

## INDAGINI MICROCLIMATICHE PRELIMINARI AI FINI CONSERVATIVI PRESSO IPOGEO SAN VITTORE IN COMUNE DI BREMBATE, BERGAMO

*Diego Marsetti, geologo*

Bergamo 20.11.2020

*Collaborazione:*

*Stefania Ambrosini, ingegnere.*

*Mirko Madaschi, ingegnere.*

Il presente lavoro, propedeutico a future ulteriori indagini, fornisce un quadro preliminare conoscitivo dell'ambiente microclimatico presso lo storico Ipogeo (grotta) sito in un edificio nell'ecclesiale romanico "Chiesa di San Vittore di Brembate" le cui origini risalgono al X secolo, ubicato sulla sponda destra idrografica del Fiume Brembo.



*Fig. 1. Rilievo mediante APR (Drone), Ortofotocarta. Ecogeo srl volo del 03.05.2019*

L'area che osserviamo oggi, dal punto di vista geomorfologico, è il risultato dell'azione fluviale, esplicitasi soprattutto a partire dalla fine delle grandi glaciazioni quaternarie, che hanno formato alvei fluviali e piane alluvionali, più o meno depresse rispetto al livello della pianura, con un risultato di "area drenata di morfogenesi attiva".



*Fig. 2. Inquadramento Chiesa San Vittore, Fiume Brembo. Foto Diego Marsetti, 31.03.2020*

Il Fiume Brembo dunque ha inciso i depositi quaternari della pianura, creando una scarpata morfologica che, in prossimità dell'area indagata, raggiunge una profondità di 20 metri. Come conseguenza il territorio circostante corrisponde ad un terrazzo sopraelevato rispetto all'alveo dei fiumi, corrispondente al *Livello Fondamentale della Pianura*. La porzione ipogea venne ricavata scavando una grotta naturale nella Unità del Bacino del Brembo (successione Neogenico-Quaternaria) denominata dai geologi "Ceppo del Brembo", in carta geologica identificato con la sigla "BRM".



*Fig. 3. Ceppo del Brembo, Foto Diego Marsetti, 14.09.2020*

Trattasi di conglomerati costituiti da ghiaie a supporto clastico, con matrice arenacea; ciottoli, ben arrotondati, poligenici, di provenienza brembana formati in un ambiente sedimentario di origine continentale fluviale con età di circa 2,5-1,8 milioni di anni fa ovvero nel pleistocene inferiore. Rispetto al ceppo dell'Adda, il ceppo del Brembo definisce un campo di esistenza caratterizzato da una maggiore abbondanza di Verrucano Lombardo e vulcaniti che assumono il ruolo di litologie diagnostiche.

