

**Grotta di Lamalunga:  
rilievo topografico e restituzione tridimensionale<sup>2</sup>**

**Premessa**

Nell'ambito della realizzazione del progetto "SARASTRO" (Sistema teleoperato integrato di teleosservazione e Telemetria per la fruizione scientifica e culturale dell'uomo Arcaico di Altamura) il Consorzio di ricerca Digamma, realizzatore del progetto, ha constatato la necessità di un rilievo della *Grotta di Lamalunga* con precisione ed accuratezza superiore rispetto ai classici rilievi "speleologici". Tutto ciò al fine di poter ottenere come risultato finale informazioni metriche attendibili e tridimensionali, in particolar modo nella zona dell'abside, zona della grotta contenente i resti umani.

A seguito di numerosi contatti preliminari tra il Consorzio di ricerca DIGAMMA ed il C.A.R.S., verificata la presenza nel C.A.R.S. di particolari figure professionali adatte al lavoro da realizzare fra cui principalmente i topografi di professione che garantissero la realizzazione di un rilievo topografico con precisioni ed accuratezza superiore rispetto ai classici rilievi cosiddetti "speleologici" si è ricevuto dal Consorzio DIGAMMA l'incarico di effettuare il rilievo topografico, della *Grotta di Lamalunga*.

**Difficoltà operative e stima degli obiettivi raggiungibili**

Le caratteristiche geometriche fondamentali della grotta sono un pozzo di ingresso profondo circa 9 metri con un diametro che parte da 60 cm e si allarga fino a 120 cm; dalla base del pozzo, percorrendo 4-5 metri strisciando fra la volta della grotta ed un cono detritico, si accede ad una grande sala di crollo (asse maggiore di circa 20 mt) formatasi fra due ampi strati orizzontali di calcare, con un foro alla sommità completamente ostruito dal conoide di detriti che divide in due il sistema carsico nelle due direzioni principali nord e sud con varie gallerie di crollo che si diramano in varie direzioni; in particolare, nella galleria a nord che porta all'abside dove vi sono i resti dell'*Uomo di Altamura*; lungo tale ramo che si sviluppa per una lunghezza di circa 30 mt

---

<sup>1</sup> Centro Altamurano Ricerche Speleologiche (C.A.R.S.), Casella Postale 120 - 70022 Altamura (Ba); e-mail: [cars.altamura@libero.it](mailto:cars.altamura@libero.it)

<sup>2</sup> Il rilievo è stato condotto unitamente a Giovanni RAGONE e William FORMICOLA del Centro Altamurano Ricerche Speleologiche (C.A.R.S.).

non è mai possibile la posizione eretta (le altezze sono mediamente 60 - 80 cm con strettoie di 20 cm).

Sulla base di precedenti esperienze e valutando le varie tipologie di strumentazione topografica utilizzabile in queste particolari condizioni, si sono fissati i seguenti obiettivi primari:

- progetto, materializzazione e rilievo, da effettuarsi cercando di ottenere precisioni ed accuratezze al centimetro, della poligonale principale congiungente l'ingresso della grotta con l'abside dell'uomo;
- rilievo di dettaglio poggiante sulla poligonale principale di tutto il ramo nord applicando una sensibilità di dettaglio media pari a 10 cm;
- rilievo di dettaglio poggiante sulla poligonale principale dell'abside dell'Uomo con sensibilità di dettaglio media pari a 2 centimetri;
- elaborazione e restituzione delle operazioni di rilievo in un modello matematico ed eventualmente a curve di livello;

### Poligonale principale e strumentazione

In un classico rilievo topografico di tipo celerimetrico le stazioni sono materializzate in maniera univoca e duratura con chiodi infissi in roccia o in punti facilmente accessibili al fine di assicurare in qualsiasi momento:

- ripetizioni delle operazioni di misura effettuate;
- controlli successivi;
- aggiunta di misurazioni al rilievo originale (dettaglio).

Nel caso specifico della *Grotta di Lamalunga*, la forma della grotta e la presenza costante di reperti fossili di alto valore scientifico sui pavimenti ha impedito, tra l'altro, l'uso di qualsiasi tipo di chiodo infisso nel pavimento, necessario per la materializzazione di precisione delle stazioni celerimetriche.

