

## **Dagli ATTI del 27° CORSO di III LIVELLI SSI di BIOSPELEOLOGIA**

**A cura di F.Serena (GSAL) livorno 2003**

### **ASPETTI FISICI E CHIMICI DELL'AMBIENTE DI GROTTA**

**di Giampaolo Bianucci**

Gruppo Speleologico Archeologico Livornese  
bianucci@aamps.livorno.it

#### **L'AMBIENTE AEREO**

- Luce
- Temperatura
- Umidità
- Circolazione dell'aria
- Composizione chimica dell'aria

#### **LUCE**

##### **Caratteristiche**

La condizione tipica del mondo sotterraneo è la mancanza assoluta di luce.

Questa condizione interessa quindi l'ambiente fisico in cui più propriamente si rinvengono gli animali tipicamente cavernicoli caratterizzati cioè da particolari adattamenti fisiologici.

L'influenza del fattore luce si apprezza pertanto soprattutto nelle parti iniziali delle cavità naturali ed interessa principalmente il mondo vegetale.

In questi ambienti si assiste alla graduale riduzione della intensità luminosa fino alla totale assenza nel progredire dall'esterno all'interno della cavità.

L'intensità, il tempo di illuminazione, la gradualità con cui la intensità luminosa si affievolisce, dipendono dalla morfologia della grotta, dalla ampiezza e profondità, dalla posizione geografica.

##### **La zonizzazione vegetale degli ingressi**

L'attività vitale della stragrande maggioranza degli organismi vegetali (piante verdi o autotrofe) è strettamente legata alla luce. I vegetali autotrofi svolgono la loro funzione nutritiva fissando il Carbonio atmosferico grazie alla luce e alla clorofilla contenuta nei cloroplasti. I vegetali eterotrofi (batteri e funghi) invece utilizzano il carbonio organico disponibile nel substrato e quindi la loro attività vitale si svolge anche in assenza di luce. Ne deriva che le piante verdi non possono vivere nelle grotte in condizioni di completa oscurità. Le piante superiori (Fanerogame) riescono a vivere in ambiente di grotta in cui l'intensità luminosa sia ridotta fino ad 1/500 di quella esterna; le felci fino a 1/700; i muschi penetrano più internamente e le alghe fino a dove l'intensità luminosa si è ridotta ad 1/2000. i funghi vivono invece anche nella oscurità totale.

## GI STIMOLI LUMINOSI ED IL MONDO ANIMALE

L'oscurità delle grotte sottrae gli animali cavernicoli alle reazioni dalla luce che tipicamente si manifestano con un *fototropismo negativo*. E' infatti noto che le specie cavernicole hanno una spiccata avversione per la luce, non sopportando intense radiazioni luminose.

Alcune specie cavernicole prive di pigmentazione come Planarie, Collemboli, Acari, soccombono dopo pochi giorni di vita in ambiente luminoso.

Alcune specie invece si dimostrano indifferenti alla stimolazione luminosa come alcuni Crostacei, Pesci ed Insetti.

## LA MISURA DELL'INTENSITA' LUMINOSA

Lo strumento normalmente utilizzato è il fotometro a cellula di selenio, elemento la cui resistenza elettrica diminuisce con l'aumento della intensità della luce; si tratta cioè di strumenti analoghi ai comuni esposimetri usati in campo fotografico.

Alcuni strumenti (luxmetri) calcolano l'illuminamento la cui unità di misura è il LUX.

Uno studio attento di un ingresso di grotta dovrebbe prevedere misure che possano descrivere l'andamento dell'illuminamento nell'arco della giornata e, in relazione alla posizione geografica, nell'arco dell'anno.

## GRANDEZZE RELATIVE ALLE MISURAZIONI DELLA LUCE

GRANDEZZA	UNITA' DI MISURA		DEFINIZIONE
intensità luminosa	candela	cd	intensità luminosa di una superficie con area di $1/600000$ m <sup>2</sup> del corpo nero alla temperatura di solidificazione del Platino, emessa nella direzione perpendicolare alla superficie stessa, alla pressione di 101323 Pa
flusso luminoso	lumen	lm	flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme di intensità luminosa di 1 cd nell'angolo solido di 1 sr (*) avente il vertice nella sorgente stessa $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \times \text{sr}$
illuminamento	lux	lx	illuminamento di una superficie sulla quale il flusso luminoso di 1 lm, incidente perpendicolarmente, si ripartisce in modo uniforme sull'area di 1 m <sup>2</sup> $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$

(\*) angolo solido sr: angolo solido al centro che su una sfera intercetta una calotta di area uguale a quella del quadrato avente lato uguale alla lunghezza del raggio

## TEMPERATURA

### LA DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA

La distribuzione della temperatura dell'aria nelle cavità naturali è in rapporto con la posizione geografica (latitudine ed altitudine) e con la loro morfologia:

- **grotte verticali:** nelle cavità ad andamento prevalentemente verticale, nelle voragini e nei pozzi carsici, si ha la cosiddetta stratificazione anatermica per la quale la temperatura diminuisce dall'alto verso il basso.

