

# ANNOTAZIONI GEOLOGICHE RELATIVE ALLA SPEDIZIONE "CAPPADOCIA SOTTERRANEA", CAMPAGNE 1991 E 1992

Pietro Maifredi

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Genova, Corso Europa 26 - (I) 16132 Genova

## 1. La zona di Derinkuyu ed il problema delle "porte-macina"

Nella campagna 1991 si è concentrata l'attenzione sul settore denominato Durmus evi della città sotterranea di Derinkuyu.

Vuole la tradizione che le porte-macina siano ricavate in sito con un'operazione delicata del tipo "scatola cinese". Le nostre osservazioni sulle caratteristiche delle pareti dei condotti sotterranei ci rendevano piuttosto scettici. Il materiale entro il quale è scavata la città è costituito da un tufo vulcanico relativamente ben cementato. In sotterraneo, quando la roccia contiene ancora l'"acqua di cava", è escavabile con facilità anche con attrezzi rudimentali. In queste condizioni una porta dello spessore di 30-50 cm avrebbe resistito poche decine di minuti di fronte ad un aggressore deciso ad entrare. Si è allora pensato di misurare con uno sclerometro (martello di Schmidt) in modo statistico la resistenza alla compressione uniassiale della roccia e delle porte-macina sia di Derinkuyu (Durmus evi) che di diverse altre città sotterranee della zona in cui sono state effettuate visite speditive.

E' risultato evidente che le "macine" che costituiscono le "porte" sono composte di norma da materiali che non provengono dallo stesso banco, ma da zone esterne alla città sotterranea, poiché hanno un indice di Schmidt sempre superiore a 40 e molto frequentemente superiore a 50, che indica una resistenza alla compressione uniassiale dell'ordine di 650-1000 kg/cm<sup>2</sup> (65-100 MPa), corrispondente a una roccia di resistenza medio alta, secondo Bieniawsky, di gran lunga superiore a quella della roccia in posto. Questa ha un indice di Schmidt mediamente compreso tra 12 e 25, che corrisponde ad una resistenza alla compressione uniassiale di 150-300 kg/cm<sup>2</sup> (15-30 MPa) ed è quindi una roccia con caratteristiche geomeccaniche mediocri (Fig. 1).

Le macine venivano pertanto introdotte nelle cavità attraverso i condotti e venivano rotolate sino alla camera di manovra, posta a valle della posizione definitiva della porta, verso l'interno della città: questo è il motivo per cui queste camere sono in genere piuttosto spaziose e comunque tali da consentire una rotazione di 90 gradi della macina sul suo asse verticale per essere messa in posizione; se la macina fosse stata scavata in posto sarebbe bastata una camera più ridotta. Purtroppo una prospezione veloce

lungo le strade che portano da Derinkuyu verso Est e verso Ovest, per circa 10 km nei due sensi, e per circa 5 km in senso N-S, non hanno consentito di trovare cave con tracce certe di porte-macina; la ricerca dei luoghi di provenienza delle macine meriterebbe un approfondimento (n.d.r. nelle campagne successive sono state localizzate cave esterne in altre località).

Per quanto riguarda la sicurezza delle strutture sotterranee si è osservato che la resistenza della roccia nel suo complesso è tuttavia solo relativamente debole, nel senso inteso dalla classificazione degli ammassi rocciosi secondo Bieniawski, poiché la roccia ha fratture molto rare esclusa una pellicola superficiale disgregata, che va da qualche millimetro