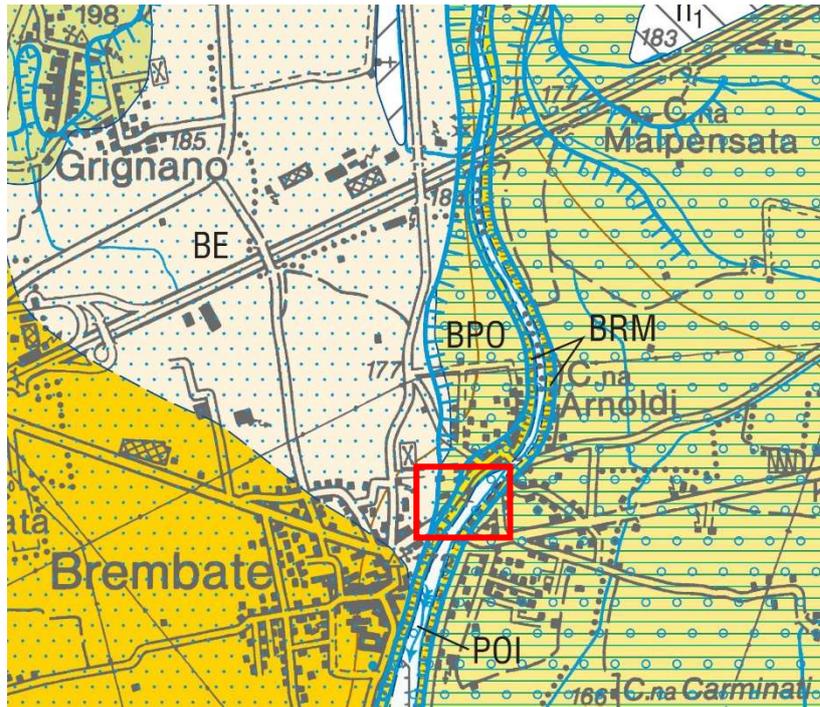


Fig. 4. Estratto da “da carta geologica d’Italia, Foglio 097, Vercelle, CARG, scala 1:50.000, 2012”

Ai fini della conservazione dei beni è fondamentale considerare che l’opera di interesse storico vive e si evolve in un ambiente con il quale inevitabilmente interagisce mediante scambi di energia e di materia. Le condizioni microclimatiche interne sono infatti il motivo del degrado a causa dell’interazione tra i materiali costitutivi i beni e il loro ambiente di conservazione; è fondamentale quindi tenere sotto controllo e limitare tali scambi. Con il termine microclima si definisce proprio il complesso dei parametri fisici ambientali (temperatura dell’aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell’aria) che caratterizzano l’ambiente in esame.



Fig. 5. Chiesa San Vittore. Elaborazione mediante sistema APR (Drone) e Laser-Scanner, Ecogeo srl, 03.05.2019

La conservazione negli ambienti ipogei costituisce un problema ancora aperto, infatti la loro musealizzazione, se da un lato permette la fruizione collettiva dell’opera, dall’altro può portare

a problemi seri per la conservazione del manufatto, dovuto all'interazione tra la struttura ipogea e l'ambiente circostante.

Negli ambienti ipogei in generale, dovendo privilegiare la "conservazione in situ", risulta particolarmente importante il controllo delle condizioni ambientali interne e la creazione delle condizioni più idonee ad una corretta conservazione dei beni in essi contenuti, evitando, limitando e/o compensando quelle cause di alterazione spesso dovute alla fruizione del bene. In tali casi risulta spesso necessario attuare un compromesso tra le scelte di carattere culturale, fruizionale e conservative, sulla base del rischio di degrado che si considera accettabile per tali ambienti.

A tal fine nel corso del 2019 sono state svolte da parte della società Ecogeo srl di Bergamo, quattro campagne di misura con l'obiettivo di monitorare il microclima presente all'interno della chiesa ipogea nel corso di tutte le stagionalità. Tali rilievi microclimatici hanno permesso di analizzare le variazioni delle componenti climatiche principali nel corso di un anno rilevando i principali fattori climatici di degrado, quali temperatura e umidità, individuando in tal modo il tipo di interazione in atto fra il materiale conservato e l'ambiente circostante. Risulta infatti necessario individuare le condizioni di benessere del bene stesso, ovvero gli intervalli di valori di temperatura e umidità relativa all'interno dei quali si può ritenere di garantire loro una corretta conservazione e poter utilmente progettare quindi interventi di restauro e manutenzione.