Sul fondo, dove si registrano i valori più bassi si possono avere valori anche al di sotto dello zero tali da consentire l'accumularsi del ghiaccio.

- **grotte orizzontali:** influenzate soprattutto dalle condizioni climatiche esterne e quindi dalla posizione geografica e dall'orientamento dell'ingresso.
- **grotte di grande estensione:** l'andamento della temperatura dipende strettamente dalla circolazione dell'aria ed in relazione a queste può cambiare da zona a zona; nei tratti più interni e meno interessati dalla circolazione dell'aria la temperatura risulta abbastanza costante con valori che si attestano intorno alla media termica annua dell'aria esterna.

### La temperatura e l'inversione della flora

In alcune grotte con ingresso ad imbuto, si assiste ad una progressiva diminuzione della temperatura procedendo verso il fondo accompagnata ovviamente da una progressiva riproduzione della illuminazione. Si assiste in questi casi al fenomeno della inversione della flora, nel senso che le pareti molto inclinate di queste cavità, sono paragonabili ai versanti di una montagna la cui sommità corrisponde al fondo della voragine. Si osserva così da prima la scomparsa delle piante con fiore, poi alla scomparsa degli abeti a sviluppo normale che sopravvivono solo con forme ridotte per poi lasciare completamente il campo a piante arbustive come i rododendri ed alle felci; infine rimangono associazioni con muschi e gli arbusti si riducono ad esili fustoncini.

### GLI STIMOLI TERMICI ED IL MONDO ANIMALE

Le parti interne delle cavità naturali aventi una certa estensione non presentano come visto particolari variazioni di temperatura mentre gli ingressi risentono delle variazioni stagionali legate a due essenziali fattori climatici: la latitudine e altitudine.

Nelle grotte che si aprono a quote elevate la temperatura scende a valori al di sotto dei 5°C e talvolta si raggiungono valori di 0°C.

In queste grotte molto fredde vivono rare specie che possiamo chiamare microterme, ridotte a pochi Coleotteri. Nelle grotte a basse e medie altitudini le temperature interne sono ben più elevate: a Castellana ad es. si hanno temperature intorno ai 15°C. nelle grotte di paesi equatoriali si raggiungono temperature medie di 28°C.

Macroterme possono essere considerate le specie viventi in ambienti sotterranei a temperatura molto elevata, come alcuni crostacei di acque termali con temperature intorno ai 50°C.

Non è stata provata l'assoluta stenotermia della fauna cavernicola che normalmente colonizza zone a bassa escursione termica.

Alcune specie sopportano comunque escursioni termiche di una certa entità mentre è stato osservato che le specie cavernicole evitano le zone interessate da correnti d'aria.

### **LA MISURA DELLA TEMPERATURA**

I termometri a mercurio sono ormai stati soppiantati dagli strumenti elettronici dotati di elemento termosensibile. Ne esistono di vari tipi con varie sensibilità in ragione del campo di misura.

Per l'impiego in grotta occorrono strumenti con sensibilità almeno al decimo di grado e con campo di misura da -10°C a +50°C.

Lo strumento deve poter con facilità essere fissato ad uno stativo o cavalletto per letture a distanza o, in alternativa, la termocoppia deve poter disporre di un cavo sufficientemente lungo in modo che l'operatore non influenzi la lettura (2-3 mt).

Questa dovrà ovviamente essere posizionata lontano da fonti di calore e l'operatore dovrà trovarsi sottovento. La lettura deve effettuarsi solo quando lo strumento si è stabilizzato (letture ripetitive consecutive). In caso di postazioni soggette a correnti d'aria il valore da registrare sarà la media di un certo numero di letture prendendo però nota del campo di oscillazione.

La scelta delle postazioni di lettura dipende ovviamente dagli obiettivi della ricerca ma in genere è opportuno effettuare misure a varie altezze e se possibile ricorrere a registrazioni su tempi lunghi e stagionalmente.

### **UMIDITA'**

#### **L'UMIDITA' ASSOLUTA E RELATIVA**

L'umidità atmosferica è costituita dal vapore acqueo presente nell'aria e deriva dalle evaporazioni delle raccolte d'acqua e dalle superfici (suoli, pareti, volte).

L'acqua allo stato di vapore esercita una pressione e pertanto l'umidità assoluta cioè il contenuto reale di acqua di un certo volume d'aria, può essere espressa sia come peso di acqua per unità di volume (gr/m<sup>3</sup>) sia in unità di pressione (mmHg o millibar).

In quest'ultimo caso parleremo di tensione di vapore e più precisamente di tensione effettiva (f) cioè quella pressione esercitata dal vapore effettivamente presente a quella temperatura e tensione massima (F) quella derivante dal vapore saturo.

