



L'impatto dell'uomo sugli acquiferi carsici

Marco Mecchia

(Associazione Geografica La Venta)

49° CORSO III° LIVELLO - Levigliani (LU) 9-10 Aprile 2011
INFORMARE d'AMBIENTE, AGIRE CONSAPEVOLMENTE
(conoscere l'ambiente delle grotte per una tutela consapevole e efficace)



L'ACQUIFERO CARSICO

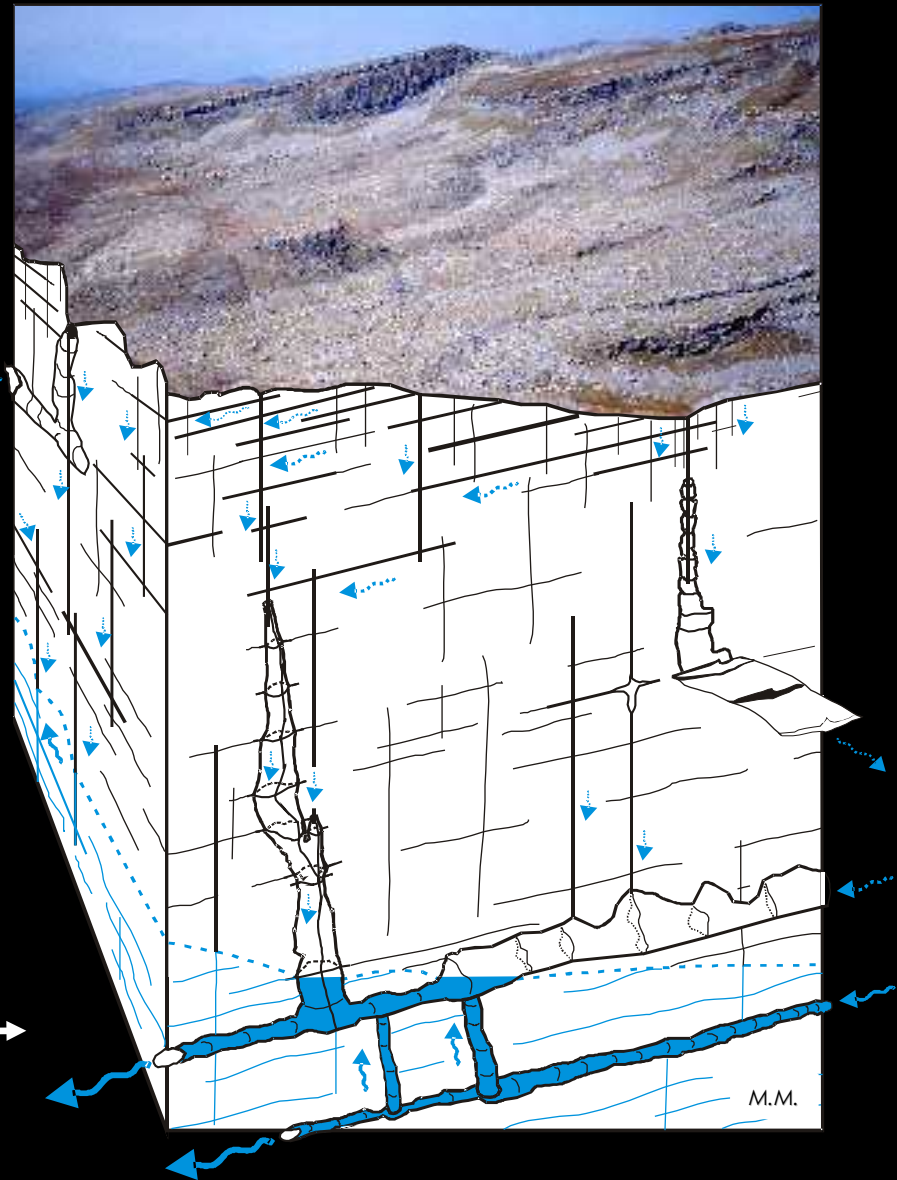
EPICARSO
(CARSISMO SUPERFICIALE)

ZONA NON SATURA

ZONA SATURA

Obiettivo della caratterizzazione dell'acquifero carsico è di comprendere il comportamento dei contaminanti delle acque:

- il percorso sotterraneo
- il tempo di trasporto
- la localizzazione delle emergenze (sorgenti, pozzi)