Per ovviare a questo problema si è pensato di posizionare con del poliuretano, sulle pareti della grotta, mire autocostruite e numerate in PVC, del tipo simi-

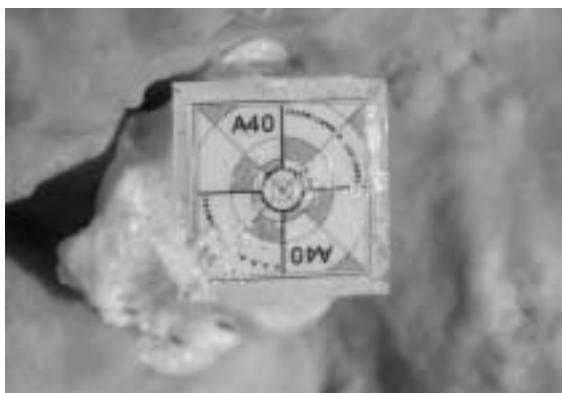


Fig. 1 - Particolare delle mire autocostruite e numerate in PVC e della tipologia di ancoraggio a parete con poliuretano.

le a quelle usate per la fotogrammetria architettonica (le mire riflettenti in commercio per dare risposta allo strumento devono essere ad una distanza minima di 6 metri) (Fig. 1). Data l'importanza della *Grotta di Lamalunga* e dei fossili di alto valore scientifico in essa custoditi, i tempi di permanenza nella stessa dovevano essere ridotti al minimo al fine di limitare l'impatto ambientale.

Alla luce dell'enorme varietà di imprevisti ed inconvenienti che si verifi-

cano in ambiente ipogeo, si è ritenuto di testare praticamente le tecniche di rilievo ipotizzate al fine di progettare e realizzare gli adattamenti necessari alle tecniche ed alle attrezzature ipotizzate, tutto ciò anche al fine di ridurre al minimo i tempi di acquisizione dati e la conseguente permanenza in grotta.

Esiste a 500 metri circa dalla *Grotta di Lamalunga* la *Grotta della Capra* in alcune delle sue zone ed anfratti simile come forma e caratteristiche ambientali alla *Grotta di Lamalunga* e quindi adatta a testare le tecniche e le attrezzature di rilievo.

I test inerenti la resistenza nel tempo del poliuretano, l'acquisizione e l'elaborazione dei dati acquisiti ci hanno indicato la soluzione migliore: le mire sono state applicate in punti "strategici" dal punto di vista topografico ed in quantità tale da avere sempre un minimo di quattro mire da un vertice di poligonale, possibilmente a distanze superiori a 130 cm dall'ipotetica posizione di stazione. Questa condizione ci ha permesso, in seguito, di godere di enorme libertà nel posizionamento delle stazioni necessarie al rilievo di dettaglio della grotta.

Risolto il problema del posizionamento di precisione delle stazioni di rilievo, si è dovuta portare la strumentazione topografica, ritenuta idonea a dare le precisioni di rilievo richieste, in grotta al fine di verificarne la compatibilità e l'adeguato funzionamento.

Individuata la strumentazione topografica da utilizzare (Fig. 2-3) e cioè una stazione totale (tedodolite elettronico con distanziometro elettro-ottico integrato) per rilievi topografici accessoriata con batterie esterne ad alta capacità, memorizzatore di dati esterno, oculare spezzato, miniprismi riflettenti con puntale di precisione, puntatori laser portatili, aste, treppiedi, misuratore di distanze laser, è stata preliminarmente effettuata una prova operativa al fine di assicurare che i contenitori dell'attrezzatura ed i treppiedi avessero dimensioni tali da consentire il trasporto attraverso tutte le strettoie presenti in grotta fino all'Abside.



Fig. 2 e 3 - Speleologi e strumentazione topografica in fase di acquisizione dati.

A seguito delle prove nella *Grotta della Capra* e del test operativo nella *Grotta di Lamalunga*, si sono rese necessarie alcune modifiche da effettuare alla strumentazione topografica al fine di eliminare i seguenti inconvenienti:

- **ALTEZZA DEI TREPPIEDI.** Molte zone della grotta, con altezze massime pari a 50 - 60 cm, non sono idonee all'uso dei normali treppiedi topografici in commercio, i quali non sono più bassi di 100 cm e quindi hanno richiesto modifiche. Sono stati autocostruiti mini-treppiedi di varie dimensioni tra cui uno che ci ha permesso altezze minime da terra dell'asse di mira pari a 40 cm: praticamente lo strumento è stato manovrato, in questi casi, stando distesi per terra. Grazie a questi artifici è stato quindi possibile superare le strettoie e congiungere con la poligonale principale tutte le zone della grotta.
- **MESSA A FUOCO DI PUNTI MOLTO VICINI.** Nonostante la distanza minima di messa a fuoco dello strumento sia pari a 130 cm circa, si è avuta la necessità di collimare punti e mire molto più prossimi allo strumento. Dopo vari tentativi il problema è stato risolto modificando lo strumento in maniera da essere in grado di puntare l'esatto punto di misura anche senza mettere a fuoco l'oculare (Fig. 4-5).
- **DISTANZIOMETRI LASER.** Gli ultimissimi strumenti topografici con distanziometro laser incorporato in grado di misurare le distanze senza l'uso di prisma riflettente disponibili in commercio alla data del gennaio 2000, hanno un limite minimo di distanza misurabile pari a 250 cm circa; quindi in condizioni di rilievo come quelle del ramo nord, largo mediamente 150 cm, sono praticamente equivalenti ai distanziometri elettro-ottici in quanto essendo inutilizzabile il distanziometro laser, richiedono comunque l'utilizzo del prisma riflettente per la misura delle distanze.
- **MINIPRISMI.** Il normale prisma riflettente diffusamente usato nei rilievi topografici, di per sé piccolo (7 cm di diametro), è risultato, in più occasioni, troppo grande per il posizionamento di precisione delle mire e per il rilievo di dettaglio di piccoli anfratti a cui si è prestato molto meglio il miniprisma fornito di puntale di precisione avente dimensioni molto più ridotte (2 cm di diametro) e quindi più maneggevole.