L'umidità relativa è data allora dal rapporto, di solito espresso in %, tra la tensione o umidità assoluta e la tensione massima o umidità massima a quella determinata temperatura:

$$U_r = f/F \times 100$$

e cioè il rapporto tra la massa di acqua effettivamente presente e quella massima raggiungibile a quella temperatura.

### **IL PUNTO DI RUGIADA E LA DISTRIBUZIONE DELL'UMIDITA'**

Il punto di rugiada indica la temperatura alla quale l'umidità assoluta diviene umidità massima.

Ogni ulteriore abbassamento della temperatura determina la condensazione del vapore e la precipitazione dell'acqua.

Questa acqua, inizialmente priva di sali, è particolarmente aggressiva per le superfici calcaree.

Dato che le atmosfere interne delle grotte risultano prossime alla saturazione, si verifica con facilità il fenomeno della condensazione.

Soltanto in prossimità degli ingressi o in corrispondenza di zone ad elevata circolazione d'aria proveniente dall'esterno, si possono registrare valori di umidità progressivamente decrescenti.

Nelle atmosfere ipogee, a causa della mancanza di nuclei di condensazione aereodispersi (particolato sospeso ecc.), il vapore, anche in condizioni di sovrasaturazione, rimane allo stato gassoso e non si condensa in goccioline producendo nebbie.

Ovviamente è sufficiente la presenza di persone per innescare questo effetto.

### **GLI STIMOLI IGROMETRICI ED IL MONDO ANIMALE**

L'umidità dell'aria è un importante fattore per il popolamento cavernicolo.

Tutti gli organismi cavernicoli sono infatti igrofilo ed alcune specie possono vivere solo in atmosfera satura di vapore e non sopportano il disseccamento.

Altre presentano speciali strutture anatomiche in relazione al bisogno di umidità del loro organismo come l'assottigliamento dei tegumenti; per tale condizione anatomica alcune specie cavernicole non possono vivere fuori dall'ambiente ipogeo.

L'alta umidità dell'ambiente di grotta consente la vita fuori dell'acqua a specie acquatiche ed analogamente specie che vivono in ambienti saturi di umidità possono sopravvivere a lungo in ambiente acquatico (un esempio nei due casi è offerto da Crostacei Isopodi).

#### **La distribuzione dell'umidità**

La misura dell'umidità si effettua impiegando lo Psicrometro, costituito da due termometri di precisione di cui uno con bulbo fasciato con tessuto di cotone imbevuto di acqua (bulbo bagnato). Il tipo più semplice di psicrometro è quello a fionda in cui il movimento rotatorio garantisce il flusso di aria sui bulbi dei due termometri; misure più accurate si ottengono con il modello di Assmann che è dotato di una ventola azionata da motore elettrico o a molla, che garantisce il necessario flusso d'aria ambiente sui due bulbi. Esistono comunque oggi in commercio strumenti elettronici portatili di elevata precisione.

### **LA CIRCOLAZIONE DELL'ARIA**

### Cause dinamiche del moto dell'aria

Tra le cause dinamiche dei movimenti delle masse d'aria negli ambienti sotterranei vi sono i fluidi che, a loro volta in movimento, determinano appunto richiami e spostamenti d'aria.

I torrenti sotterranei con portate impetuose, le cascate ecc. determinano richiami di volumi d'aria e quindi correnti aeree.

Correnti d'aria determinate da cause statiche possono a loro volta determinare richiami d'aria e quindi correnti in gallerie adiacenti a quelle del flusso principale.

### Cause statiche del moto dell'aria

La diversa densità tra aria esterna alla grotta e quella interna, dipendenti da vari fattori come temperatura, pressione, composizione e umidità, sono la causa della movimentazione di masse d'aria per la tendenza dei volumi di aria a maggiore densità a spostarsi verso il basso ed al contrario per il fluire verso l'alto dei volumi a minor densità.

La temperatura è ovviamente il fattore più frequentemente chiamato in causa ed è noto che le masse d'aria fredda hanno una maggiore densità di quelle calde. Meno noto è invece che l'aria umida ha una densità minore dell'aria secca come ben comprensibile dalla formula:

### DENSITA' DELL'ARIA

$$k = 0,3484 \frac{p - U_r p_w}{T + t} + U_r k_w$$

k = densità dell'aria in Kg/m<sup>3</sup>

p = pressione atmosferica in mbar corretta a 0°C

U<sub>r</sub> = umidità relativa dell'aria (aria secca U<sub>r</sub> = 0, aria satura U<sub>r</sub> = 1)

p<sub>w</sub> = pressione parziale del vapore d'acqua in mbar corretta a 0°C

k<sub>w</sub> = densità del vapore d'acqua in Kg/m<sup>3</sup>

T = temperatura assoluta (273°C)

t = temperatura dell'aria in °C

C	p <sub>w</sub> (mbar) a 0°C	k <sub>w</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
-10	2,56	0,00217
-9	2,84	0,00236
-8	3,09	0,00256
-7	3,37	0,00278

-6	3,68	0,00301
-5	4,01	0,00327
-4	4,37	0,00354
-3	4,76	0,00384
-2	5,17	0,00415
-1	5,63	0,00448
0	6,11	0,00484

