

Carso e fenomeni carsici

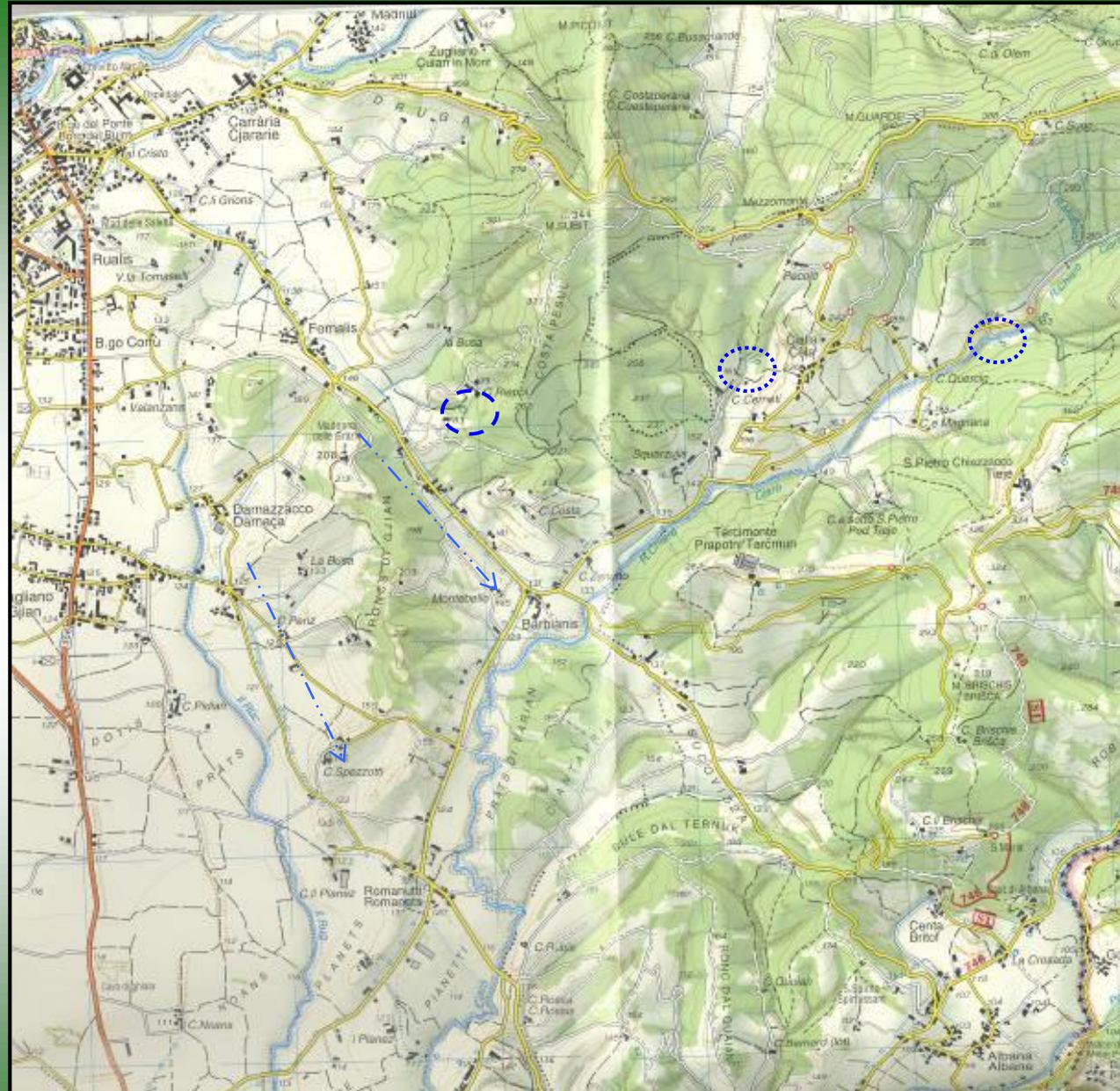
- Introduzione, aspetti mineralogici e chimici
- Forme carsiche epigee a piccola, media e grande scala
- Cenni sulla geologia del Carso classico
- Il paesaggio carsico in regione
- La nascita del carsismo e della spelologia
- Cenni di speleogenesi. Forme ed evoluzione del carsismo ipogeo
- Il Timavo e l'idrogeologica carsica (Doberdo, Bernadia)
- Alcune grotte ipogeniche
- Geodiversità e geositi carsici in FVG

Area a Sud Est di Cividale Prealpi Giulie

Torrenti, ruscelli,
sorgenti, pozzi, sorgenti
captate, abbeveratoi,
Acquedotti.....:

Nella carta ci sono
simboli (in azzurro)
dell'idrografia
superficiale

In questa zona affiora
il Flysch: arenarie,
marne, siltiti. R.
impermeabili

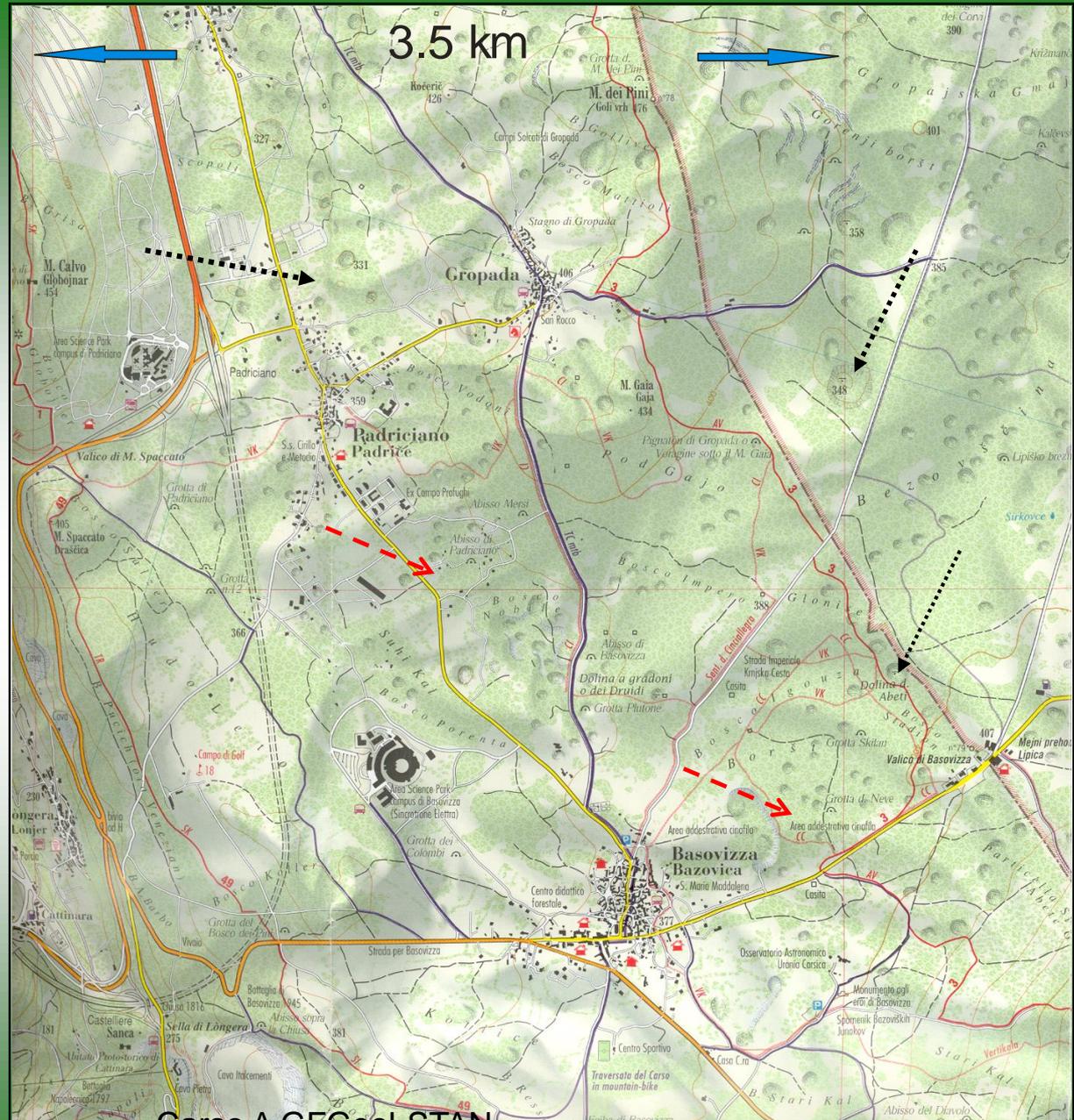


Area carsica presso Basovizza

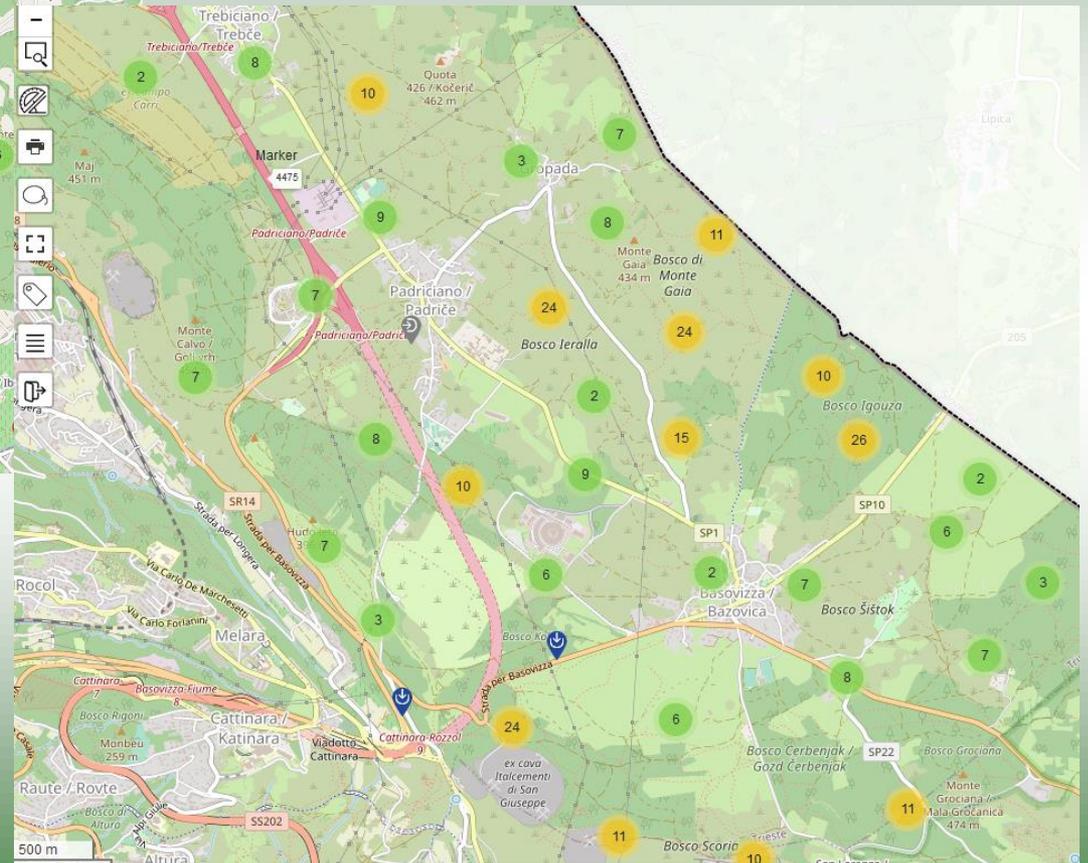
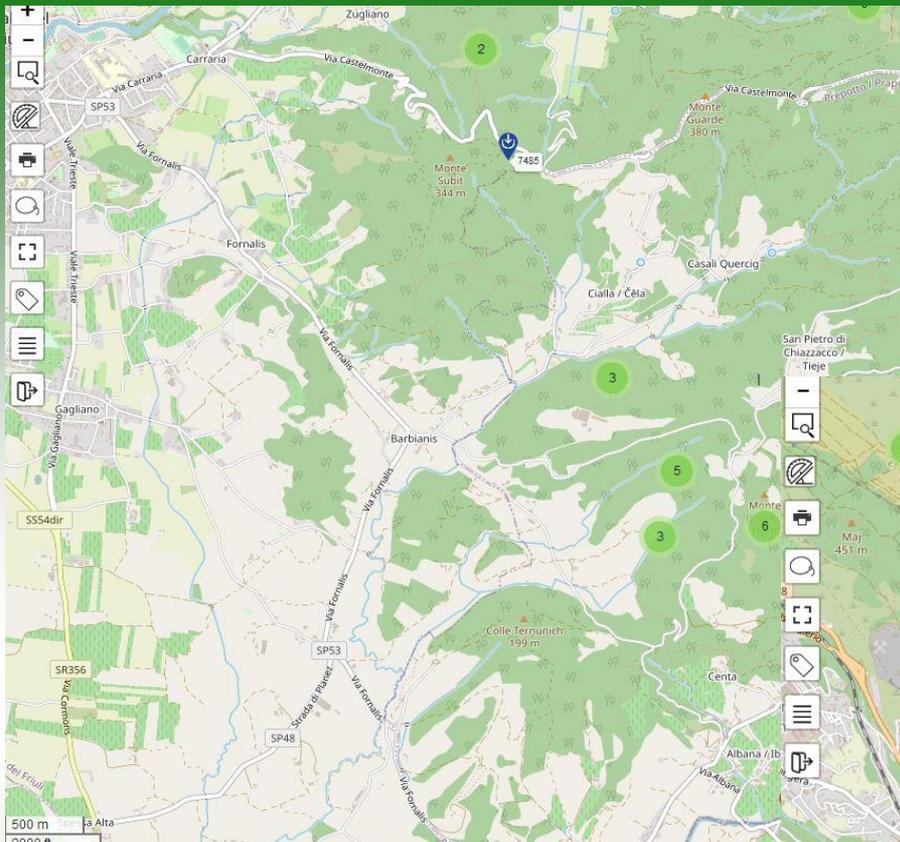
Mancano i
simboli in
azzurro: manca
l'IDROGRAFIA

.....>
doline

----->
grotte



<https://catastogrotte.regione.fvg.it/cartografia>



Karst Hydrogeology and Geomorphology

Derek Ford, *McMaster University, Canada*
and

Paul Williams, *University of Auckland, New Zealand*

Karra/gara *pietra*

Kars

Kras

Carso

1.1 DEFINITIONS

The word karst can be traced back to pre-Indoeuropean origins (Gams 1973a, 1991a, 2003; Kranjc 2001a). It stems from *karra/gara* meaning stone, and its derivatives are found in many languages of Europe and the Middle East. The district referred to as the 'Classic Karst', which is the type site where its natural characteristics first received intensive scientific investigation, is in the north-western corner of the Dinaric Karst, about two-thirds being in Slovenia and one-third in Italy. In Slovenia the word *kar(r)a* underwent linguistic evolution via *kars* to *kras*, which in addition to meaning stony, barren ground also became the regional name for the district inland of Trieste. In the Roman period the regional name appeared as Carsus and Carso but, when it became part of the Austro-Hungarian Empire, it was germanicized as the Karst. The geographical and geological schools of Vienna during that time exercised a decisive influence on the word as an international scientific term. Its technical use started in the late 18th century and by the mid-19th century it was well-established. The unusual natural features of the Kras (or Karst) region became known as 'karst phenomena' and so too, by extension, did similar features found elsewhere in the world.

Definizione di Carsismo

- Per carsismo si intende l'insieme dei processi di asportazione delle rocce in cui il fenomeno dominante è quello della dissoluzione della roccia in acqua (de Waele e Piccini, 2008)
- Di conseguenza: ***Le aree carsiche sono caratterizzate dall'assenza di un «normale» reticolo idrografico superficiale.*** E dall'assenza delle forme legate allo scorrimento superficiale delle acque

Ovviamente si dissolvono le rocce solubili: di conseguenza
Le aree carsiche sono caratterizzate dall'affioramento di :

- Salgemma (NaCl) *molto raro*
- Gessi: CaSO_4
- **Calcari: CaCO_3** *il piu comune*
- Dolomie: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- Calcareniti (arenarie calcaree),
conglomerati con clasti e cemento calcareo
- NB ma anche grotte nelle quarziti !

*Il carsismo non conosce la stratigrafia...ovvero
fenomeni carsici in calcari paleozoici, mesozoici, cenozoici*

Sale e gesso

- In tutti e due i casi solubilità Indipendente dalla CO_2
- **Salgemma** (NaCl): solubilità diretta, velocissima. Rarissimi casi di carsismo nel sale (alite) in ambienti molto aridi (deserto di Atacama, Cile; Israele; Monti Zagros, in Iran)
- Nei gessi (CaSO_4): La più lunga grotta nel gesso sta in Ucraina: 240 km, ma è profonda solo 15 metri Molte grotte nei gessi messiniani in Sicilia e in Emilia Romagna. Grotta di M. Caldina (val Secchia), lungh.: 1040 m, prof. max: -265. Record
!

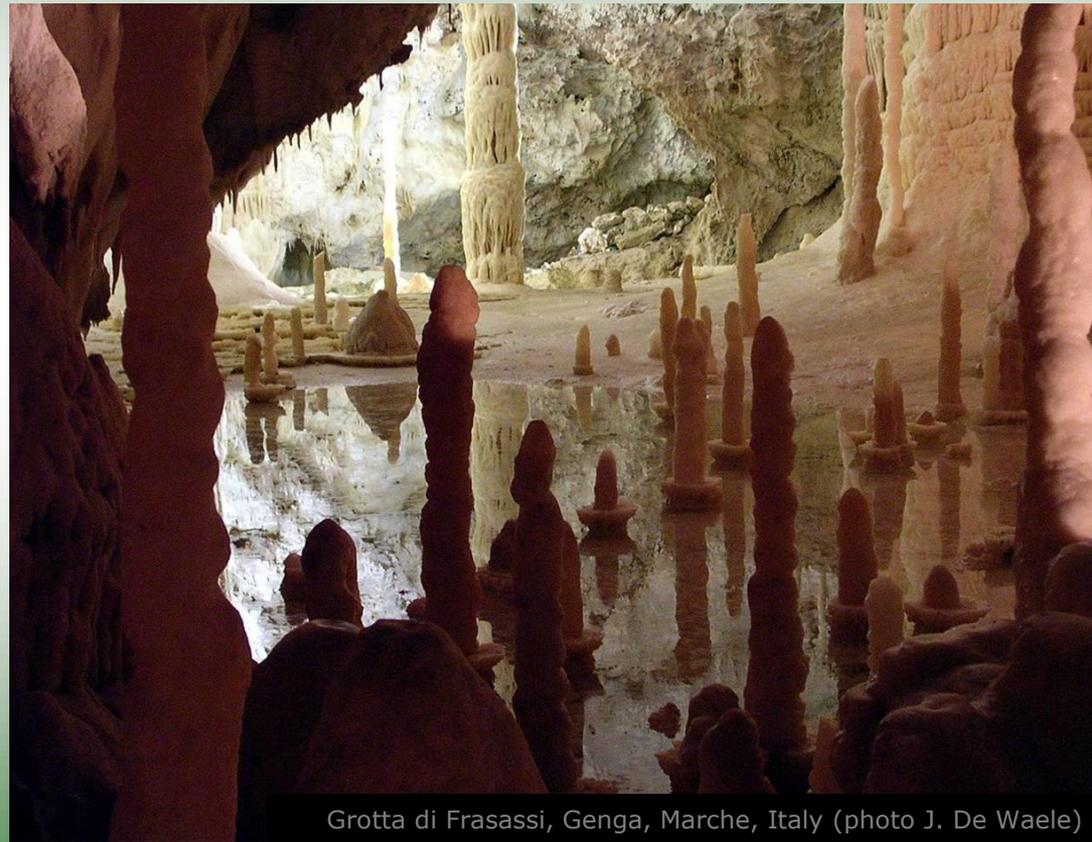
Tipologia di carsismo

- Fenomeni carsici s.s : processi corrosivi che normalmente avvengono in calcari e dolomie calcaree, ovvero rocce con contenuto medio-alto di CaCO_3
- Fenomeni paracarsici (-→ dolomie)
- Fenomeni ipercarsici: processi che avvengono in rocce altamente solubili (evaporiti → gessi)
- Fenomeni pseudo carsici..in r. non solubili (quarziti)

Ma qual è LA SOLUBILITÀ DEI DIVERSI MINERALI IN ACQUA?