## **Il rilievo**

Dopo aver posizionato sulle pareti della grotta le mire numerate in PVC, lungo l'intera poligonale principale congiungente l'ingresso della grotta con l'abside dell'Uomo si è passati alla misura di precisione delle stesse con sensibilità inferiori al cm (Fig. 6).



Fig. 4 e 5 - Particolare di due sequenze relative alle operazioni di puntamento mediante l'utilizzo di "tracciante" laser.

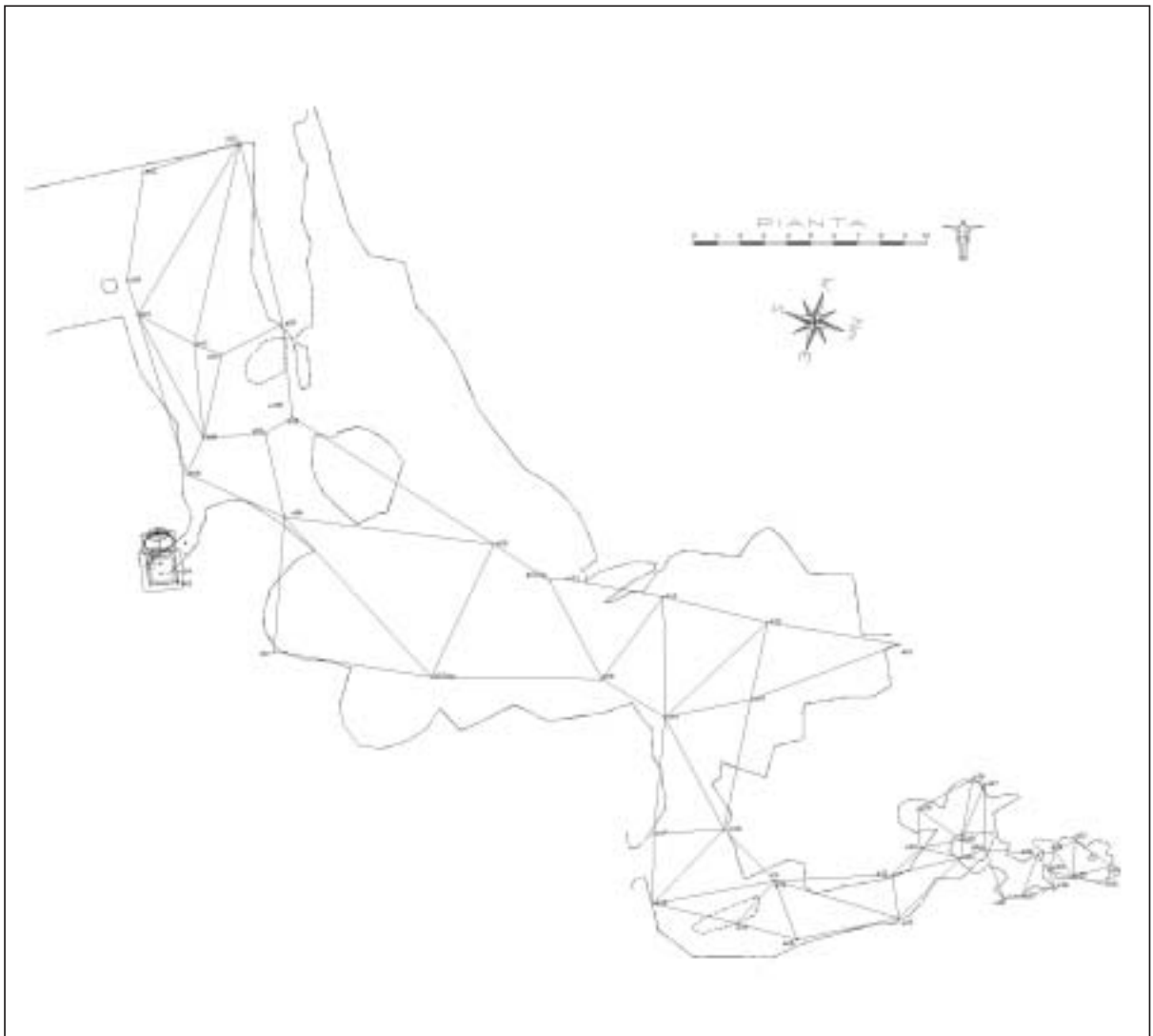


Fig. 6 - Poligonale principale.