1	6,57	0,00520
2	7,05	0,00557
3	7,59	0,00596
4	8,13	0,00637
5	8,72	0,00681
6	9,35	0,00726
7	10,0	0,00776
8	10,7	0,00828
9	11,5	0,00883

C	P <sub>w</sub> (mbar) a 0°C	k <sub>w</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
10	12,3	0,00941
11	13,1	0,0100
12	14,0	0,0107
13	14,9	0,0114

14	16,0	0,0121
15	16,4	0,0128
16	18,1	0,0137
17	19,3	0,0145
18	20,7	0,0154
19	22,0	0,0163
20	23,3	0,0173
21	24,8	0,0183
22	26,4	0,0194
23	28,1	0,0206
24	29,9	0,0218
25	31,7	0,0231
26	33,7	0,0245
27	35,7	0,0258
28	37,9	0,0273
29	40,1	0,0288

### **Circolazione a sacco d'aria**

Tipica delle cavità orizzontali ad unico ingresso in cui in estate si osserva la penetrazione di aria calda che lambisce il soffitto e che poi, raffreddandosi, scende al suolo ed esce lambendo il pavimento. D'inverno invece, avendo all'interno della grotta una temperatura maggiore di quella esterna, si ha un flusso di aria inverso con l'aria calda che esce lambendo il soffitto. Nelle cavità verticali ad unico ingresso si assiste al fenomeno dell'intrappolamento dell'aria fredda invernale che vi persiste molto a lungo. In estate si interrompe ogni circolazione di aria e si ha una stratificazione di aria fredda al fondo ed aria calda in superficie.

### **Circolazione a tubo di vento**

Nelle cavità con due o più aperture, si ha una circolazione a Tubo di vento che vede l'inverno lo spostamento delle masse di aria interne più calde verso l'apertura posta a quota più elevata (bocca calda). Questo determina il richiamo dell'aria dall'esterno che fluisce tramite l'apertura a quota più bassa (bocca fredda). Nella stagione estiva si ha l'inversione del flusso con l'uscita dell'aria interna più fredda dall'apertura a quota inferiore (che rimane la bocca fredda) e l'ingresso di aria calda esterna dall'apertura a quota più elevata (ancora bocca calda).

### **LA MISURA DELLA VELOCITA' DELL'ARIA**

La velocità dell'aria, salvo il caso di condotte di ridotte dimensioni e nelle strettoie od in prossimità di grandi masse in movimento, è generalmente piuttosto bassa ed occorrono pertanto strumenti molto sensibili.

L'**anemometro a filo caldo**: è quello che meglio si addice a queste situazioni ed è formato essenzialmente da un filamento sottilissimo di platino riscaldato da una corrente continua a tensione costante.

Il vento che investe il filamento lo raffredda, diminuendo la sua resistenza elettrica ed aumentando l'intensità della corrente che lo attraversa.

Dall'intensità della corrente misurata con un amperometro si risale alla velocità dell'aria.

### COMPOSIZIONE DELL'ARIA

#### COMPOSIZIONE MEDIA DELL'ARIA ATMOSFERICA

Gas	peso molecolare	% in volume
Azoto	28,014	78,110
Ossigeno	32,000	20,953
Argon	39,948	0,934
Neon	20,183	$18,18 \times 10^{-4}$
Elio	4,003	$5,24 \times 10^{-4}$
Kripton	83,800	$1,14 \times 10^{-4}$
Xenon	131,300	$0,087 \times 10^{-4}$
Idrogeno	2,016	$0,5 \times 10^{-4}$
Anidride carbonica	44,011	0,032

#### ALTRI GAS RISCONTRABILI IN ATMOSFERE DI GROTTA

- Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)
- Idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Monossido di Carbonio (CO)
- Ammoniaca (NH<sub>3</sub>)
- Acetilene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)

#### FONTI DI EMISSIONE

- Contesti geologici favorevoli
- Attività biologiche
- Attività umane

**Idrogeno solforato** - Acido solfidrico, Hydrogen sulfide, Hydrogene sulfure', Schwefelwasserstoff

Gas di odore sgradevole tipico. Si trova in natura nelle emanazioni vulcaniche, nelle acque sulfuree ed in alcuni gas naturali, Si forma per putrefazione di sostanze organiche solforate, come l'albumina dell'uovo, per cui il suo odore viene definito come odore di uovo marcio.

Nelle operazioni industriali si forma nella distillazione del carbon fossile e nella raffinazione del petrolio.

Si genera anche per idrolisi di soluzione acquose di solfuri.