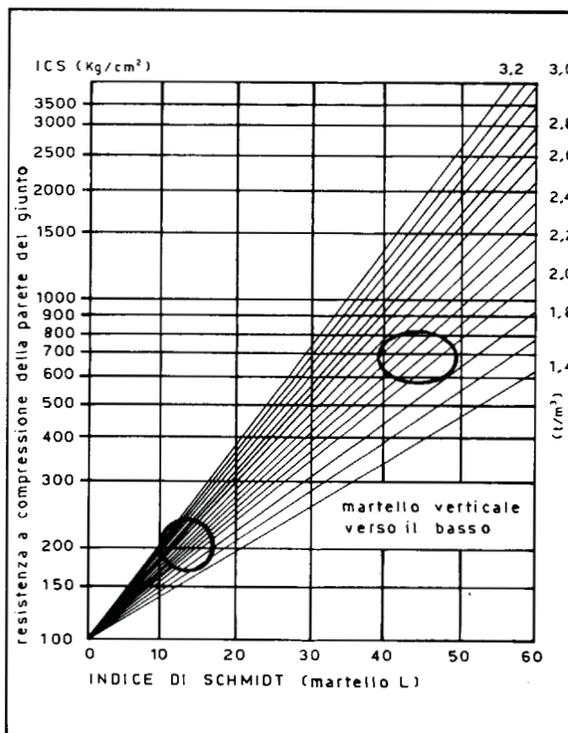


Fig. 1

Resistenza alla compressione uniassiale della roccia che costituisce le pareti (cerchio) della città sotterranea di Derinkuyu (settore Durmus Evi) e delle porte-macina (elisse), calcolata mediante l'indice di Schmidt considerando un peso di volume medio della roccia attorno a 2,2 T/MC

*One-axial compression resistance of the rocky walls (circle) of Derinkuyu underground town (Durmus evi sector) and of the millstone-doors (ellipse), calculated according to the Schmidt indicator, taking into account a weight average of the rock volume of about 2,2 tons per cubic meter.*

ad alcuni centimetri, variabile da zona a zona. Con queste caratteristiche della roccia si sono potuti realizzare setti e pilastri anche molto ridotti, che si presentano in genere in buone condizioni, con fratture dovute a schiacciamento piuttosto rare.

Nelle zone più vicine all'esterno, dove esistono anche manufatti in muratura, è frequente l'uso di massi in basalto, di dimensioni molto varie e di blocchi tufacei con caratteristiche meccaniche nettamente migliori di quelle in loco. Una ricerca all'esterno ha consentito di individuare piccole cave di basalto e di tufi simili a quelli citati, ma di dimensioni molto ridotte e non congruenti con il "consumo" locale.

## 2. Problemi idrogeologici di Derinkuyu, settore Durmus evi

Interessante è il cunicolo del livello -3. Si tratta di un corridoio in forte pendenza che da quota -19 m raggiunge -44 m, la quota più bassa del settore. Il cunicolo risulta evidentemente essere stato abbandonato in fase di costruzione. Lungo il percorso vi sono due camere di manovra, prive però di portemacina, predisposte per una difesa incrociata del sot-

terraneo: la prima per bloccare l'accesso dal livello superiore a quello inferiore, la seconda con funzione esattamente opposta. Vi è poi una terza camera di manovra intermedia, abbandonata in fase di scavo.

Il cunicolo non raggiunge però alcun livello inferiore in quanto è stato bruscamente interrotto. Alla sua estremità presenta il disegno della sezione per la prosecuzione ancora abbozzato ed un accumulo di limo in un lato. Le osservazioni eseguite evidenziano che il limo si è depositato in seguito ad un allagamento della cavità e che è stato ammucciato per essere asportato, prima di abbandonare definitivamente lo scavo. L'allagamento è molto antico ed è probabilmente legato ad un innalzamento delle acque di falda poiché i depositi sono modestissimi, esclusivamente limosi e privi di detriti.

Questa situazione ci fa ritenere che la tendenza fosse quella di realizzare le città su più livelli, studiando in modo empirico le oscillazioni della falda: evidentemente in questo caso si è sottovalutato il rischio, realizzando una galleria che ha dovuto essere abbandonata. In alcuni casi gli allagamenti provenivano dall'esterno, ma questi erano fatti accidentali dovuti a difetti di progettazione degli imbocchi o ad ostacoli del tutto casuali al normale deflusso delle acque superficiali. Infatti alcune zone all'estremità dell'area rilevata presentano segni di allagamento recente, con depositi argilloso-limosi ricchi di detriti vegetali e vari.

## 3. Appunti geologici speditivi sulla grotta di Civelek

In mancanza di carte topografiche dettagliate ci è sembrato comunque utile rilevare una sezione geologica schematica attraverso la dorsale che ospita la grotta di Civelek. La grotta si apre nei calcari cristallini con giacitura monoclinale, direzione quasi N-S e immersione verso Ovest. Questo affioramento poggia su rocce eruttive a grana media di tipo granodioritico che si spingono sino al fondovalle.

