

# **Le grotte turistiche:**

*monitoraggi e sicurezza dei percorsi.*

## **Modello di buone pratiche**

*Alessio Fabbricatore*



*Alessio Fabbricatore* independent researcher

[alex.stor@libero.it](mailto:alex.stor@libero.it)

[www.alessiofabbricatore.com](http://www.alessiofabbricatore.com)

Stampato in proprio. Gorizia marzo 2020



# **Le grotte turistiche: monitoraggi e sicurezza dei percorsi Modello di buone pratiche**

arch. Alessio Fabbricatore

**R**iguardo le Linee guida relative alle Grotte turistiche si sono espressi gli organismi ufficiali competenti (*International Show Caves Association - I.S.C.A., International Union for the Conservation of Nature I.U.C.N. and the International Union of Speleology - U.I.S.*), ed alcuni Stati hanno promulgato leggi per la salvaguardia degli ambienti ipogei e per la protezione degli operatori.

Quelle che seguono non sono l'ennesima ripetizione di norme e leggi ma rappresentano una proposta di Buone pratiche che non sono impositive e che scaturiscono da una lunga esperienza professionale nel campo della progettazione, della sicurezza, della gestione delle grotte turistiche, della ricerca speleologica, del turismo e della museologia.

Le Buone pratiche non forniscono regole ma spunti di riflessione per gestori, proprietari e Pubbliche amministrazioni. Le Buone pratiche non sono esaustive e non lo saranno mai.

E' superfluo discuterle in quanto non impongono nulla, a differenza delle Linee guida (per la cui emanazione sono stati necessari una decina di anni di estenuanti discussioni) o delle Leggi.

E' invece importante approfondirle, metabolizzarle in quanto vogliono essere uno spunto deontologico, una riflessione dove accanto, e con pari importanza, alla salvaguardia dell'ambiente (eco sostenibilità) viene posta la persona, sia questa il lavoratore (accompagnatore) o l'ospite/visitatore/turista senza dimenticare, come di sovente avviene, che tutti hanno il diritto di conoscere anche il mondo ipogeo.

Spunti quindi di riflessione sia per l'ambiente, sia per l'acquisizione di una coscienza sensibile, rivolta alle Diverse disabilità: inclusione e accessibilità. **Il mondo ipogeo per tutti.**

## **Interventi di salvaguardia dell'ambiente**

**L**e grotte turistiche rappresentano un eco-sistema estremamente delicato il cui uso antropico porta inevitabilmente dei cambiamenti. E' indispensabile ridurre al minimo l'impatto ambientale prevedendo, in caso di dismissione dell'attività turistica della grotta, di ripristinarla, il più possibile, alla sua condizione naturale. Sia prima che dopo qualsiasi intervento manutentivo è indispensabile provvedere alla raccolta di tutto il materiale inutilizzato e al trasporto alla pubblica discarica, prestando particolare attenzione al materiale inquinante, non inerte, e alle sostanze pericolose quali amianto, acidi ed altro descritte nella specifica normativa relativa allo smaltimento delle "Sostanze pericolose" che possono creare gravi rischi per la salute. Per lo smaltimento di queste ultime deve essere redatto, da tecnico abilitato, apposito piano di smaltimento. Lo smaltimento a sua volta può essere effettuato esclusivamente da ditte iscritte negli appositi registri (abilitate allo smaltimento dei rifiuti tossici) Dlgs. 9 aprile 2008, n. 81 Titolo IX Sostanze pericolose.

Possibilmente già prima di rendere turistica una grotta, sicuramente durante il suo utilizzo antropico, la cavità deve essere oggetto di un monitoraggio con frequenza adeguata al fine della salvaguardia dell'ambiente.

Lo statuto/regolamento della grotta turistica dovrebbe sempre prevedere un *Comitato scientifico* con l'incarico di elaborare un protocollo e monitorare i parametri ambientali della grotta. Il *Comitato scientifico* deve essere costituito da studiosi che hanno esperienza con gli ambienti ipogei. Molti studiosi, altrimenti competenti, potrebbero non essere pienamente consapevoli riguardo le problematiche degli ambienti ipogei. Se viene comunicato al gestore della grotta un parere sbagliato, questo potrebbe mettere in pericolo l'ambiente ipogeo. La ricerca speleologica, quale *Naturwissenschaft*, è un settore altamente specializzato.

Le competenze dei membri del Comitato scientifico vanno valutate in funzione delle caratteristiche dell'ipogeo (geologia, idrologia, paleontologia, archeologia, biospeologia, meteorologia ipogea, ecc.).

## **Monitoraggi**

*Monitoraggio, ossia l'insieme delle misure effettuate, periodicamente o in maniera continua, attraverso rilevazioni nel tempo, di determinati parametri biologici, chimici e fisici che caratterizzano gli impatti ambientali significativi generati nelle fasi di realizzazione e di esercizio.*

Il monitoraggio si prefigge di *tenere sotto osservazione*, mediante appositi strumenti, la situazione e l'andamento del sistema ipogeo, in particolare, il controllo sistematico dell'impatto antropico.

Il monitoraggio di un complesso ipogeo prevede un processo programmato di campionatura, misurazione e successiva registrazione o segnalazione delle caratteristiche di vari elementi (es. acqua, aria, ...) con lo scopo di valutare la conformità di obiettivi specifici.

Il monitoraggio si effettua sia a lungo che a breve termine.

Nel primo caso si attuano misurazioni e osservazioni standardizzate onde valutare lo stato e/o le tendenze del sistema.

Nel secondo caso si effettua un sondaggio programmato con un obiettivo specifico per la misurazione e l'osservazione dello stato di qualità di un sistema.

Al monitoraggio si accorpa un programma di sorveglianza, cioè un programma specifico e continuo per l'osservazione e misurazione quale base per la qualità delle attività di gestione ed operative. (dall'UNESCO / OMS / UNEP, 1996).

Per una corretta interpretazione dei dati relativi al monitoraggio delle grotte turistiche, risulta importante la comparazione con i dati climatologici misurati all'esterno grotta.

### *Meteorologia, clima e ambiente*

Le variazioni climatiche esterne influenzano i parametri ambientali ipogei.

I principali parametri climatici, da monitorare all'esterno e da trasmettere, tramite *data logger*, alla stazione raccolta dati sono di seguito riportati.

### **Osservatorio climatologico esterno grotta:**

*Input atmosferico, monitoraggio di:*

1. temperatura dell'aria;
2. umidità dell'aria;
3. precipitazioni piovose e nevose;
4. radiazione solare;
5. evaporazione;
6. velocità e direzione dell'aria;
7. pressione atmosferica.

Secondo le procedure standard recepite (WMO Organizzazione Mondiale Meteorologica).

Misurazione della distribuzione areale della pioggia utilizzando un sistema RADAR meteorologico. *Il RADAR meteorologico (acronimo di RAdio Detection And RAnging) è uno strumento che misura la quantità di idrometeore (pioggia, neve, ghiaccio) presenti nell'atmosfera, il suo principale vantaggio è la possibilità di acquisire dati in tre dimensioni relativi ad aree estese, ad esempio possiamo monitorare un volume fino a duecento chilometri di distanza e dieci chilometri di altezza dal suolo in pochi minuti.*

*Input ambientale, monitoraggio di:*

1. rumore;
2. valutazione inquinamento luminoso notturno;
3. qualità dell'aria.

### **Monitoraggi delle grotte turistiche:**

1. temperatura dell'aria;
2. temperatura dell'acqua;
3. biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>);
4. umidità dell'aria;
5. radon (Rn) ;
6. pressione atmosferica;
7. velocità dell'aria;
8. direzione aria;
9. rumore;
10. nitrato NO<sub>3</sub>
11. biospeologia.
- 11.a. animali cavernicoli
- 11b. speleobotanica
- 11b1. *Lampenflora*

I monitoraggi dei primi dieci punti avvengono tramite sonde posizionate *in loco* che possono essere collegate, tramite fibra ottica, con una stazione esterna in cui, con frequenza stabilita, vengono scaricati tutti i dati parametrici. In mancanza di un collegamento con una stazione fissa si possono raccogliere i dati manualmente scaricandoli su un computer portatile, sempre con frequenza stabilita (in questo ultimo caso la frequenza sarà sicuramente minore di quella automatica).

### *Di seguito l'analisi di alcuni tipi di sonde*

#### **1. Temperatura dell'aria**

##### **Sonda tipo TINYTAG**

**Gemini Data Loggers** UK manufacturer of the Tinytag data loggers range to monitor temperature  
<http://www.geminidataloggers.com>

##### **Sonda tipo HOBO**

**Onset's** industry leading HOBO data loggers measure & record a wide range of energy & environmental parameters.

[www.onsetcomp.com/products](http://www.onsetcomp.com/products)

Solo temperatura e umidità da 130,00 a 250,00 Euro

HOBO RX3000 Remote Monitoring Station Data Logger - RX3000

#### **2. Temperatura dell'acqua**

##### **Sonda tipo CTD-Diver**

Oltre a misurare pressione e temperatura, questo Diver misura anche la conducibilità dell'acqua.

L'involucro di ceramica 22 mm è adatto per acqua salmastra o salata così come in ambienti aggressivi.

Il CTD-Diver è in grado di memorizzare un massimo di 48.000 misurazioni.

L'alloggio è resistente alla corrosione

Conducibilità: intervallo da 0 a 120 ms/cm

Soluzione a lungo termine per il monitoraggio degli ambienti salini.

##### **Van Essen Instruments**

<http://www.vanessen.com>

##### **Modulo per chiedere prezzo di questa o altre sonde**

<http://diver-water-level-logger.com/en/contact/>

### **3. Biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>)**

#### **Sonda tipo PORTABLES CO<sub>2</sub>-MESSGERÄT FÜR STICHPROBENMESSUNGEN IN LABOREN UND IM HLK-BEREICH**

Lo strumento di misura CO<sub>2</sub> Vaisala CARBOCAP™ microprocessore GM70 è stato progettato per la misurazione accurata del contenuto di anidride carbonica dell'aria circostante. Applicazioni tipiche laboratori, serre e fungaie.

(Può fare 1 mese di misure - ogni ora – in grotta).

**Industrie Automation Graz Ing Häusler gmbh**

<http://www.iag.co.at>

Vaisala – finlandese

[www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)

### **Sonde multiparametriche per CO<sub>2</sub>; temperatura; umidità**

#### **Sonda tipo Automatikprodukter WCHT 24**

[www.automatikprodukter.se](http://www.automatikprodukter.se)

[ewert@automatikprodukter.se](mailto:ewert@automatikprodukter.se)

### **4. Umidità dell'aria**

#### **Sonda tipo Vaisala**

HMW112 trasmettitore di UR% e temperatura, versione per installazione a parete, prot. IP65 uscite 4 – 20 mA.

### **5. Radon**

Il radon (Rn) è un gas inerte e radioattivo di origine naturale. È un prodotto del decadimento nucleare del radio all'interno della catena di decadimento dell'uranio. Il suo isotopo più stabile è il radon-222 che decade nel giro di pochi giorni, emettendo radiazioni ionizzanti di tipo alfa e formando i suoi cosiddetti prodotti di decadimento o *figli*, tra cui il polonio-218 e il polonio-214 che emettono anch'essi radiazioni alfa. Il radon è inodore, incolore e insapore, quindi non è percepibile dai nostri sensi. Se inalato, è considerato molto pericoloso per la salute umana poiché le particelle alfa possono danneggiare il DNA delle cellule e causare cancro al polmone.

La radioattività del radon si misura in *Becquerel* (Bq), dove un Becquerel corrisponde alla trasformazione di un nucleo atomico al secondo. La concentrazione nell'aria si esprime in Bq/metro cubo, indicando così il numero di trasformazioni al secondo che avvengono in un metro cubo d'aria. Il radon è presente in tutta la crosta terrestre. Si trova nel terreno e nelle rocce ovunque, in quantità variabile.

Essendo un gas, il radon può spostarsi e sfuggire dalle porosità del terreno disperdendosi nell'aria o nell'acqua. Grazie alla forte dispersione di questo gas in atmosfera, all'aperto la concentrazione di radon non raggiunge mai livelli elevati ma, nei luoghi chiusi può arrivare a valori che comportano un rischio rilevante per la salute dell'uomo, specie per i fumatori. Il radon si distribuisce uniformemente nell'aria mentre i suoi prodotti di decadimento si attaccano al particolato (polveri, aerosol) dell'aria che noi respiriamo e poi si depositano sulle superfici dei muri, dei mobili ecc.

La maggior parte del radon che inaliamo viene espirata prima che decada (ma una piccola quantità si trasferisce nei polmoni, nel sangue e, quindi, negli altri organi), mentre i prodotti di decadimento si attaccano alle pareti dell'apparato respiratorio e qui irraggiano (tramite le radiazioni alfa) soprattutto le cellule dei bronchi.

Di seguito le informazioni sui dosimetri del radon che vengono usati, con piena soddisfazione, da anni dal NHM di Wien.

#### **Sonda tipo:**

[http://www.gt-analytic.at/downloads\\_en/Kod\\_tech\\_det.pdf](http://www.gt-analytic.at/downloads_en/Kod_tech_det.pdf)

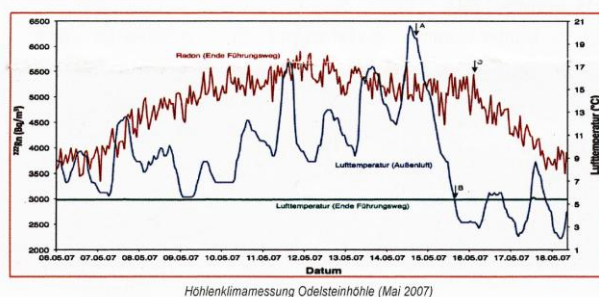
[http://www.gt-analytic.at/downloads\\_en/pricelist\\_14.pdf](http://www.gt-analytic.at/downloads_en/pricelist_14.pdf)

Si acquista sempre in una confezione da tre dosimetri, è comunque ragionevole fare più misurazioni in diversi punti della grotta contemporaneamente. Funziona bene e facile. Si ritiene



che un'esposizione settimanale possa essere sufficiente. Sul manuale ci sono in ogni caso varie note illustrative.

L'indirizzo di contatto di Jochen Gschnaller di GT-analitica (un austriaco che ora vive in Francia) è: office@gt-analytic.at



Dall'osservazione del diagramma allegato è interessante notare che la concentrazione di Bq/metro cubo aumenta con l'aumentare della temperatura: non è un caso unico ma rappresenta una caratteristica normale.

Sul *Carso classico* si è constatato un aumento della concentrazione di Bq/metro cubo anche con l'aumentare della velocità del vento in esterno grotta.

## 6. Pressione atmosferica

### Sonda tipo Vaisala

PTB110 trasmettitore di pressione barometrica, mod PTB110-x-x-0ab, uscita 0-5Vdc

## 7. 8. Velocità e direzione dell'aria

### Sonda tipo Gill (U.K.)

Anemometro triassiale (3-axis ultrasonic anemometer). Tipo idoneo a rilevare velocità e direzione del vento sul piano orizzontale e componente verticale della velocità. Tipo configurabile dall'operatore, via software, compreso nella fornitura. Aggiornamento dati in uscita = 1-2-4-8-16-20 serie al secondo.

