

INDICE

Cap. 1. L'aria

pagina 15

1.1 Cos'è l'aria

1.2 L'umidità

Quando si ha aria satura?

1.3 La densità

Densità dell'aria umida.

1.4 Le capacità termiche dell'aria

Che ci importa? Dove va a finire il calore che diamo all'aria quando la scaldiamo?

1.5 Il contenuto energetico dell'aria

Il calore latente di evaporazione. L'energetica dell'aria umida. Entalpia dell'aria umida e dell'aria bagnata. Una semplificazione. Altri nascondigli per l'energia dell'aria di grotta: aria in moto e aria bagnata

1.6 L'aria bagnata

Dimensioni delle gocce. Numero di gocce. Energetica delle gocce. Formazione.

1.7 L'anidride carbonica

Solubilità.

Cap. 2. L'atmosfera esterna

pagina 25

2.1 Le equazioni di equilibrio

2.2 L'atmosfera isoterma

L'atmosfera adiabatica secca. L'atmosfera adiabatica umida.

2.3 L'atmosfera reale fuori e dentro le montagne

L'Atmosfera Standard. L'atmosfera reale

2.4 Equilibrio dell'aria secca

Condizioni di equilibrio. Un modellino pratico. Equilibrio dell'aria umida. Saliamo con l'aria umida. Ora scendiamo.

2.6 Sbalzi di pressione

Qualche dato sperimentale. Il vento.

2.7 Altimetria

Cause di errore. Correzioni altimetriche stagionali.

Cap. 3. I fluidi vincolati

pagina 33

3.1 La fisica dei fluidi in moto

L'equazione di continuità. L'energetica: varie densità di energia. Il teorema di Bernoulli. Quando vale il teorema di Bernoulli.

3.2 Tipi di moto dei fluidi

Il moto laminare. Quello turbolento. La transizione e il numero di Reynolds. Applicazioni all'aria e all'acqua.

3.3 Resistenze di gallerie e fessure turbolente

Ma anche le svolte resistono! Resistenza delle gallerie reali. Resistenza di fessure turbolente.

3.4 Resistenze di gallerie e fessure laminari

Basse velocità. Dentro fessure con scorrimenti laminari.

3.5 Un riassunto e le relazioni dimensionali

Relazioni dimensionali.

3.6 La pressione nelle condotte

Il modello. Dove va l'energia persa?

3.7 Fisica del velo d'acqua parietale

Significato. La velocità media di efflusso. Limiti del discorso e conclusioni.

Cap. 4. La temperatura delle grotte

pagina 43

4.1 Capacità termica del sistema e stabilità della temperatura

Il contributo dell'aria alla capacità termica. E quello dell'acqua. L'acqua sulle pareti. E finalmente passiamo alla roccia. La roccia della grotta. Riassunto delle capacità termiche.

4.2 Temperature e gradienti di temperatura

Quale è la temperatura di una grotta? Il gradiente idrico. E qual'è la temperatura delle grotte grandi?

4.3 La temperatura della roccia

Origine del calore terrestre. Flusso di calore geotermico. Dove va a finire il calore geotermico. Quanto tempo ci vuole a scaldare un monte?

4.4 Andamento temporale di un raffreddamento

La trasmissione di calore. La conduzione. In un monte. Soluzione. Comportamento della soluzione.

4.5 Tecniche di raffreddamento delle montagne

Raffreddare con la sola aria. E nella grotta così raffreddata che gradienti termici si formano? Raffreddare con l'acqua. A quale temperatura si sistema la grotta raffreddata dall'acqua? Ancora un commento sugli scambi termici.

4.6 Raffreddamento misto ad aria e acqua: le grotte

L'acqua di grotta: vadoso e freatico. Il gradiente interno in vadosi fluenti acqua. L'aria.

4.7 Il gradiente ipogeo

Il gradiente ipogeo: correzione delle acque entranti. Correzione per le arie entranti. Correzione delle arie migranti. Conclusioni importanti!

