

Ipotesi Ipogee

Il potenziale esplorativo residuo della regione Lazio

Da uno studio regionale a un possibile metodo per individuare aree di ricerca

Guido Baroncini Turricchia - Circolo Speleologico Romano

Il Circolo Speleologico Romano opera nel Lazio da oltre un secolo. In questi primi cento anni di attività i diversi gruppi speleologici hanno collaborato per creare un catasto unico che conta i dati posizionali di 1381 cavità, schedate nel periodo 1904-2004.

Ho pensato che questo patrimonio potesse essere utilizzato in maniera "estensiva" e cioè per effettuare qualche valutazione e considerazione sull'andamento delle attività speleologiche nella regione. Poi, ampliando il "raggio di azione" di questa raccolta di dati, ho cercato di ricavarne anche una stima della quantità minima di cavità ancora da scoprire nel Lazio, producendo una mappa probabilistica che sia di aiuto per identificare e circoscrivere le aree più interessanti per le future esplorazioni.

Senza avere assolutamente la pretesa di risolvere una questione di per sé irrisolvibile (dove trovare le grotte inesplorate?) e nella consapevolezza che esistono altre variabili da considerare e analizzare su diversa scala, penso che lo studio svolto a livello laziale possa essere utilizzato anche da altri come metodo di ricerca e strumento di lavoro; senza mai dimenticare l'influenza dell'imprevedibile fattore "caso" e dell'imprevedibile fattore "umano".

Osservando anche rapidamente la distribuzione geografica delle grotte finora scoperte nel Lazio, risulta subito evidente che, mentre alcune aree presentano un'alta densità di ingressi, altre ne sono completamente prive, altre ancora hanno valori intermedi.

Dovendo pianificare una ricerca, qualcuno potrebbe ritenere opportuno concentrare gli sforzi su un'area di bassa densità, che appare meno esplorata; altri, invece, basandosi sul principio di autocorrelazione spaziale, preferirebbero concentrarsi sulle zone dove l'alta densità dei precedenti ritrovamenti farebbe presagire il buon successo di nuove ricerche. Entrambi i punti di vista hanno una loro validità: il primo si basa sull'ipotesi che gli ingressi abbiano una distribuzione uniforme; il secondo, invece, che siano distribuiti a grappoli.

A questo punto è utile domandarsi quali fattori abbiano influenzato l'attuale distribuzione delle grotte a catasto.

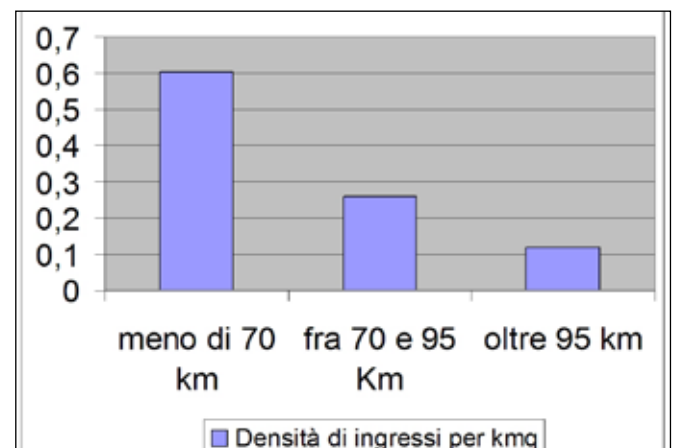
Lo stato attuale è il risultato della somma di diversi fattori

cooperanti, talvolta in stretta correlazione fra loro e che, in linea di massima, si possono suddividere in due categorie basilari: fattori di origine umana; fattori di origine naturale.

La distribuzione di tutte le grotte esistenti nel Lazio dipende ovviamente solo dai secondi; mentre la distribuzione di quelle finora conosciute è stata influenzata da entrambi.

Senza la pretesa di indagare simultaneamente tutte le variabili e quindi di esaurire il campo di ricerca, in questo modello privilegiamo alcuni fattori di origine umana.