L'anemometro sonico WindMaster 3D controlla la velocità del vento 0-50 m/s (0-100 m ph), fornendo uscite digitali per U, V, W e vettori. WindMaster è realizzata in alluminio e fibra di carbonio ed è disponibile con un 20 Hz o velocità di uscita dati 32 Hz. Ingressi analogici opzionali e uscite sono disponibili con 12 o 14 bit di risoluzione.

## 9. Rumore

### Sonde tipo AESSE Ambiente

**CUBE** strumento di misura di precisione del rumore in classe 1 che permette connessioni di rete via Ethernet e/o Wi Fi (e/o 3G). Permette analisi in frequenza, registrazioni audio a soglia di livello, allarmi, ecc.

**Sensibel** è in classe 2 ed ha un ampio display, ma permette anche di trasferire i dati in remoto via cavo Ethernet ad un PC che può registrare lo storico del rumore.

## 10. Nitrati

I nitrati ( $\text{NO}_3$ ) sono sostanze composte da azoto (N) ed ossigeno (O) normalmente presenti in natura. I nitrati derivano dall'acido nitrico e sono essenziali per la crescita dei vegetali che, grazie alla luce solare, utilizzano l'azoto per sintetizzare le loro strutture proteiche. L'uomo ha imparato ad arricchire il terreno di queste sostanze tramite l'uso di fertilizzanti naturali e chimici garantendo in questo modo una crescita ottimale delle colture.

Lo ione  $\text{NO}_3^-$  ed alcuni suoi sali ricoprono un'importanza fondamentale sia per la natura sia per l'uomo; esso è infatti indispensabile per il metabolismo vegetale.

## **Fotometro portatile Hanna**

Il fotometro portatile HI96728 consente di misurare i nitrati (come azoto). I fotometri portatili Hanna sono dotati di un sistema ottico avanzato; la combinazione di una speciale lampada al tungsteno, un filtro di interferenza a banda stretta e un foto rilevatore al silicio garantiscono ogni volta misure fotometriche precise.

## **11. Biospeologia**

*I fattori fisico-climatici che influenzano la vita nelle grotte sono la temperatura, l'umidità e l'assenza di luce. Per quanto riguarda la luce naturale la sua intensità diminuisce man mano che ci si inoltra nella cavità, fino alla totale assenza. Le piante verdi possono svilupparsi solamente in presenza di luce.*

La biospeologia, cioè lo studio degli organismi viventi nelle grotte, studia tanto gli animali che vivono nelle grotte quanto la vegetazione che si sviluppa in prossimità e nelle grotte.

Per quanto riguarda gli animali cavernicoli i primi studi di valenza scientifica risalgono al 1831 con la determinazione del *Leptodirus hochenwartii* da parte dell'ungherese Ferdinand Schmidt (Grotte di Postumia), ripreso dal viennese Ignazio Rudolf Schiner nel lavoro pubblicato nel 1854 *Höhlenkunde des Karstes* curato da Adolf Schmidl. Nel 1907 il rumeno Emile Racovita edita la celebre memoria: *Essai sur les problèmes biospéologique*.

Per lo studio della vegetazione delle grotte Friedrich Morton e Helmut Gams pubblicarono la monografia *Höhlenpflanzen*, Wien 1925. Nella monografia *Höhlenpflanzen* (Le piante delle grotte), con Prefazione di G. Kyrle, vengono analizzati i tre aspetti che determinano la crescita delle piante (organismi) nelle grotte:

1. la luce;
2. la temperatura e l'umidità;
3. il terreno.

### **11.a Gli animali cavernicoli**

I *cavernicoli* fanno parte di quella grande categoria di esseri viventi conosciuti come ipogei. Gli animali cavernicoli formano un insieme eterogeneo. Nelle grotte troviamo sia animali esclusivi di questo ambiente sia animali che vi si rifugiano o vi capitano per caso, sia infine organismi che prediligono questo ambiente ma che si possono trovare anche altrove.

Rispettivamente, secondo la classificazione che Emil Racoviță aveva ripreso da J.R. Schiner, vengono definiti troglobi, troglosseni e troglifili. Con il nome di troglobi (che vivono nelle caverne), si designano gli organismi esclusivi dell'ambiente cavernicolo ed ad esso ben adattati con modificazioni particolari della loro morfologia e fisiologia. Sono in particolare i troglobi ad essere oggetto di attento e particolare monitoraggio per verificare l'incidenza antropica sulla grotta turistica.

*La speleofauna risente molto dell'inquinamento e del turismo.*

### **Fauna delle grotte**

La scienza che studia gli organismi viventi delle cavità sotterranee è la biospeleologia. Essa suddivide gli organismi animali che si possono incontrare nelle grotte in tre categorie fondamentali.

**1. Troglosseni:** dal greco antico "estranei alle grotte". Sono animali che di norma vivono all'esterno, ma che si possono trovare in grotta in quanto caduti dentro per sbaglio o, caso più interessante, in quanto possono spontaneamente entrarvi in cerca di riparo. Ricordiamo in proposito mammiferi quali il ghio o la faina che a volte si rifugiano all'imbocco delle cavità per sfuggire al freddo dell'inverno o al caldo dell'estate, anfibi quali la salamandra che a volte si riproduce in acque interne alle grotte, anche se non lontano dagli ingressi, o ancora uccelli come l'alocco che spesso nidificano all'entrata delle caverne.

**2. Troglifili:** dal greco antico "amanti delle grotte". Sono animali la cui vita si divide tra l'ambiente esterno e l'interno delle cavità. Un noto esempio sono alcune specie di chiroterri che, pur essendo legati al mondo esterno per la ricerca di cibo (tutte le specie italiane sono insettivore) passano necessariamente alcune fasi della vita nelle grotte, che utilizzano come sito riproduttivo e come rifugio in cui trascorrere il letargo invernale ed il riposo diurno.

**3. Troglobi:** dal greco antico “*che vivono in grotta*”. Sono i veri abitanti delle cavità sotterranee, discendenti di specie che vivevano all'esterno ma che in decine di migliaia di anni, generazione dopo generazione, si sono trasformate adattandosi completamente alla vita nel sottosuolo. Tali animali non sopravvivono a lungo se portati in superficie. Il loro organismo si è specializzato per sopportare al meglio le condizioni di vita del mondo sotterraneo, caratterizzato dalla totale assenza di luce e da valori di temperatura e umidità pressoché costanti nell'intero arco dell'anno, senza le variazioni giornaliere e stagionali tipiche del mondo esterno. In Europa tutte le specie troglobie, ad eccezione del *proteo*, appartengono al gruppo degli invertebrati. Questi affascinanti animali sono spesso ciechi, e a volte gli occhi sono scomparsi del tutto; gli arti, quando presenti, sono di solito allungati per tastare l'ambiente circostante e sono ricchi di setole sensoriali per recepire le più piccole vibrazioni; anche l'olfatto è spesso assai sviluppato; data l'assenza di luce mancano i pigmenti, le cui funzioni sono solitamente la protezione dai raggi solari e la comunicazione visiva con gli altri individui; mancano i ritmi stagionali e giornalieri, perché i parametri fisici ambientali non cambiano mai; non esistono gli erbivori, perché il buio impedisce la crescita di vegetali; l'alimentazione è dunque saprofaga, ovvero basata sui detriti organici che entrano dall'esterno, o carnivora.

Un particolare sottogruppo di troglobi è quello degli stigobi, gli abitanti delle acque sotterranee. A questa categoria appartiene l'unico vertebrato troglobio europeo: il *proteo* (*Proteus anguinus*). Esso è un anfibio affine alle salamandre, di colore bianco-rosa, che passa l'intera vita nelle acque dei fiumi carsici sotterranei cibandosi di invertebrati. Vive unicamente nell'area carsica costiera compresa tra la provincia di Gorizia (Italia) ed il Montenegro settentrionale.

*Caratteristiche tipiche delle popolazioni troglobie sono lo scarso numero di esemplari e le ridotte dimensioni degli individui. Tali peculiarità costituiscono un adattamento alla scarsa disponibilità di cibo, che non sarebbe sufficiente a mantenere popolazioni numerose o individui di grossa taglia. Un'altra interessante caratteristica delle specie troglobie, che le rende assai vulnerabili, è il fatto che la loro esistenza è spesso limitata ad aree estremamente ristrette. Non sono rari i casi in cui la distribuzione di una specie sia confinata ad una sola grotta, o comunque a singoli sistemi di cavità. Tale fenomeno è dovuto al fatto che le cavità sono frequentemente ambienti isolati e le popolazioni, impossibilitate ad uscire, si evolvono differenziandosi nel tempo dalle popolazioni originarie, dando vita a nuove specie.*

### **Chiroterri**

L'unico gruppo di mammiferi che comprende specie cavernicole è quello dei chiroterri, meglio conosciuti come pipistrelli. Sono questi gli unici mammiferi che possono essere considerati dei veri volatori.

Il loro habitat naturale è rappresentato da luoghi freschi ed umidi quali grotte, tronchi cavi, fessure dei muri, cantine, ecc. Considerando che oggi è quasi impossibile, date le attuali tecniche costruttive, per i Chiroterri utilizzare cantine, soffitte, sotto tetti, fessure di muri, associata alla quasi totale assenza di tronchi cavi (normalmente abbattuti per la loro pericolosità), le grotte rivestono una funzione fondamentale per la loro sopravvivenza.

Per quanto concerne le grotte turistiche è fondamentale garantire l'accesso alle stesse ai pipistrelli, lasciando degli spazi che permettano loro il passaggio, nel caso vengano chiuse con cancellate, reti o murature gli ingressi e/o i passaggi naturali delle grotte.

### **Il ruolo degli ambienti sotterranei per i pipistrelli**

Gli ambienti sotterranei naturali (grotte) e artificiali (miniere dismesse, tunnel, bunker, acquedotti, necropoli, ghiacciaie, sotterranei di edifici monumentali, ecc.) rappresentano per i pipistrelli importantissimi siti di rifugio. Possono essere utilizzati per trascorrere il periodo del letargo e, nel resto dell'anno, come siti di riposo diurno, posatoi notturni, siti di accoppiamento, di *swarming* (termine con cui vengono indicate concentrazioni notturne di esemplari che si verificano nei rifugi in periodo tardo-estivo e autunnale, per ragioni biologiche ancora in discussione) o, ancora, frequentati da colonie riproduttive, ossia per il parto e l'allevamento dei piccoli. Nell'Europa centrale e settentrionale quest'ultima funzione ha luogo raramente negli ambienti sotterranei, mentre nell'Europa meridionale essi svolgono tutti i ruoli citati.

Varie condizioni rendono un sito sotterraneo adatto o meno a ospitare pipistrelli: l'accessibilità (occorre almeno un'apertura di dimensioni sufficienti), il grado di luminosità (quasi sempre si tratta di ambienti bui), le caratteristiche di ventilazione (condizionano i due fattori che seguono), la temperatura (nei siti d'ibernazione prevalentemente compresa fra +2 e +10 °C; nei siti occupati da colonie riproduttive prevalentemente superiore ai 20 °C), l'umidità (prevalentemente elevata), le superfici di appiglio, la tranquillità.

*I siti sotterranei perdono la loro idoneità ad ospitare chirotteri quando si realizzano alterazioni significative: Illuminazione, modificazione del microclima (ad esempio attraverso la creazione di correnti d'aria), variazione delle condizioni per l'appiglio (ad esempio a causa di cementificazione o intonacatura dei soffitti), disturbo antropico diretto.*

Esistono varie cause alla radice di tali alterazioni: interventi di turisticizzazione (frequenti a carico di grotte, miniere abbandonate e siti di interesse storico); chiusura degli accessi per ragioni di sicurezza (miniere abbandonate; captazioni idriche); visite da parte di appassionati con interessi vari quali la speleologia, la raccolta di minerali, l'archeologia e l'esplorazione degli ambienti sotterranei artificiali (grotte, miniere, condotti sotterranei di vario tipo); esposizioni/eventi culturali (allestimento di presepi, concerti ecc.).

*Se appare scontato che interventi cospicui negli ambienti sotterranei frequentati dai pipistrelli, quale la turisticizzazione spinta, hanno pesanti effetti negativi sulla chirotterofauna, non altrettanto evidente è che anche forme di utilizzo antropico molto più moderato, come visite irregolari e realizzate utilizzando sorgenti di illuminazione personali, possono avere effetti negativi. Ciò accade soprattutto quando risultano interessate le fasi più critiche del ciclo biologico dei chirotteri, ossia si interferisce con colonie riproduttive o esemplari ibernanti.*

L'ingresso in un sito riproduttivo può causare agitazione della colonia e, nella fase perinatale, perdita di esemplari a causa di aborti o caduta dei piccoli dai punti di appiglio.

*L'effetto del disturbo di un sito d'ibernazione è in genere meno evidente, perché le conseguenze negative si manifestano a distanza di tempo. Tale fenomeno si verifica con frequenza tutt'altro che trascurabile e, tenuto conto che le cavità sotterranee rappresentano i siti d'ibernazione più importanti per i chirotteri, è opportuno un approfondimento al riguardo.*

*Un pipistrello letargico è una sorta di macchina biologica che lavora al rallentatore, col risultato di uno straordinario risparmio energetico. Sono ridotti al minimo i battiti cardiaci (da quasi mille al minuto durante il volo, fino a soli venti al minuto nel letargo), gli atti respiratori (da uno ogni cinque secondi circa, in attività, fino a un minimo di uno ogni novanta minuti nel letargo), la temperatura corporea (da 35 - 40 °C viene portata intorno a quella del rifugio d'ibernazione, di solito fra + 2 e + 10°C). Svegliarsi significa per il pipistrello riportare tali parametri ai valori necessari per essere attivi e per far ciò vengono consumate quantità importanti di riserve lipidiche.*

*Va precisato che, durante l'inverno, i pipistrelli si svegliano alcune volte già naturalmente e alla fine del periodo d'ibernazione avviene, ovviamente, il risveglio definitivo. E' stato calcolato che per tali complessivi risvegli naturali i pipistrelli consumano il 75% delle energie spese durante l'intero periodo d'ibernazione, bruciando un corrispondente quantitativo di grassi.*

*E' facile capire, allora, come ogni risveglio artificiale rappresenti un rischio per gli esemplari. La presenza umana in un sito d'ibernazione, con tutto ciò che comporta (rumore, illuminazione artificiale, rialzo termico), può causare il risveglio dei pipistrelli in letargo, anche se ciò non viene generalmente percepito dal visitatore, perché il processo può richiedere anche un'ora. Se vengono ripetutamente svegliati, gli esemplari rischiano di arrivare alla fine dell'inverno senza riserve sufficienti per il risveglio definitivo o comunque defedati (in un grave stato di deperimento organico), molto più sensibili ai fattori di mortalità e, nella stagione riproduttiva che si presenta, incapaci di riprodursi.*

### ***Interventi per i quali la Legge italiana prevede esplicitamente procedure di valutazione preventiva***

Per alcune delle tipologie di interventi che possono avere impatto negativo sui rifugi sotterranei di pipistrelli e sui pipistrelli associati, le normative vigenti in Italia, prevedono procedure di valutazione preventiva, nell'ambito delle quali devono essere analizzate le possibili conseguenze delle azioni progettuali; qualora necessari, individuati interventi e misure di mitigazione/compensazione e, nei casi più critici, evidenziata l'opportunità di ricorrere a soluzioni progettuali alternative o, addirittura, di rinunciare alla realizzazione di parte o del complessivo intervento. L'obbligo di adottare una procedura valutativa è esplicitamente prescritto dalle normative vigenti per i piani/programmi di cui all'allegato 2 (Valutazione Ambientale Strategica) e le opere di cui all'allegato 3 (Valutazione d'Impatto Ambientale) della Parte II Decreto Legislativo n. 152/2006, e per piani o progetti non direttamente connessi e necessari alla conservazione degli elementi di pregio naturalistico e che possono avere incidenze significative sui siti individuati come p SIC, SIC, o designati ZSC ai sensi della Direttiva 92/43/CEE (Valutazione d'Incidenza), come prescritto dall'art. 5 del D.P.R. 357/1997 e s. m. i.