Con quantità molto piccole di CO_2 disciolta ($P_{\text{CO}_2} = \mathbf{0,001 \text{ bar}}$) e a temperatura di 25°C diversi minerali risultano più o meno solubili:

- calcite: 60 mg/L
- dolomite: 50 mg/L
- quarzo: 12 mg/L
- gesso: 2400 mg/L
- salgemma: 360.000 mg/L



Grotta di Frasassi, Genga, Marche, Italy (photo J. De Waele)

Reazione chimica:



O meglio la reazione sopra è la sintesi di più reazioni

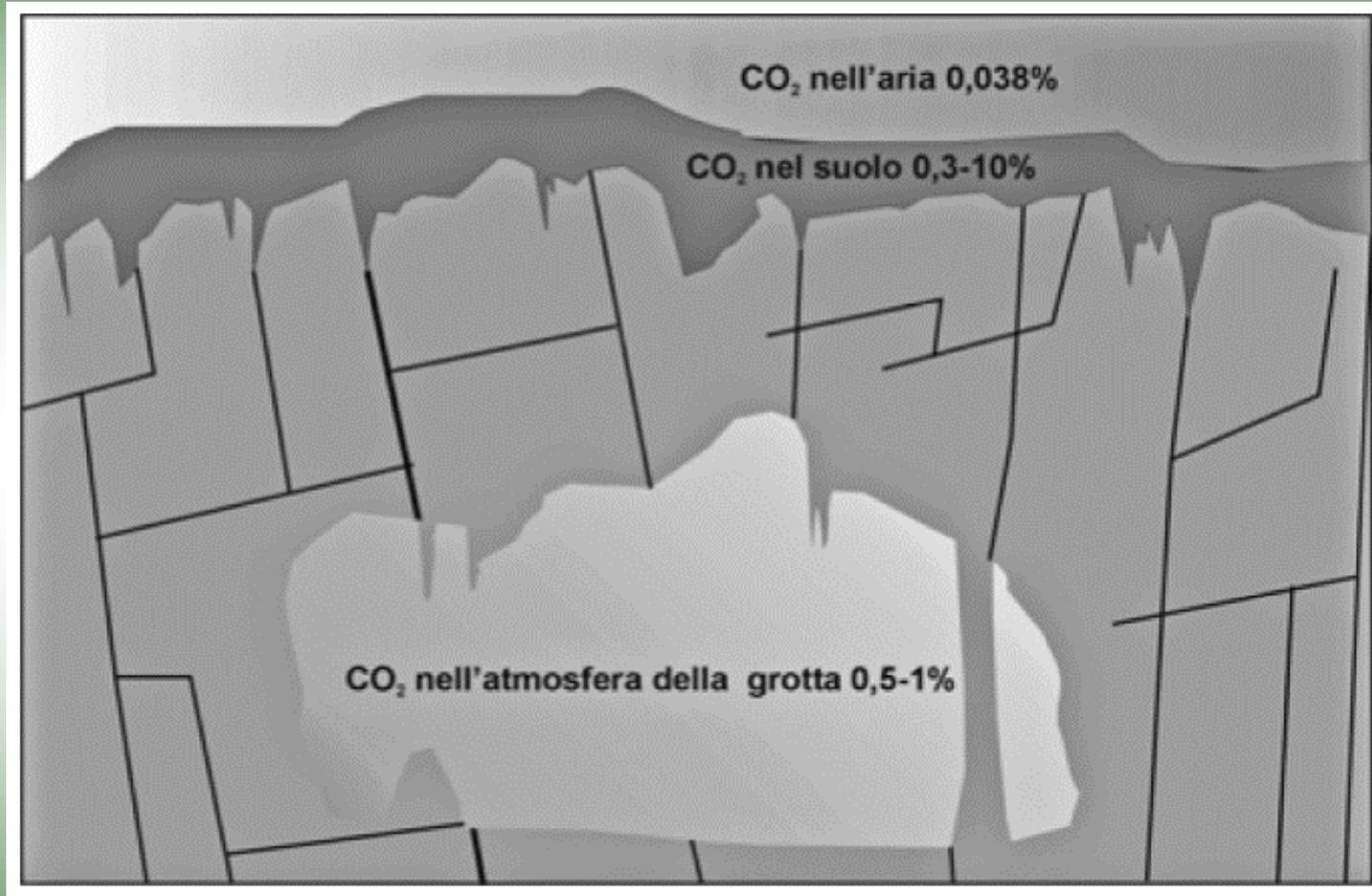
- la dissoluzione dell'anidride carbonica: $\text{CO}_2 (\text{gas}) \leftrightarrow \text{CO}_2 (\text{aq})$;
- la formazione dell'acido carbonico: $\text{CO}_2 (\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$;
- la doppia dissociazione dell'acido carbonico: $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ e $\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$;
- la dissociazione dell'acqua: $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$;
- e la dissoluzione del carbonato di calcio: $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$

Tutte queste reazioni sono condizionate dalla pressione parziale della **CO₂**

La reazione più lenta è quella di formazione dell'acido carbonico

NB: liberazione di protoni H^+ → diminuzione del pH

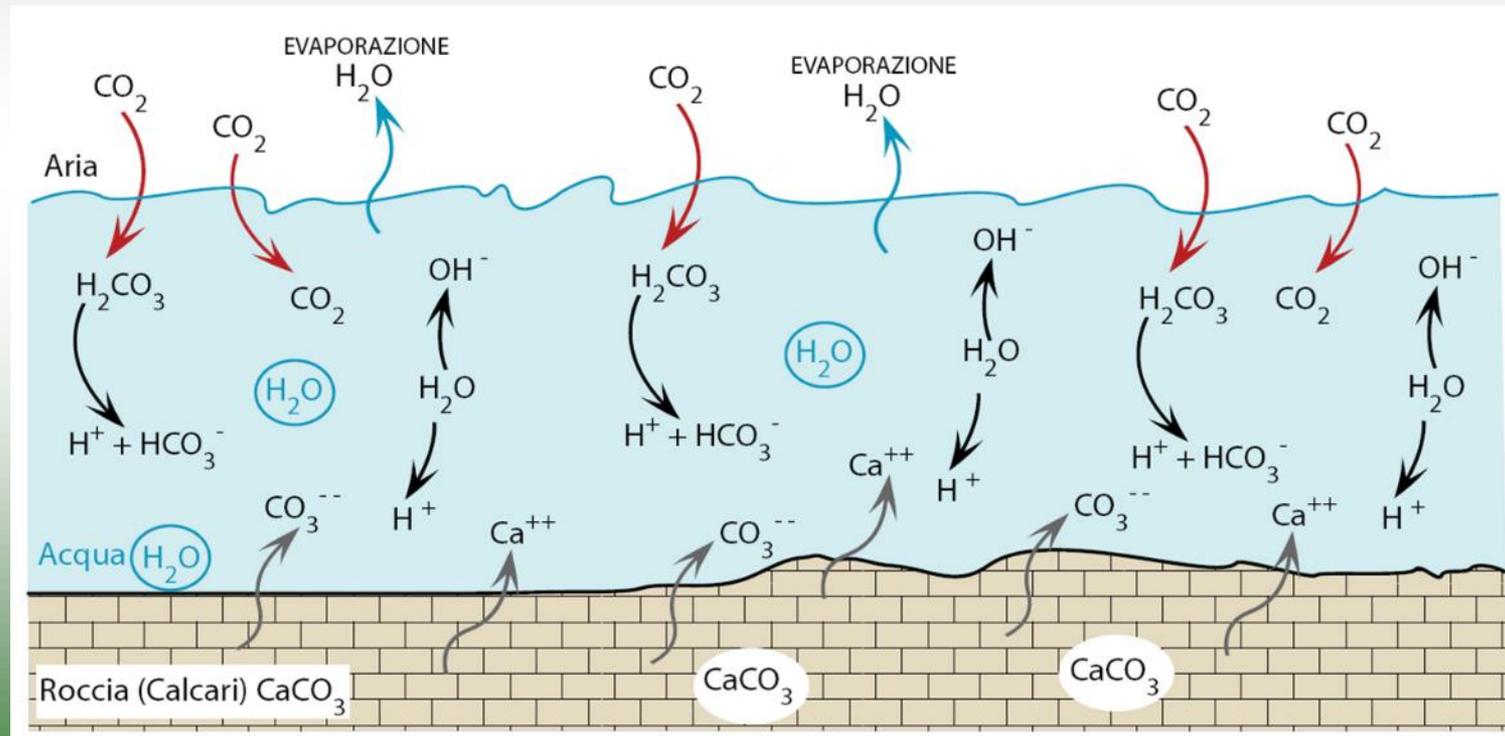
Da dove viene la CO₂ ?

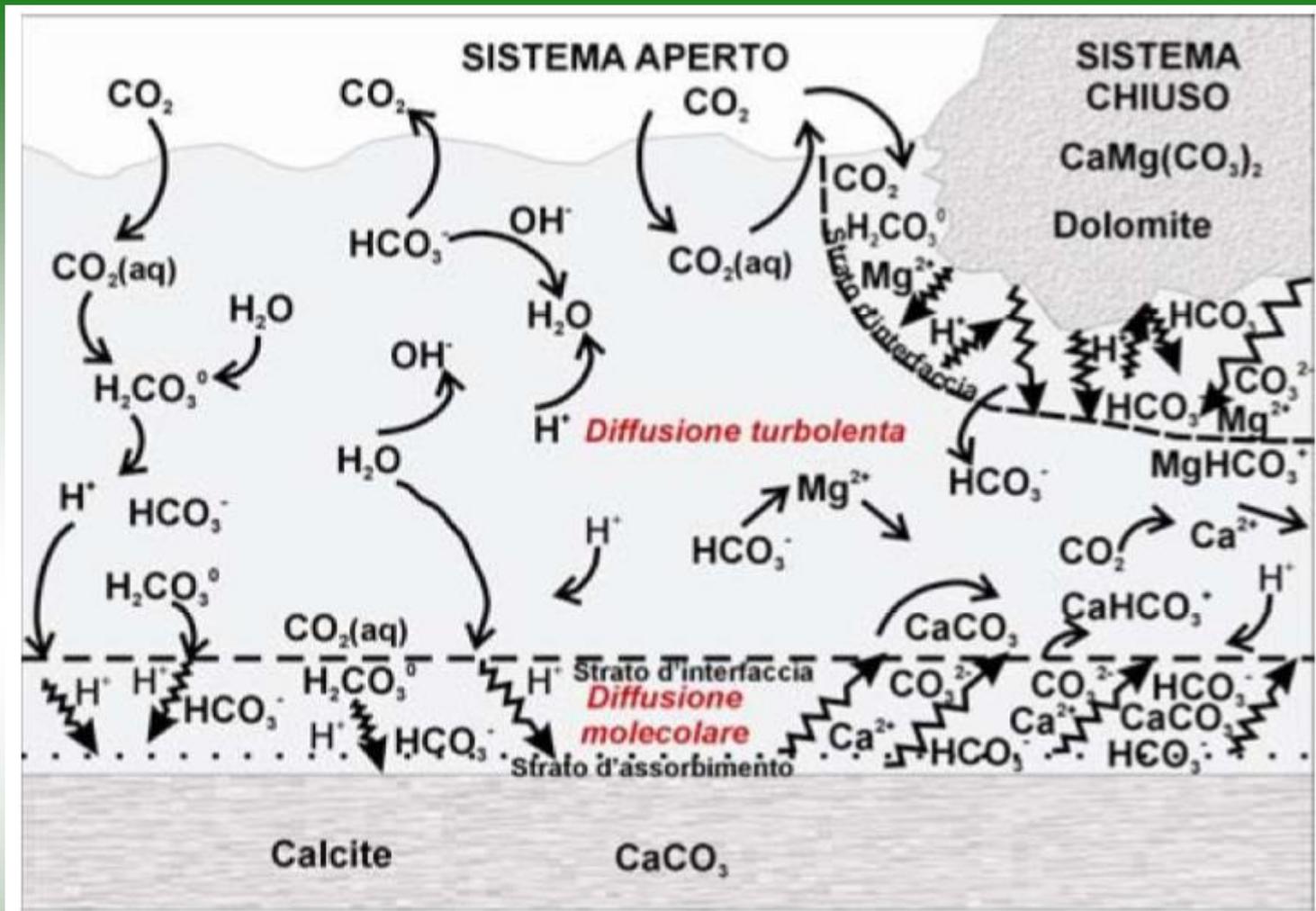


“Ingredienti” della dissoluzione carsica

- **aria**
- **Acqua (e anidride carbonica) fase liquida e fase gassosa e aria**
- **Rocce carbonatiche (in genere calcari o dolomie) fase solida**
- **Permeabilità primaria nella roccia (fratture, piani di strato, faglie)**