Cap. 5. Le endoatmosfere: il vento nelle montagne

pagina 57

5.1 La circolazione dell'aria ipogea

5.2 Circolazione barometrica

Modello. Tempo caratteristico. Depressioni da ventate. Caso delle espansioni brusche. Riassumiamo i flussi barometrici.

5.3 La circolazione convettiva

Il fenomeno. Le velocità che si raggiungono. Un primo modellino. Da un punto di vista energetico.

5.4 Un modellino più complesso

Miglioriamo il modello.

5.6 La pressione motrice

Calcoliamola. Validità del modello.

5.7 Calcolo delle densità

Struttura dell'atmosfera (già vista). Le densità dell'aria nelle varie atmosfere. Limiti del modello, ed altri commenti.

5.8 Calcolo della spinta

E' quasi finita! Un' approssimazione maneggevole. Quel che ne risulta. La relazione con la temperatura. Ora mettiamo in moto le colonne d'aria. Un po' di commenti finali.

5.8 Le circolazioni d'aria pulsanti

Situazioni oscillanti: l'oscillatore di Helmholtz. L'energetica delle oscillazioni. Conclusioni.

Cap. 6. L'energia dei regni sotterranei

pagina 71

6.1 Fabbisogno e fonti di energia dei sistemi carsici

La dissoluzione. L'energia totale dello scavo.

6.2 Flusso geotermico

Il calore residente. Lo stato iniziale. Lo stato stazionario.

6.3 Entrata di acque calde

L'energia iniziale. Fasi di transizione: i temporali. Il riscaldamento solare di laghi e ruscelli. Conclusioni.

6.4 Entrata di arie calde

Entalpia dell'aria in entrata. Le condensazioni all'entrata. Un confronto. Energia che fa poca strada. La zona epidermica.

6.5 Acqua in caduta

6.6 Aria in caduta

L'energia ceduta. Tutta la colonna d'aria in moto. Il tempo di rinnovamento. Il tempo di trasferimento. Commenti. Energia ceduta dal movimento. Il riscaldamento che ne consegue.

6.7 Aria in espansione

La bolla d'aria. Trasformazione a gradiente costante. Ora la parte di lavoro. Quote virtuali.

6.8 Gradienti diversi e sottrazioni di energia

I vari gradienti. Acqua in uscita: la sottrazione di energia.

6.9 Molte osservazioni finali

Le ipotesi. Un riassunto. La situazione. Indizi per approfondire.

6.10 Conclusioni

Cap. 7. Circolazione dell'aria nei sistemi ipogei: la resistenza

pagina 83

7.1 Il modello elettrico: la resistenza delle grotte

Le variabili fondamentali. I componenti principali. Le linee di flusso in una singola galleria.

7.2 Due circolazioni di base

Resistenze e gallerie in serie. Resistenze e gallerie in parallelo.

7.3 Allargare una strettoia in una grotta a due entrate

Il caso generale. Assenza del ramo parallelo, strettoia non dominante. Assenza del ramo parallelo, strettoia dominante. Presenza del ramo in parallelo. Conclusioni

7.4 Circuiti più complessi: circolazione a più entrate

Caso generale.

7.5 Comportamenti dei modelli: i sistemi a quota neutra

La quota neutra. Qualche commento.

7.6 I modelli multizero

Il primo. Il comportamento. Altri accadimenti. Gli altri due multizero a quattro entrate. Il terzo modello.

7.7 Conclusioni

Cap. 8. Circolazione d'aria nei sistemi ipogei: capacità ed inerzie

pagina 95

8.1 Circolazione barometrica: la capacità di un salone

Il caso elementare. Tipo della soluzione. E in concreto... Nel caso di variazioni lente. Conclusioni.

8.2 Una grotta a molti saloni

Elementi discreti e distribuiti. Due saloni. Caso laminare. Caso turbolento. Casi più complessi. Conclusioni.

8.3 Circolazioni barometrica e convettiva associate

Il caso generale.

8.4 L'induttanza delle grotte e il suono delle montagne

Energetica delle oscillazioni. Le equivalenze fra circuiti elettrici e ipogei. Caso dei flussi massici.