- a. Con riferimento a tali siti e, in particolare, ai frequenti progetti di turisticizzazione di grotte che vengono portati avanti sul territorio nazionale, si ricorda che la valutazione d'incidenza dev'essere prodotta da coloro che propongono gli interventi. Gli Enti preposti al controllo del documento, dal canto loro, devono tenere in debito conto il fatto che la turisticizzazione delle grotte costituisce un elemento di decremento del pregio delle aree p SIC, SIC e ZSC. Una delle caratteristiche importanti per il riconoscimento della rilevanza comunitaria di tali ambiti è infatti proprio la presenza dell'habitat "grotte non ancora sfruttate a livello turistico" (D.P.R. 357/1997 e s. m. i., allegato A).

### ***Chiusura degli accessi (per motivi di sicurezza o altri) senza interferire coi pipistrelli***

La realizzazione di murature (o altre chiusure piene) con rilascio di finestre adatte al passaggio in volo degli esemplari potrebbe rappresentare una soluzione al problema, ma è sconsigliata perché passibile di indurre alterazioni nella ventilazione dei siti e conseguenti variazioni negative del microclima interno.

Una soluzione migliore è utilizzare cancelli a griglia con sbarre sufficientemente spaziate. Esistono vari documenti tecnici sull'argomento e sono state condotte ricerche per verificare gli effetti delle diverse tipologie di griglie sui pipistrelli. La scelta va calibrata sul ruolo biologico del rifugio (nel caso di utilizzo nella buona stagione, in particolare da parte di colonie riproduttive o per lo swarming (raccolta di moltissimi esemplari), occorre che le barriere siano particolarmente permeabili al transito dei pipistrelli, dal momento che i passaggi attraverso l'accesso sono molto più frequenti di quanto avvenga in un sito d'ibernazione), sulle specie presenti (alcune sono più sensibili al restringimento degli accessi) e sui reali rischi per l'incolumità delle persone (variabili in relazione a fattori quali la distanza dagli insediamenti abitativi, la presenza di pozzi, lo sviluppo delle gallerie).

Nella maggior parte dei casi, cancelli a griglia con sbarre orizzontali distanziate fra di loro 15-18 cm (distanza intesa come spazio vuoto fra sbarre successive; quella fra la parte centrale, assiale, delle sbarre sarà maggiore) e sbarre verticali poste ad almeno 60 - 75 cm l'una dall'altra non ostacolano il passaggio dei chiroteri e sono sufficienti alle esigenze di esclusione antropica.

Va comunque sempre considerata la possibilità complementare, o alternativa, di ricorrere a barriere fisiche poste a distanza dell'accesso, quali alte recinzioni o, ove esista una sufficiente disponibilità idrica, fossati o altre raccolte d'acqua. Queste ultime opzioni dovrebbero essere scelte come alternative al posizionamento del cancello nei casi di presenza di colonie riproduttive di *Miniopterus schreibersii*, specie dal volo veloce particolarmente sensibile a ogni forma di restrizione dell'accessibilità.

Qualora debbano essere effettuate chiusure degli accessi di siti sotterranei nei quali non è nota la presenza di pipistrelli, si suggerisce di ricorrere comunque a griglie adatte al loro transito; potrebbe verificarsi, infatti, una successiva colonizzazione dei siti.

### ***Controllo della vegetazione per conservare l'accessibilità ai siti***

Qualora davanti alle aperture dei siti sotterranei si sviluppi vegetazione schermante, d'ostacolo al passaggio dei pipistrelli, è opportuno provvedere a periodiche potature. L'operazione

va limitata all'accesso del sito; la vegetazione circostante dev'essere mantenuta dal momento che può avere un ruolo importante quale elemento strutturale, seguito dagli esemplari negli spostamenti da e per il sito di rifugio.

### ***Interventi sulle condizioni di oscurità e micro climatiche per ripristinare o incrementare la potenzialità dei siti per i pipistrelli***

Molto spesso le alterazioni delle condizioni che consentono l'utilizzo di un sito sotterraneo da parte dei pipistrelli riguardano l'oscurità e il microclima.

Qualora il primo fattore risulti alterato a causa dell'installazione di un impianto di illuminazione artificiale interno al sito, ovvia soluzione al problema è la disattivazione dell'illuminazione nel periodo di presenza dei pipistrelli. Analogamente dovranno essere disattivate eventuali sorgenti esterne di luce artificiale indirizzate sugli accessi al sito (capita soprattutto nel caso di siti dentro edifici monumentali), poiché passibili di interferire coi ritmi di attività degli esemplari.

L'illuminazione di un sito di rifugio può anche essere causata dalla creazione di nuove aperture. In tale caso, alle variazioni a carico del fattore luminosità si associano quelle del microclima interno, poiché l'aumento di ventilazione del sito condiziona i valori di temperatura e umidità. Se il sito sotterraneo ha uno sviluppo ridotto, la creazione di una nuova apertura determina quasi sempre l'instaurarsi di correnti d'aria negative per i pipistrelli. Il ripristino delle condizioni originarie si ottiene provvedendo all'occlusione delle nuove aperture.

*Nei tunnel, aperti sui due lati, la ventilazione è generalmente eccessiva e l'interno insufficientemente umido e con temperature troppo variabili per un utilizzo da parte dei pipistrelli; in tali casi si può intervenire murando parzialmente una o entrambe le aperture ed eventualmente creando ulteriori setti interni.*

### ***Codice di comportamento negli ambienti sotterranei per la conservazione dei pipistrelli***

In generale, nell'ambiente sotterraneo:

- a. non usare torce a vento, né lampade al carburante;
- b. non fumare;
- c. non accendere fuochi;
- d. minimizzare ogni tipo di rumore.

*Oggi sono disponibili ottimi sistemi di illuminazione fredda, che non producono riscaldamento, né fumi. Tali fattori, così come il disturbo acustico, possono causare effetti negativi su pipistrelli che potrebbero non essere stati notati. Va tenuto presente che molte specie di chiropteri utilizzano anfratti, fessure e altri interstizi nei quali non sono facilmente visibili.*

Se ci si accorge della presenza di pipistrelli, evitare di:

1. toccarli;
2. fotografarli con flash;
3. illuminarli direttamente;
4. soffermarsi vicino a loro;
5. usare strumenti rumorosi nelle aree in cui sono presenti gli esemplari o nelle loro vicinanze.

*Luci, rumori e variazioni termiche possono causare il risveglio degli esemplari. Durante il periodo del letargo ciò comporta il consumo di riserve lipidiche difficilmente ricostituibili e il conseguente incremento della sensibilità ai fattori di mortalità. Nelle colonie riproduttive, il disturbo può causare aborti e perdita di neonati per caduta dai punti di appiglio. Più in generale, un disturbo elevato e frequente può determinare l'abbandono dei siti da parte dei pipistrelli.*

Se è nota la presenza di numerosi pipistrelli ibernanti:

- a. astenersi dalle visite nel periodo d'ibernazione, indicativamente dal 1 novembre al 15-31 marzo;
- b. in caso di condizioni meteorologiche negative (freddo intenso, precipitazioni) astenersi dalle visite anche in periodo successivo, indicativamente fino al 30 aprile.

Se è nota la presenza di colonie riproduttive:

- a. *astenersi dalle visite nel periodo di presenza delle colonie, indicativamente dal 1 maggio al 31 agosto;*
- b. *per alcune colonie può essere necessario estendere il periodo di rispetto ai mesi di aprile e settembre.*

*Il periodo d'ibernazione e quello riproduttivo (parto e allevamento dei piccoli) sono le fasi biologicamente più critiche. I pipistrelli in tali condizioni necessitano di assoluta tranquillità.*

Inoltre, dentro e fuori dagli ambienti sotterranei:

- a. *collaborare all'acquisizione di maggiori informazioni chiropterologiche, segnalando osservazioni di esemplari e di colonie;*
- b. *segnalare eventuali situazioni di minaccia per i pipistrelli;*
- c. *contribuire alla diffusione della cultura del rispetto dell'ambiente ipogeo, in tutte le sue componenti.*

*Per indirizzare più efficacemente gli sforzi di conservazione sono necessarie maggiori conoscenze chiropterologiche di base e un'attenzione continua ai fattori che minacciano gli esemplari e i loro habitat. Gli appassionati, a vario titolo, degli ambienti ipogei, possono fornire un contributo prezioso alla conservazione dei pipistrelli!*

Per questi motivi le grotte turistiche devono monitorare l'eventuale presenza dei Chiroteri e predisporre tutte le necessarie salvaguardie (garantire l'accesso all'ipogeo, monitorarne il numero, lo stato di salute, il rumore indotto dai turisti).

Tronchi, fogliame e altri resti vegetali provenienti dalla superficie e trasportati nelle grotte dal vento, dall'acqua o dall'uomo vanno a costituire, assieme a materiali provenienti dall'interno della cavità (resti di animali morti, escrementi), quello che viene definito come detrito. Il detrito è la principale fonte alimentare degli animali cavernicoli e permette la loro sopravvivenza. Nelle grotte turistiche si deve fare la massima attenzione a non alterare in modo irreversibile il delicato ecosistema introducendo elementi inquinanti, specie non autoctone e fonti alimentari anomali quali legno e cibo ad uso e consumo dei visitatori delle grotte turistiche.

**Tratto da:**

Regione Piemonte, Centro regionale chiroteri

### **11.b Speleobotanica**

Le grotte costituiscono degli ambienti molto particolari per le specie vegetali. Procedendo dall'imboccatura verso l'interno si verifica una graduale riduzione dell'intensità luminosa, fino ad arrivare alla situazione di completa e perenne oscurità. Le condizioni di temperatura e di umidità atmosferica diventano sempre più stabili e diverse rispetto all'esterno: l'umidità atmosferica relativa aumenta e raggiunge valori molto elevati, prossimi alla saturazione (95 – 100 %); la temperatura all'interno delle cavità si avvicina alla temperatura media annuale dell'ambiente esterno, per cui d'inverno essa è maggiore di quella esterna, mentre d'estate è minore. Le grotte sono ambienti oligotrofici, cioè poveri di nutrienti, che per i vegetali sono rappresentati dalle sostanze inorganiche derivanti dal suolo, dal particolato atmosferico e dai resti di sostanza organica in decomposizione (organismi morti o deiezioni).

Nelle grotte si sviluppano organismi vegetali appartenenti a gruppi molto diversi, anche se tradizionalmente inseriti nei testi di botanica: dalle semplici alghe azzurre (cianobatteri) alle alghe verdi, dai funghi ai licheni, dalle briofite (muschi e epatiche) alle pteridofite (comprendenti le felci) fino alle spermatofite o fanerogame (comprendenti angiosperme e gimnosperme). Lo sviluppo dei vegetali autotrofi, in grado cioè di effettuare la fotosintesi grazie alla clorofilla, è condizionato dalla disponibilità di luce, che rappresenta la fonte di energia necessaria per la sintesi di sostanze organiche nutritive a partire da sostanze inorganiche semplici. Per questo motivo la presenza dei vegetali autotrofi negli ambienti ipogei è piuttosto scarsa e limitata alle zone almeno debolmente illuminate (autotrofi sono gli organismi vegetali che possono svolgere la propria funzione di nutrizione, elaborando alimenti inorganici mediante assunzione d'energia dal mondo inorganico. Tipici tra gli autotrofi sono tutti i vegetali verdi per la capacità che hanno d'elaborare le sostanze

organiche loro necessarie per la costruzione e il funzionamento dell'organismo, partendo esclusivamente da composti minerali e con l'intervento dell'energia luminosa assorbita dalla clorofilla).

Le particolari condizioni ecologiche nelle cavità selezionano drasticamente i vegetali che dall'ingresso si spingono verso l'interno e determinano una diversificazione della distribuzione delle specie. Ciò permette di distinguere quattro regioni o zone di vegetazione, disposte secondo un profilo di luminosità decrescente, umidità crescente e temperatura progressivamente più stabile, ben sviluppate nel caso di cavità ad andamento verticale.

- **Zona liminare** o *zona delle spermatofite*: corrisponde all'ingresso e alle parti iniziali delle cavità, dove la vegetazione è ben sviluppata e dominata dalle fanerogame. I tipici ambienti circostanti gli ingressi delle cavità carsiche sono rappresentati dalla boscaglia a carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e roverella (*Quercus pubescens*) e, nel caso di cavità che si aprono nelle doline, dal bosco a carpino bianco (*Carpinus betulus*) o a rovere (*Quercus petraea*). All'ingresso e nelle parti iniziali delle cavità abbondano le fanerogame sciafile, adattate alle condizioni di ombra: sempre presente è l'edera (*Hedera helix*), che si accompagna a specie erbacee di sottobosco o di muri e rocce. L'intensità luminosa si riduce fino a 1/200 rispetto all'ambiente aperto.

- **Zona subliminare** o *zona delle pteridofite* (felci): è la zona di oscurità parziale in cui dominano felci e briofite. L'intensità luminosa si riduce fino a 1/700 rispetto all'esterno e l'umidità relativa continua ad aumentare. Tra le felci è molto comune l'erba rugginina (*Asplenium trichomanes*); in questa zona si possono osservare il polipodio sottile (*Polypodium interjectum*) e la lingua cervina (*Phyllitis scolopendrium*).

- **Zona suboscura**: caratterizzata da intensità luminosa estremamente bassa, fino a 1/1000 rispetto all'esterno, ed umidità relativa molto alta, dove riescono a svilupparsi soprattutto briofite ed alghe; tra i muschi spicca *Thamnobryum alopecurum*. Più internamente, in condizioni di luce debolissima, si trovano soltanto funghi e patine di alghe verdi ed alghe azzurre, che si spingono fino all'inizio della zona oscura.

- **Zona oscura**: caratterizzata dalla totale assenza di luce, dove si possono trovare funghi (organismi eterotrofi, non fotosintetizzanti) in presenza di sostanza organica in decomposizione.