SISTEMI CHIUSI E SISTEMI APERTI





Sistema aperto le tre fasi (liquido solido e gas) sono libere di scambiarsi molecole...In sintesi un sistema aperto con l'aria...mette a disposizione delle reazioni tantissima CO_2 , quindi è più efficace

L'intensità del processo carsico dipende da numerosi fattori:

- La solubilità della roccia
- Concentrazione della CO_2 (nell'aria e nei suoli) o meglio acidità dell'acqua (anche per presenza di H_2SO_4 e HCl)
- Temperatura (dell'aria, dell'acqua, del suolo / roccia). Nelle acque fredde la CO_2 è più solubile, quindi le acque fredde sono più aggressive
- Presenza di ioni K^+ , Na^+ e Cl^- abbassa la solubilità del carbonato e di gessi, quindi il mescolamento con acque marine rende più efficace la dissoluzione carsica.
- Miscela di acque diverse: effetto Bögli. Il mescolamento di soluzioni sature fa sì che si formi una nuova soluzione sottosatura, ancora in grado di corrodere. Importante nei sistemi profondi
- Idrodinamica: regime laminare e/o turbolento

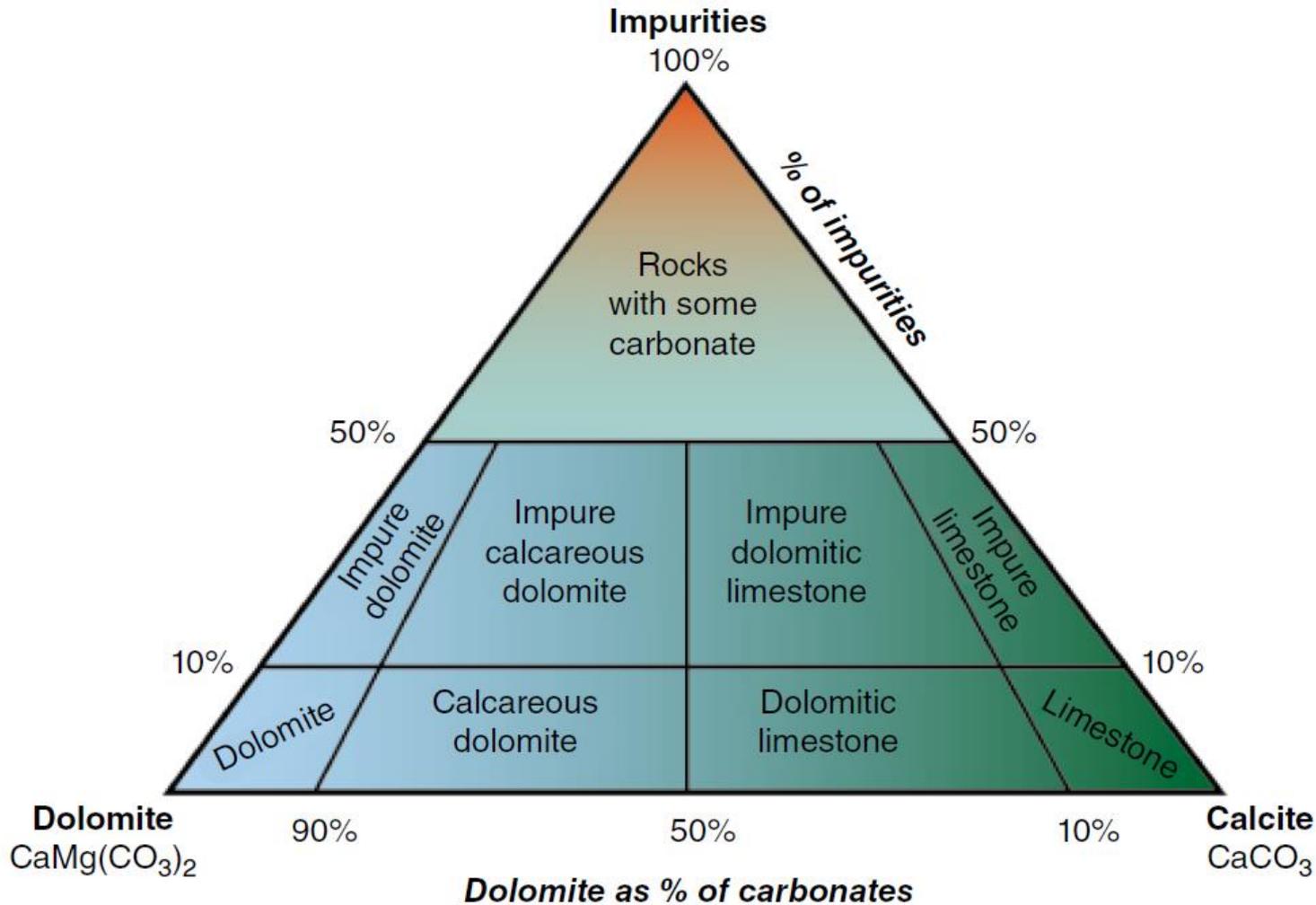
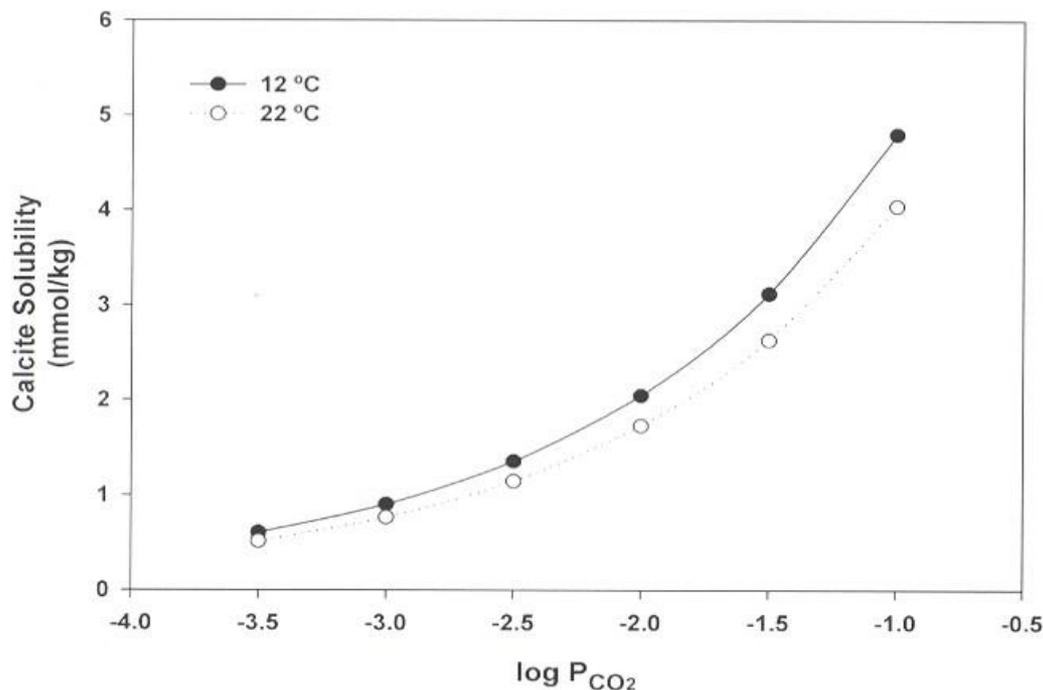


Figure 2.2 Compositional classification of carbonate rocks based on the weight percentage of calcite, dolomite, and impurities. The overall solubility of the rock decreases toward the calcite vertex and away from the vertex of the non-soluble impurities.

MA QUAL È LA SOLUBILITÀ DEI DIVERSI MINERALI IN ACQUA? E SE AUMENTA LA PCO_2 ?

L'anidride carbonica è presente nell'atmosfera e nell'aria contenuta nel suolo. La sua concentrazione in una miscela di gas viene normalmente espressa in **Pressione parziale di CO_2** (in percentuale) PCO_2 .



La solubilità della calcite in acqua pura a 25°C è intorno a 14 mg/L, quindi soltanto di poco superiore alla solubilità del quarzo (ca. 8-10 mg/L).

Con un minimo valore di CO_2 a 25°C, in 1 l di acqua si sciolgono 60mg di calcite, 50 mg di dolomite, 10mg di quarzo, 2.400g di gesso e 360.000mg di salgemma.

Quando la PCO_2 è 100 volte maggiore (0,1 bar), alla medesima T, la solubilità dei carbonati aumenta moltissimo (400mg/l di calcite e 300mg/l per la dolomite), mentre quella degli altri minerali rimane pressochè invariata.

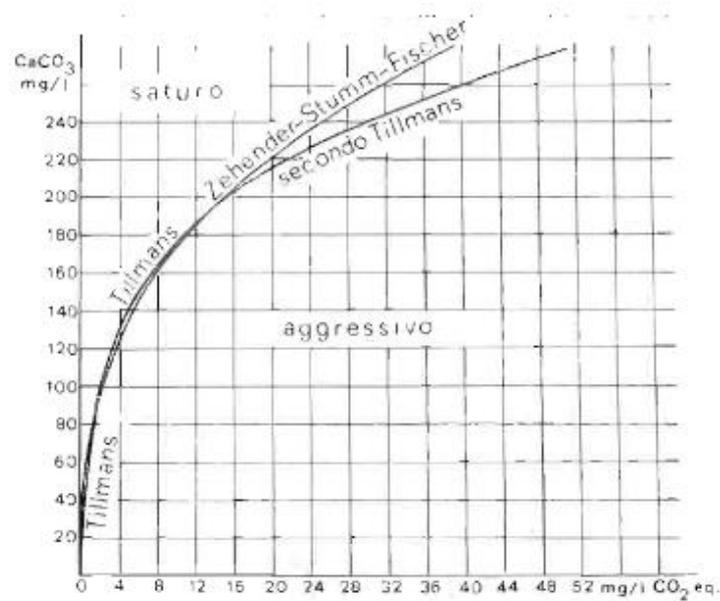


GRAFICO 1 - Curva d'equilibrio tra il carbonato di calcio ed il CO₂ secondo Tillmans e Zehender, Stumm, Fischer.

