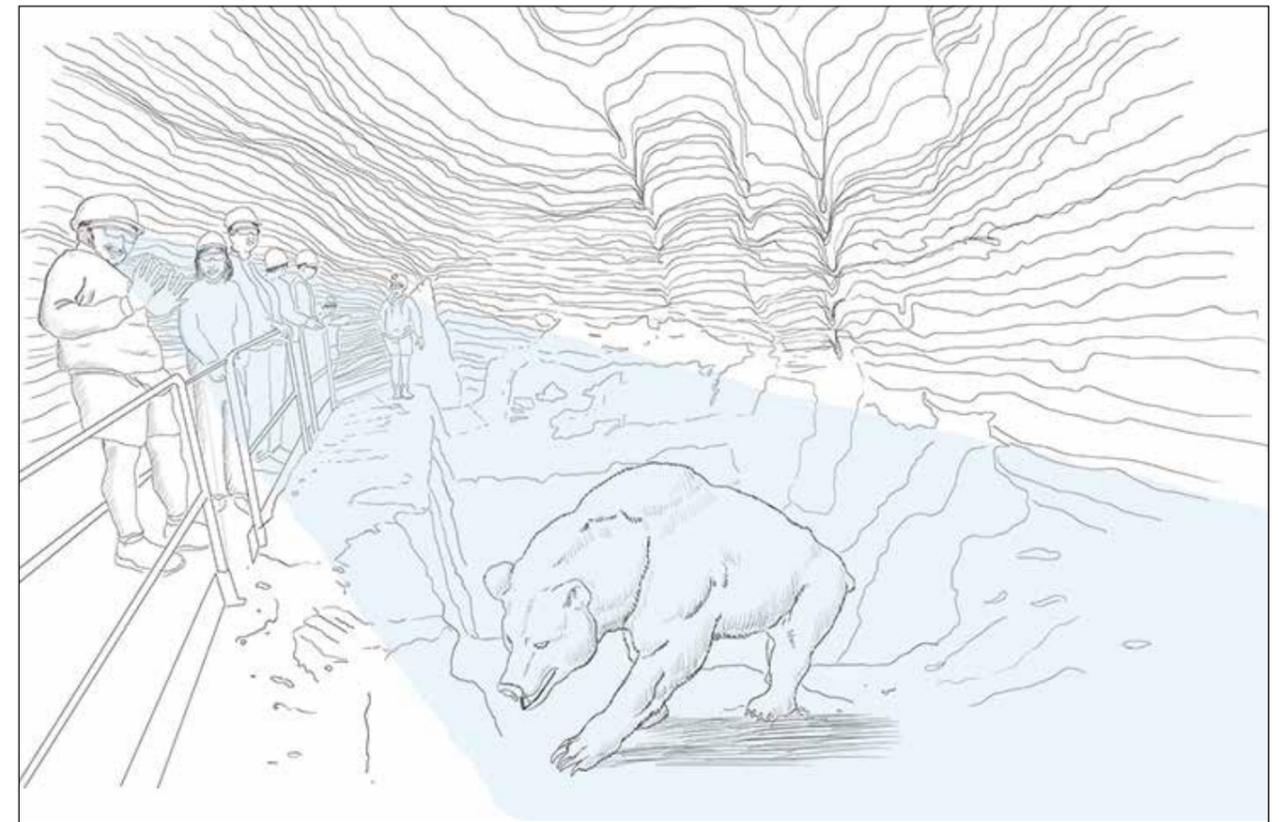


Fig. 8 - Disegno esemplificativo di come il turista vivrà l'esperienza della realtà aumentata (Disegno di Matteo Gabaglio).

IL TURISMO

Fin dal 1999, e quasi continuativamente per oltre venti anni, la Caverna Generosa è stata aperta al pubblico con visite guidate durante i mesi estivi. Il sostegno economico e il supporto logistico della Ferrovia Montegeneroso SA, del Comune di San Fedele Intelvi (oggi Centrovale Intelvi) e della Comunità Montana Lario-Intelvese hanno favorito il proseguimento ed il successo di questa attività per oltre venti anni.