Procedendo dall'ingresso verso l'interno delle cavità si verifica quindi una progressiva sostituzione delle specie vegetali autotrofe (con clorofilla), a partire dalle piante superiori, più complesse ed esigenti, fino alle briofite e alle alghe, più semplici e tolleranti la scarsa illuminazione e condizioni ambientali difficili.

*La ricchezza e lo sviluppo delle specie vegetali nelle grotte sono determinati da numerosi fattori ecologici, rappresentati da luce, temperatura, umidità atmosferica, presenza di acqua, natura del substrato, circolazione dell'aria, che sono influenzati dalle caratteristiche delle cavità quali la posizione geografica, l'altitudine, le caratteristiche strutturali e geologiche, la morfologia e l'esposizione dell'imboccatura.*

### **La vegetazione all'entrata delle grotte**

Il variare dell'intensità della luce naturale associata alla variazione della temperatura influenzano la colonizzazione, da parte dei vegetali, di queste zone. In totale assenza di luce non si riscontra alcuna colonizzazione vegetale spontanea. La colonizzazione spontanea dei vegetali all'ingresso delle grotte va monitorata in quanto rappresenta un importante indice relativo alla situazione ambientale del comprensorio in cui si trova l'ipogeo.

#### **11.b1. Lampenflora - „Lampenpflanzen“**

##### **(organismi fotosintetici che crescono vicino alle luci artificiali)**

Le condizioni di vita nelle grotte sono state studiate, a partire dalla seconda metà dell'Ottocento. Nel 1925 Friedrich Morton e Helmut Gams pubblicarono la monografia *Höhlenpflanzen*.

Nella sezione *Speleobotanik* (botanica delle grotte) del *Mitteilungen über Höhlen- und Karstforschung*, Jargang 1926, heft 4, Berlin 1926, Friedrich Morton riporta interessanti osservazioni in merito alla comparsa di piante (per fotosintesi) nelle grotte attorno alle lampade elettriche. Nel 1941 pubblicò lo studio "Piante verdi presso le lampade dell'illuminazione elettrica



nelle Grotte di Postumia”, nel 1966 „*Höhlenmoose aus der Grotta di Castellana (Bari)*” (Die Höhle, 17. Jg., 1966, H. 4, S. 95—96) e nel 1968 „*Lampenpflanzen in der Dachstein-Rieseneishöhle*” (Arbeiten aus der Botanischen Station in Hallstatt, Nr. 291.) (Die Höhle, 19(3):91—92), in cui riporta:

“Con il termine „Lampenpflanzen” comprendiamo le piante che si sviluppano in prossimità delle lampade elettriche.”

Friedrich Morton, nell'articolo “Piante verdi presso le lampade dell'illuminazione elettrica nelle Grotte di Postumia”, estratto da “Le Grotte d'Italia” Serie 2° — Volume IV — 1941-XX Stabilimento tipografico nazionale, Trieste 1941 - XX scriveva:

*“L' influenza della luce elettrica sul regno vegetale è nota da alcuni decenni. Già nell'anno 1880, C. W. Siemens poneva tale problema in una sua comunicazione alla Royal Society di Londra. Nel 1895 G. Bonnier pubblicava uno studio analogo sullo stesso argomento; mentre più tardi, nel 1908, H. y. Gallenstein rendeva note alcune osservazioni compiute su rami diversi di uno stesso albero di Aesculus hippocastanum, rilevando che il ramo più vicino alle lampade dell'illuminazione stradale conservava le foglie più a lungo del ramo meno illuminato. Interessanti osservazioni sono riferite anche da G. Klein per un arbusto di Syringa vulgaris nel villaggio di Kanlenberg presso Vienna; l'Autore ebbe a rilevare infatti che i rami di questa pianta più prossimi ad una lampada a gas fiorivano due settimane prima dei rami più lontani. Io stesso, nella città di Vienna, durante il mese di novembre del 1939, ho notato in un platano che i rami più avvicinati alla lampada elettrica dell'illuminazione stradale portavano ancora le foglie verdi, mentre i rami più lontani erano completamente privi di foglie. Il suolo era già coperto di un sottile strato di neve. Anche Molisch rileva che una illuminazione continuata non esercita azione sfavorevole sulla vegetazione. Se l'intensità della luce elettrica è sufficientemente forte, essa agisce come la luce del sole. Una illuminazione elettrica ininterrotta determina una super produzione di clorofilla.”*

Nel 1963 Klaus Dobát pubblicò lo studio „*Höhlenalgen*” *bedrohen die Eiszeitmalereien von Lascaux*.

Nel 2002 sono stati pubblicati gli atti della International Conference on Cave Lighting svolta a Budapest nel novembre 2000. Vari gli articoli relativi alla *Lampenflora*: sono state analizzate grotte turistiche ungheresi, greche, ceche (Moravia), tedesche ( Turingia), austriache (Niederösterreich) e statunitensi (Mammoth cave). ). Significativa la relazione di R. Pavuza, K. Mais e P. Cech *Erste Untersuchungen zur Lampenflora in der Allander Tropfsteinhöhle (Niederösterreich)* che individua un modo più sofisticato per ridurre la proliferazione della *Lampenflora*. Infatti oltre la prassi di:

- limitare il tempo di utilizzo delle luci, ragionevole ma non sufficiente per alcune piante come le alghe blue,
- effettuare la rimozione meccanica o chimica delle piante, che è possibile ma ristretta a certe parti della grotta in funzione della morfologia,

propongono di ridurre il CO<sub>2</sub> e il Nitrato nell'aerosol durante la parte più critica dell'anno (estate). Questo sarebbe possibile tramite una leggera ventilazione.

Gli Autori evidenziano inoltre che una soluzione promettente potrebbe essere rappresentata dall'uso di lampade basate sulla nuova generazione di luce: i LED (LED *Light Emitting Diode* / **diode a emissione di luce**) che permettono di omettere le onde che favoriscono la fotosintesi.

“L'uso di LED in modo generico, a confronto delle lampade convenzionali, non apporta miglioramenti significativi al proliferare della *Lampenflora* (per i consumi il discorso è diverso), anzi la *lunghezza d'onda delle radiazioni luminose* blu e rosse può promuovere la crescita della piante (*Lampenflora*) più fortemente delle lampade convenzionali. L'uso esclusivo di diodi che emettono luce gialla e verde, in punti particolarmente sensibili, dovrebbe ottenere un'inibizione della crescita, soprattutto delle felci e dei muschi, in alcuni casi anche delle alghe. Le alghe blu, d'altro canto, potrebbero continuare ad essere un problema in virtù del loro bassissimo fabbisogno di luce.”

Extinktion (Chlorophyll) - Intensität (LED)

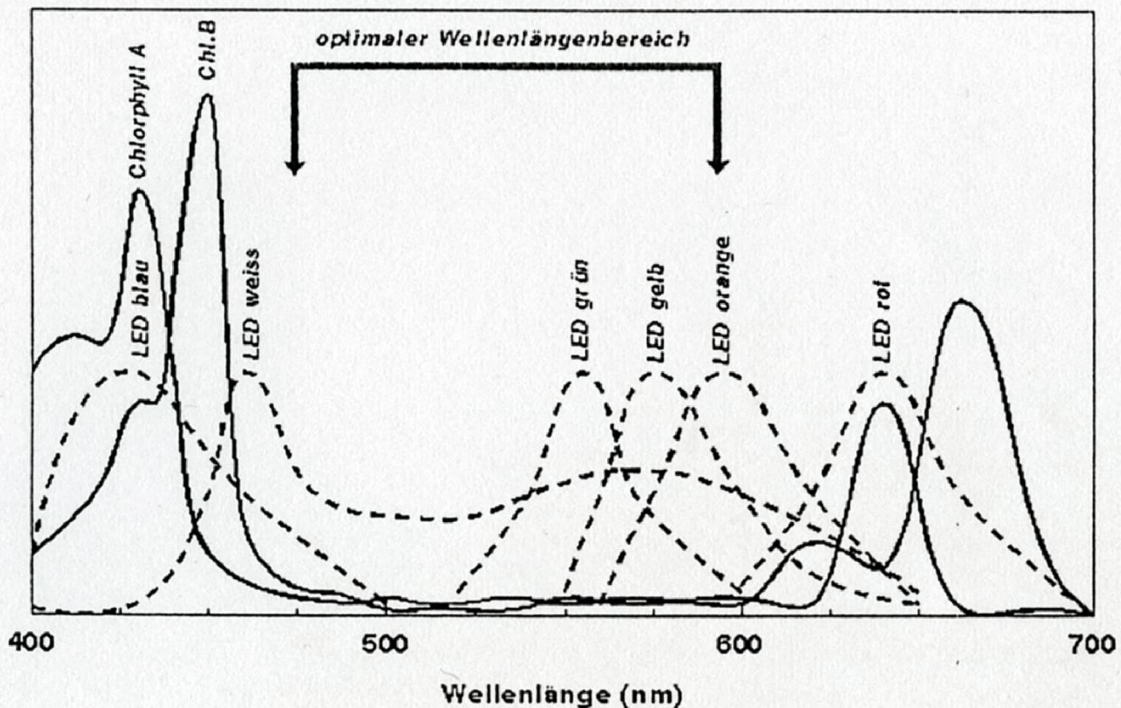


Abb. 4: Vergleich der „Lichtaufnahme“ von Chlorophyll A und B mit den Spektralkurven verschiedener handelsüblicher Leuchtdioden

Didascalia Abb. 4: confronto dell'assorbimento di luce da parte della clorofilla in corrispondenza ai picchi A e B con le curve di spettro di diversi LED: blu, bianco, verde, giallo, arancio e rosso.

Gli autori concludono la relazione ponendosi la domanda:  
 “fino a che punto tale luce (gialla e verde) sarà accettata dai visitatori?”.

In sintesi per la riduzione della *Lampenflora* propongono:

1. diminuzione del periodo di illuminazione (realizzabile in alcuni casi);
2. allontanamento meccanico o chimico delle piante (occasionalmente possibile);
3. riduzione della anidride carbonica in estate (possibile limitatamente);
4. utilizzo di lampade LED avvalendosi di lunghezze d'onda che inibiscono la crescita della *Lampenflora*.

Nell'edizione del 2006 di *Cave conservation and restoration*, edito da Val Hildreth-Werker e Jim C. Werker, National Speleological Society, Inc., Huntsville, Alabama U.S.A. in cooperazione con National Cave and Karst Research Institute, Inc., Carlsbad, New Mexico U.S.A., Rick Olson, nel suo articolo affronta il “Control of *Lamp Flora* in Developed Caves”. Di seguito una sintesi.

“L'illuminazione artificiale delle grotte è la causa della crescita dei cianobatteri (in altri tempi conosciuti come alghe blu – verdi), delle alghe, dei muschi e altre piante che crescono a causa delle luci, che noi abbiamo posto lungo i sentieri delle grotte. Collettivamente questi organismi fotosintetici che crescono in prossimità delle luci nelle grotte sono chiamati *lamp flora*, termine adottato negli USA (in Europa più comune *Lampenflora*). Una forte intensità di illuminazione delle grotte turistiche è sconsigliata sia per la conservazione della grotta sia per il consumo energetico. Il metabolismo dei batteri associato alla calcite degli speleotemi può facilitare la deposizione minerale (Northup e altri 1977) sulle concrezioni eliminandone la lucentezza, tanto apprezzata dai visitatori delle grotte turistiche”.

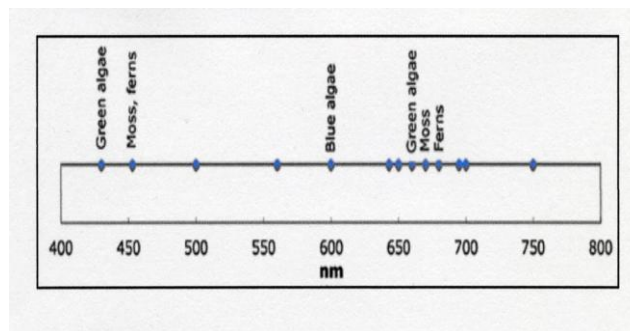
Nella medesima pubblicazione Diana E. Northup ha affrontato la presenza delle alghe nelle grotte.

“Le alghe sono piante fotosintetiche, unicellulari che di solito per sopravvivere si basano sulla luce del sole. Comunque diverse specie di alghe sono adatte ai bassi livelli di luce negli ingressi delle grotte e possono produrre clorofilla nell'oscurità. Alcune alghe chemoorganotrophy (una forma di nutrizione chemiotrofica in cui la biosintesi richiede l'ossidazione di uno o più di una varietà di composti organici che agiscono come donatori di elettroni) crescono anche in totale assenza di luce (alcune alghe usano risorse chimico nutrizionali invece della fonte di luce del sole). Sulle concrezioni illuminate delle grotte turistiche si nota spesso la crescita abbondante di *lamp flora* che può consistere in una combinazione di alghe, cianobatteri o muschi. Nelle grotte turistiche le cellule delle alghe (spore) sono trasportate dai visitatori sulle scarpe e sui vestiti e se c'è un po' di luce disponibile, associata all'atmosfera umida della grotta e alle sostanze organiche fertilizzanti presenti in grotta possono predisporre un habitat favorevole alla proliferazione, in particolare, delle alghe”.

Nel 2014 Janez Mulec, del Karst Research Institute, Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Postojna, Slovenia, pubblicava nel *Journal for Nature Conservation* 22 (2014) 132–141 la relazione “Human impact on underground cultural and natural heritage sites, biological parameters of monitoring and remediation actions for insensitive surfaces: Case of Slovenian show caves”. Data l'importanza dello studio si riporta di seguito l'Abstract dell'articolo tradotto in italiano.

*“I siti del patrimonio culturale sotterraneo in Slovenia condividono uguali problemi di gestione con gli altri siti simili nel resto del mondo. I siti ipogei della Slovenia includono le grotte di Postumia con oltre mezzo milione di visitatori annuali e le Grotte di Škocjan, patrimonio mondiale dell'UNESCO. L'ambiente sotterraneo è sollecitato dal rumore ultrasonico derivato da diversi dispositivi elettrici in un ampio intervallo (10 - 123 kHz) che può essere ridotto al minimo con alloggiamenti protettivi. Le lampade che aumentano la temperatura e abbassano l'umidità relativa dovrebbero essere omesse. La *Chlorella vulgaris* ha prosperato molto bene sotto una lampada alogena e LED i cui spettri erano stati modificati per conferire un aspetto naturale alle concrezioni illuminate ed emettere photon quanta (il fotone è un tipo di particella elementare, il quantum del campo elettromagnetico che include radiazione elettromagnetica come la luce) vicino al punto di compensazione fotosintetico (circa  $20 \mu \text{ mol photons} / \text{m}^2 \text{ s}$ ). Il risanamento di superfici di calcite insensibili colonizzate da lampenflora con una soluzione al 15% (v/v) di perossido di idrogeno (pH 7.0 - 7.5) ha avuto successo. Poiché i visitatori introducono e diffondono, soprattutto con le loro orme, molti microrganismi vivi ( $> 10.000$  unità che formano colonie per  $100 \text{ cm}^2$ ), dovrebbero essere implementate misure per ridurre tali input. I conteggi batterici espressi come unità formanti colonie per  $\text{m}^3$  erano più indicativi per la presenza / assenza di turisti rispetto ai cambiamenti nella concentrazione di anidride carbonica. Non solo i turisti, ma anche le condizioni climatiche esterne hanno influenzato la concentrazione dei batteri presenti nell'aria. I parametri microbiologici dovrebbero essere inclusi nella stima della capacità sostenibile per le visite dei turisti dei siti sotterranei sensibili”.*

Le colonie di organismi fotosintetici autotrofici definiti Lampenflora sono costituiti principalmente da cianobatteri, alghe, muschi e felci. La Lampenflora presenta dei picchi di assorbimento in corrispondenza delle frequenze da 430 a 490 nanometri, attorno ai 600 nanometri e dai 640 fino ai 700 nanometri. Per contrastare la proliferazione della Lampenflora, le lampade devono emettere uno spettro luminoso privo delle soprammenzionate bande di frequenze.