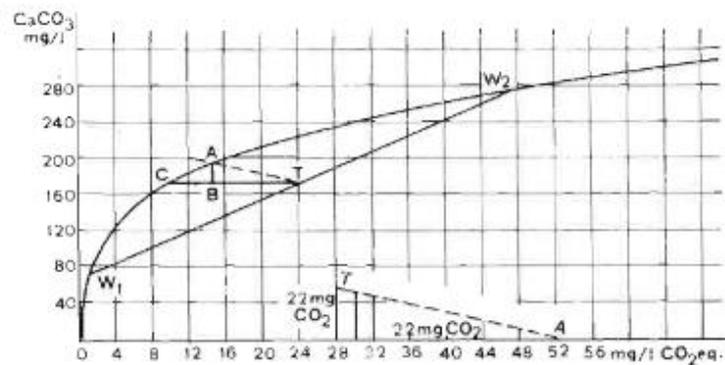


GRAFICO 2 - La corrosione per miscela d'acque. Le due acque W₁ e W₂ si mescolano. La linea retta W₁ - W₂ indica tutte le miscele possibili (vedere testo).

Inoltre è indispensabile ci siano fratture e/o piani di strato che permettano alle acque di entrare dentro le rocce carsificabili.

In sintesi, oltre all'acqua

- Presenza di rocce carbonatiche o evaporitiche (litologia)
- Presenza di piani di strato e fratture (tettonica)
- Differenza di quota per permettere il movimento delle acque (gradiente idraulico) idrogeologia

Per avere un Carsismo sviluppato

- Elevata piovosità
- in clima caldo/umido al di sotto della copertura pedologica per decomposizione delle sost. organica si formano acidi organici: acque + aggressive
- il clima freddo aumenta la solubilità della CO_2 : acque di ghiacciaio
- R. carbonatiche pure (> 95 % di carbonati), altrimenti il residuo insolubile riempie le fratture ed impedisce lo scorrimento dell'acqua all'interno della massa rocciosa
- Differenza di quota per permettere il movimento delle acque per gravità (gradiente idraulico)
idrogeologia

Principali aree carsiche nel mondo

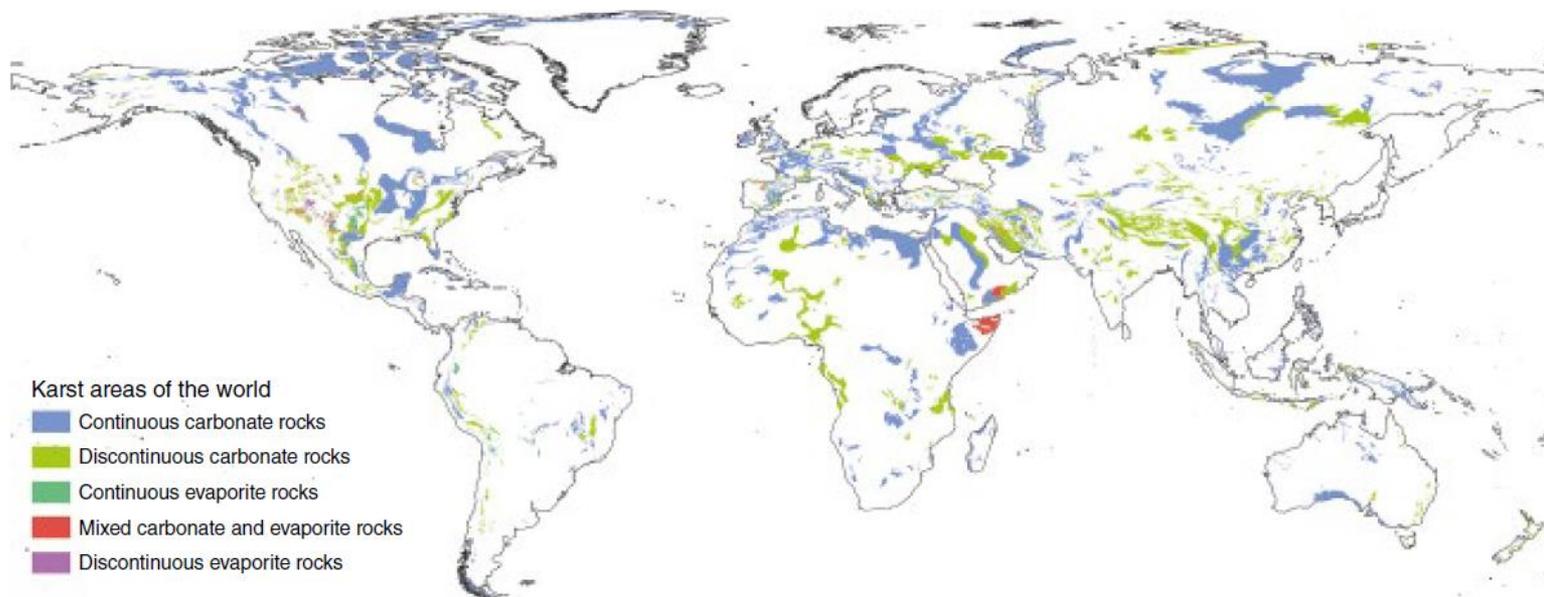
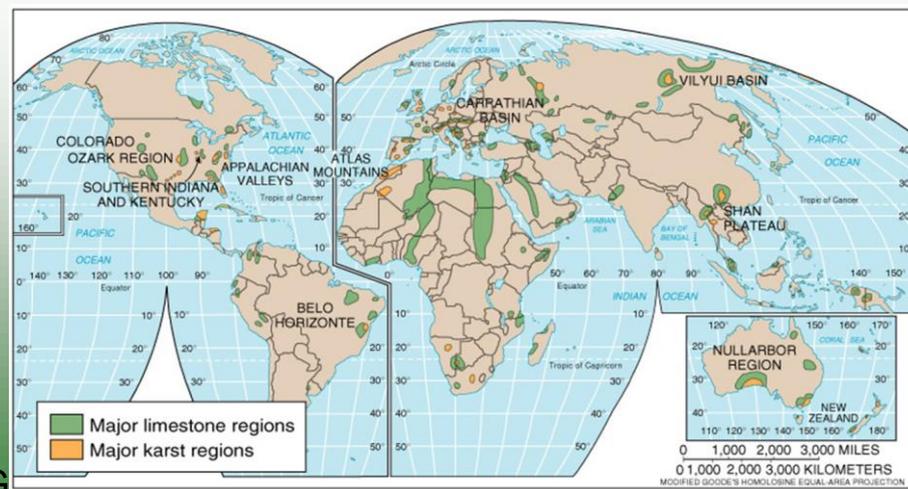
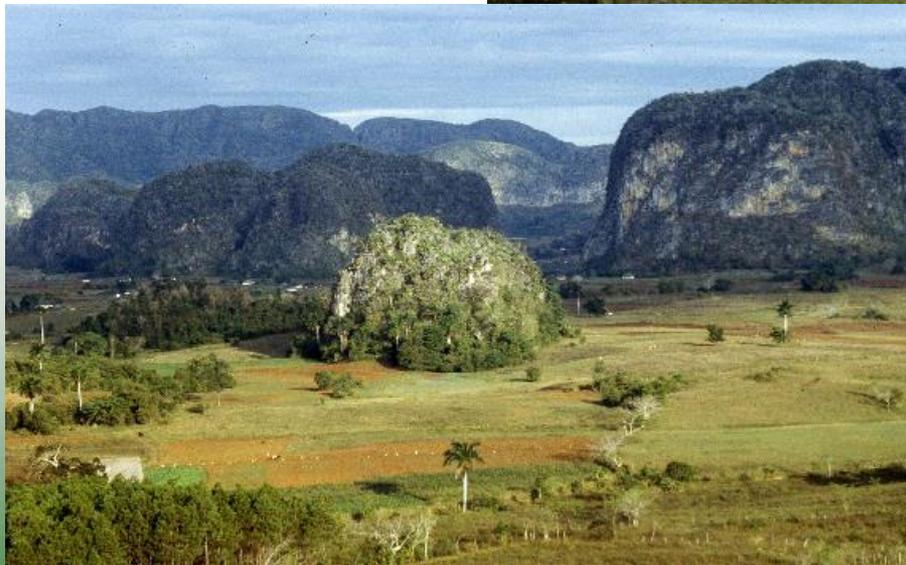


Figure 1.8 Global karst map, based on the WOKAM map. Source: Adapted from Chen et al. (2017) and Goldscheider et al. (2020).

Alcune aree calcaree
NON sono zone
carsiche..



Carsismo tropicale (Pinar del Rio Cuba)