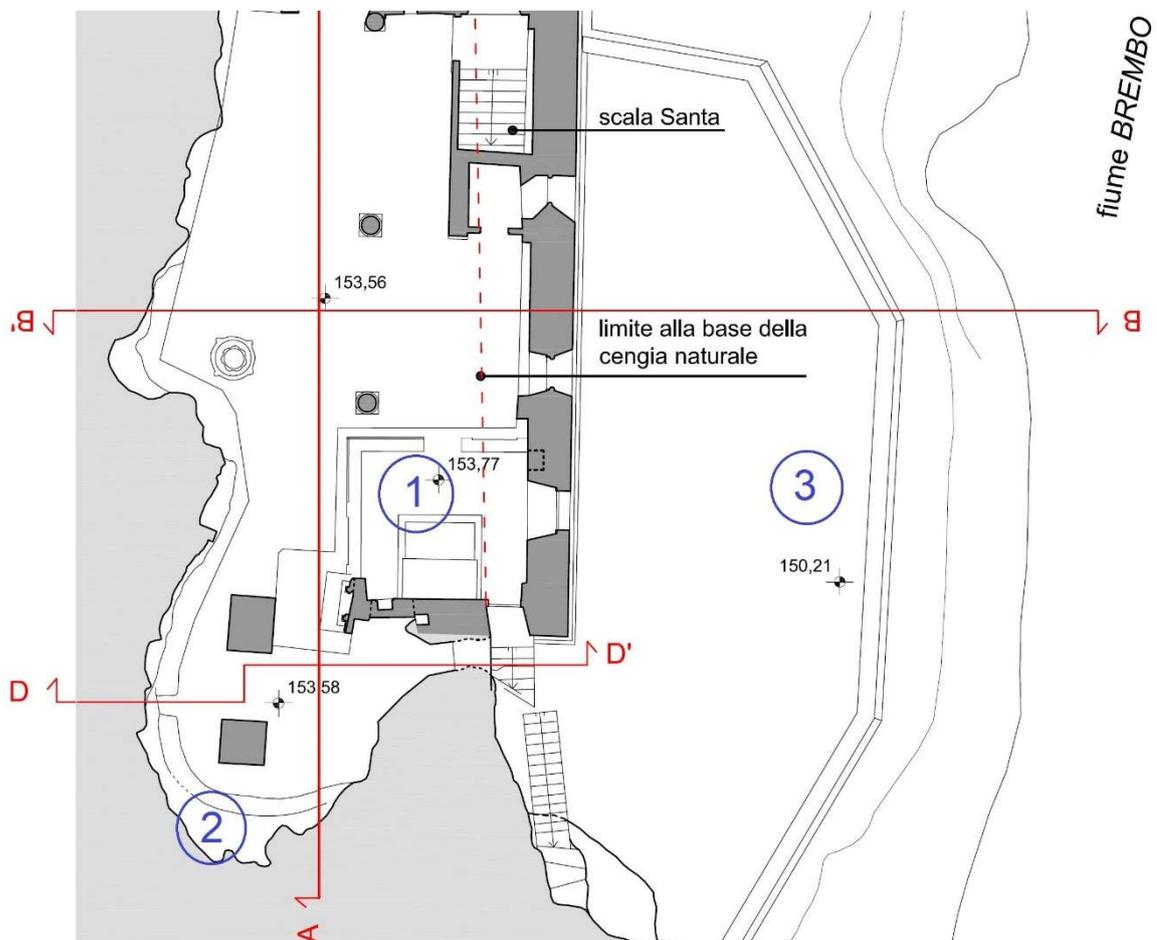


Fig. 6. Ubicazione punti di misura. Base topografica a cura di Riccardo Benedetti, maggio 2019.

Il monitoraggio del microclima risulta necessario per descrivere lo stato di conservazione dello stesso analizzando in tal modo le variazioni delle componenti climatiche principali (temperatura, umidità relativa, umidità specifica, velocità dell'aria, precipitazioni).

Il microclima, infatti, è il complesso dei parametri fisici ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria, umidità relativa) che caratterizzano l'ambiente in esame e che assieme ai parametri individuali (quali l'attività metabolica e l'isolamento termico del vestiario) determinano gli scambi termici fra l'ambiente e le persone.

Nello specifico la campagna di monitoraggio della porzione ipogea del complesso della Chiesa di San Vittore è stata condotta effettuando le seguenti misurazioni:

- Monitoraggio microclima interno, mediante n° 2 punti di misura
- Monitoraggio microclima esterno, mediante n° 1 punto di misura

I fattori ambientali presi in considerazione sono i seguenti:

$t_a$ :	temperatura dell'aria:	[°C]	termometro schermato
$t_r$ :	temperatura media radiante:	[°C]	globotermometro
Rh:	umidità relativa:	[%]	psicometro
$V_{ar}$ :	velocità dell'aria:	[m/sec]	anemometro

Per rilevare i parametri microclimatici sono state utilizzate quattro sonde, in conformità alla norma tecnica UNI EN ISO 7726, e più precisamente: termoigrometro (per la misura dell'umidità relativa e della temperatura ambiente), globotermometro (per la misura della temperatura media radiante), termoanemometro a filo caldo (per la misura della velocità dell'aria) e termometrica (per la misura della temperatura umida a ventilazione naturale). Le sonde sono state montate su un supporto e collegate alla centralina di acquisizione dei dati. Il tutto è stato montato sopra ad un treppiede ad un'altezza di circa 1,5 metri dal pavimento.