#### Principali caratteristiche

Formula		H <sub>2</sub> S
Peso molecolare		34,08
Densità (aria = 1)		1,19
Punto di fusione	°C	-83
Punto di ebollizione	°C	-61
Infiammabilità in aria (limite inf.)	%(v/v)	4,4
Infiammabilità in aria (limite sup.)	%(v/v)	46
Temperatura d'accensione	°C	260
Solubilità in acqua (a 10°C)	g/l	187
Solubilità in acqua (a 20°C)	g/l	242
Solubilità in acqua (a 30 0C )	g/l	314
Soglia olfattiva in aria	ppm	0,00047
Soglia olfattiva in aria	mg/m <sup>3</sup>	0,00066

#### Altre caratteristiche:

L'idrogeno solforato brucia in aria con pallida fiamma blu.

La soluzione acquosa reagisce acida (la soluzione satura preparata di fresco ha pH 4,5) ed è instabile; l'assorbimento di ossigeno causa la formazione di zolfo elementare e la soluzione diviene torbida rapidamente.

#### Tossicità in animali:

LC50 in gatto (inalazione) ppm 673

LC50 in topo (inalazione) ppm 713

#### Tossicità nell'uomo

Effetto osservato	concentrazione (ppm)	ambientale
Irritazione agli occhi	10	

Irritazione alle vie aeree	20
Comparsa modesti sintomi dopo esposizione prolungata	70-150
Massima concentrazione senza che insorgano gravi sintomi dopo un'ora di esposizione	170-300
Edema polmonare o broncopolmonite dopo esposizione prolungata	250-600
Comparsa gravi sintomi dopo esposizione da 0,5 ad 1 ora	400-700
Improvvisa perdita di coscienza e corna	700-900
Immediata perdita di coscienza, apnea e morte in pochi minuti	1.000-2000

**A basse concentrazioni l'idrogeno solforato ha il caratteristico odore di uova marce e produce progressivamente irritazione agli occhi, alle prime vie aeree ed edema polmonare.**

**A concentrazioni maggiori, vicine ai limiti letali (>700 ppm) da origine ad un odore quasi piacevole e quindi si ha ASSENZA Di "AVVERTIMENTO ODOROSO".**

**Anidride carbonica-** Acido carbonico, Biossido di carbonio, Carbon dioxide, Anhydride carbonique, Acide carbonique, Kohlensaure.

Gas incolore ed inodoro, che si trova allo stato libero ed in piccola quantità nell'aria atmosferica (circa 30 litri per 100 m<sup>3</sup> d'aria) e in quantità ragguardevole nelle emissioni gassose dei vulcani, nei soffioni, in alcune grotte. L'acido carbonico si trova sciolto nelle acque naturali alcune delle quali ne contengono quantità considerevoli. Si forma nelle fermentazioni organiche. Si può ottenere per completa combustione di combustibili a base di carbonio, per decomposizione termica dei carbonati.

Principali caratteristiche

Formula		CO <sub>2</sub>
Peso molecolare		44
Densità (aria = 1)		1,529
Solubilità in acqua (a 14°C)	l/l	1

### Altre caratteristiche:

L'anidride carbonica non mantiene la combustione, così che un corpo acceso immerso in atmosfera di CO<sub>2</sub> si spegne.

### Tossicità

L'inalazione di anidride carbonica ad una concentrazione del 5% per mezz'ora provoca dispnea, vomito, vertigini. Una concentrazione del 10% produce questi sintomi dopo pochi minuti.

L'inalazione continuata dopo i primi sintomi provoca convulsioni, corna, sudori, difficoltà respiratorie e può essere letale.

### **Metano** - Methane, Me'thane, Methan.

Gas molto diffuso in natura costituendo il componente principale dei gas naturali combustibili. Talvolta si trova quasi puro ma più spesso mescolato con altri gas (idrocarburi leggeri, idrogeno solforato, anidride carbonica, ecc.) derivando dalla fermentazione di materiali torbosi ricchi in cellulosa. Ben nota è la formazione di metano dalla decomposizione biologica della materia organica. Mescolato ad aria ed anidride carbonica costituisce il gas esplosivo delle miniere (grisou). Industrialmente ha origine dalla pirolisi del carbon fossile, dalla distillazione del petrolio.

### Principali caratteristiche

Formula		CH <sub>4</sub>
Peso molecolare		16,04
Densità (aria = 1)		0,5544
Punto di ebollizione (760 mm)	°C	-161,49
Esplosività in aria (limite inf.)	% (v/v)	5
Esplosività in aria (limite sup.)	% (v/v)	15
Solubilità in acqua	l/l	Insolubile

Il metano brucia con fiamma poco luminosa.

Tossicità per l'uomo: non ha azione tossica e la sua pericolosità è legata alla possibilità di dare miscele esplosive e come gas asfissiante (impoverimento della concentrazione di ossigeno nella atmosfera respirabile).

### **Ammoniaca** - Ammonia, Ammoniacque, Ammoniak.

Gassosa a temperatura e pressione ordinarie, si trova, allo stato di sali (cloruro, solfato, bicarbonato), nelle emanazioni vulcaniche, nei soffioni boraciferi, nel guano.

L'ammoniaca formasi poi nella decomposizione di sostanze organiche azotate varie. Industrialmente si forma nella distillazione del carbon fossile quale sottoprodotto. La sua produzione industriale avviene per sintesi.