**Figura 1**

La *Lampenflora* presenta dei picchi di assorbimento (Figura 1) in corrispondenza delle frequenze da 430 a 490 nm, attorno ai 600 nm e dai 640 fino ai 700 nm. Per contrastare la crescita della *Lampenflora*, le lampade devono emettere uno spettro luminoso privo delle sopramenzionate bande di frequenze.

All'impianto di illuminazione è legata la proliferazione della *Lampenflora*. Ottimale un impianto di illuminazione elettrico (230 volt ac) a LED (significativo il risparmio energetico: 75% rispetto ai sistemi tradizionali). È stato verificato che l'utilizzo delle lampade LED in grotta non è sufficiente ad evitare il problema della *Lampenflora*, anche se le lampade LED hanno effetti meno rilevanti rispetto ad altri tipi di lampade. È consigliata pure la stesura in grotta della fibra ottica.

L'impianto elettrico deve essere progettato in modo da poter essere frazionato, permettendo, così, di attivare l'illuminazione del solo tratto percorso e aumentare, di conseguenza, il periodo di oscuramento della cavità, con beneficio sia per la riduzione della proliferazione di *Lampenflora* che dei consumi energetici.

È importante che la fonte luminosa sia posta alla distanza di almeno un metro dal soggetto da illuminare.

### **Tipologia di lampade**

Per evitare la proliferazione della *Lampenflora* recentemente l'azienda italiana Microfox Srl ([mail@microfox-it.com](mailto:mail@microfox-it.com)) ha progettato un sistema di illuminazione denominato LMPFLR composto da due tipologie di lampada:

- a. lampade segna passi (segnavia) per l'illuminazione delle scale e dei camminamenti;
- b. lampade per l'illuminazione della grotta (illuminanti), le lampade sono integrate all'interno di contenitori/profilo in alluminio e garantiscono un grado di protezione IP65.

#### **a. Lampade segnavia**

Le lampade segnavia sono costituite da alcuni LED monocolori 590 nm (giallo) e producono una emissione luminosa superiore a 250 Lumen con consumi inferiori ai 5W.

#### **b. Lampade illuminanti**

Per migliorare la fruibilità da parte dei turisti delle cavità sarebbe opportuno illuminare la grotta mediante una luce bianca con temperatura di colore compresa nel range tra 3.000 e 3.500 K per il bianco caldo (*Warm White*) e nel range tra 4.000 e 4.500 K per il bianco neutro (*Neutral White*).

L'utilizzo di LED bianchi monocolori comporta la generazione di uno spettro di radiazione luminosa a banda larga che include anche numerose lunghezze d'onda in grado di far proliferare la *Lampenflora*.

Lo stesso effetto illuminante dei LED monocolori si ottiene utilizzando più LED di lunghezze d'onda diverse e non comprese nelle bande in grado di far proliferare la *Lampenflora*. Pilotando in modo opportuno la corrente dei singoli LED è possibile ottenere una luce bianca ma con uno spettro che non favorisce la comparsa della *Lampenflora*.

Una descrizione preliminare per le lampade illuminanti può essere schematizzata come segue:

1. potenza assorbita 80 W – 6000 lumen;
2. potenza assorbita 110 W – 8000 lumen.

In entrambi i casi si è stimato un rendimento del sistema maggiore del 80%.

## **La temperatura di colore e la lunghezza d'onda della luce**

Ogni fonte luminosa, sia essa di natura solida o aeriforme, genera radiazioni elettromagnetiche visibili comprese entro l'intervallo di *Lunghezza d'onda* da 380 a 780nm (1nm = 1 nanometro = 1 miliardesimo di metro). La ripartizione delle radiazioni nella banda spettrale del visibile determina il colore della luce, o meglio la sua tonalità di colore.

La tonalità di colore della luce si esprime con metodo diretto, per confronto, attraverso una grandezza termica, cioè la **temperatura di colore**.

La **temperatura di colore** è un termine usato nel campo dell'illuminotecnica per quantificare la tonalità della luce. L'unità di misura di riferimento, secondo il sistema internazionale, è il kelvin (K).

Lord Kelvin stabilì una corrispondenza tra la temperatura di un corpo nero progressivamente riscaldato e il colore della luce che emette, attribuendo valore zero alla temperatura di  $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (lo zero assoluto).

La luce solare è più vicina al bianco intorno a 5500 – 6000 K.

Tra i 2700 K e i 3800 K si parla di **luce calda**, ideale per ambienti con colori caldi come il rosso, il giallo e l'arancione.

Sopra i 4000 K fino a circa 5500 K si parla di **luce naturale**, rappresenta la luce tipica che entra dalle finestre in una giornata primaverile al mezzogiorno con cielo sereno.

Oltre i 5500 K si parla di **luce fredda**, la luce del cielo di una tipica giornata di sole estiva.

Sotto i 1400 K si va dal rosso fino a raggiungere l'infrarosso, oltre i 20 K si passa dal blu fino ai pericolosi ultravioletti.

La tecnologia **LED**, essendo molto gestibile lo spettro luminoso, non presenta IR o UV ma solo le bande di luce desiderata. Per questo i **LED** sotto il profilo fotobiologico sono considerati estremamente sicuri.

La luce che noi vediamo (spettro visibile) è una radiazione elettromagnetica. In particolare si tratta di una radiazione con una lunghezza d'onda compresa tra i 400 e i 700 nanometri. Il nostro occhio, infatti, è sensibile solo a lunghezze d'onda comprese in questa stretta banda; le altre radiazioni elettromagnetiche, che hanno lunghezze d'onda inferiori ai 400 nanometri o superiori ai 700 nanometri, un nanometro (nm) corrisponde alla milionesima parte del millimetro, non sono percepite dal nostro occhio.

Le diverse lunghezze d'onda danno origine ai colori. Tra lunghezze d'onda e colori esiste questo legame, tenendo ben presente che il passaggio da un colore all'altro avviene in modo sfumato.

<b>Viola:</b>	400 < nm < 450
<b>Blu:</b>	450 < nm < 500
<b>Verde:</b>	500 < nm < 580
<b>Giallo:</b>	580 < nm < 650
<b>Rosso:</b>	650 < nm < 700

La luce è una radiazione elettromagnetica: è un'onda che si propaga nello spazio ad altissima velocità, la velocità della luce, pari a circa 300.000 chilometri al secondo. Le tre caratteristiche principali di una onda sono lunghezza, ampiezza e frequenza. La lunghezza d'onda è la distanza tra due creste successive, mentre l'ampiezza è la distanza tra una cresta ed il piano mediano che interseca l'onda; la frequenza, infine, è la quantità di oscillazioni che l'onda compie nell'unità di tempo (con unità di misura Hertz, oscillazioni al secondo). La frequenza è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda: minore è la lunghezza d'onda maggiore è la frequenza, e viceversa.

La lunghezza d'onda delle radiazioni luminose, è molto piccola ed è espressa generalmente in nanometri. Ai fini della visione dei colori, l'ampiezza dell'onda influisce sull'intensità luminosa dello stimolo elaborato dal cervello, mentre la lunghezza dell'onda influenza la tonalità del colore percepito: ad esempio, un'onda elettromagnetica di lunghezza compresa tra i 650 e i 700 nanometri (nm) provoca in una persona con capacità visiva normale la visione del colore rosso.

Per migliorare la fruibilità da parte dei turisti delle cavità, sarebbe opportuno illuminare la grotta con una luce bianca a 3000 K; tale punto è individuato nel diagramma di cromaticità 1931 CIE dal punto **A** (Figura 2).

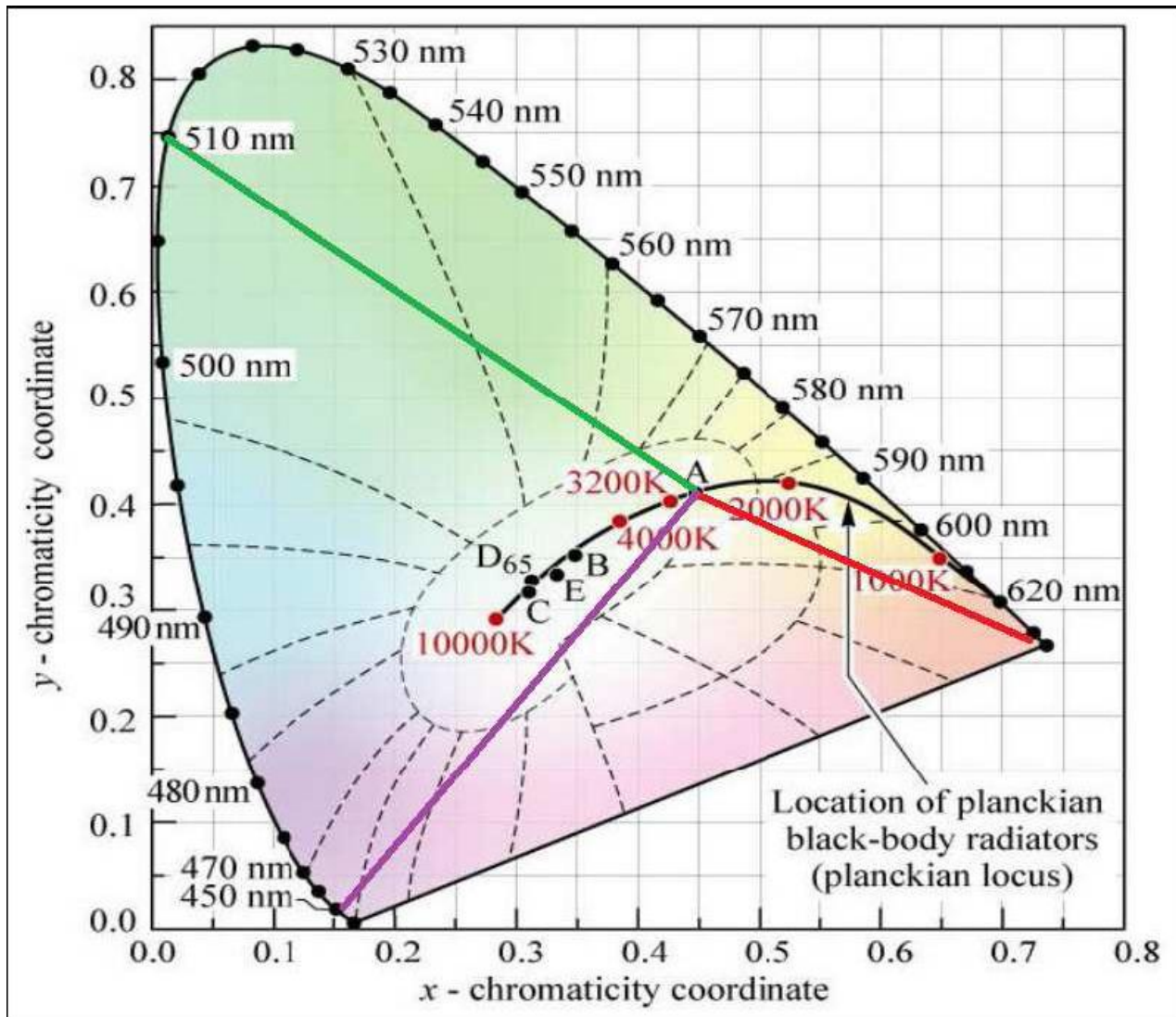


Figura 2

L'utilizzo di led bianchi monocolori comporterebbe la generazione di uno spettro di radiazione luminosa a banda larga (Figura 3) che include anche numerose lunghezze d'onda in grado di far proliferare la Lampenflora.

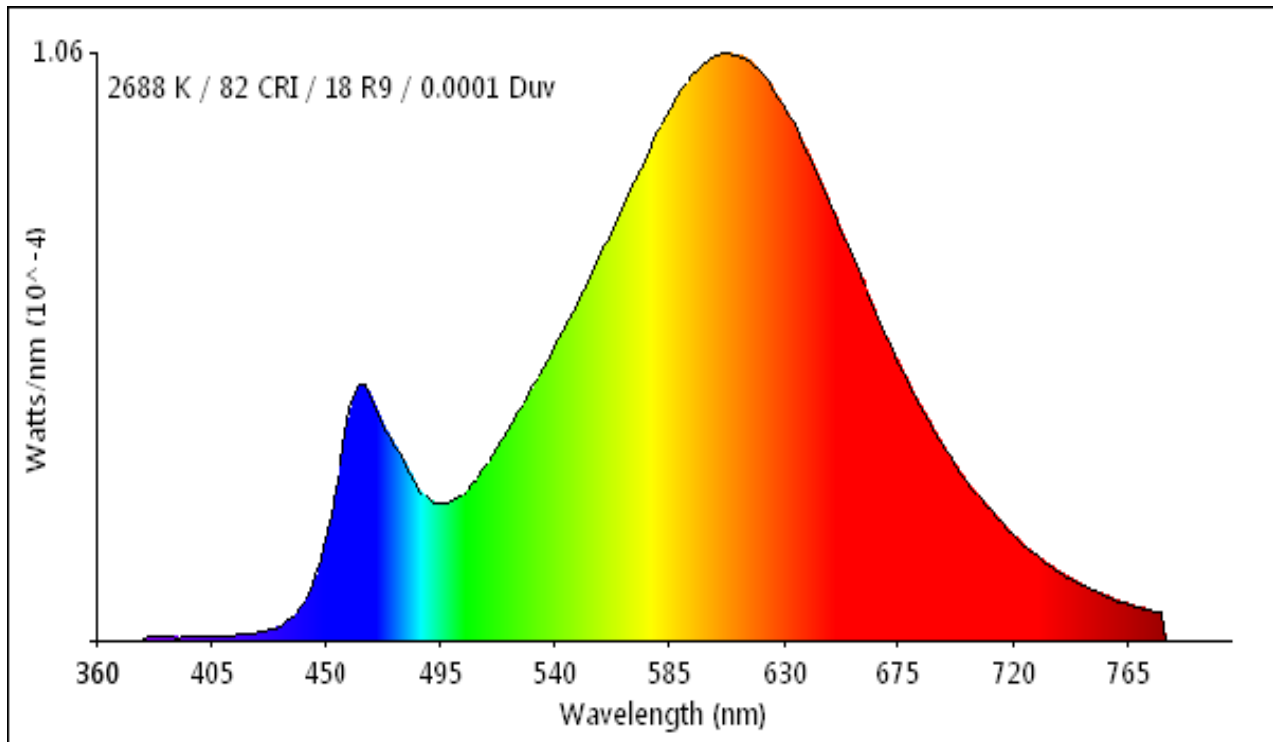


Figura 3

Lo stesso punto **A** nelle illuminanti LMPFLR di Microfox Srl si ottiene utilizzando più led di lunghezza d'onda diverse e non comprese nelle bande indicate in Figura 1. Pilotando in modo opportuno la corrente dei singoli LED è possibile ottenere una luce bianca con uno spettro che non favorisce la comparsa della Lampenflora (Figura 4).