Per l'analisi geostatistica dell'area di studio sono stati utilizzati come dati in ingresso 5 "strati" (layer): la rete stradale, il Catasto delle grotte del Lazio aggiornato al 2004, la litologia del Lazio, il DEM (Digital Elevation Model - Mo-



Distanza da Roma	Superficie calcarea all'interno della area considerata	Grotte	Densità
[km]	[km ²]	Nr grotte	Grotte/[km ²]
meno di 70 km	911	550	0,60
fra 70 e 95 Km	939	243	0,26
oltre 95 km	933	111	0,12

Grafico e Tabella 1: Distribuzione degli ingressi a catasto in funzione della distanza da Roma a parità di superficie calcarea

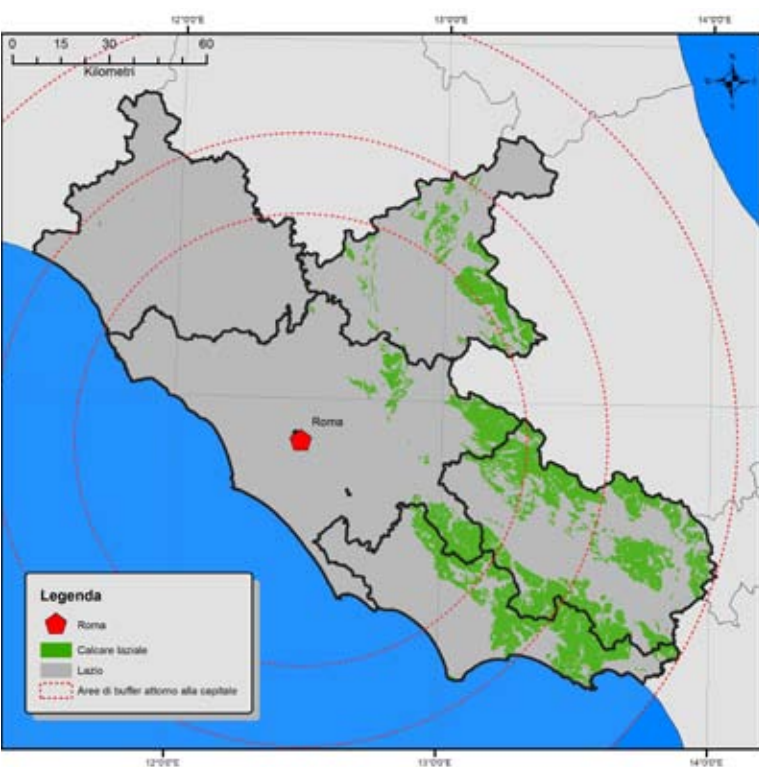


Figura 1: Suddivisione del Lazio in tre aree concentriche attorno alla capitale contenenti comparabili quantità di superfici calcaree

dello digitale di elevazione del terreno) 20x20 metri e la posizione di Roma. La *rete* e la *litologia* sono stati opportunamente ridimensionati e semplificati per ridurre i tempi di calcolo.

Per individuare grotte di posizionamento incerto, che è necessario scartare dall'indagine, sono stati incrociati i dati di quota riportati a catasto con il DEM. Una discrepanza maggiore di 100 metri fra DEM e dati di catasto mette in forte dubbio l'attendibilità di questi ultimi e, quindi, la loro effettiva rispondenza con il reale posizionamento di una data grotta. Con questa selezione, si è passati da 1381 a 1306 cavità.

Avendo poi notato che il 70% si trova in aree litologicamente definite come *calcarei micritici*, *detritici* e *calcarenitici* si sono scelti solo gli ingressi relativi a questo gruppo, poiché il numero di quelli appartenenti ad altre litologie non ha una consistenza tale da permettere operazioni geostatistiche significative. 904 è il numero di ingressi estratto per l'analisi.

La tesi che si è cercato di verificare è la seguente: quanto maggiore è lo sforzo necessario per raggiungere un'area in termini di tempo, distanza e fatica fisica, tanto minore, in quell'area, sarà la densità di cavità a catasto.

I tre parametri di valutazione considerati sono:

- Distanza da Roma
- Distanza dalla rete stradale
- Metri di grotta esplorati in relazione alla distanza dalla rete stradale.