I sali di ammonio liberano ammoniaca per azione della calce. Ha odore pungente caratteristico.

#### Principali caratteristiche

Formula		NH <sub>3</sub>
Peso molecolare		17,03
Densità (aria = 1)		0,5967
Punto di fusione	°C	-77,7
Punto di ebollizione	°C	-33,35
Temperatura di infiammabilità (per conc. v/v da 9% a 57%)	°C	917-1000
Solubilità in acqua (a 0°C)	l/l	1,146
Solubilità in acqua (a 15°C)	l/l	750
Solubilità in acqua (a 20°C)	l/l	670
Soluzione acquosa satura (a 10°C)	% peso	40
Soluzione acquosa satura (a 30°C)	% peso	28,5
Soluzione acquosa satura (a 50°C)	% peso	18,5
Soglia olfattiva in aria	ppm	46,8
Soglia olfattiva in aria	mg/m <sup>3</sup>	33

#### Altre caratteristiche:

L'ammoniaca forma con l'aria miscele esplosive (a temperatura ambiente e pressione ordinaria) quando la sua concentrazione e' compresa fra il 15,5 ed il 28% in volume. Nelle soluzioni acquose si trova sotto forma di idrossido d'ammonio (NH<sub>4</sub>OH) il quale, dissociandosi in ioni NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ed OH<sup>-</sup>, impartisce alla soluzione la sua forte reazione alcalina; la soluzione normale a 18°C ha pH 11,8.

#### Tossicità per l'uomo:

La respirazione di vapori di ammoniaca provoca forte irritazione delle vie respiratorie ed in concentrazioni maggiori, morte per asfissia. La concentrazione mortale di ammoniaca nell'aria, per una permanenza di circa mezzora, è di 1,5-2,7 g/m<sup>3</sup>.

**Acetilene** - Etino, Acetylene, Acetylen.

Gas di odore leggermente etereo se puro, ma generalmente, specie quello proveniente da carburo di calcio e impuro per prodotti solforati e fosforati ed ha odore agliaceo.

Brucia con fiamma luminosa, brillante, intensa, ma alquanto fuliginosa.

Principali caratteristiche

Formula		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Peso molecolare		26,04
Densità (aria = 1)		0,9057
Solubilità in acqua (a 15,5°C)	l/l	1,1

#### Tossicità

L'acetilene è tossico per inalazione se impuro per la presenza di composti solforati e fosforati.

Allo stato puro non è tossico ma ha azione narcotica.

#### **VALUTAZIONE DEL GRADO DI PERICOLOSITA' IN PRESENZA DI GAS**

Per la valutazione del grado di pericolosità ci si avvale dei valori limite di esposizione utilizzati in igiene industriale e precisamente:

- TLV-TWA (Time Weighted Average)** valore limite definito come: concentrazione media ponderata nel tempo per una giornata lavorativa di 8 ore e per 40 ore lavorative settimanali a cui tutti i lavoratori possono essere esposti ripetutamente, giorno dopo giorno, senza effetti negativi.
- TLV-STEL (Short Term Exposure Limit)** valore limite definito come: concentrazione a cui i lavoratori possono essere esposti continuativamente per breve periodo di tempo (15 minuti) senza che insorgano irritazione, alterazione cronica o irreversibile del tessuto, narcosi di grado sufficiente ad accrescere la probabilità di infortuni, di menomare le capacità di mettersi in salvo o di ridurre materialmente l'efficacia lavorativa, purchè non venga superato il TLV-TWA giornaliero.
- TLV-C (Ceiling)** valore limite definito come : concentrazione che non deve essere superata neppure istantaneamente. Questa TLV ha importanza da sola esclusivamente per le sostanze come i gas irritanti.

#### **VALORI LIMITE DI SOGLIA PER I PRINCIPALI AGENTI DI INTERESSE SPELEOLOGICO**

		TWA ppm	TWA mg/	STEL ppm	STEL mg/m <sup>3</sup>
Acido solfidrico	H <sub>2</sub> S	10	14	15	21
Ammoniaca	NH <sub>3</sub>	25	18	35	27

Anidride carbonica	CO <sub>2</sub>	5.000	9.000	15.000	27.000
Anidride solforosa	SO <sub>2</sub>	2	5	5	10
Biossido di azoto	NO <sub>2</sub>	3	6	5	10
Ossido di carbonio	CO	50	55	400	440

Gli ambienti aerei devono presentare sempre una concentrazione di ossigeno superiore al 16,5%.

$$\frac{C_{CO}}{TLV_{CO}} + \frac{C_{CO_2}}{TLV_{CO_2}} + \frac{C_{H_2S}}{TLV_{H_2S}} > 1$$

e supposto che:

$$CO = 30 \text{ ppm (TLV 50 ppm)}$$

$$CO_2 = 1.000 \text{ ppm (TLV 5.000 ppm)}$$

$$H_2S = 3 \text{ ppm (TLV 10 ppm)}$$

è:

$$\frac{30}{50} + \frac{1000}{5000} + \frac{3}{10} = 1,1 \text{ ambiente a rischio per la salute}$$

## IL CAMPIONAMENTO E L'ANALISI DEI GAS

- Il prelievo mediante aspirazione in flaconi, sacche o siringhe di volumi d'aria consente il ricorso ad analisi strumentali di elevata precisione da eseguirsi in laboratori specializzati.
- La tecnica analitica più indicata è la gascromatografia con l'impiego di colonne impaccate o capillari e rilevatore a termoconducibilità.