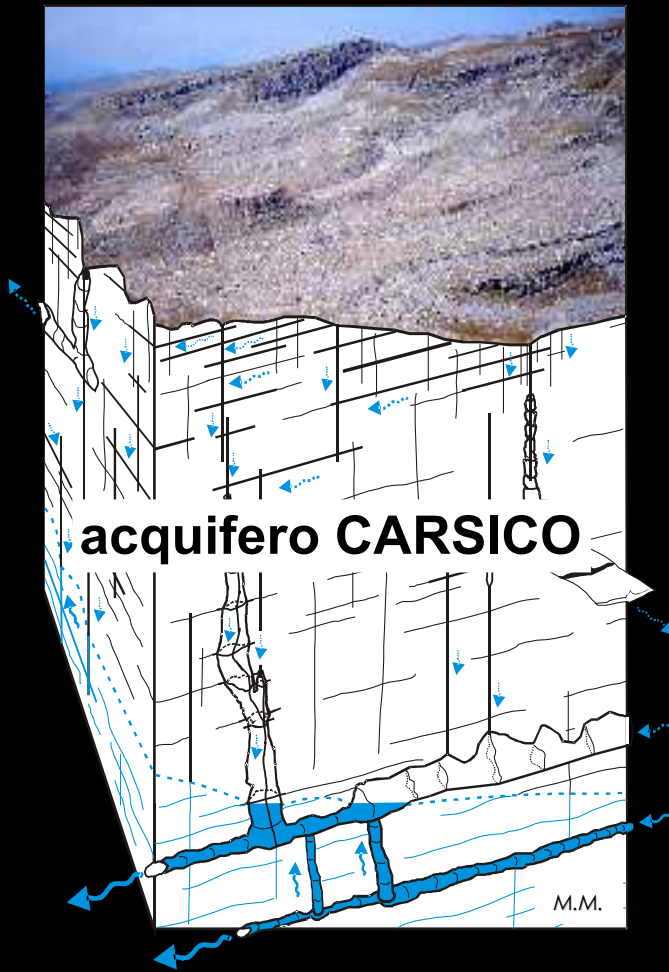
acquifero in ROCCE FESSURATE

☀️ Poco isotropo e poco omogeneo

- Flusso turbolento e abbastanza veloce

☀️ Variazioni di carico elevate

- Variazioni di chimismo elevate



acquifero CARSICO

☀️ Anisotropo e non omogeneo

- Flusso turbolento e veloce

☀️ Variazioni di carico anche molto elevate

- Variazioni di chimismo anche molto forti



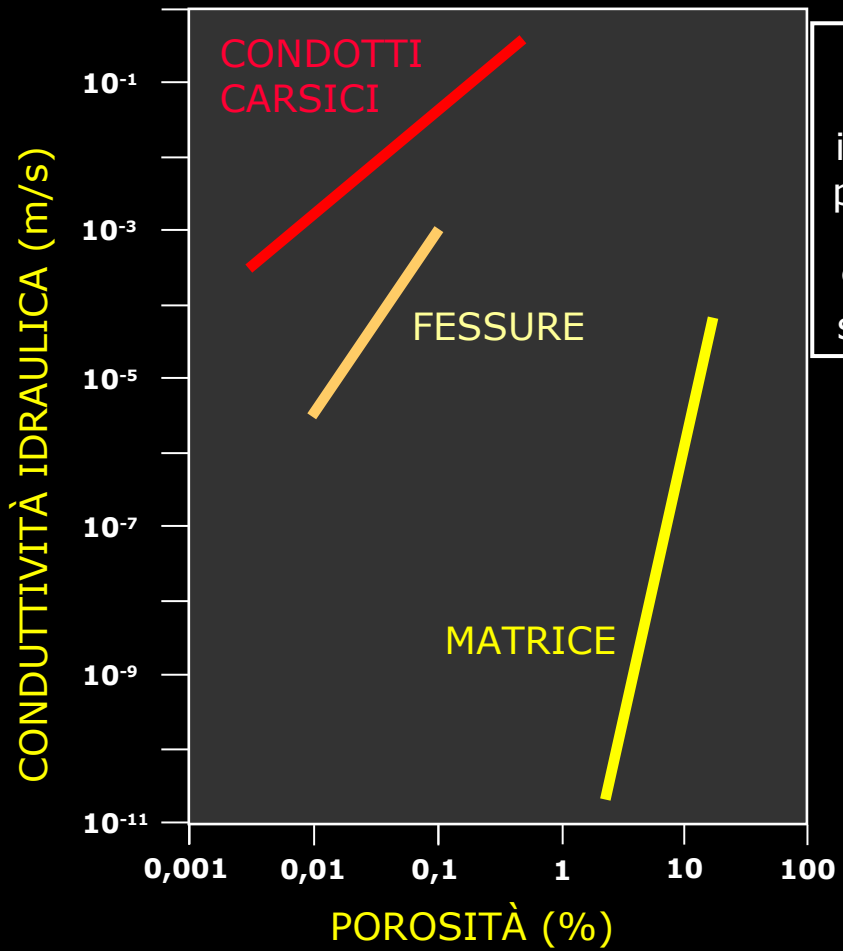
acquifero in MATERIALE SCIOLTO

☀️ Isotropo e omogeneo

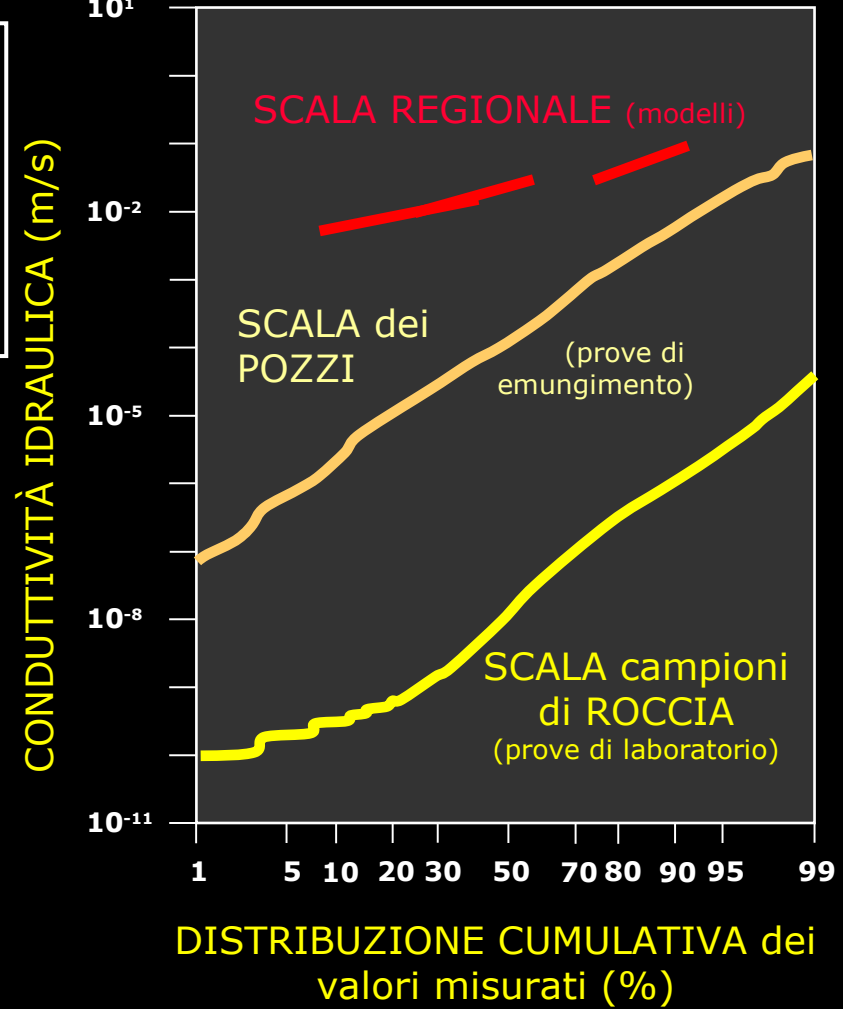
- Flusso laminare e lento

☀️ Variazioni di carico piccole

- Variazioni di chimismo piccole



il 96-99% dell'acqua è immagazzinata nei pori e nelle fessure del calcare, ma il 94-97% del flusso scorre nei condotti



permeabilità di matrice, fessure e condotti in un acquifero carsico

effetto di scala della permeabilità in un acquifero carsico

dati da Worthington (1999). A comprehensive strategy for understanding flow in carbonate aquifers. Karst and Water Institute, Special Publication 5, pp. 30-37.

da Halihan, Sharp, Mace (1999). Interpreting flow using permeability at multiple scales. Karst and Water Institute, Special Publication 5, pp. 82-96.

ACQUIFERO CARSICO o ACQUIFERO POROSO?