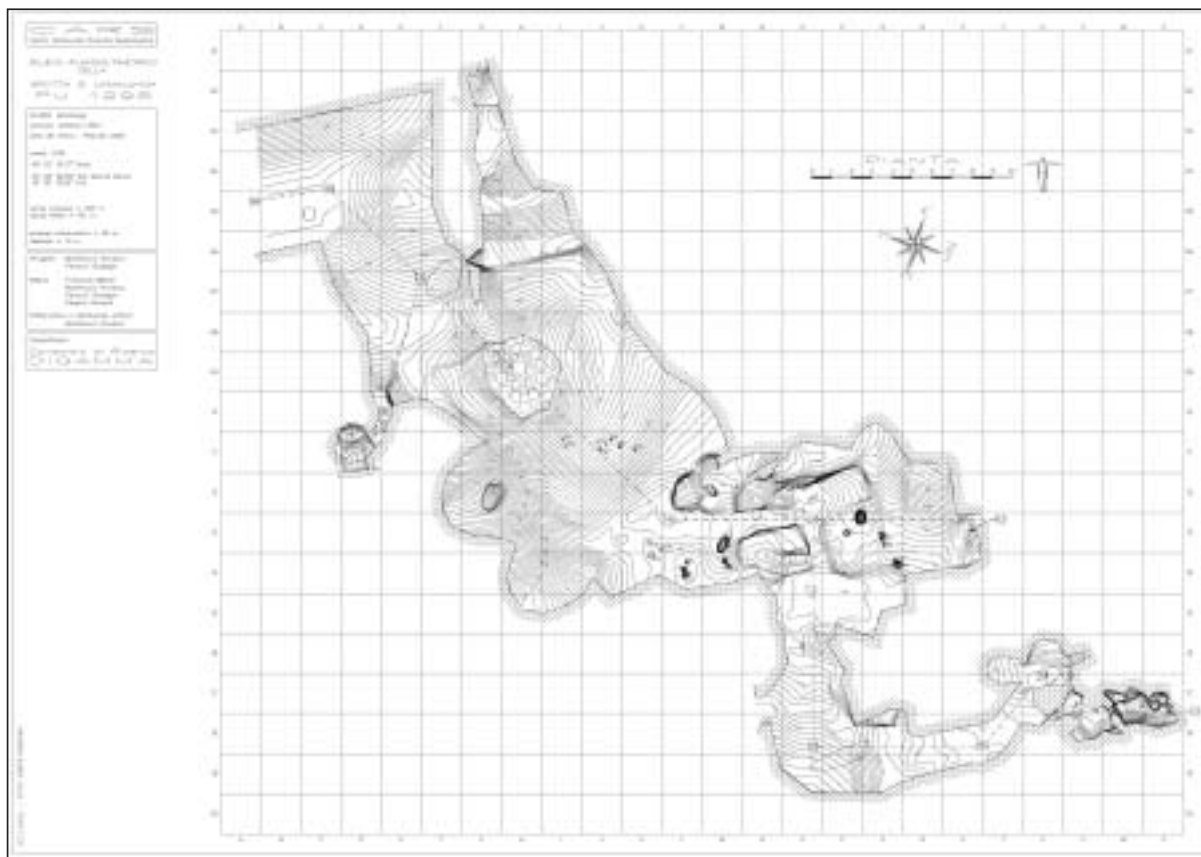


Fig. 7 - Planimetria con curve di livello.

Per dare una misura della tempistica e delle quantità ci sono voluti tre giorni di lavoro di una squadra composta da *quattro* persone per coprire la distanza di circa *80 metri* che va dal pozzo di ingresso all'abside e sono state posizionate circa *40 mire*.

Subito dopo l'elaborazione e la verifica dei risultati ottenuti (calcolo delle posizioni fisse  $x$ ,  $y$ ,  $z$  di tutte le mire/satelliti) si è passati al rilievo di dettaglio dell'abside dell'Uomo finalizzato ad ottenere una sensibilità di dettaglio media pari a 2 centimetri.

Per tale fase la tempistica è stata la seguente: tre giorni di lavoro di acquisizione di una squadra composta da tre persone; sono stati acquisiti circa 2000 punti stando all'interno dell'abside che come dimensione massima non supera mai i 3 metri.

Il rilievo di dettaglio (Fig. 7) poggiante sulla poligonale principale di tutto il ramo nord, è stato effettuato rilevando sezioni verticali della cavità a distanze variabili dipendenti dalla quantità di dettagli presenti ma comunque tali da non trascurare dettagli medi superiori a  $10\div 20$  cm; per questa fase sono serviti cinque giorni pieni di lavoro di acquisizione di una squadra composta da tre persone; sono stati acquisiti circa 1000 punti, e la grotta nel suo complesso (80 metri

circa di sviluppo lineare per quanto riguarda la parte rilevata) è stata tagliata con 115 fette/sezioni (Fig. 8).