1983



2022- 2023



Carso

Carsismo d'alta quota: Monte Canin, FVG



Carsismo marino / costiero



La superficie carsificabile in Italia

È pari al 27% della sup. totale montana

In regione: carso classico, Prealpi Giulie, Monte Canin

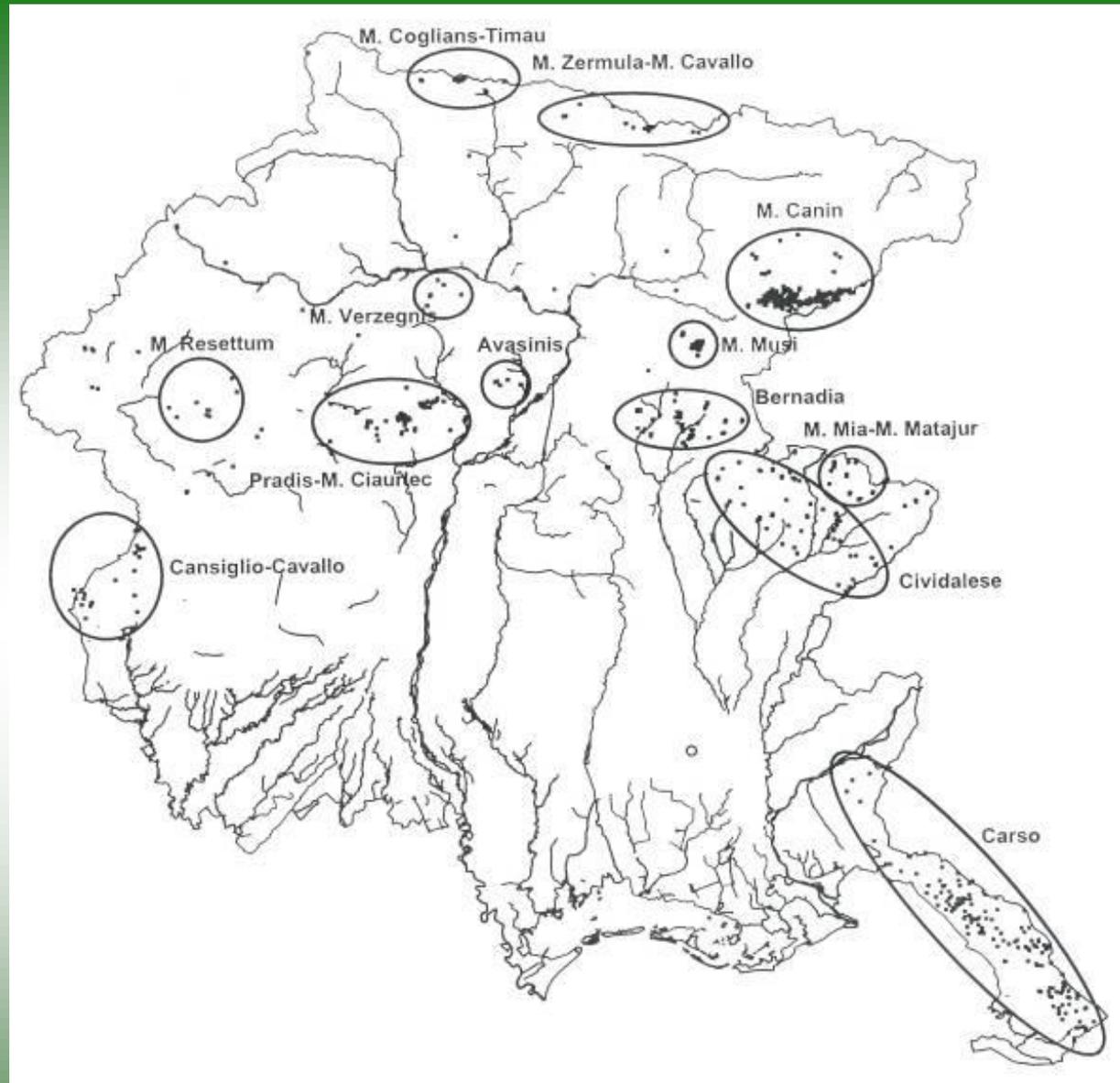
In Italia: Alpi Marittime, Apuane, Appennino Centrale (Gr. di Frassasi), Puglie (gr. di Castellana).

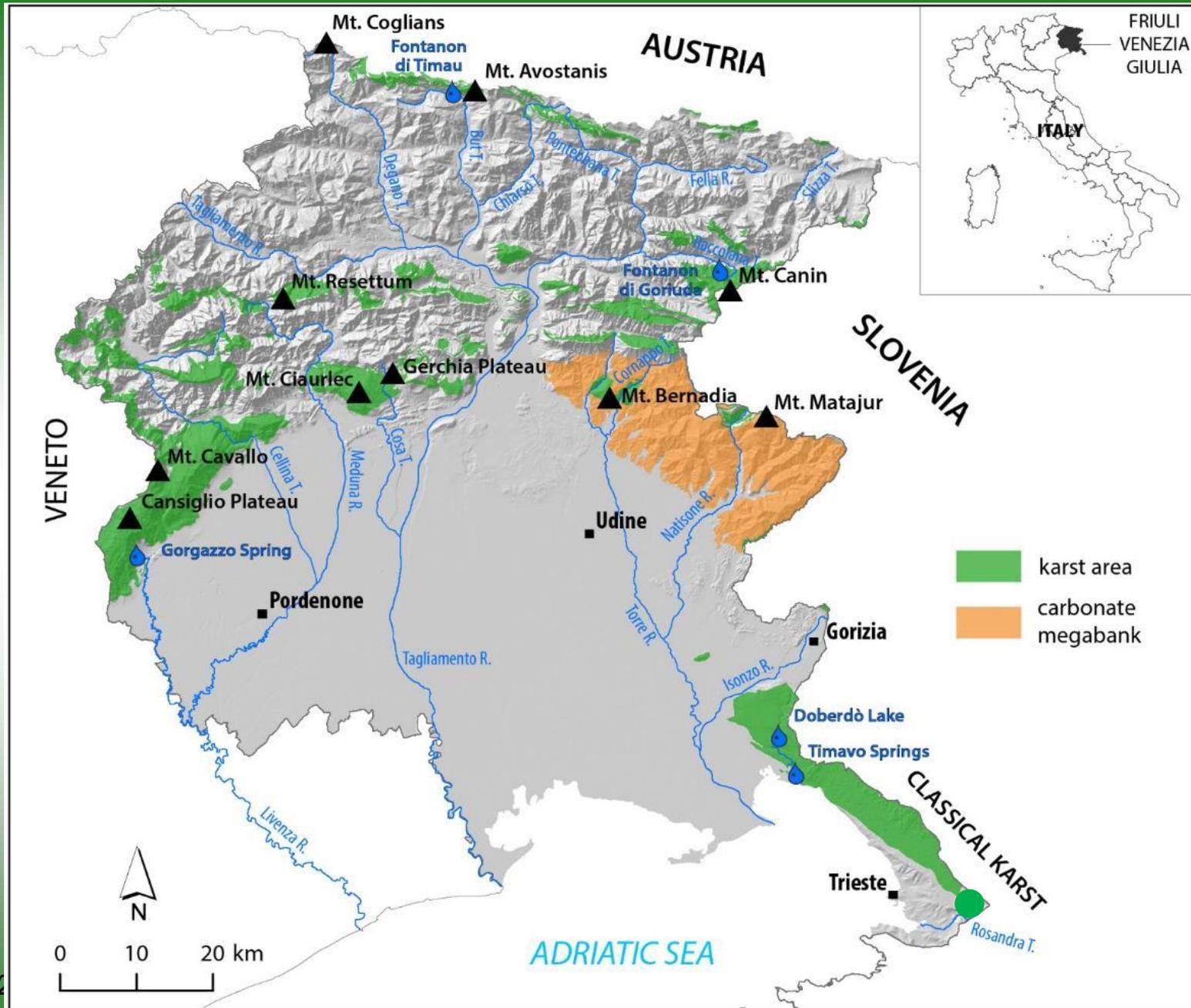
Anche gessi in Appennino bolognese e in Sicilia

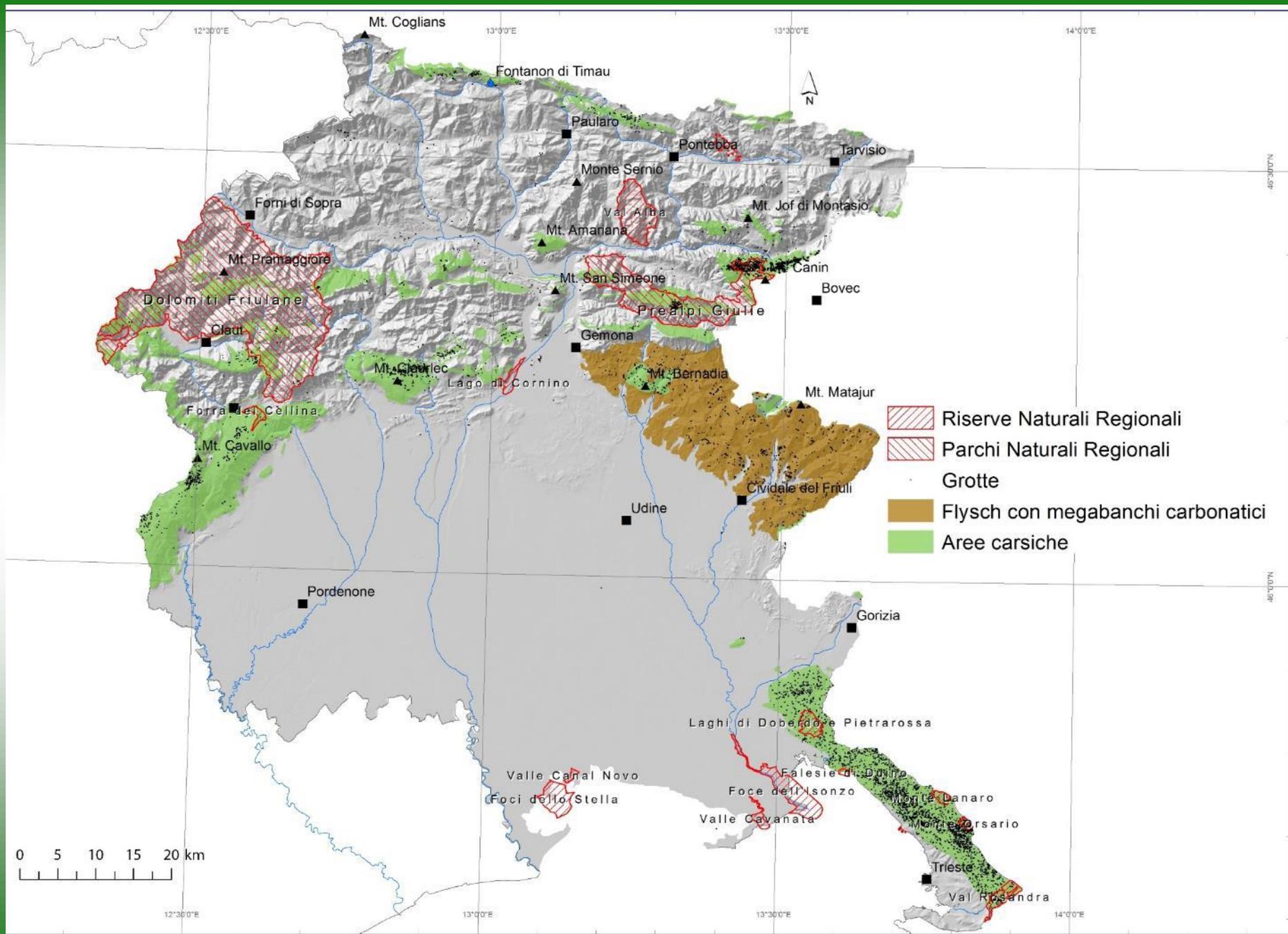
Grotte laviche: Etna



Grotte nel FVG:
soprattutto calcari
mesozoici
(Cretacico), ma
anche calcari
paleozoici e
calcareniti
e conglomerati
carbonatici







La mancanza di reticolo idrografico e i processi dissolutivi dei calcari generano una serie di **forme** sia sulla superficie topografica (carsismo epigeo, paesaggio carsico) sia all'interno delle massa rocciosa (*Carsismo ipogeo, idrografia sotterranea*)

Concetto moderno di area carsica:

Morfologia o idrogeologia ?