Per misurare le grandezze fisiche previste dalle norme tecniche è stata utilizzata la seguente strumentazione, conforme alla norma tecnica UNI EN ISO 7726:

Tipo	Marca e Modello	N° matricola	Certificato taratura	Data calibrazione
Acquisitore dati	LSI-Lastem M-Log (ELO009)	14012475	4677-T-2003	25/03/2020
Sensore globotermometrico	LSI-Lastem EST131	BE1310113	4677-T-2003	25/03/2020
Sensore termometrico	LSI-Lastem ESU 121	BF1401132	4677-T-2003	25/03/2020
Sensore termoigrometro	LSI-Lastem ESU 403.1	BS1310045	4675-T-2003	25/03/2020
Sensore termoanemometrico	LSI-Lastem ESV107	BM1401213	190206840	21/02/2019

Tabella 1: Caratteristiche della strumentazione utilizzata durante le misure (Ecogeo srl, Bergamo)

La campagna di monitoraggio della porzione ipogea del complesso della Chiesa di San Vittore è stata svolta effettuando due misurazioni nella parte interna e più precisamente una in corrispondenza dell'altare e una nella porzione in fondo dell'ipogeo. È stata inoltre effettuata una misurazione sulla parte esterna in modo da rilevare la variabilità del microclima interno in funzione delle condizioni climatiche esterne fornendo così dei valori climatici dell'ambiente esterno più veritieri e rappresentativi rispetto a quelli determinati dalla consultazione del meteo. Tutti i rilievi hanno avuto una durata sufficiente ad avere valori stabili anche in relazione al tempo di stabilizzazione delle sonde; in particolare la durata di ogni rilievo è stata posta intorno ai 20-30 minuti.



Fig. 7. Stazione microclimatica. Misure all'interno ed all'esterno dell'Ipogeo

Nella tabella seguente si riportano i valori medi microclimatici rilevati all'interno della chiesa ipogea durante le quattro campagne di misura

	Data rilievo	Temp esterna [°C]	Temp interna [°C]	Temp radiante [°C]	Umidità relativa [%]	Velocità dell'aria [m/s]
<b>Altare Ipogeo</b>	10/09/2019	29,63	20,16	20,26	62,27	0,02
	11/02/2020	22,94	7,77	7,91	80,88	0,02
	15/06/2020	26,24	20,38	20,75	79,31	0,16
	11/09/2020	26,87	22,51	23,99	78,04	0,01
<b>Fondo Ipogeo</b>	10/09/2019	29,63	19,17	19,23	77,52	0,01
	11/02/2020	22,94	7,75	7,82	82,90	0,02
	15/06/2020	26,24	18,86	18,23	87,65	0,10
	11/09/2020	26,87	22,00	20,53	86,54	0,06

Tabella 2: Valori medi microclimatici rilevati all'interno della chiesa ipogea durante le quattro campagne di misura (Ecogeo srl, Bergamo)



Fig. 8. Vista interno Ipogeo

Come si evince dai risultati sopra esposti il valore di umidità relativa risulta essere molto elevato. Valori così alti di umidità creano variazioni di dimensione e di forma degli oggetti causando processi chimici e biologici. I materiali organici, quali legno, infatti si gonfiano quando l'umidità relativa cresce e si restringono quando diminuisce, con conseguenti variazioni di peso, deformazioni, crepe e fessurazioni. Il campo di valori ritenuti ammissibili per una idonea conservazione è in generale abbastanza ristretto e varia a seconda del materiale, mediamente comunque è opportuno che non scenda sotto il 20-25% e non salga sopra i 50-60%.