Ai fini dell'inquadratura cartografica, la poligonale interna è stata prolungata tramite il pozzo di accesso all'esterno della grotta materializzando all'esterno diversi punti in grado di orientare con maggiore attendibilità rispetto alle normali bussole la posizione della grotta rispetto all'ambiente esterno.

### Elaborazione e restituzione dell'abside

L'elaborazione della nuvola di 2000 punti acquisita nell'abside ha messo in luce tutti i limiti degli attuali e più diffusi programmi dedicati all'elaborazione di rilievi tridimensionali, costringendoci ad effettuare diversi tentativi e la messa a punto di piccole *routines software* per risolvere i problemi di elaborazione e restituzione del rilievo dell'abside.

La procedura che alla fine ha dato il migliore risultato è stata la seguente:

- la nuvola di punti (Fig. 9) restituita dall'elaborazione dei libretti di misura dà vagamente l'idea della forma dell'abside e somiglia nella forma ad una "patata" bitorzoluta;
- il modello matematico a triangoli (Fig. 10), visto da varie angolazioni con programmi di gestione di solidi tridimensionali, non rendeva molto la forma dell'abside;
- si è pensato di rendere il tutto trasparente: tagliando il modello matematico a fette distanti fra loro 5 cm, si è ottenuta una serie di contorni

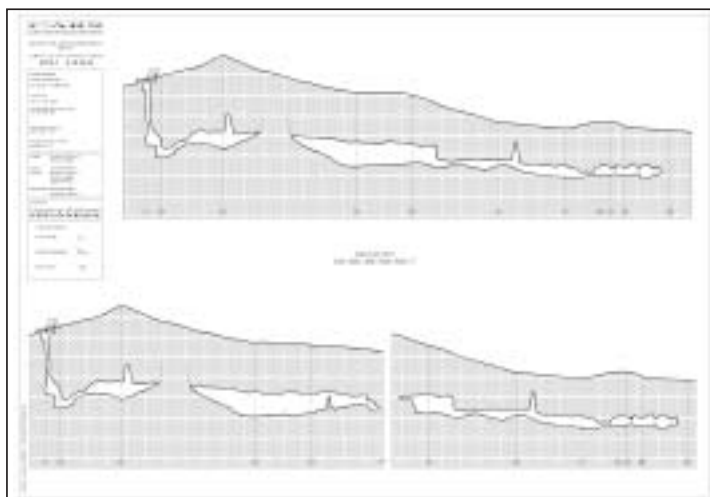


Fig. 8 - Sezioni longitudinali del ramo nord.

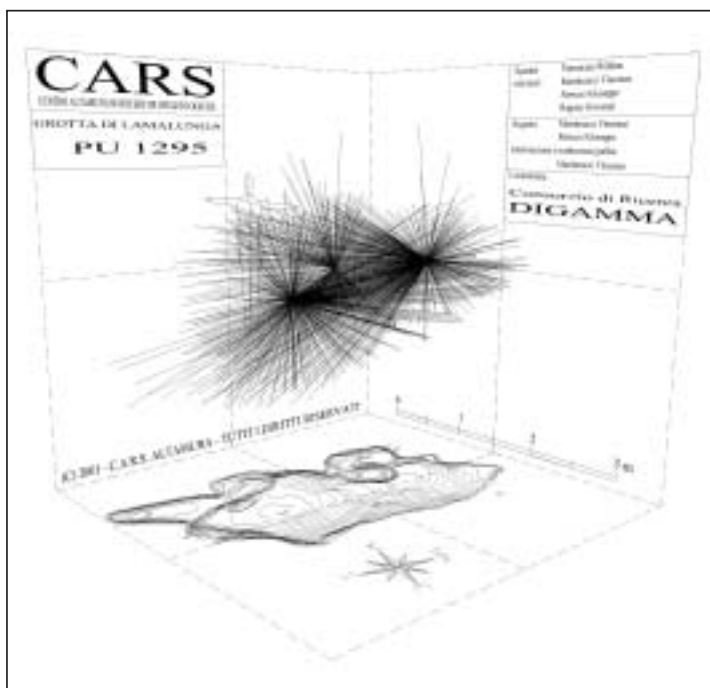


Fig. 9 - "Abside" - nuvola dei punti acquisiti.

3D che ruotati lentamente restituiscono molto meglio del modello matematico a triangoli la forma dell'abside (Fig. 11).

- Il lavoro di taglio del modello 3D a triangoli è stato fatto sia in orizzontale che in verticale ottenendo come risultato quindi qualcosa di molto simile a una TAC (Fig. 11).