Distanza da Roma

La stragrande maggioranza delle grotte a catasto sono state scoperte da gruppi romani: non è quindi sbagliato, in prima approssimazione, assumere la capitale come origine delle spedizioni che hanno portato, in questi anni, alla scoperta degli ingressi considerati. Per studiare la distribuzione della densità di grotte in relazione alla distanza dalla capitale sono state tracciate aree concentriche che contenessero approssimativamente la stessa superficie calcarea (figura a fianco). Lavorando su scala regionale, bisogna tener presente che altri fattori contribuiscono alla distribuzione delle grotte; quindi, per ridurre il "rumore" che queste diverse componenti provocano sulla relazione studiata, si è deciso di adottare un basso numero di classi, suddividendo la regione in 3 aree. Nel grafico 1 e in tabella 1 (pagina a lato) sono presentati i risultati di questa classificazione. Nel grafico 1 il *trend* decrescente è evidente e, perciò, questa informazione può essere incorporata nel modello probabilistico che si vuole sviluppare. Fra i 50 e i 120 km dalla capitale

$$\text{equazione [1]} \quad Y = 3,6 * e^{-0,0314X}$$

è la funzione che meglio approssima questa tendenza ($R^2 = 0,98$), dove Y è la densità in grotte/km² e X è la distanza in km da Roma.

Distanza dalla rete stradale

La rete stradale del Lazio è così capillare che sono ormai poche le aree alle quali non ci si possa avvicinare su strada asfaltata; la grotta con maggiore distanza dalla rete, infatti, si trova ad appena 3 km. Nondimeno, anche su questa scala, la distribuzione delle grotte catastate non risulta uniforme. In questo caso, si è suddivisa la superficie calcarea in 6 aree di riferimento (*buffer zone*, fig.2 pag seguente) create a partire dalla rete stradale, anche in questo caso considerando superfici calcaree all'incirca equivalenti. Come mostrano il grafico 2 e la tabella 2 (pag. seguente), si riscontra un'alta densità di ingressi catastati in prossimità della rete stradale (fra 0 e 200 metri); allontanandosi dalle strade, la densità decresce velocemente, fino a stabilizzarsi su valori costanti di circa 0,2 grotte/km². Se la prima analisi poteva suscitare qualche dubbio a causa di possibili variabili perturbative, con una microscala è più difficile che altri fattori (età del massiccio, tettonica più o meno presente, ecc) possano modificare l'andamento, cosicché il grafico risulta, ancora una volta, piuttosto eloquente. In questo caso la funzione ($R^2 = 0,92$) che meglio approssima l'andamento è

$$\text{equazione [2]} \quad Y = 5,2703 * X^{0,4528}$$

dove Y è la densità in grotte/km² e X è la distanza minima in metri dalla rete stradale.

Metri di grotta esplorati in relazione alla distanza dalla rete stradale

Si è presupposto che il fattore "distanza dalla rete stradale" influenzasse anche l'ampliamento planimetrico di una grotta; si immaginava, cioè, che grotte più prossime alla rete stradale fossero esplorate più in profondità, poiché sarebbe più agevole raggiungerle e trasportarvi le attrezzature. Si voleva quindi stilare un elenco di grotte che valesse la pena rivisitare per compiersi esplorazioni più accurate.