## L'ANALISI DEI GAS IN CAMPO

Molti sono i motivi che richiedono l'effettuazione di analisi direttamente nell'ambiente di grotta e tra queste certamente da non trascurare quello della sicurezza nella esplorazione sotterranea.

Le tecniche attualmente disponibili per semplicità economicità ed anche precisione, favoriscono la possibilità di acquisizione diretta di dati che soddisfino a pieno i vari indirizzi della ricerca speleologica.

Queste tecniche trovano quindi applicazione nella esplorazione speleosubacquea, nella ricerca microclimatica, in quella biospeleologica e rappresentano praticamente l'unica possibilità per l'acquisizione di dati sulla composizione delle atmosfere sotterranee nelle spedizioni all'estero dove è impensabile il ricorso ai campionamento e successiva analisi in laboratorio.

## IL SUOLO

- Le rocce in posto
- I depositi

- I concrezionamenti
- Parametri chimico-fisici
- Il campionamento
- Tecniche di analisi

## LA CARATTERIZZAZIONE CHIMICO FISICA DEL SUOLO

### PARAMETRI PRINCIPALI

Parametro	Unità di misura	Metodo analitico
Umidità	%	essiccamento e pesata
Sostanze volatili e ceneri	%	pesata
Conducibilità	$\mu\text{S}/\text{cm}$	elettrometria
PH		elettrometria
Cloruri	mg/Kg	volumetrico secondo Mohr
Solfati	mg/Kg	turbidimetria
Cationi solubili (Na, Ca, K, Mg)	mg/Kg	spettrofotometria AA
Carbonio organico totale	mg/Kg	ossidazione con bicromato
Azoto totale	mg/Kg	metodo Kjeldhal
Azoto ammoniacale	mg/Kg	spettrofotometria Uv-vis
Azoto nitrico	mg/Kg	spettrofotometria UV-vis
Fosforo totale	mg/Kg	spettrofotometria UV-vis
Fosforo organico	mg/Kg	spettrofotometria UV-vis

### MICROINQUINANTI INORGANICI ED ORGANICI

Parametro	Unità di misura	Metodo analitico
Rame totale	mg/Kg	spettrofotometria AA
Cadmio	mg/Kg	spettrofotometria AA
Cromo totale	mg/Kg	spettrofotometria AA
Cromo esavalente	mg/Kg	spettrofotometria AA
Piombo	mg/Kg	spettrofotometria AA
Arsenico	mg/Kg	spettrofotometria AA
Mercurio	mg/Kg	spettrofotometria AA
Idrocarburi Policicli Aromatici	$\mu\text{g}/\text{Kg}$	gascromatografia
Policloro bifenili	$\mu\text{g}/\text{Kg}$	gascromatografia
Fenoli	$\mu\text{g}/\text{Kg}$	gascromatografia
Antiparassitari	$\mu\text{g}/\text{Kg}$	

### LE ACQUE

- Le acque di infiltrazione
- I corsi d'acqua

- Le pozze
- Le acque marine
- Parametri chimico-fisici
- Il campionamento e l'analisi

## LE ACQUE SOTTERRANEE

Sono generalmente acque dure, ricche di carbonato di calcio e presentano un pH neutro o leggermente alcalino.

Hanno composizione variabile in relazione alla situazione geologica in cui si apre la grotta ed alle caratteristiche idrologiche generali.

La composizione varia inoltre in relazione alla tipologia delle acque considerate (di stillicidio, di pozza, di acque correnti ecc.).

Al fine di fornire un riferimento per un giudizio di qualità dal punto di vista biologico, si riportano i valori massimi per acque con funzione ambientale.

## CARATTERISTICHE FISICHE E CHIMICHE DI ACQUE CON FUNZIONE AMBIENTALE

Parametro	Concentrazione massima desiderabile mg/l	Concentrazione massima permessibile mg/l
pH	6,5-8,5	6,0-9,0
Conducibilità elettrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	3750	5000
Solidi totali disciolti	2500	3300
Solidi sospesi	25	80
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	25	28
Ossigeno disciolto	3,5	5
BOD5	<3	5
Azoto ammoniacale	1	2
Azoto nitrico	2	4
Azoto nitroso	-	1
Fosfati	0,05	0,3
Cloruri	1500	2000
Solfati	250	1500
Calcio	375	500
Rame	0,02	0,03
Cromo VI	0,004	0,005
Cadmio	0,004	0,005
Mercurio	0,00015	0,0002
Piombo	0,4	0,5

Arsenico	0,1	0,15
Antiparassitari µg/l	-	1
PCB	-	0,1
IPA	-	0,2
Fenoli	1	5
Idrocarburi	-	-

## IL CAMPIONAMENTO E L'ANALISI

Il campionamento è una operazione fondamentale sia che si proceda ad analisi sul posto sia che si intenda trasportare i campioni in laboratorio.