8.5 Qualche applicazione del modello elettrico

Il circuito LC. La riduzione della frequenza. Effetti anarmonici della dipendenza di R da I. Oscillazioni laminari.

8.6 I tempi caratteristici delle grotte

I tempi dei circuiti. Sottoterra. Scarica RC. Scarica LR. Oscillazione LC.

8.7 Tempi di reazione delle grotte

Strettoia dominante. Strettoia non dominante.

8.8 L'innescio di oscillazioni

Risonanze con l'atmosfera. Altri fenomeni di "oscillazione" e di innescio.

8.9 Conclusioni e qualche nota

Cap. 9. I fenomeni di condensazione

pagina 111

9.1 Introduzione

Limiti della discussione. Linee di discussione.

9.2 La condensazione

Superfici di condensazione. Aerosoli. Condensazione da aumento di pressione

9.3 Apporti idrici ed energetici delle acque di condensazione

L'apporto idrico della condensazione. L'acqua in ciclo sulle pareti. Energia in ciclo.

9.4 Processi condensativi d'insieme e speleogenesi

La condensazione da salita: gradienti a condensazione nulla. Valori tipici della deposizione. Linearità dell'apporto condensativo. Restringimenti, perdite di carico e speleogenesi. Ancora un processo d'insieme: condensazione da compressione.

9.5 I sistemi in disequilibrio termico

Il disequilibrio. Che trasformazioni termodinamiche nell'insieme della grotta? Equilibrio o no? Sistema aperto e non in equilibrio? Lo schema per tentare. Abbozzo quantitativo. Gli scambi di calore in conduzione. Gli scambi di calore da evaporazione.

9.6 Processi condensativi locali: moti verticali

Miscelamento di arie. Moti verticali locali: lo sbalzo di pressione. Pareti asciutte. Pareti bagnate. Pareti molto bagnate: la fuga delle pareti.

9.7 Processi condensativi locali: moti orizzontali

Linee generali. Ipotesi di calcolo. Un processo isoentalpico.

9.8 Conclusioni

Cap. 10. Applicazioni

pagina 125

10.1 Cosa condiziona la circolazione d'aria in una montagna?

10.2 Cosa si può dedurre dall'analisi delle correnti d'aria?

10.3 In quali situazioni bisogna fare le osservazioni delle correnti d'aria?

10.4 E' importante una strettoia che soffia?

10.5 E' importante una strettoia che non soffia?

10.6 Esiste sempre una quota intermedia fra le entrate meteobasse e meteoaalte?

10.7 Quando accade che una grotta non soffi?

10.8 C'è un buco da disostruire, ma non tira aria. Ci lavoriamo?

10.9 C'è un buco da disostruire, ma ha aria "sbagliata". Ci lavoriamo?

10.10 Perché ci sono grotte con forti oscillazioni dell'aria?

10.11 Ci sono inversioni del flusso dell'aria che non indicano diffluenze?

10.12 Come varia il flusso d'aria allargando una strettoia?

10.13 Cosa può accadere allargando una strettoia ventilata?

10.14 Cosa si può dedurre ostruendo l'entrata di una grotta?

10.15 Esistono entrate di grotta che soffiano sempre?

10.16 Esistono entrate di grotta che aspirano sempre?

10.17 Perché certe grotte in cima a montagne si comportano da entrate basse?

10.18 Posso misurare la profondità di una grotta con un altimetro?

10.19 Ha senso misurare la profondità di un pozzo con un altimetro?

10.20 Quand'è che le misure altimetriche sono più affidabili di quelle topografiche?

10.21 In una grotta si possono incontrare piccoli sbalzi di temperatura?

10.22 Cosa possiamo dedurre misurando la temperatura dell'aria in uscita dal monte?

10.23 Perché l'aria è più calda dell'acqua?

10.24 Perché a meandri piccoli spesso seguono pozzi grandi?

10.25 Perché in grotta le strettoie sono rare?

10.26 Cosa deduciamo dalle condensazioni?

10.27 Cosa conviene misurare in grotta?