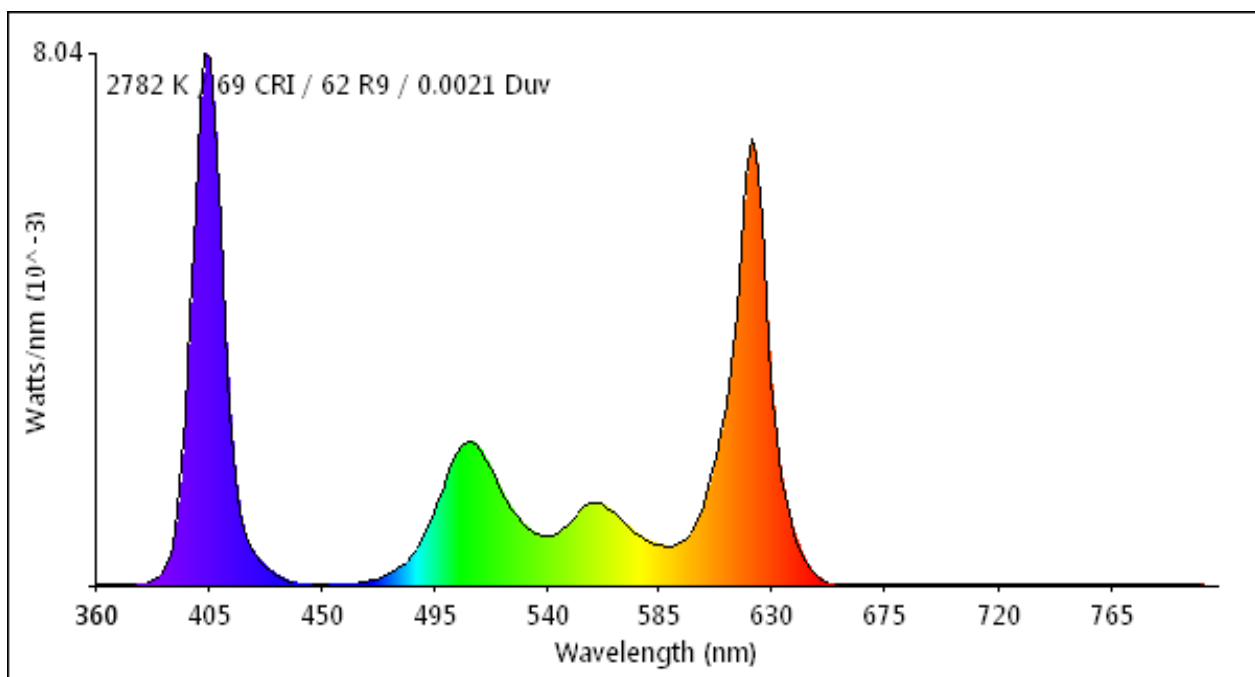


Figura 4

## **Sanificazione delle spore**

*Per una corretta riduzione della Lampenflora è opportuno ridurre al minimo la quantità di spore che il visitatore porta in grotta. Il principale trasporto di queste avviene tramite le suole delle scarpe. Risulta pertanto importante una sanificazione delle suole delle calzature dei visitatori.*

Da questa premessa la Microfox Srl ha progettato un efficace sistema autonomo di sanificazione delle calzature comprendente un piano di calpestio da posizionare davanti al tornello d'ingresso alla grotta. Il sistema permette di eliminare la gran parte della fauna batterica e delle spore presenti sulle suole delle scarpe dei visitatori. Il sistema è basato su una micro circolazione di aria caricata con ozono che fuoriesce da una serie di feritoie posizionate sul piano di calpestio e alternate con una ulteriore serie di feritoie che riprendono l'aria battericida per ripristinare la percentuale di ozono e re immetterla nella sequenza delle feritoie di espulsione.

La circolazione dell'aria avviene tramite un ventilatore centrifugo a singola aspirazione dotato di controllo elettronico. Il ventilatore è del tipo ad elevata prevalenza e dotato di un software di compensazione delle perdite di carico in grado di garantire la quantità di aria che si desidera ottenere sul piano di calpestio.

L'ozono viene prodotto e monitorato attraverso un opportuno controllo elettronico retroazionata.

Sui due lati della struttura sono posizionate, ad un'altezza di circa 300 mm, due lampade UV in grado di sanificare anche la zona centrale e superiore delle scarpe del visitatore.

Il sistema comprende una struttura di passaggio realizzata in acciaio presso piegato comprendente l'elettro ventilatore e due lampade UV con potenza di circa 15/20 W.

## **Considerazioni conclusive**

Un approccio di tipo ecologico al problema della *Lampenflora* (la vegetazione che si sviluppa negli ipogei a seguito dell'illuminazione artificiale) riduce la frequenza ed i costi degli interventi di rimozione/controllo, risultando vantaggioso sia per la conservazione dell'ambiente che per la gestione economica della cavità. Il problema *Lampenflora* dovrebbe quindi essere affrontato attraverso un adeguato studio basato sulla conoscenza delle specie vegetali presenti (inventario floristico) e sulla caratterizzazione delle condizioni ecologiche dei siti di crescita della *Lampenflora*, nonché uno studio delle caratteristiche delle attuali lampade presenti nell'ipogeo (intensità luminosa, spettro di emissione). Indispensabile sia lo sviluppo di metodiche di controllo della *Lampenflora* basato su ricerche ecologiche e fisiologiche, con particolare attenzione al regime e sistema di illuminazione dell'ipogeo, che il monitoraggio nel tempo per verificare l'effetto delle metodiche di contenimento della *Lampenflora*.

Una strategia efficace di controllo della *Lampenflora* deve essere basata fondamentalmente su un approccio ecologico, che si affida alla minimizzazione dell'imput di energia del sistema di illuminazione artificiale all'interno della cavità. La crescita della *Lampenflora* dipende essenzialmente dai livelli di energia luminosa forniti dall'impianto di illuminazione artificiale: la *Lampenflora* può essere controllata nel lungo periodo, e senza eccessivi interventi, utilizzando un approccio ecologico, attraverso la limitazione dell'eutrofizzazione luminosa della cavità, che favorisce lo sviluppo degli organismi vegetali.

Sinteticamente la deve essere rivolto a:

1. ricerca bibliografica;
2. ricerca floristica ed ecologica delle specie di piante (raccolta dei campioni, caratterizzazione dei siti di sviluppo dei vegetali, identificazione in campo ed in laboratorio delle specie, compilazione della lista floristica);
3. studio eco fisiologico (caratterizzazione delle condizioni ambientali delle zone in cui si sviluppa la *Lampenflora*);
4. sviluppo di metodiche di controllo della *Lampenflora*;
5. monitoraggio della *Lampenflora*.

**Nota:** il termine *Lampenflora* è stato utilizzato per la prima volta nel saggio del botanico tedesco Dr. Klaus Dobát, riguardo la vulnerabilità delle pitture rupestri di Lascaux, pubblicato nella rivista viennese „Die Höhle”, 1963, anno 14°, edizione n.2, pag. 41 – 45.



## **Pulizia**

La crescita della *Lampenflora* (alghe, muschi, ciano batteri e altre piante opportunistiche) sono indotte, come sopra evidenziato, dalle luci collocate negli ipogei. Queste specie fotosintetiche introducono distorsioni agli ecosistemi sotterranei. Purtroppo, negli ambienti ipogei, in presenza di qualsiasi sorgente luminosa, compresi i *led*, si assiste al proliferare della *Lampenflora*. Per eliminare questi inestetismi vengono normalmente utilizzati prodotti a base di cloro.

La disinfezione chimica, che impiega l'ipoclorito di sodio e il biossido di cloro, è quella più usata a questo scopo. La loro azione sterilizzante agisce soprattutto sulla superficie delle cellule batteriche ed è scarsamente attiva su virus, muffe e spore. Tuttavia, alcuni micro organismi hanno da tempo sviluppato una resistenza ad alcune sostanze disinfettanti, pregiudicando così l'effetto battericida. Il materiale organico reagisce con il cloro stesso formando composti, le clorammine, irritanti per gli occhi e le mucose, causa di cattivo odore e soprattutto ad azione cancerogena e teratogena. I sistemi di disinfezione chimica inoltre sono altamente corrosivi e necessitano pertanto di particolari misure per preservare la salute di chi vi opera a contatto.

*L'ipoclorito di sodio, scoperto più di duecento anni fa è ancora il disinfettante più usato con i nomi commerciali di candeggina, varechina, euclorina, amuchina, ecc. E' disponibile sul mercato in concentrazioni che variano tra 1,5% e il 5%. Solitamente è presente sul mercato in soluzioni dal 3% al 5% di cloro attivo. Secondo le norme CEE, il prodotto contenente meno del 5% di ipoclorito non è classificato; tra 5% e 10% deve essere classificato come irritante e per concentrazioni superiori al 10% deve essere classificato come corrosivo. Il cloro è un gas tossico, si deve evitare di respirarlo ed indossare guanti e occhiali di sicurezza. La candeggina a base di cloro emette gas di cloro altamente nocivi. Il cloro gassoso è particolarmente pericoloso per gli uomini e per i pipistrelli pertanto l'uso della candeggina deve prevedere un uso cauto e prudente.*

Un'opzione migliore può essere il perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ ). Una buona strategia è quella di applicare piccole quantità dell'agente disinfettante e lasciare che questo rimanga a contatto con i vegetali per un significativo periodo di tempo, per esempio almeno 30 minuti utilizzando una soluzione al 10%. I risultati raggiunti in questo modo sono migliori rispetto a quelli che si ottengono se viene usata una grande quantità di agente per un breve periodo di tempo. Se utilizzata una concentrazione sufficientemente alta, il perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ ) è un veleno da contatto per i microbi. Tuttavia, al contrario della candeggina a base di cloro, i prodotti della decomposizione del perossido di idrogeno sono relativamente innocui. L'  $H_2O_2$  si scinde velocemente in acqua e ossigeno, composti che con meno probabilità possano nuocere ai microrganismi delle grotte e non sono tossici per gli uomini. Il perossido di idrogeno comunemente utilizzato in casa è venduto con una concentrazione del 3% in soluzioni con acqua, ma può essere acquistato con una concentrazione fino al 30%. Questa soluzione più concentrata rappresenta un pericolo potenziale per l'utente e deve essere utilizzata con cautela rispettando le norme di sicurezza relative al suo impiego.

In conclusione la candeggina a base di cloro non rappresenta la soluzione migliore per il controllo della *Lampenflora* nelle grotte turistiche, tenendo conto anche della potenzialità nociva in quanto provoca emissioni di gas e vapori pericolosi per la salute. Per inibire la crescita della *Lampenflora* (in particolare delle alghe) si preferiscono altri agenti disinfettanti con sottoprodotti meno nocivi.

***Sconsigliato l'utilizzo delle lampade UV antivegetative in quanto gli effetti delle lampade UV sui vegetali sono limitati alle zone prossime alle lampade stesse e non interagisce con la Lampenflora che si sviluppa oltre un paio di metri dal posizionamento delle lampade UV, questo tipo di intervento costituisce una seria minaccia per la fauna della grotta (gli organismi cavernicoli sono adatti a vivere in condizioni di buio assoluto e quindi privi di particolari difese contro radiazioni UV).***

## **Mondo ipogeo per tutti: come favorire l'accessibilità**

*Il concetto di accessibilità è quasi sempre legato al concetto di disabilità e quando parliamo di disabilità il primo pensiero, la prima immagine che ci viene in mente è la sedia a rotelle per disabili, immagine stereotipa della disabilità: non per nulla il logo della sedia a rotelle sta, impropriamente, a rappresentare le disabilità in generale.*

### **Sfatiamo alcuni luoghi comuni**

Per i non speleologi conoscere il mondo ipogeo significa, il più delle volte, limitarsi alla visita delle grotte turistiche. Un importante contributo alla conoscenza del mondo ipogeo è offerto anche dalla visita dei musei speleologici, che sempre più spesso vivono in simbiosi mutualistica con le grotte turistiche, senza trascurare la frequentazione dei musei di storia naturale e di archeologia, con le sezioni dedicate alla speleologia.

### **Ma che cosa è la speleologia? Come possiamo definirla?**

Il primo manuale di speleologia è stato scritto dall'austriaco Franz Kraus nel 1894, il titolo è *Höhlenkunde - Wege und Zweck der Erforschung*. Non a caso nel 1968 il viennese Hubert Trimmel scrisse un manuale sempre con il titolo *Höhlenkunde*. Sicuramente due capisaldi relativi alla conoscenza del mondo ipogeo. Mentre la definizione del termine speleologia si offre a diverse interpretazioni, *Höhlenkunde* significa inequivocabilmente scienza naturale che studia le grotte in tutti i suoi aspetti scientifici (geologia, geomorfologia, geofisica, idrologia, biologia, paleontologia, archeologia, ecc.), senza entrare nel merito delle tecniche di esplorazione delle grotte. Quindi stiamo parlando di una scienza.

Per questo motivo, per una corretta comprensione scientifica del mondo ipogeo, risulta fondamentale il ruolo dei musei e la corretta preparazione culturale degli accompagnatori delle grotte turistiche.

Per meglio comprendere quanto esposto nei musei ed apprezzare le spiegazioni date dagli accompagnatori risultano di fondamentale importanza le attuali tecnologie, quali il rilievo *3D laser scanner*. Tecnologie che permettono una visita multimediale del mondo sotterraneo.

Ma perché questo accenno alla visita multimediale?

Le grotte turistiche, per la loro morfologia, raramente possono essere adattate a percorsi accessibili con la sedia a rotelle in quanto i dislivelli naturali sono difficilmente superabili con rampe di pendenza inferiore al 8%. Quindi per persone che si trovano nella condizione di dover utilizzare la sedia a rotelle la visita reale di una grotta può essere impossibile nonostante la buona volontà del progettista dei percorsi turistici. In tale caso la tecnologia digitale viene in aiuto: la visita multimediale (tecnologia *3D laser scanner*) della cavità può risultare affascinante, ancora di più se si utilizzano i visori per *realtà virtuale 3D* come *forma di accessibilità*

Sorge spontanea, per i gestori delle grotte turistiche, la domanda: vale la pena investire risorse per un numero esiguo di visitatori su sedia a rotelle?