In sponda sinistra del torrente, con un contatto che sembra stratigrafico, affiorano, sempre con direzione approssimativa N-S ed immersione verso Est con inclinazione di circa 30 gradi, sedimenti marnosi e calcareo marnosi rossastrati, sopra i quali giace una potente serie di conglomerati ed arenarie, sempre di colore rosso intenso (Fig. 2).

## 4. La zona di Yesilöz e il suo condensatore

Di particolare interesse è la zona di questo villaggio romano con cimitero, ormai completamente abbandonato, il cui nome dovrebbe significare "bel villaggio verde". E' situato all'estremità sud di una

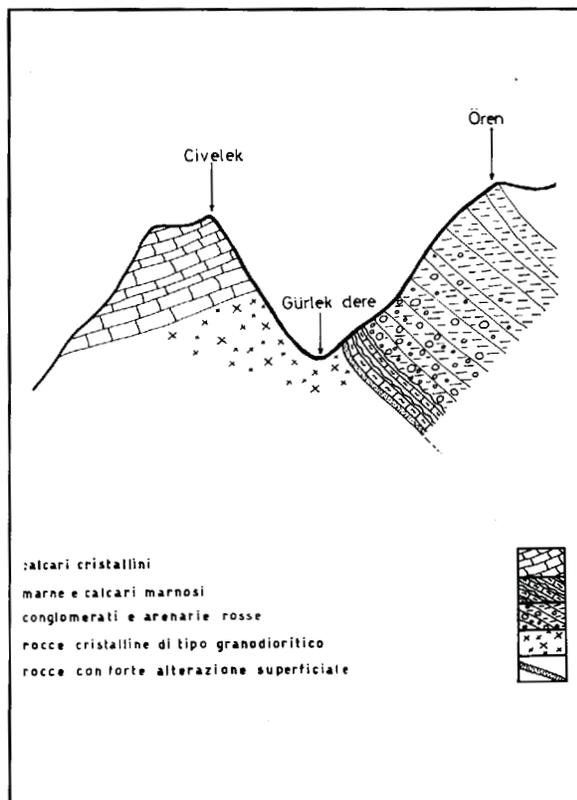


Fig. 2

Sezione geologica schematica della valle del torrente Gürlek, presso il villaggio di Yesilöz, distretto di Gülşehir.  
Schematic geological section of Gürlek Creek valley, near the Yesilöz village, Gülşehir district.

dorsale completamente devegetata e percorsa da violentissimi venti in ogni stagione: qui esiste invece una vegetazione lussureggiante con gelsi secolari, ed una rigogliosa agricoltura.

Sopra l'area del villaggio romano esiste un gigantesco accumulo di pietre, di circa 50 metri di altezza e duecento metri di diametro, a forma di tumulo, che tuttavia gli ispettori del museo di Nevsehir dichiarano in modo certo non essere un tumulo nel senso archeologico del termine, cioè una tomba.

Ai piedi di questo "tumulo" sgorgano alcune sorgenti, di cui una più ricca, con portata di poco superiore a 1,5 l/s, incanalata ed utilizzata a fini irrigui. Il tumulo sovrasta tutti gli altri rilievi e la sorgente è ad una quota tale da non poter essere alimentata dai rilievi circostanti.

Si fa strada in modo convincente l'ipotesi affascinante che si tratti di un "condensatore" di cui erano noti nell'antichità quelli di Teodosia citati in letteratura idrogeologica, talora con convinzione, talora con scetticismo (Imbeaux, Zibold, Trombe) ma che hanno portato ad effettuare esperimenti con il condensatore "Chaptal" a Montpellier che con solo 4 metri cubi di pietre arrivava a condensare oltre 2 litri di acqua al giorno.