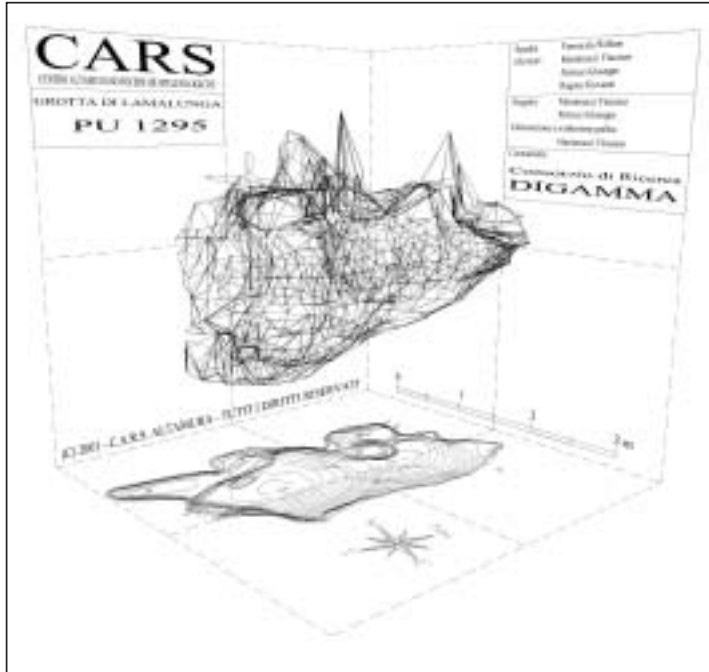


Fig. 10 - "Abside" - modello matematico a triangoli.

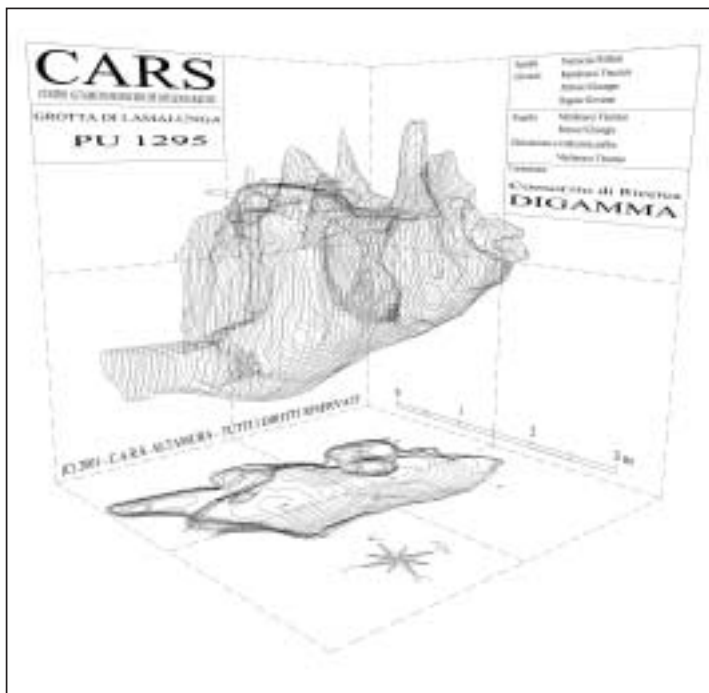


Fig. 11 - "Abside" - taglio a fette verticali.

## Elaborazione e restituzione delle restanti parti della grotta

L'elaborazione del rilievo di dettaglio poggiante sulla poligonale principale di tutto il ramo nord effettuato rilevando sezioni verticali della cavità a distanze variabili ci ha dato un insieme di punti 3D con linee che li collegano a formare le varie sezioni verticali o orizzontali.

Queste linee, convertite in polilinee 3D, sono diventate i contorni generatori di piccole griglie di superfici tridimensionali sfaccettate (3Dmesh) che collegano fra loro le sezioni confinanti.

L'insieme di tutte queste superfici 3D ci ha dato la forma della grotta in tante superfici 3D sfaccettate (Fig. 12).

Per ottenere la rappresentazione del pavimento della grotta a curve di livello, è stato necessario estrapolare i punti rappresentativi dello stesso (tramite un software dedicato autocostruito), l'insieme di questi punti elaborato con il programma di topografia terrestre (Meridiana) ha restituito la suddetta rappresentazione.

Il rilievo è in continua evoluzione e, ad oggi si è in grado di rappresentare anche una parte di superficie della collina sovrastante il ramo nord della grotta (Fig. 13 e Fig. 14).

### Considerazioni finali

La metodologia di rilievo così effettuata, è facilmente aggiornabile e si presta facilmente a:

- aggiunte di altri tronchi della grotta non rilevati;
- aumenti di sensibilità in altre zone della grotta;
- controllo e verifica delle precisioni ottenute;
- aumento del livello di dettaglio in qualsiasi zona e in qualsiasi momento.

Tempi di realizzazione erano stati previsti in:

- 10 giorni per l'esecuzione dei rilievi in grotta
- 10 giorni per elaborazione dati.

Tempi di realizzazione effettivi occorsi:

- 11 giorni per l'esecuzione dei rilievi in grotta
- 30 giorni per elaborazione dati.

Ne deriva che le difficoltà relative al rilievo sono state previste e pianificate con buona approssimazione, mentre la parte che riguarda l'elaborazione dei dati ha portato via molto più tempo del previsto, dando però risultati superiori alle previsioni.