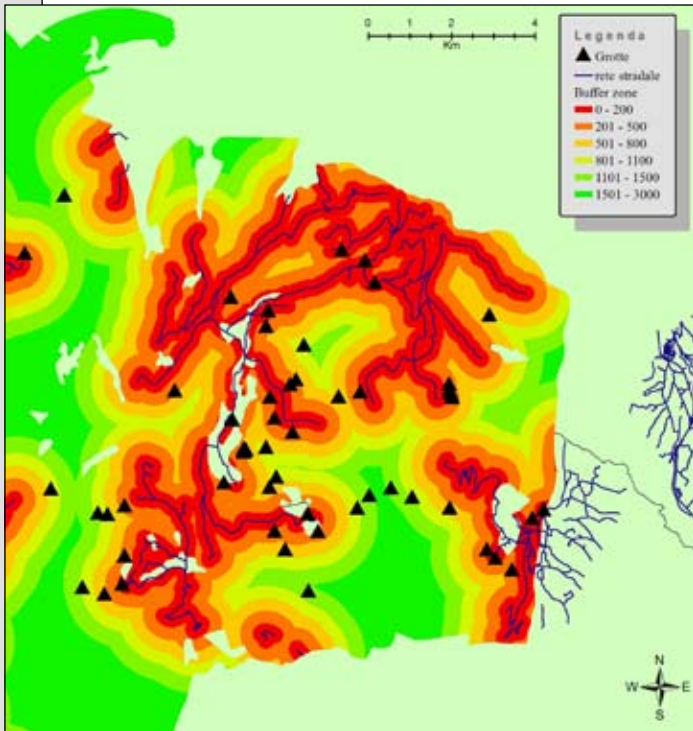


Figura 2: Classificazione del territorio calcareo del Lazio in fasce di varia ampiezza attorno alla rete stradale

Estremi del ring buffer [m]	Totale grotte catastate all'interno di ciascun ring buffer nr. Grotte	Area coperta da ciascun ring buffer [km²]	Densità di grotte catastate per km² [grotte/km²]	Distanza dal network stradale dove la densità è allocata [m]
0-200	325	481	0,68	100
200-500	202	484	0,42	350
500-800	133	519	0,26	650
800-1100	90	458	0,20	950
1100-1500	78	411	0,19	1300
1500-3000	73	372	0,20	2250

Tabella 2 : Distribuzione degli ingressi a catasto in funzione della distanza dalla rete stradale a parità di superficie calcarea

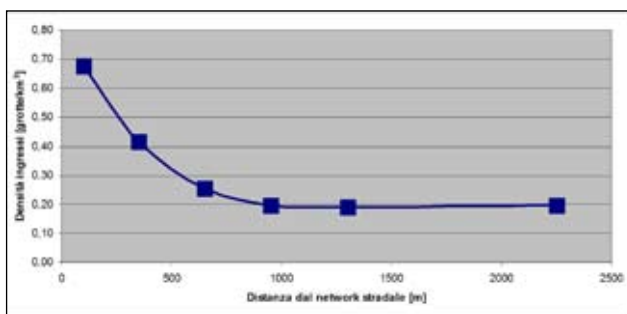


Grafico 2

Una scarsa correlazione ($R^2=0,17$) tra la distanza dalla rete stradale e la quantità di metri esplorati, ha evidenziato che, di fatto, i due fattori non si influenzano minimamente. Questo si può spiegare considerando ad esempio che la differenza fra una punta di 20 ore in grotta + 300 metri in superficie e una di 20 ore + 3 km produce una variazione di meno del 10% in termini di tempo.

Stima della densità minima d'ingressi residui

La superficie regionale è stata suddivisa in una griglia regolare di risoluzione 20x20 metri. Per ogni cella si può considerare che:

$$\text{equazione [3]} \quad \text{la Densità Minima d'Ingressi Residui} = [\text{Densità Massima Catastale} - \sum(\text{Densità correlate a Fattori Antropici})] * (\text{Fattori Correttivi di Cause Naturali}).$$

La Densità Massima Catastale va ricercata dove i fattori di origine antropica sono maggiormente evidenti. È stata quindi calcolata, all'interno del litotipo calcareo, la densità di grotte nelle aree di riferimento prossime sia alla rete stradale sia alla capitale (contando le grotte che si trovano nella prima fascia di 70 km attorno a Roma e nei primi 100 metri dalla rete stradale, e dividendo il loro numero per l'area sottesa). La somma della superficie regionale che soddisfa queste condizioni è pari a 99,2 km². Il valore di densità trovato è pari a 1,15 grotte/km². Le Densità Correlate a Fattori Antropici sono espresse dalle equazioni [1] e [2].

Come già specificato nell'introduzione, le considerazioni sui fattori antropici di distribuzione delle cavità sono state fatte sulla base del solo litotipo calcareo. Ovviamente questi risultati possono essere sfruttati anche sulle altre litologie. Per considerare la diversa carsicità dei diversi litotipi, infatti, si è calcolata la densità di grotte in ogni tipologia e si è creata una coerente tabella di pesi ponderata sulla classe studiata (Calcari micritici).