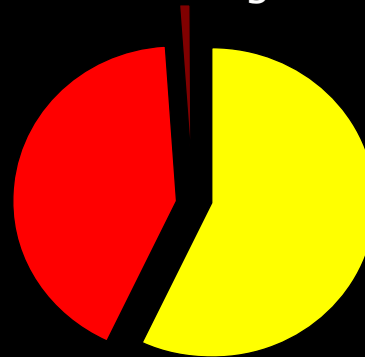
Un criterio per la perimetrazione della **fascia di rispetto** di un'opera di captazione consiste nella determinazione di un tempo di percorso degli inquinanti, per esempio 30 giorni

In un **acquifero carsico**, il tempo di percorso calcolato con metodi "tradizionali" (validi per gli acquiferi in materiali sciolti) può risultare errato, anche centinaia di volte maggiore del tempo effettivo misurato in una prova con un tracciante artificiale

Molti professionisti non hanno familiarità con gli acquiferi carsici; le loro previsioni spesso si dimostrano errate

CONDOTTI CARSICI: DOVE PASSA L'ACQUA?

solo l' 1% dei tratti di grotta si
forma nei PORI intergranulari



Il 42% dei condotti
si forma lungo
FRATTURE/FAGLIE
favorevoli

Il 57% dei condotti
si forma lungo
STRATI favorevoli

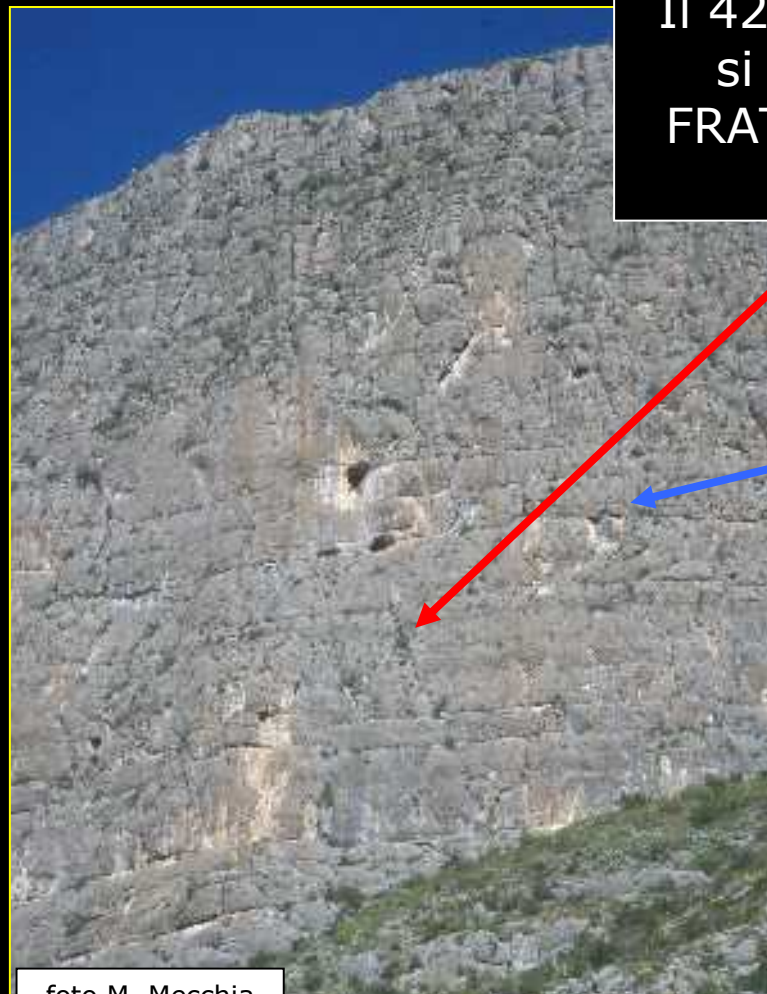


foto M. Mecchia



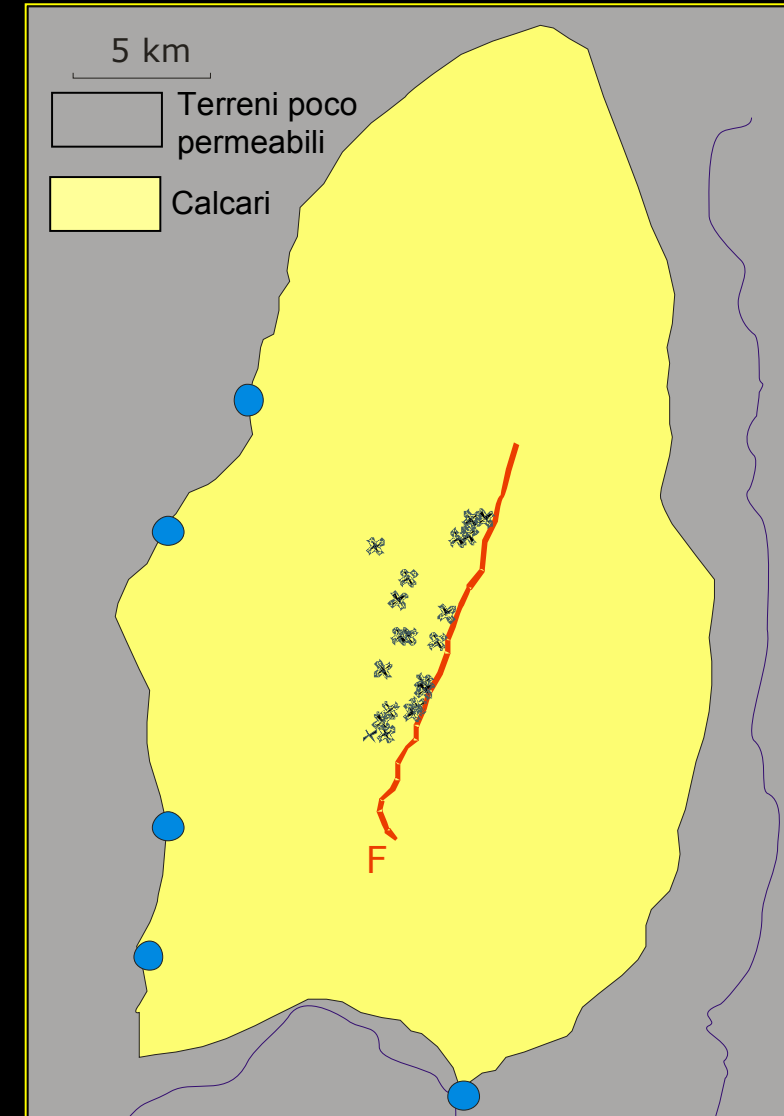
foto G. Savino

DIREZIONE DI FLUSSO

FLUSSO NELLA ZONA SATURA

da Bartolomei C., Celico P., Pecoraro A. (1980). Ipotesi di alimentazione artificiale della falda di base dei monti Lepini. Atti IV Congr. Intern. Acque Sott., I.A.H., Acireale.