Oggi, nell'ambito del progetto INTERREG VA "SCOPRI" (al quale hanno partecipato per la parte svizzera SUPSI e Mendrisiotto Turismo e per la parte italiana, oltre al Dipartimento di Scienze della Terra A. Desio di UniMi, il comune di Centrovale Intelvi e la Comunità Montana Lario-Intelvese), la Caverna Generosa è stata rinnovata, diventando più sicura, affascinante e "tecnologica". Oltre a diverse opere che permettono un agevole accesso alla grotta (tra cui un nuovo e sofisticato impianto di illuminazione), è cambiato anche il modo di divulgare la scienza: oltre alla visita guidata di tipo tradizionale sono stati predisposti per i visitatori dei visori a Realtà Aumentata che permettono una visita immersiva tra orsi, uomini di Neanderthal ed altri contenuti digitali molto suggestivi. Questo rende l'esperienza della visita ancora più spettacolare, emotivamente efficace e coinvolgente, mantenendo tuttavia un elevato livello di divulgazione scientifica.

Durante l'esecuzione del progetto, all'attività legata al miglioramento dell'esperienza in grotta sono stati affiancati lavori di potenziamento di tutti i sentieri di accesso per facilitare il raggiungimento del sito.

La visita

A partire da luglio 2021, chi vorrà trascorrere una bella giornata tra natura e paleontologia sul Monte Generoso potrà beneficiare di una nuova modalità di visita della Caverna Generosa.

Oltre alla visita tradizionale con la guida, il turista potrà scegliere di noleggiare dei visori del tutto speciali che gli permetteranno di viaggiare nel tempo. Infatti, grazie ai visori Epson Moverio BT 350 il visitatore accederà ad un'esperienza virtuale immersiva che gli fornirà immagini e suoni che espandano la semplice visione dell'interno della caverna, ma allo stesso tempo senza privarlo dell'identità spaziale in cui si trova. Sarà quindi possibile osservare scene di vita del Pleistocene, con orsi delle caverne e uomini di Neanderthal, esplorando il mondo del passato attraverso una sorta di porta temporale aperta dalle nuove tecnologie (fig. 8).

La realtà aumentata e gli *smart glasses* permetteranno l'incontro con l'emblematico orso delle caverne (*U. spelaeus*) (figg. 9A e 10), realizzato in digitale e reso fotorealistico



Fig. 9 - a) *Ursus spelaeus*; b) gruppo di individui di *Homo neanderthalensis* intenti a macellare un cervo (ricostruzione 3D a cura di Nicola Castelnuovo).



Fig. 10 - Uomo di Neanderthal e orso delle caverne a confronto (ricostruzione 3D a cura di Nicola Castelnuovo).

grazie ai moderni processori grafici ed a un'accurata ricostruzione scientifica. Sarà possibile osservare "dal vivo" la frequentazione di questo iconico animale della Caverna Generosa che, come altre grotte presenti nelle Prealpi, è conosciuta proprio come la "grotta dell'orso". Questo tipo di ricostruzione virtuale permette di rendere la comprensione di quanto descritto molto più immediata, aiutando a cogliere meglio la percezione degli spazi e la vita degli orsi.

La Caverna Generosa, come descritto, funge anche da archivio naturale della storia geologica del territorio ed il supporto digitale fornisce ulteriori informazioni per meglio comprendere le tematiche d'insieme. Un altro aspetto che rende estremamente emozionante la visita è infatti l'iniziale "immersione" a cui gli occhialini introducono il visitatore, facendolo immergere negli abissi di un oceano Giurassico, fornendo le spiegazioni geologiche e le prove paleontologiche di questa lunga storia. Vengono inoltre fornite informazioni per comprendere concetti geologici di base sul carsismo e sulle modalità di formazione delle grotte, nonché sul cambiamento climatico e sui fenomeni di glaciazione.