Di seguito si riporta, a titolo di esempio, un grafico, della campagna analitica del settembre 2020 nel punto di misura P2, riportante l'andamento della percentuale di insoddisfatti (indice *PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied*) in funzione del valore medio previsto dei voti (indice *PMV – Predicted Mean Vote*)

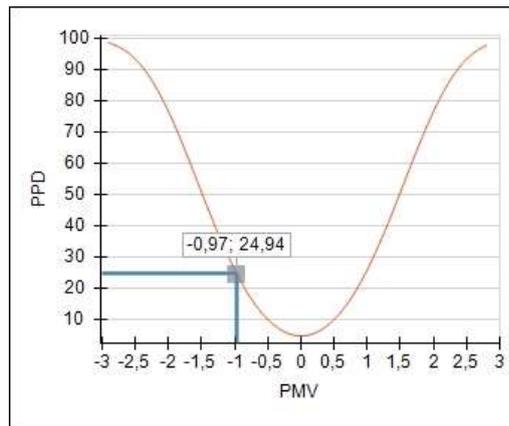


Fig. 9. Esito della valutazione del benessere termico, confronto PPD e PMV. Misura del 11.09.2020 posizione punto 2)

In particolare l'indice PMV prevede il valore medio dei voti di un significativo gruppo di persone su una scala di sensazione termica a 7 punti, mentre l'indice PPD ha lo scopo di restituire la variabilità del giudizio di individui sottoposti al medesimo ambiente termico.

Dal grafico si evince che nel punto di misura analizzato si ottiene un valore medio di PMV pari a -0,97 e un valore medio di PPD pari a 24,94 % riscontrando quindi una **situazione di disconfort microclimatico**. La condizione ottimale invece rientrerebbe nel seguente range:  $PMV = -0,5 \div +0,5$  e  $PPD \leq 10 \%$

L'umidità relativa risulta infatti essere il fattore più importante ai fini del degrado, nonché la sua interazione con la temperatura e la variabilità nel corso del tempo di tali parametri. I valori di umidità rilevati nelle campagne di monitoraggio mostrano quindi dei valori nettamente superiori a quelli ritenuti ottimali per la conservazione dei luoghi risultando quindi essere una delle principali cause di degrado dell'ipogeo.

Per quanto riguarda la temperatura invece si rileva una elevata oscillazione tra l'inverno e i restanti periodi dell'anno.

Infine, un altro parametro fondamentale per evitare il degrado dovuto agli agenti biologici, è legato al ricambio e alla purezza dell'aria evitando però flussi e correnti. Infatti affreschi o oggetti realizzati con materiali facilmente asportabili è importante che non siano collocati nelle immediate vicinanze di bocchette, diffusori, sorgenti d'acqua o altro, per evitare il loro degrado. All'interno dell'ipogeo, analizzando i valori di velocità dell'aria rilevati durante i quattro monitoraggi, si evince che non vi sono flussi o correnti ma sicuramente all'interno non si ha una ottimale qualità dell'aria a causa di mancanza di ricircolo in particolare nella porzione in fondo dell'ipogeo. In fase di restauro dell'ipogeo sarà quindi opportuno fare attenzione ai parametri di umidità, temperatura e ricambio d'aria in modo da garantirne la conservazione.

Quanto descritto è il risultato di una singola tematica che si può applicare ai fini di uno “studio conservativo dell’Ipogeo”. Tale lavoro risulta essere l’inizio a supporto della conservazione dell’Ipogeo e sicuramente dovranno essere applicate future discipline diagnostiche quali ad esempio:

- Monitoraggio fotografico delle tipologie di degrado
- Analisi delle immagini UV (raggi ultravioletti)
- Analisi spettrografiche
- Indagini geologiche e geognostiche
- Analisi degli spezzoni di carota dei materiali conglomeratici e terrigeni
- Analisi delle acque ai fini delle indagini idrogeochimiche
- Indagini dei parametri ambientali
- Rilevazioni del biodeterioramento
- Monitoraggio dei pollini e dei palinomorfi pollinici
- Monitoraggio dei cambiamenti di biomineralizzazione e SEM/TEM
- Spettroscopia di fluorescenza a raggi X
- Tomografia a resistività elettrica (ERT)
- Diffrattometria
- Indagini termiche
- Indagini presenza Radon
- Tecniche di restauro