Devono cioè essere attuati tutti gli accorgimenti tecnici per garantire un prelievo del campione che sia effettivamente rappresentativo dell'ambiente acquatico che intendiamo analizzare.

I campioni prelevati per il trasporto in laboratorio devono essere adeguatamente conservati (fissaggio chimico - refrigerazione).

### Analisi sul campo

Alcuni parametri devono essere determinati sul posto, per altri è consigliabile ed altri ancora possono con facilità essere determinati con strumentazione portatile:

Parametro	Strumento
pH	pHmetro portatile
temperatura	termometro o pHmetro o ossimetro
ossigeno disciolto	ossimetro
conducibilità	conducimetro
ammoniaca, nitriti, nitrati, fosfati, solfati, ecc.	spettrofotometro portatile con kit di analisi

## Appendice 1

### TERRENO DI COLTURA PER MICRORGANISMI DEL SUOLO E DELL'ACQUA.

#### Agar caseinato.

formula in grammi per litro di acqua distillata:

Sodio caseinato (1)	2,000
Destrosio	1,000
Potassio fosfato	0,200
Magnesio solfato (oso)	0,010
Agar	16,000
Ph finale	6,8±0,2

Preparazione: Sospendere tutti i componenti (19,4 grammi di polvere in un litro

di acqua distillata. Agitare vigorosamente. Scaldare fino ad ebollizione agitando in continuazione e fare bollire per 1 minuto. Distribuire nei contenitori di mantenimento (es. flaconi da 200-250 ml.), e sterilizzare in autoclave a 121°C per 15 minuti.

Uso: L'agar sodio caseinato deve essere riscaldato in bagno di acqua bollente per liquefarlo e poi raffreddato a 45°-50°C, per essere distribuito in piastre di Petri o provette dove si aggiungono i campioni di acqua o di suolo. In genere i campioni di terreno vengono aggiunti come varie diluizioni in acqua distillata.

(1) Il sodio caseinato è commercializzato dalla DIFCO con il nome di NUTROSIO (codice prodotto 0187.17.6) oppure da SIGMA ed altri con il nome di PROPRIO.

Appendice 2

### **FISSATIVI PER VEGETALI.**

#### **Fissativo cromo-acetico (debole)**

Indicato per: Tessuti vegetali che si permeano facilmente come alghe, funghi, briofite, protalli delle Pteridofite, capsule dei muschi ecc.

Formula:

CNO3 soluzione al 10%	2,5ml
Acido acetico al 10%	5,0ml
Acqua distillata fino a	100ml

Procedura: Fissare i tessuti per 24 ore o più.

Appendice 3

### **COLORAZIONE DEL POLLINE(1).**

#### **Cotton blu (blu di anilina) – lattofenolo(2).**

Preparazione della soluzione: A. preparare il lattofenolo mescolando:

1 parte di cristalli di fenolo  
1 parte di acido lattico  
1 parte acqua distillata  
2 parti di glicerina

(1) disponibile già

pronto in commercio.

B. preparare una soluzione satura del colorante in etanolo al 95% ed aggiungere una parte di questa a tre parti di lattofenolo.

Colorazione: Su una goccia di colorante posta su un vetrino portaoggetto aggiungere un poco di materiale contenente il polline ed il polline stesso. Coprire con un coprioggetto ed osservare al microscopio.

(2) La colorazione è utile anche per muffe e funghi microscopici.

Appendice 4

## **COLORAZIONE PER FUNGHI MICROSCOPICI.**

### **Fucsina acida-lattofenolo.**

Fissazione: materiale fresco o secco fissato nei normali fissativi botanici.

Preparazione delle soluzioni: LACTOFENOLO

Acqua distillata	20ml
Cristalli di acido carbonico (scaldati fino a fusione)	20ml
Acido lattico	20ml
Glicerina	40ml

### **Soluzione colorante fucsina acida-lactofenolo.**

Al lactofenolo viene aggiunta fucsina acida all'1%.

- Clorazione:
1. Mettere il materiale su un vetrino porta oggetto ed aggiungere diverse gocce di fucsina-acida-lattofenolo. Scaldare leggermente fino a che si liberano dei fumi.
  2. Scolare il colorante e sostituire con lactofenolo per rimuovere l'eccesso di colorante. Scaldare come prima.
  3. Montare con lactofenolo lutare con un coprioggetto sigillando con smalto per unghie.

Risultato: Le spore dei funghi e le ife sono colorate in rosso brillante. I citoplasmi si colorano meno intensamente.