Le dolomie non presentano morfologie epigee, pochissime morfologie ipogee (grotte) ma al loro interno le acque si muovono nelle fessure, come nei calcari

Anche nei gessi forme molto diverse dai calcari

Porosità'

POROSITÀ: la presenza di piccoli spazi vuoti nella massa di un corpo
È una caratteristica di estrema variabilità che dipende dal numero, dalle dimensioni, dalla forma e dalla disposizione spaziale dei vuoti

Esprime l'attitudine che ha una roccia ad immagazzinare ed a liberare l'acqua.



$$n = 100 \frac{V_v}{V_t}$$

V_v = volume dei vuoti
V_t = volume totale

Porosita'



Nei sedimenti la porosità

dipende da:

- Granuometria e classazione
- Grado di compattazione;
- Disposizione e forma dei grani;
- Intercomunicazione dei vuoti.

POROSITA' PRIMARIA



Ghiaia: ampi vuoti
intercomunicanti



Roccia effusiva: vacuoli da
degassazione



Porosita' per fratturazione (secondaria)



Porosita' per fratturazione



Porosità e coefficiente di permeabilità

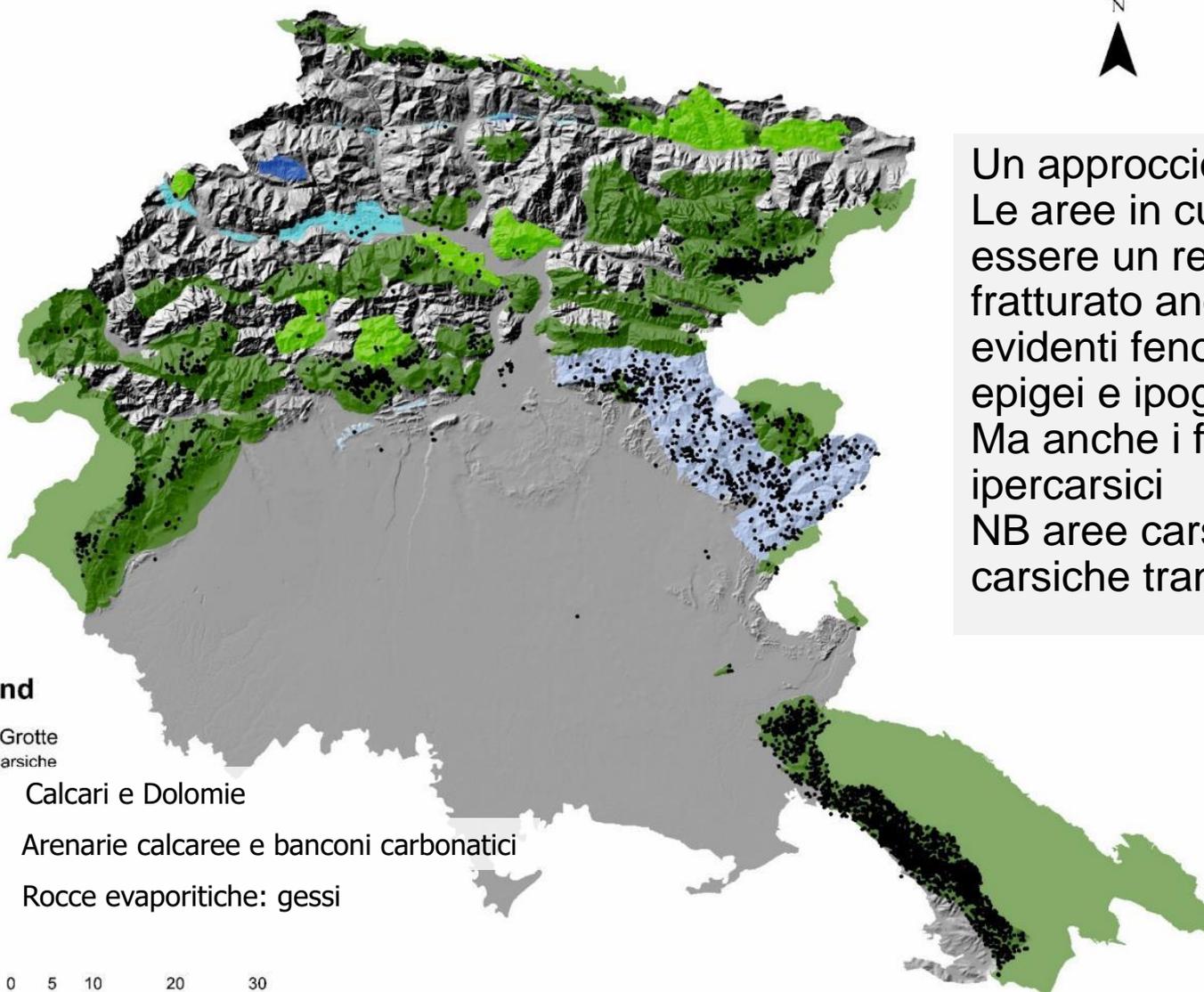


13°0'0"E

14°0'0"E



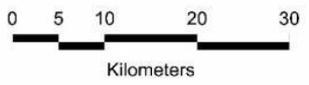
46°0'0"N



Un approccio diverso:
Le aree in cui ci può essere un reticolo fratturato anche senza evidenti fenomeni carsici epigei e ipogei (dolomie)
Ma anche i fenomeni ipercarsici
NB aree carsiche acque carsiche transfrontaliere

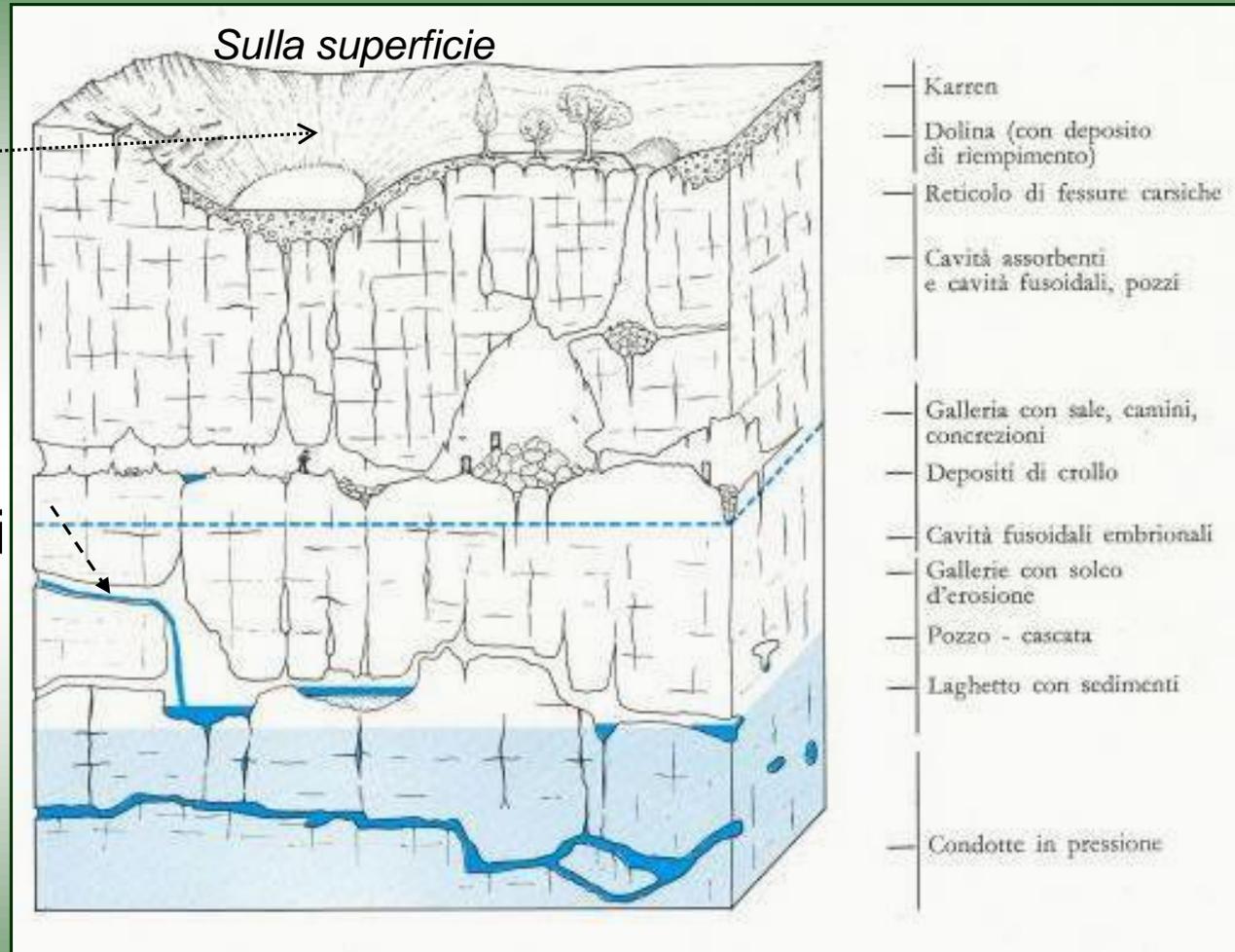
Legend

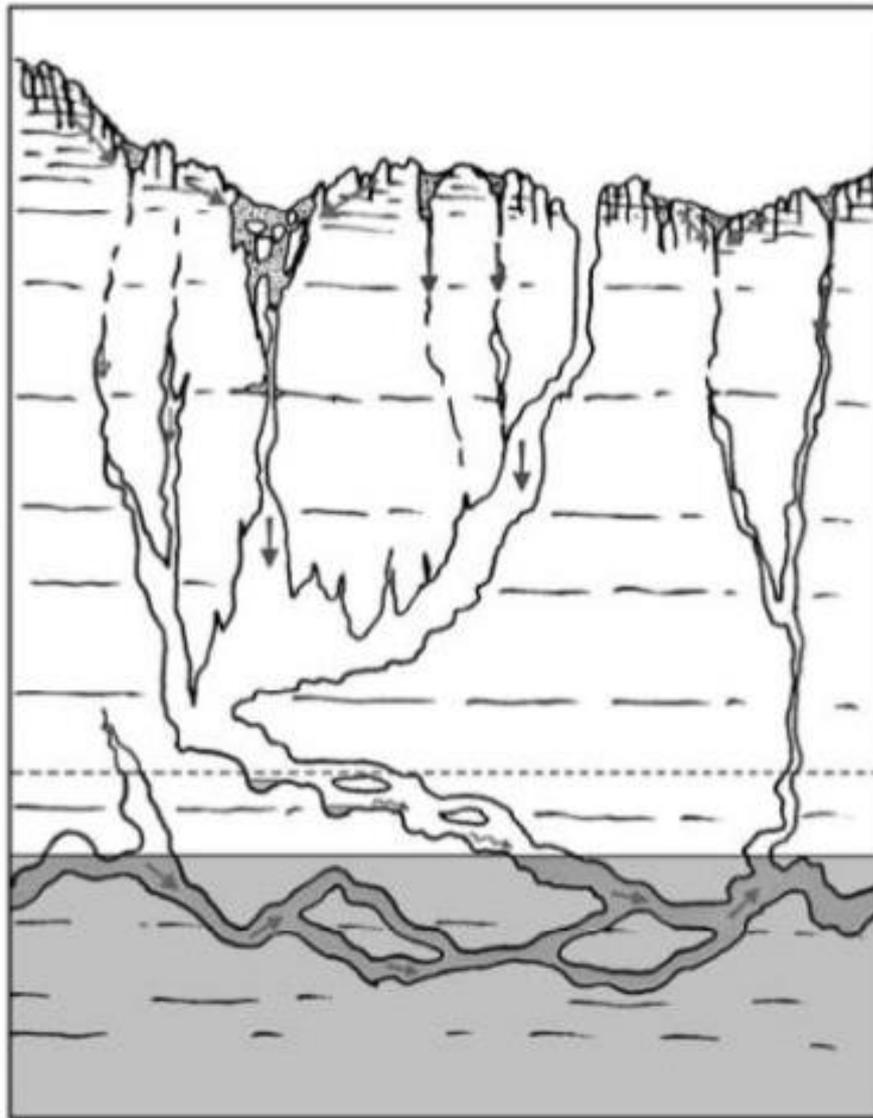
- Grotte
- Aree Carsiche
 - A Calcarei e Dolomie
 - B
 - C Arenarie calcaree e banconi carbonatici
 - D
 - E Rocce evaporitiche: gessi
 - F