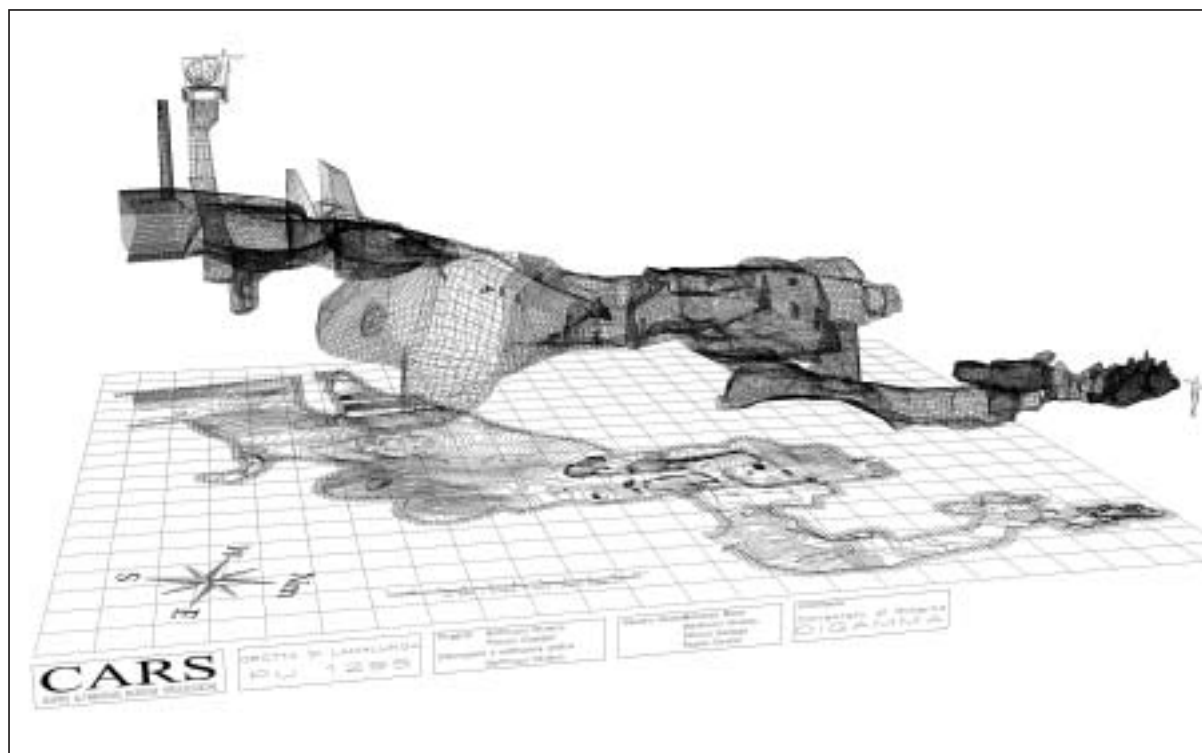


Fig. 12 - Restituzione 3D in vista prospettica.