Certamente, perché non sono questi gli unici fruitori di un prodotto tecnologico che è rivolto, indiscriminatamente, a tutti gli ospiti del complesso turistico. Con un rilievo *3D con tecnologia laser scanner* si possono vedere particolarità difficili da visionare *in loco* (possibilità di muoversi in completa libertà ed in tutte le direzioni all'interno della cavità) così da ampliare le conoscenze dei visitatori (camuffata da offerta turistica), siano questi anziani o giovani non in buona forma fisica, persone sopra peso, claustrofobici (che magari dopo la visita multimediale decidono di sperimentare la visita reale), per non parlare poi della didattica, rivolta in particolare alle scuole, per la quale la visione *3D* della cavità risulta un ausilio formidabile per i docenti. L'*accessibilità* di una grotta può essere preclusa a più categorie di persone (una banale ingessatura agli arti inferiori) e questi sono solamente alcuni esempi: rendere *accessibile* una grotta ed un museo genera una ricaduta positiva su tutti i visitatori.

Ma non è solo la rottura di un arto inferiore che può rendere chiunque di noi disabile, proviamo a porci alcune semplici domande: Quanti portano gli occhiali? Chi non è più giovanissimo ed in ottima forma fisica? Chi non si è mai trovato in un Paese dove non si utilizza l'alfabeto latino?

Sono tutte *disabilità*, spesso momentanee, ma pur sempre *disabilità*. *Disabilità* che possono limitarci, anche se per un breve periodo, sia alla visita dell'ipogeo sia del relativo museo. Una accorta progettazione, che tenga conto delle reali esigenze delle persone disabili (e non la mera applicazione di leggi e regolamenti), renderà il bene maggiormente fruibile anche a visitatori che non hanno coscienza della propria *disabilità*.

Rispondiamo alla prima domanda: quanti portano gli occhiali? Molti, pertanto se utilizziamo per i cartelli esplicativi caratteri di corpo adeguato ci rivolgiamo non solo alle persone dichiaratamente ipovedenti ma anche a tutti coloro che portano gli occhiali (per coloro che sono soggetti a presbiopia camminare con gli occhiali, soprattutto in presenza di rampe di scale, risulta pericoloso, mentre per leggere è indispensabile indossare gli occhiali quando il corpo dei caratteri di stampa è troppo piccolo; all'uscita di una grotta d'estate e all'ingresso d'inverno sulle lenti si forma condensa). Anche per le informazioni fondamentali quali vie di fuga, servizi, posti di ristoro, pronto soccorso, ecc., se utilizziamo dei pittogrammi di grandezza adeguata e chiari (tralasciando grafiche surrealistiche) forniremo un servizio utile a tutta la comunità compresi gli stranieri che, in particolare, non utilizzano l'alfabeto latino.

Realizzare delle App sonore che si possono scaricare, da internet o all'ingresso della grotta, con spiegazioni calibrate (evitando frasi del tipo: "come vedete alle mie spalle") risultano ottime per ciechi ed ipovedenti. Non è questa la sede per illustrare le applicazioni degli *smartphone* che abitualmente utilizzano i ciechi, basti sottolineare che con questi ausili un cieco può apprezzare sia la visita della cavità sia la visita del museo.

Le App risultano utilizzabili da chiunque possieda uno *smartphone*. Possono essere previste più lingue così da utilizzare le App in caso di gruppi plurilingue, non solo dai non vedenti ma anche dai vedenti.

Importante sussidio per i ciechi è la scrittura *braille* (sistema di scrittura e lettura a rilievo) che oggi, grazie alle nuove tecniche di stampa digitale, ha dei costi molto ridotti.

Proseguendo nell'analisi delle domande, può accadere che i non più giovanissimi abbiano dei problemi di udito, problematiche diversi dai sordi dalla nascita. I sordi dalla nascita non è detto siano in grado di leggere, pertanto con questi è necessario comunicare con il *linguaggio dei segni*. È impensabile avere una persona a disposizione che sappia esprimersi con il *linguaggio dei segni*. Con dei video, con le spiegazioni predisposte con il *linguaggio dei segni*, caricati su dei *tablet* da consegnare alle persone sorde si può attenuare il problema della comunicazione.

Per le persone che sono divenute sorde con l'età una cartellonistica chiara, semplificata, scritta con lettere di corpo adeguato rappresenta un ottimo supporto che sarà sicuramente utilizzato ed apprezzato da tutti i visitatori.

Spiegazione semplificata non è sinonimo di imprecisione, bensì di informazione sintetica pur mantenendo correttezza scientifica.

*Chi è riuscito a leggere tutte le dotte informazioni, scritte fitte fitte, che coprivano tutte le pareti libere delle mitiche mostre, degli anni Ottanta / Novanta, organizzate a Palazzo Grassi a Venezia?*

Cartellonistica *semplificata*, possibilmente almeno bilingue, garantisce *accessibilità di informazione* a tutti i visitatori, nel senso più ampio del termine.

Per molti musei "proibito non toccare" è diventato uno slogan che ha raccolto ampio consenso presso tutti i visitatori.

Analogamente ai musei potrebbero essere individuate, nelle grotte turistiche, delle zone in cui si possa toccare la roccia, sentirne la temperatura, verificare l'umidità, l'odore, i rumori: aspetti particolarmente importanti per le diverse disabilità, ma capaci di risvegliare sensi sopiti in tutti i visitatori.

Concludiamo analizzando un aspetto importante del viver civile, spesso non adeguatamente affrontato: i servizi igienici. I servizi igienici, a parte l'igiene (*condicio sine qua non*), progettati per disabili risultano ottimamente usufruibili per tutti, senza alcuna distinzione. Risulta comunque importante che non siano il risultato di una mera applicazione di leggi e regolamenti. Per ottenere un prodotto che concretamente soddisfi tutti gli utenti la progettazione deve essere supportata da uno studio approfondito delle problematiche reali.

### ***Alcune considerazioni personali maturate dall'esperienza***

Prevedere in grotta, come nelle sale museali, dei sedili, è un segnale di sensibilità verso gli ospiti, apprezzata da non giovani, da giovani, da donne incinte, e così via. Poter riposarsi, anche per pochi minuti, permette di migliorare la concentrazione e l'apprezzamento di ciò che viene illustrato e di ciò che si vede.

Un'ultima indicazione: evitate di montare i servo scala. Gli unici che ne traggono un vantaggio (economico) sono le ditte costruttrici. Non funzionano (quasi) mai, sono comunque mezzi complessi da utilizzare (quasi sempre è riportato: "rivolgersi all'addetto"), incomparabilmente meglio utilizzare piani inclinati adeguati o ascensori per superare differenze altimetriche.

Il presente capitolo sull'*accessibilità* non vuole, né può, essere esaustivo. Per l'*accessibilità* ai percorsi il tema viene trattato nel punto *Sicurezza percorsi turistici*.

Si auspica che ci sia una presa di coscienza per la delicata problematica legata all'*accessibilità*, ed ognuno, a seconda della propria competenza, approfondisca la tematica affrontandola con sensibilità. Solo così potremo contribuire alla realizzazione di un ***Mondo ipogeo per tutti***.

## **Sicurezza percorsi turistici**

Per un corretto utilizzo delle grotte turistiche due sono gli aspetti fondamentali da tener presenti:

- a. la sicurezza dei visitatori, ovvero analizzare tutti i possibili rischi che possono presentarsi lungo il percorso e prevedere delle adeguate protezioni;
- b. l'ergonomica, ovvero rendere il più agevole possibile i percorsi ed il superamento dei dislivelli, tenendo presente che i visitatori non sempre sono degli atleti forniti di abbigliamento adeguato (soprattutto le calzature).

I fruitori dei percorsi turistici sono visitatori che possono essere bambini, adulti non in forma fisica ottimale e, da non tralasciare, i diversamente abili anche con limitata possibilità motoria.

Ci sono inoltre gli utilizzatori, ovvero le guide, gli accompagnatori dei turisti, le maestranze che provvedono alla manutenzione e che devono poter svolgere le loro funzioni in assoluta sicurezza, tutelando la loro salute.

Pertanto tutti gli interventi devono essere realizzati tanto per la salvaguardia della sicurezza dei visitatori quanto per quella del personale.

*A quale normativa relativa alla sicurezza dei percorsi turistici devono fare riferimento gli ambienti ipogei? La domanda non è affatto banale.*

### **Opere edili**

Per quanto concerne le opere edili le medesime devono rispondere a requisiti ben codificati per l'edilizia e può variare in funzione di leggi e/o regolamenti regionali (es. normativa antisismica per eventuali manufatti).

Qualsiasi struttura portante, sia essa in legno, calcestruzzo o acciaio deve essere progettata e calcolata da tecnico abilitato e da altro tecnico, sempre abilitato, collaudata, secondo la normativa vigente (D.M. 14.01.2008 *Norme tecniche per le costruzioni*). Particolare attenzione va posta ad eventuali elementi strutturali quali le scale, spesso presenti *in loco*, ma delle quali non si conosce quasi nulla dal punto di vista edificatorio. In situazioni di dubbio è bene provvedere ad ispezioni e/o collaudi periodici delle strutture.

In particolare per quanto concerne le ringhiere e i parapetti di scale e piazzole la normativa prevede che gli elementi verticali (le aste di trattenuta non devono costituire pericolo di arrampicamento per i bambini, pertanto devono essere aste verticali e non orizzontali o con funi di acciaio) devono essere posti ad una distanza tale che non possano essere attraversati da una sfera di 10 centimetri di diametro, ovvero devono essere costruiti in modo da non costituire un *pericolo aggiuntivo* o un *vizio di progettazione*. La regola della sfera di 10 cm di diametro vale anche per lo spazio fra i gradini. I gradini devono avere forma rettangolare (no scale a chiocciola o gradini nei pianerottoli o gradini triangolari o trapezoidali). Nella parte interna della scala non devono essere presenti sporgenze situate ad un'altezza dal pavimento tale da favorire l'appoggio del piede e lo scavalco da parte dei bambini.

Se la scala è fra pareti deve essere presente il corrimano, comunque le scale devono essere sempre dotate di corrimano (su entrambi i lati nei luoghi pubblici o con scala larga), questi non devono risultare interrotti lungo le rampe. I parapetti e i corrimano devono proseguire di 30 cm all'inizio e a fine scala. I parapetti devono essere alti almeno 1 metro oppure 1,10 se il rischio caduta è superiore a tre metri e devono essere in grado di resistere ad una spinta orizzontale minima di 2.000 N/m (fino a 3.000N/m) applicata sul mancorrente come da D.M. 14.01.2008.

Se vengono utilizzate scale a chiocciola (sconsigliate) i gradini devono avere pedata minima di 10 cm e corrimano su entrambi i lati e larghezza minima 80 - 90 centimetri.

Per il superamento dei dislivelli è ottimale, quando possibile, la realizzazione di rampe per favorire la possibilità di visita ai diversamente abili.

Riferimenti normativi per pavimentazioni, servizi igienici, balconi e terrazze (parapetti), percorsi orizzontali, scale, rampe sono il D.M. 14 giugno 1989, n. 236 *Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche* e il D.P.R. 503/96 *Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici*.

## **Passamani e parapetti**

I passamani, necessari per agevolare il percorso, ed i parapetti, indispensabili per evitare le cadute dall'alto, oltre a rispettare la vigente normativa (proteggono dalle cadute dall'alto) devono essere realizzati in materiali non inquinanti quali il metallo zincato. E' opportuno che non siano eccessivamente invasivi come il metallo inox, sicuramente ottimo l'acciaio inox come materiale anche se, dal punto di vista estetico, per l'essere eccessivamente lucido spicca eccessivamente. Per minimizzare l'effetto lucido e riflettente si può effettuare sull'acciaio inox: il *decapaggio* o la *satina*.

## **Decapaggio**

*Il decapaggio deve essere conforme alle normative ASTM A380/06 e ASTM A 967/99 e trova applicazione su acciaio INOX tipo A304, A321 e A316. Viene effettuato normalmente per immersione in apposite vasche contenenti Decapante liquido DELMET ECOPLUS 2000 composto da acido solforico e acido fluoridrico. I manufatti da trattare vengono collocati in appositi telai e successivamente immersi. Quando i componenti risultano essere di grandi dimensioni si ricorre ad un'applicazione a spruzzo che prevede l'aspersione mediante pompe idonee di gel DECAPANTE DELMET GELINOX su tutta la superficie, se le esigenze lo richiedono può essere effettuato direttamente in loco. La seconda fase prevede un'abbondante lavaggio tramite getto di acqua fredda ad alta pressione per eliminare i residui di liquido da immersione ottenendo così un'azione meccanica di pulitura. In conclusione, se il manufatto non necessita di ulteriori lavorazioni, si procede con un'ulteriore lavaggio con acqua demineralizzata per eliminare eventuali residui calcarei. Per favorire le operazioni tecniche il componente non deve avere interstizi o parti cieche ma fori di ingresso e uscita.*

## **Satinatura**

*Per ottenere un effetto estetico particolarmente raffinato di un articolo in metallo, spesso le aziende richiedono che venga rifinito mediante satinatura. La satinatura è la lavorazione che consente di ottenere il tipico effetto opaco, È un trattamento finale, che avviene grazie all'utilizzo di specifiche spazzole rotanti che satinano e rifiniscono metalli quali l'acciaio inox, l'alluminio, l'ottone e il ferro. La satinatura è una particolare lavorazione che viene effettuata con l'utilizzo di dischi e nastri abrasivi, che conferisce al materiale un aspetto estetico liscio e raffinato. Anche la satinatura dell'acciaio viene fatta con macchinari e dischi particolari, che danno all'acciaio una finitura più o meno marcata, a seconda delle esigenze.*

**N.B.** Per ridurre la spesa iniziale è possibile utilizzare, per realizzare la recinzione, tubi in acciaio sabbato e temperato, la resistenza alla corrosione è inferiore all'acciaio inox.

## **Norme relative alle strutture metalliche**

A tutte le strutture metalliche deve essere applicata la "Norma armonizzata EN 1090-1 per i materiali e prodotti in carpenteria metallica ad uso strutturale ed interazione con la normativa tecnica per le costruzioni."

La marcatura CE è obbligatoria per la commercializzazione dei prodotti contemplati nella EN 1090-1, *Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali.*

La marcatura CE è l'unica modalità di qualificazione dei prodotti rientranti nel campo di applicazione della norma armonizzata, ai fini dell'impiego dei prodotti stessi nelle opere.

La marcatura CE costituisce, per i prodotti in serie ricadenti nel campo di applicazione delle norma europea armonizzata EN 1090-1, modalità di qualificazione del prodotto sufficiente anche ai sensi delle NTC08.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ricorda infine che, comunque sia qualificato il prodotto (quindi anche nel caso di componenti marcati CE) rimane l'obbligo del Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, di:

- verificare la conformità di quanto riportato nella documentazione di qualificazione o marcatura CE (Dichiarazione di Prestazione), con i requisiti richiesti dal decreto 14 gennaio 2008 edc (eventualmente, se superiori) dello specifico progetto;
- controllare che la documentazione di qualificazione o la marcatura CE facciano riferimento agli effettivi componenti pervenuti in cantiere, assicurandosi quindi, nei limiti delle proprie competenze, dell'effettiva rintracciabilità dei prodotti;
- effettuare le previste prove di accettazione.