Ogni singola cella di 20x20 metri della regione Lazio è stata quindi sottoposta alla seguente operazione di *map algebra*:

$$\text{equazione [4]} \quad [(\text{Densità Massima Catastale}) - (\text{Densità correlata alla distanza da Roma}) - (\text{Densità correlata alla distanza dalla rete stradale})] * (\text{Fattore naturale legato alla litologia})^1$$

¹ $(1.15 - (3.6 * e^{-0.0314 * \text{Distanza da Roma}}) - (5.2703 * \text{Distanza da rete stradale} - 0.4528)) * \text{litologia ponderata}$

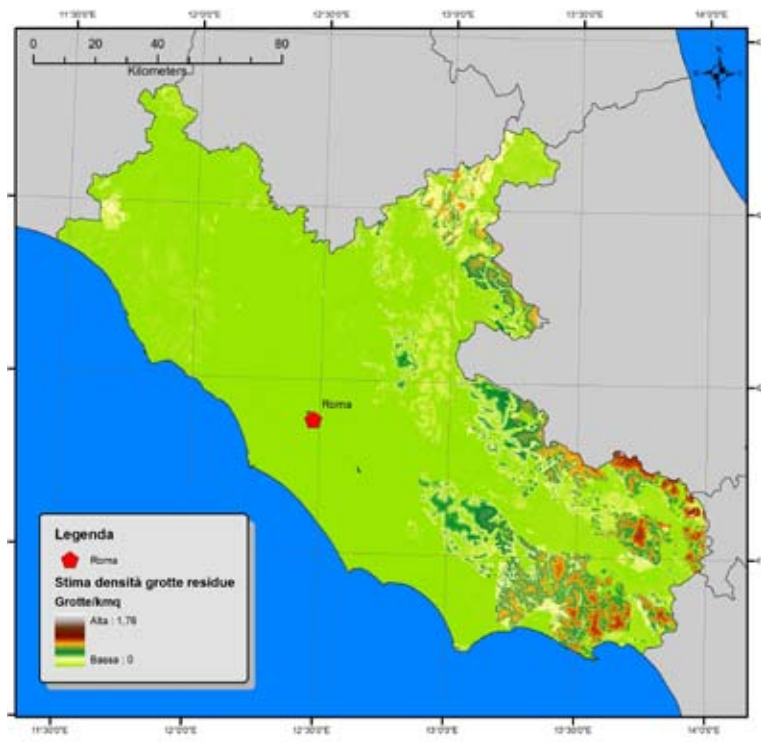
Effettuando l'integrale di superficie di questa funzione sull'intera regione è stato possibile estrapolare una stima della quantità **minima** di cavità non ancora scoperte nel Lazio. Tale valore è 1400 per un totale che supera le 2700 unità (figura 3).

Si tenga presente, tuttavia, che per creare la carta probabilistica sono stati considerati pochi fattori naturali e che il modello è migliorabile.

In primo luogo, vi si potrebbero aggiungere analisi basate su altri importanti parametri, come la tettonica e l'antichità dei massicci. Sarebbe interessante verificare e confrontare i risultati di studi analoghi in altre regioni.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare Anna Pedicone Cioffi, Stefano de Felici, Valerio Sbordonì e Maria Ioannilli per i dati forniti; un dovuto grazie anche a Giuseppe Pagliarulo e Marco Fressura per i loro puntuali consigli.



Sopra Figura 3: Basandosi sul modello probabilistico sviluppato questa carta mette in evidenza le aree dove future battute di ricerca di nuovi ingressi dovrebbero essere concentrate.

Sotto Tabella 3: Carsificazione relativa dei diversi litotipi laziali

Descrizione dei litotipi	Densità di grotte catastate per km ²	Fattore naturale legato alla litologia
Calcari micritici, detritici e calcareniti.	0,34	1,00
Terre rosse con detrito calcareo.	0,18	0,54
Calcari granulari.	0,17	0,49
Travertini da litoidi a terrosi.	0,11	0,31
Marne con intercalazioni calcaree.	0,10	0,28
Calcari micritici compatti con selce, calcari marnosi e marne.	0,09	0,26
Conglomerati e brecce cementate, brecce di pendio.	0,08	0,24
Detriti di falda, sciolti e debolmente cementati.	0,07	0,20