Questo affascinante esempio di condensatore in Cappadocia, ancora funzionante, meriterebbe studi più approfonditi, ma induce comunque ad alcune riflessioni. La temperatura dell'aria durante il nostro sopralluogo era di 24,3 gradi all'ombra a mezzogiorno. Durante la giornata l'umidità dell'aria misurata con uno psicrometro a bulbo bagnato ha dato valori oscillanti tra il 33% ed il 58%. La temperatura delle cavità sotterranee della zona è dell'ordine di 7-8 gradi il che fa ritenere che la temperatura media delle rocce sia molto vicina a questi valori. La velocità del vento variava tra i 10 e i 40 km ora. Anche senza invocare fenomeni di tipo "Venturi" entro i pori dell'enorme ammasso di pietre che costituisce la sommità della collina che ha un volume approssimativo di 700.000 metri cubi, ma semplicemente considerando una circolazione per differenza di temperatura all'interno dei pori dell'ammasso, sono possibili ingenti fenomeni di condensazione durante la circolazione dell'aria nella roccia.

L'aria a 25 gradi contiene con il 55% di umidità relativa circa 13 grammi di vapor d'acqua per metro cubo, ma a 8 gradi può contenere al massimo poco più di 8 grammi quando è satura. Questo significa che deve necessariamente cedere, al passaggio nel condensatore, almeno 5 grammi di acqua per metro cubo di aria che attraversa l'accumulo di pietre. Si comprende facilmente che un accumulo di queste dimensioni possa fornire in un giorno non meno di

100 metri cubi di acqua, senza nessun apporto piovoso.

D'altra parte l'unico fatto "strano" è che il condensatore sia artificiale: il fenomeno naturale equivalente è ben noto a tutti gli speleologi poiché i massicci carsici sono degli immensi condensatori naturali. In zone ventilate o costiere sono stati rilevati aumenti del 20% nella portata delle sorgenti in presenza di venti umidi. Sono anche ben note le "sorgenti di vetta" dovute a condensazione in accumuli detritici o in rocce fessurate in prossimità dei crinali, una delle quali ad esempio ha dato origine alla città di Cirene.

A monte della zona del condensatore, occupata sino dalla più lontana antichità, come dimostrano le ossidiane lavorate che costellano il terreno, all'incirca alla stessa quota, esiste un piccolo insediamento sotterraneo che, pur ubicato sul crinale, presenta problemi di allagamento, probabilmente sempre a causa di fenomeni di condensazione.

Più a monte ancora, ma questa volta a quota più alta, esiste una ricca sorgente entro i calcari, con opere di captazione e canalizzazione antiche e molto interessanti. Anche qui la portata è assolutamente sproporzionata al bacino imbrifero, superando i 15 l/s. Non è improbabile, anche se meno certo per carenza di indagini, un notevole contributo da parte della condensazione anche in questa sorgente come in quella che alimenta, a circa un chilometro di distanza, il corso d'acqua che forma la valle tra Yesilöz koy e la dorsale su cui si apre la grotta di Civelek.

## 5. La città sotterranea di Kurugöl

Alle falde di un antico apparato vulcanico costituito da piroclastiti molto grossolane e relativamente poco cementate esiste una vasta città artificiale con architettura notevolmente diversa da tutte le altre esaminate. La fattura è molto più rozza. La topografia più complessa, su più piani, i numerosi imbocchi tra loro ravvicinati, le modestissime opere di difesa, rendono problematica l'interpretazione delle motivazioni per le quali questo esteso insediamento sotterraneo è stato costruito.

Ai piedi del versante sono ben visibili numerose tracce circolari delimitate da grandi pietre, con l'aspetto caratteristico in altre zone di insediamenti preistorici. Nascono due interrogativi: potrebbe trattarsi di una città più antica delle altre? O quanto meno, questa città primitiva non potrebbe fornirci un nuovo indizio su almeno una delle ragioni della sua costruzione? Se consideriamo infatti che la temperatura media di questi sotterranei si aggira sui 12 gradi, sensibilmente superiore a quella delle altre cavità anche perché qui la roccia è molto ben espo-

sta e molto più scura della norma, non potrebbero essere state le città sotterranee semplicemente un rifugio “termico” per sfuggire al tremendo inverno dell’altopiano anatolico?

Tra le tante ipotesi questa ci sembra da non sottovalutare e la meteorologia sotterranea dovrebbe essere un argomento da sviluppare in modo notevole nelle prossime campagne in Cappadocia.