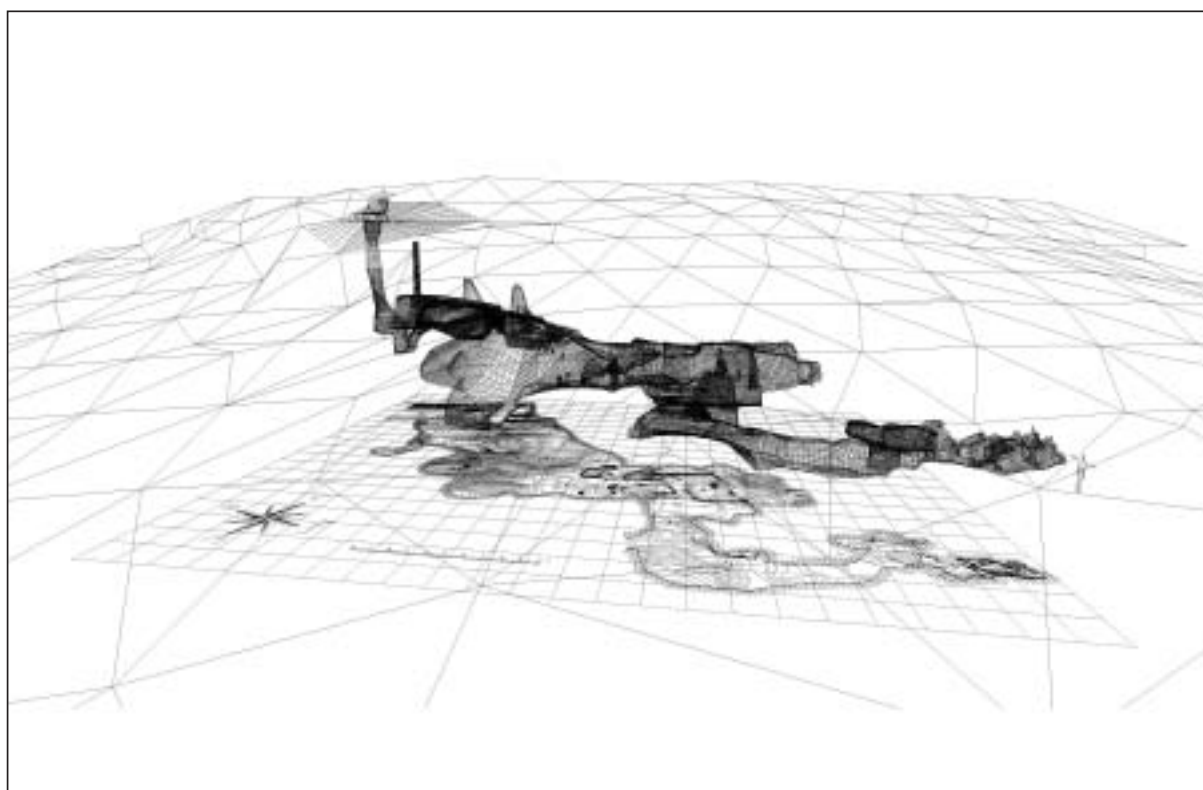
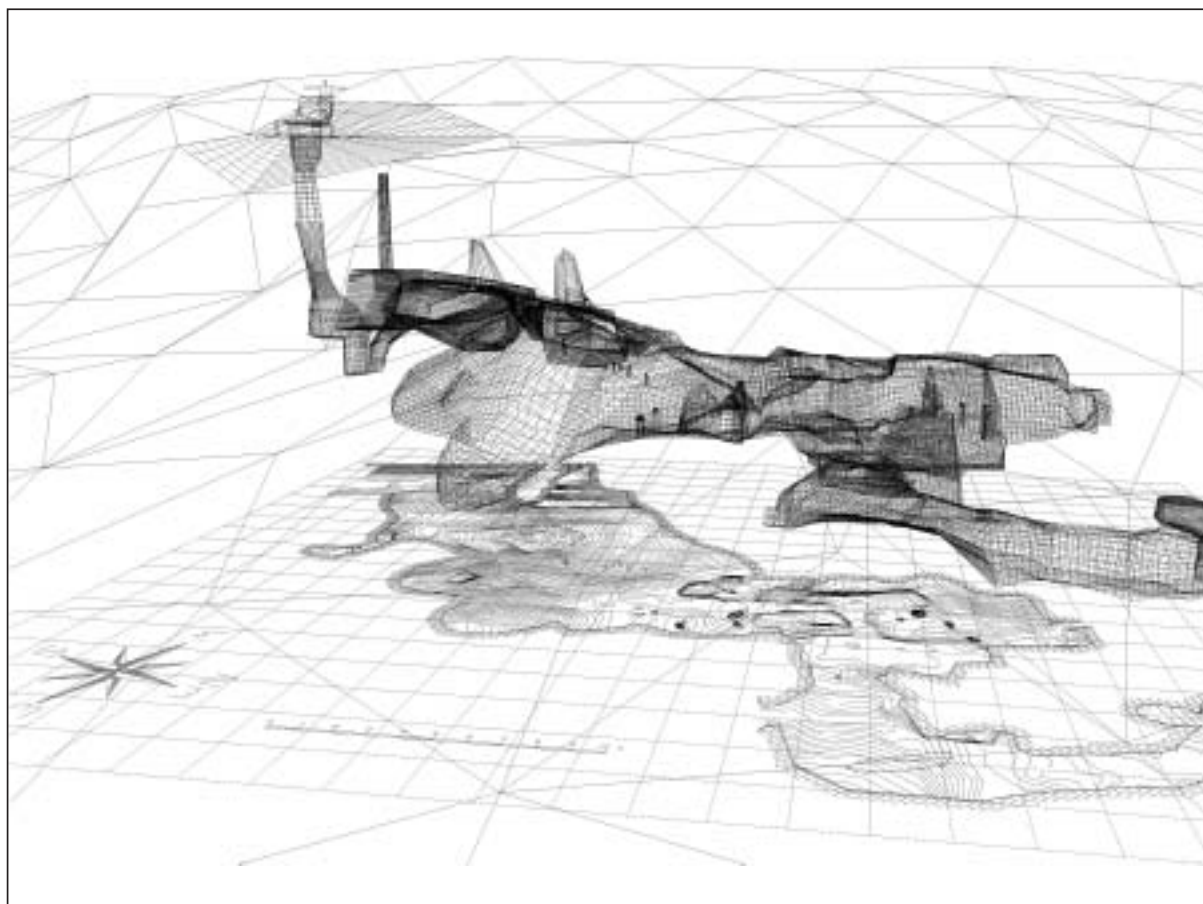


Fig. 13 e 14 - Restituzione 3D in vista frontale con parte della collina restituita.