Tra i contenuti prettamente scientifici si ha, qua e là durante il percorso, il piacevole incontro con un gruppo di uomini di Neanderthal intenti a svolgere varie attività intorno al fuoco (fig. 9B), orsetti delle caverne particolarmente curiosi e orsi adulti intenti nelle loro occupazioni.

Questa modalità di visita permette di associare ad una guida scientificamente rigorosa, l'evocazione di emozioni in risposta a stimoli visivi ed uditivi innovativi, che la rendono un'esperienza unica e indimenticabile.



RINGRAZIAMENTI

Il lavoro di ammodernamento dell'impianto di illuminazione, di acquisizione e predisposizione dei contenuti mediatici è stato svolto con i fondi del Progetto INTERREG VA SCOPRI.

Si ringraziano tutti i partner che hanno reso possibile il raggiungimento di questo risultato: Comune di Centrovale Intelvi (CO), SUPSI, Mendrisiotto turismo e Comunità Montana Lario-Intelvese.

Si ringrazia inoltre Regione Lombardia per il supporto. Un ringraziamento particolare alle segretarie della Segreteria Amministrativa del Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio" di UniMi per la competenza e l'efficienza nella gestione amministrativa del progetto.

BIBLIOGRAFIA

Berkhmer H. (1968). *Topographie des "Isrea-Körpers" abgeleitet aus seismischen und gravimetrischen Daten*. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 48, 235-246.

Bernoulli D. (1964). *Zur Geologie des Monte Generoso (Lombardische Alpen)*. Beitrage zur Geologischen Karte der Schweiz (N.F., 118, 1-135).

Bini A. & Cappa G. (1975). *Appunti sull'evoluzione e distribuzione del carsismo nel territorio del Monte Generoso (Canton Ticino) in rapporto al vicino territorio comasco*. Atti V Congresso Nazionale Speleologie Suisse (Interlaken 1974), Neuchatel, Vol. unico, 61-67.

Bona F. (2004). *Preliminary analysis on Ursus spelaeus Rosenmüller & Heinroth, 1794 populations from «Caverna Generosa» (Lombardy - Italy)*. Publications Du Musée Des Confluences, 2(1), 87-98.

Bona F. (2005). *I depositi del Pleistocene Superiore della Caverna Generosa (Lo Co 2694). Analisi Paleontologica ed Interpretazioni Paleoambientali*. Università degli Studi di Milano, Geology department, PhD thesis, 266 pp.

Bona F., Peresani M. & Tintori A. (2007). *Indices de fréquentation humaine dans les grottes à ours au Paléolithique moyen final. L'exemple de la Caverna Generosa dans les Préalpes lombardes, Italie*. Anthropologie, 111(3), 290-320.

Bona F., Laurenti B. & Delfino M. (2009). *Climatic fluctuations during the last glacial in the North-Western Lombardian prealps: the upper Pleistocene faunal assemblages of the Caverna Generosa (Como, Italy)*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, 115(2), 253-267.

Bona F. & Savoldi M. (2016). *The first record of the birch mouse Sicista in the Upper Pleistocene sediments of Caverna Generosa (Como, NW Italy), with morphometrical, morphological and ecological considerations*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, 122(2), 1-12.

Fosse P. & Philippe M. (2005). *La faune de la grotte Chauvet: paléobiologie et Anthropozoologie*. Bulletin de la Société Préhistorique Française, 102 (1), 89-102.

Kurten B. (1976). *The Cave Bear Story*. 163 pp. Columbia University Press

Sessa E., Bona F. & Angiolini L. (2020). *Frost action and human occupation during the Late Pleistocene in the Italian Southern Alps: micromorphological evidences from the Caverna Generosa cave*. Italian Journal of Geosciences. <https://doi.org/10.3301/IJG.2020.28>.

Toškan B. & Bona F. (2012). *Body size variability in cave bears from the Southern Alps*. Atti 6° convegno Nazionale di Archeozoologia, 47-55.