Fenomeni epigei:
campi solcati, doline,

Fenomeni ipogei:
caverne, grotte, pozzi
*all'interno della
roccia*





epicarso
(zona epidermica)

zona di percolazione
e flusso vadoso

zona epifretica

zona freatica
(zona satura)

o
zona vadosa

o
zona di
transizione

Ma prima una domanda: Che velocità hanno i processi di dissoluzione carsica ?



2 modi diversi:

Misurare le perdita in peso nel tempo di blocchi o mattonelle di calcari lasciate anni a prendere la pioggia...

oppure

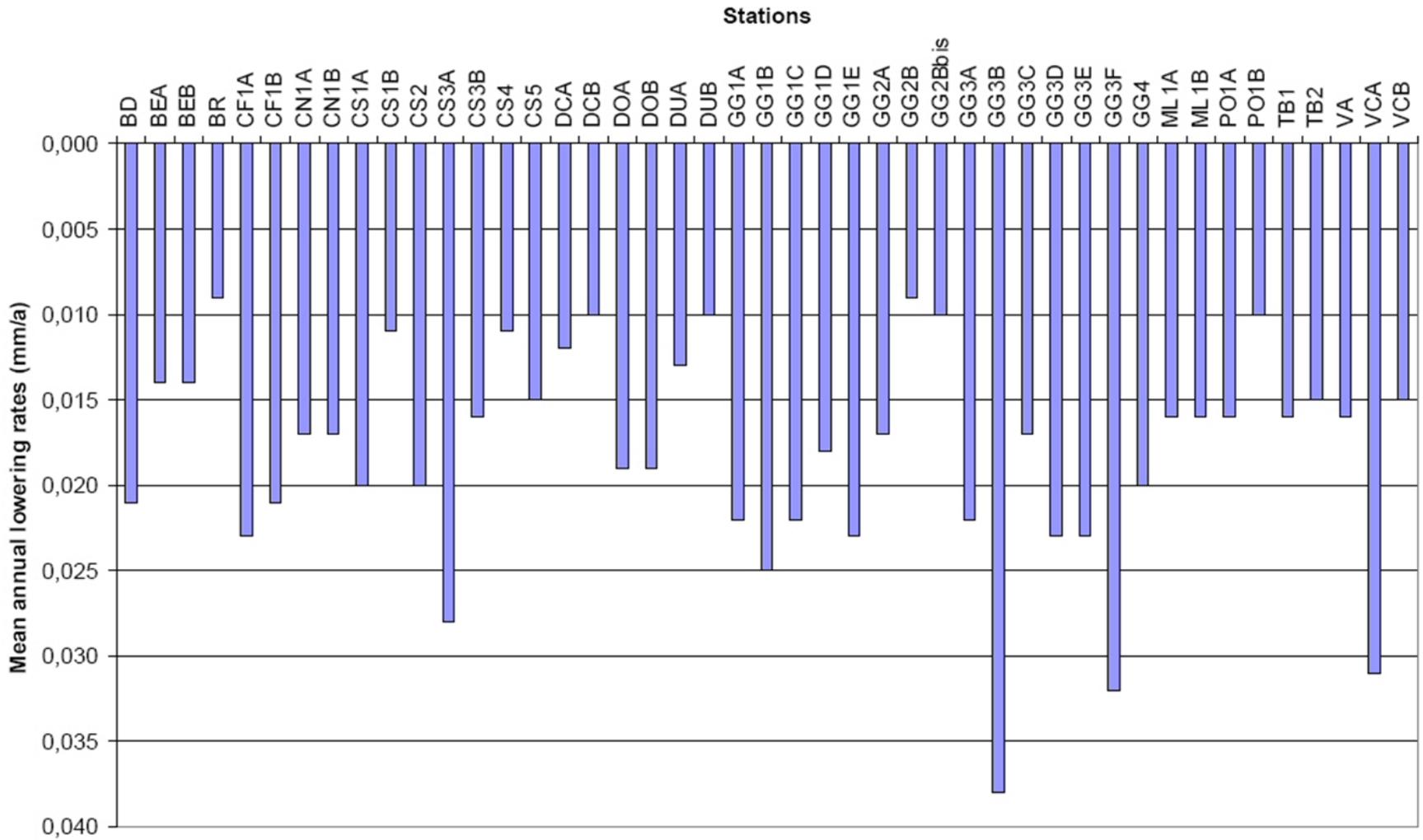
Misurare l'abbassamento della superficie Utilizzando uno strumento appositamente costruito



Che velocità hanno i processi?

Measurements of surface degradation: the microerosionmeter





Che velocità hanno i processi?

in climi simili al nostro (temperatura media annua di 12°, piovosità di circa 1200 mm/anno) l'**abbassamento medio delle superfici carbonatiche** per effetto degli agenti atmosferici è mediamente di

0.02 mm/anno, variabili **da 0.01 a 0.04** in funzione della percentuale e del tipo di calcite presente nella roccia

in pratica ciò significa che abbiamo

un abbassamento di circa soli **2 mm in 100 anni**,

il che equivale a circa **2 cm in 1000 anni**

e quindi ci vogliono

almeno **100.000 anni per rimuovere 2 m di roccia calcarea!!!!**

Ma attenzione

- Il Carso triestino dovrebbe essere emerso da circa 5 - 6 milioni di anni..
- Se questa ipotesi fosse vera: dissoluzione di almeno 100 -120 m di calcari
- La morfologia «in grande» del Carso triestino è mutata.. Non in modo omogeneo
- E se un massiccio carsico fosse emerso 50 milioni di anni fa..?

Classificazione piccole forme di corrosione

si può seguire quanto proposto da Ford & Williams (2007) come classificazione di base:

- forme planari circolari,
- forme lineari controllate da frattura,
- forme lineari controllate dall'idrodinamica,
- forme poligenetiche

utilizzare le distinzioni descritte in Cucchi, Radovich, Sauro – 1990 e recentemente codificate da Sauro (2009):

- forme controllate dall'idrodinamica, a loro volta suddivisibili in:
 - forme **dovute a solubilità dinamica** (flussi laminari o lineari),
 - forme **dovute a solubilità statica**,
- forme controllate dalle discontinuità della massa rocciosa (fratture, piani di strato...)
- forme di origine organica,
- forme complesse e/o poligenetiche

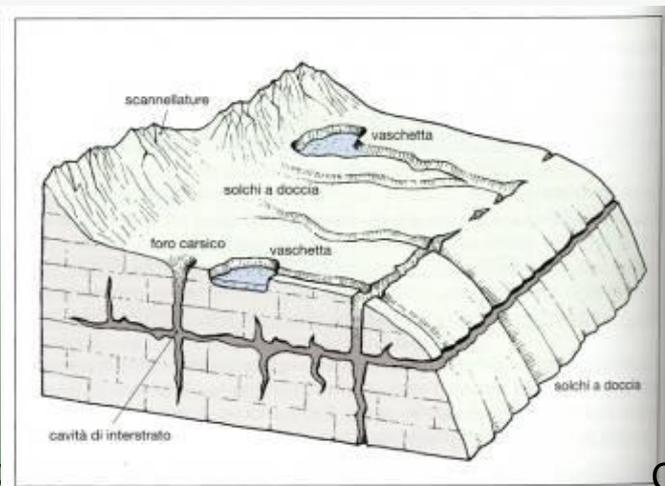
Vaschette di corrosione

Si tratta di conche tondeggianti o allungate, del diametro compreso tra poche cm al metro, con fondo orizzontale e prof max poche dm.

Spesso presentano un solo canale meandreggiante come emissario.

Sono dovute al ristagno di acqua contenente sostanza organica che aumenta l'acidità delle soluzioni: fitocarsismo

Le più grandi diventate habitat per rane, rospi, tritoni, insetti



Monte Cuarnan, Gemona

Vaschette di corrosione



Posto migliore: presso Borgo Grotta Gigante

Scannellature carsiche «Karren» in tedesco



Solchi prodotti dall'acqua
che scende velocemente lungo
le linee di massima pendenza



2022- 2023

Carso A GFGeol-STAN
Dulno, Carso
Triestino

Scanellature carsiche (S.Pelagio)



Scanellature carsiche (S.Pelagio)



Fori carsici



Crepacci carsici (Canin)



Crepacci carsici
forme arrotondate
dissoluzione sottocutanea..
Piancavallo (PN)



Canin: altopiano del Foran del Mus solchi carsici sub verticali



Solchi su pareti subverticali (Canin)





Solchi a meandro: BGG e S.Pelagio

Campi solcati (solchi, vaschette, fori,..)



Torrioni: superfici relitte per corrosione selettiva





Il torrione di Zolla» ad Est di Rupingrande (Carso Classico triestino) interessa i versanti di due colli, costituiti da Calcari a Rudiste e Condrodonta, che si elevano di una cinquantina di metri. Su uno dei colli sorge la Rocca di Monrupino,

Fattori condizionanti sono la stratificazione suborizzontale (è inclinata di 10° - 13° verso il mare), spesso indistinta, ed un sistema di fratture a famiglie rade e persistenti sub verticali e sub perpendicolari fra loro, che conferiscono ad alcuni blocchi rocciosi particolare resistenza agli agenti esterni.



Pochi torrioni molto
alti e isolati tra loro



Città di Roccia: grandi fratturazione verticali



Pradis, loc.
Gerchia, (PN)



Monti Lessini, Verona)

2022- 2023

Carso A GFGeol-STAN