Vedi la circolare di chiarimento sulla norma EN 1090-1 del CSLLPP.

## **Norma UNI EN 1090**

La Norma armonizzata EN 1090-1:2009/EC 1-2011

*“Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali”* descrive i requisiti e le modalità per l'apposizione della Marcatura CE, in accordo al Regolamento Europeo (UE) n. 305/2011. Tutti i produttori di strutture in acciaio e alluminio, che erano già tenuti obbligatoriamente al rispetto degli specifici requisiti previsti per il comparto degli acciai per carpenteria metallica (§11.3.4.10 del DM 14.01.2008), devono prevedere, per i propri prodotti e stabilimenti produttivi, anche l'implementazione della Marcatura CE secondo EN 1090-1. Tale applicazione è obbligatoria a partire dal 1 luglio 2014. Il produttore deve preliminarmente qualificare i propri prodotti attraverso prove o calcoli iniziali di tipo e certificare il proprio FPC (Factory Production Control) mediante l'intervento di un Organismo Notificato autorizzato.

Il marchio CE apposto, deve inoltre poi indicare la conformità all'uso previsto così come specificato nelle varie opzioni della norma stessa.

Secondo la norma EN 1090, le organizzazioni che realizzano strutture saldate, o parti di esse, in acciaio o in alluminio, devono eseguire tali attività in accordo alle parti rilevanti delle norme della serie UNI EN ISO 3834. La relazione tra le classi di esecuzione delle strutture e le norme UNI EN ISO 3834 applicabili è contenuta all'interno della norma EN 1090-1.

Inoltre, la UNI EN 1090 richiama a riferimento anche altri standard di qualifica dei procedimenti e degli operatori di saldatura quali ISO 14731, ISO 9606-1 e EN ISO 15614.

### **Requisiti della norma UNI EN 1090**

Per quanto riguarda i requisiti di costruzione richiesti, i riferimenti sono le norme EN 1090-2 per le strutture in acciaio e alla norma EN 1090-3 per quelle in alluminio. I requisiti per la valutazione di conformità per tutte le tipologie di strutture sono definiti secondo uno standard unico, che si tratti di una semplice tettoia di un grande edificio o di una trave di un ponte.

Il DNV GL, Organismo Notificato per il Regolamento Prodotti da Costruzione 305/2011, è autorizzato per la suddetta norma, ai fini del rilascio delle certificazioni necessarie ai costruttori per apporre la Marcatura CE e permettere la libera circolazione dei prodotti in tutta l'Unione Europea.

### **Percorsi pedonali**

I percorsi pedonali devono essere facilmente lavabili (per questo motivo è opportuno prevedere una linea idrica che copra tutto il percorso pedonale della grotta) e presentare caratteristiche anti scivolo. Generalmente sono costituiti o da grigliati metallici (molto rumorosi) o in pietra o in getto di *beton*.

I percorsi in pietra o *beton* vanno rifiniti superiormente con un trattamento anti scivolo di malta cementizia tissotropica di classe R2, fibro rinforzata a presa rapida e a ritiro compensato, per il ripristino e la rasatura del calcestruzzo, da applicare in uno spessore compreso tra 3 e 40 mm, in una sola mano (se si applica sulla pietra la stessa deve essere prima picchettata e trattata con un aggrappante specifico).

*Ripristino strutturale e rasatura rapida del calcestruzzo, mediante applicazione, su sottofondo fortemente irruvidito e saturato di acqua, di malta cementizia tissotropica monocomponente, a bassissima emissione di sostanze organichevolatili (EMICODE EC1 R Plus), costituita da leganti idraulici speciali ad elevata reattività, aggregati selezionati di granulometria fine, fibre sintetiche in poliacrilonitrile, polimeri sintetici e speciali additivi (tipo Planitop Rasa & Ripara R4 della MAPEI S.p.A.). Il prodotto deve rispondere ai requisiti minimi richiesti dalla EN 1504-3 per le malte strutturali di classe R4 e ai requisiti richiesti dalla EN 1504-2 rivestimento (C), secondo i principi MC e IR, per la protezione del calcestruzzo. L'applicazione dovrà avvenire a cazzuola o a spatola, in uno spessore compreso tra 3 e 40 mm, in una sola mano. Malta cementizia tissotropica di classe R2, fibrorinforzata a presa rapida e a ritiro compensato, per il ripristino e la rasatura del calcestruzzo conforme ai requisiti della norma EN 1504-3 classe R4 e della norma EN 1504-2 rivestimento (C) principi MC e IR.*

### **Dati tecnici**

Classe di appartenenza secondo EN 1504-3: R4

Tipologia: CC

Consistenza: polvere

Colore: grigio

Dimensione massima dell'aggregato (EN 1015-1) (mm): 0,4

Massa volumica apparente (kg/m<sup>3</sup>): 1.250

Residuo solido (%): 100

Contenuto ioni cloruro:

– requisito minimo  $\leq 0,05\%$  - secondo EN 1015-17 (%):  $\leq 0,05$

EMICODE: EC1 R Plus - a bassissima emissione.

Nel tracciamento dei percorsi pedonali e delle scale si deve tener presente che tanto gli accompagnatori quanto i visitatori possono incorrere in un incidente o in un malore e quindi potrebbe servire un trasporto con barella. E' buona norma contattare la squadra di Soccorso speleologico competente per quella grotta e verificare la possibilità di effettuare una estrazione dell'infortunato, anche con barella, nel modo più semplice e veloce possibile.

### **Impianto elettrico**

In riferimento alla normativa minima, per quanto riguarda la sicurezza degli impianti elettrici, si evidenzia l'obbligo dell'omologazione dell'impianto di messa a terra, come previsto dalla normativa vigente D.P.R. n. 462 del 22.10.2001, *Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi* (il datore di lavoro ha l'obbligo giuridico di sottoporre gli impianti, ogni due/cinque anni, alla verifica periodica di un Organismo abilitato o della ASL/ARPA; in caso di mancata verifica degli impianti, il datore di lavoro ne è responsabile).

### **Luogo di pubblico spettacolo ed intrattenimento**

Gli ipogei, aperti alla visita turistica, non sono propriamente dei luoghi privati ma sono assimilabili a *luogo di pubblico spettacolo e di intrattenimento*.

Sia per visite guidate che per le rappresentazioni artistiche, per la destinazione d'uso dei *locali*, trattasi di "... luogo di pubblico spettacolo e di intrattenimento come definito dalla norma tecnica CEI 64-8/7 paragrafo 752.2."

### **Caratteristiche generali dell'impianto elettrico**

In conseguenza a tale definizione normativa devono essere delineati i criteri per la progettazione degli impianti elettrici in oggetto.

L'origine dell'impianto utilizzatore va ubicato immediatamente a valle del punto di fornitura di energia elettrica dell'ente distributore (ENEL), normalmente ubicato all'interno di un box in calcestruzzo; entro il medesimo manufatto deve essere installato l'interruttore generale dell'utenza, accessoriato con bobina di sgancio d'emergenza, a tale dispositivo si attesta il montante principale costituito da cavi tipo FG7, fino al quadro elettrico generale dell'utenza ubicato entro opportuno locale tecnico. Tale quadro elettrico deve essere accessoriato con opportune protezioni destinate all'intero impianto dell'utenza, suddiviso normalmente in due principali *zone*, circuiti di pertinenza dell'area di accoglienza/amministrativa e circuiti di pertinenza dell'ipogeo; l'intero impianto dell'utenza deve essere protetto da un gruppo di continuità sempre *in linea*, posizionato accanto al quadro elettrico generale, quindi all'interno del medesimo vano tecnico.

Un'ulteriore protezione deve essere rappresentata da un gruppo elettrogeno con motore diesel, sito in un vano tecnico dedicato, per il funzionamento in emergenza a salvaguardia di disservizi e *black out* incontrollabili dell'intero impianto. L'impianto di messa a terra si attesta al collettore generale di terra ubicato all'interno del quadro generale dell'utenza e da questo ultimo vengono distribuiti i diversi conduttori di protezione ai diversi circuiti con sezione pari ai conduttori di fase.



Si deve quindi procedere alla:

- a. individuazione precisa e alla denominazione dei dispositivi relativi al circuito all'interno del *Quadro elettrico generale* per la corretta identificazione dei circuiti di pertinenza, a valle delle diverse apparecchiature;
- b. verifica delle caratteristiche meccaniche ed elettriche del cavo principale di alimentazione (montante), ovvero misura della tensione d'isolamento anche in riferimento alle muffole di giunzione dello stesso; il montante garantisce l'alimentazione ai sotto quadri;
- c. installazione di quadri elettrici, identificati come sotto quadri di zona, costituiti da contenitori stagni, aventi opportune caratteristiche adatte al luogo di posa, per l'alloggiamento dei dispositivi di protezione dei diversi circuiti a valle e delle morsettiere atte al collegamento della derivazione dal montante principale;
- d. installazione di corpi illuminanti di diversa tipologia, in particolare con ottiche differenziate a seconda dell'*oggetto* o *scenario* da illuminare, accessoriati con lampade di diversa potenza;
- e. installazione di corpi illuminanti su supporti adeguati per l'illuminazione d'emergenza e di sicurezza di tutti i percorsi e sentieri della grotta, accessibili al pubblico, con funzione in s.a. (sempre accesa) per garantire l'illuminamento minimo ad un metro da terra, pari a cinque lux\* sui gradini e tre lux in piano, tali lampade d'emergenza devono essere collegate a gruppo di continuità specifico e dedicato al solo circuito in oggetto, il quadro delle luci d'emergenza ed il relativo gruppo di continuità sono da ubicarsi all'interno dell'ipogeo.

*Comunque deve essere valutata, in ogni caso, la filosofia di funzionamento dell'impianto in un'ottica di risparmio energetico e resa illuminotecnica ottimale.*

\*L'illuminamento è definito matematicamente come rapporto tra il flusso incidente su una superficie e la superficie stessa misurata in metri quadrati ( $\text{lumen/m}^2 = \text{lux}$ ).

### **Sistema audio di amplificazione digitale certificato**

Il sistema di amplificazione sonora, conforme alle specifiche IEC 60849, è indispensabile per fornire ai visitatori le adeguate indicazioni in caso di guasti o incidenti. E' necessario sia suddiviso in due *rack* uno interno alla grotta con tutti gli amplificatori di potenza, mentre la centrale di controllo con relative sorgenti e microfono per annunci generali (pre registrati) posizionati fuori e connessi con un sistema in fibra ottica ad anello per garantire il regolare funzionamento dell'impianto anche alla presenza di un'interruzione sul cavo di sistema.

### **Sistema comunicazioni radio**

Per quanto concerne le comunicazioni tra interno dell'ipogeo e postazione fissa di ascolto, ubicata all'esterno dell'ipogeo, risulta ottimale una rete di trasmissione via radio, eventualmente assistita da ponti, in modo da poter comunicare da qualsiasi punto dell'ipogeo con l'operatore posto all'esterno e viceversa.

Il sistema deve essere programmato sia per le comunicazioni all'interno dell'ipogeo, sia per la gestione delle emergenze. Per le conversazioni standard gli operatori possono parlare tra portatile e portatile ed anche con la stazione base.

Gli apparati portatili devono inoltre essere dotati di funzione *Man down (uomo a terra)* con invio automatico di chiamata d'emergenza quando l'apparato ricetrasmittente viene tenuto in modo non verticale. In caso di emergenza, si attiva un ciclo di trasmissione fissa, per cui chiunque dei presenti può comunicare in viva voce con gli altri apparati e la stazione base per il tempo di quindici secondi, scaduto questo tempo la radio si resetta e la stazione base o gli altri portatili possono parlare con l'operatore che ha attivato l'emergenza stessa.

### **Prevenzione incendi**

Per quanto riguarda la prevenzione incendi si evidenzia che attualmente è in vigore il D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151 *Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'art. 49, co.4-quater, del D.L. 31.05.2010, n. 78, convertito, con modificazione dalla Legge 30.07.2010, n. 122* (per quanto riguarda ad esempio i gruppi elettrogeni).

Per quanto riguarda i pubblici spettacoli da allestire negli ipogei deve essere inoltrata domanda al Comando provinciale dei Vigili del fuoco che la inoltra alla Direzione regionale dei Vigili del fuoco, come previsto dal D.M. 19 agosto 1996 *Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo.*

### ***Interventi rivolti al personale***

In tema di sicurezza per il personale (guide ed amministrativi) si rammenta che è obbligo del datore di lavoro (che può coincidere con il legale rappresentante della società) nominare il *Responsabile Sicurezza Prevenzione Protezione (R.S.P.P.)* ed il *medico competente* per la "sorveglianza sanitaria" di tutto il personale per quanto concerne patologie riferibili all'attività in oggetto (dall'esposizione ai video terminali per il personale amministrativo, all'esposizione al radon, per le guide e gli accompagnatori).

La vigente normativa, il Dlgs. 9 aprile 2008, n.81 *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*, cui è seguito il Dlgs. 3 agosto 2009, n.106 *Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008, n.81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e s.m.i.*, prevede inoltre obbligatoriamente la redazione del *Documento di Valutazione dei Rischi (D.V.R.)*.

Ai sensi del Dlgs. 241/2000 *Adempimenti per l'esposizione al radon nei luoghi di lavoro*, devono essere monitorati i *Becquerel* su metro cubo (Bq/mc) da Agenzie o Enti certificatori accreditati (da parte di organismo riconosciuto) ed i dati trasmessi agli organi di controllo (*Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente*).

## ***Buone pratiche***

Per un turismo sostenibile delle grotte turistiche, o parti di grotta senza obiettivo di ricerca scientifica o studio è da tenere in considerazione:

- numero dei partecipanti, frequenza e tempistica per una miglior tutela della grotta;
- scelta responsabile del percorso ed astensione dalle aree più sensibili sia all'interno che all'esterno della grotta;
- limitazione delle competizioni e dell'utilizzo della grotta come spazio per attività sportive;
- evitare gli accampamenti nelle grotte per fini turistici;
- rispettare gli obiettivi statuari e l'etica delle Associazioni speleologiche;
- mantenere i contatti con le Associazioni speleologiche locali;
- informare i partecipanti riguardo l'organizzazione e l'associazionismo degli speleologi;
- preparare e sensibilizzare i partecipanti in merito agli aspetti carsici e speleologici;
- far rispettare le disposizioni legali ed ufficiali; - fornire un' *Accompagnatore di grotte turistiche* qualificata;
- orientare la pubblicità verso una esperienza nella natura e non di avventura;
- rinunciare alla pubblicità aggressiva; - non usare il trekking ipogeo per interessi commerciali come pubblicità di prodotti e vendita di prodotti;
- spiegare ai partecipanti i pericoli;