- Sorgente
- ✿ Grotta

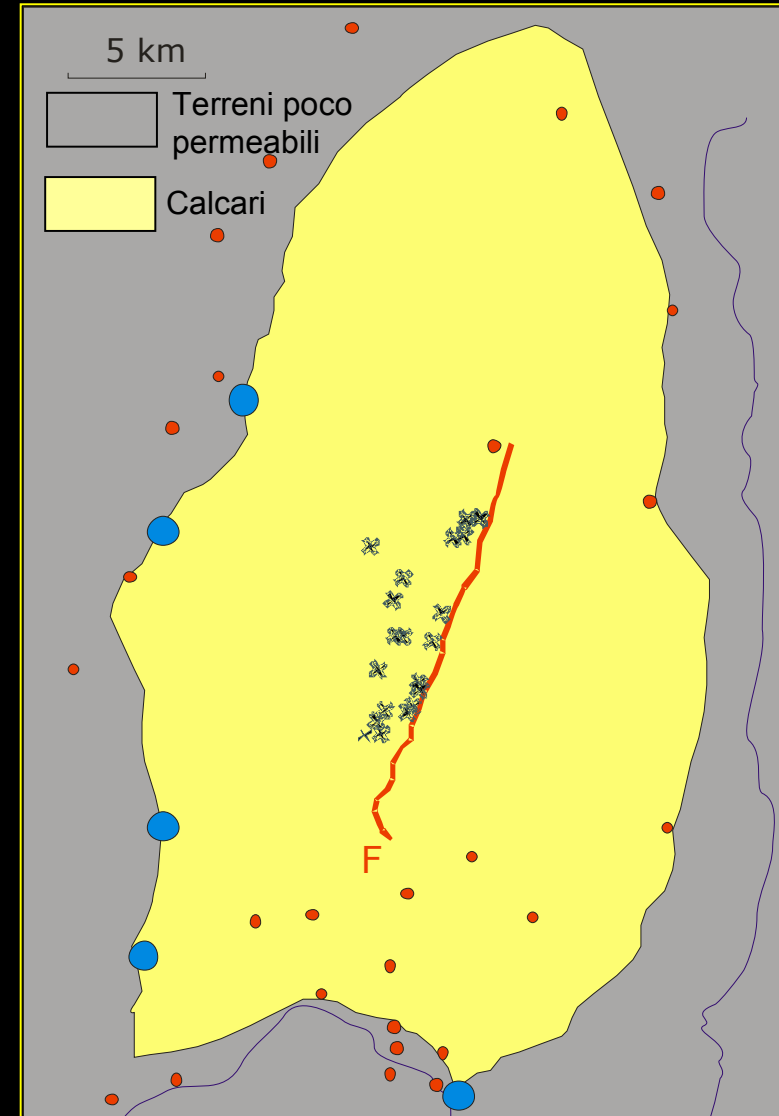


DIREZIONE DI FLUSSO

FLUSSO NELLA ZONA SATURA

da Bartolomei C., Celico P., Pecoraro A. (1980). Ipotesi di alimentazione artificiale della falda di base dei monti Lepini. Atti IV Congr. Intern. Acque Sott., I.A.H., Acireale.

- Pozzo misura livello
- Sorgente
- ✿ Grotta

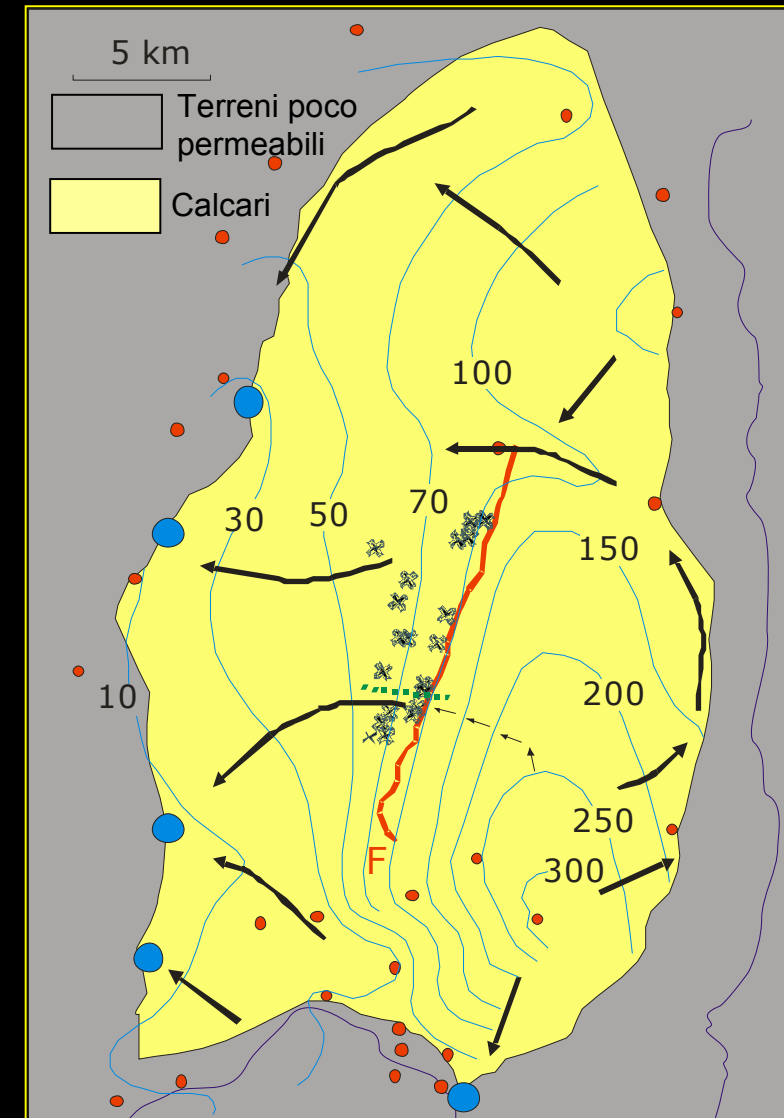


DIREZIONE DI FLUSSO

FLUSSO NELLA ZONA SATURA

da Bartolomei C., Celico P., Pecoraro A. (1980). Ipotesi di alimentazione artificiale della falda di base dei monti Lepini. Atti IV Congr. Intern. Acque Sott., I.A.H., Acireale.

- Pozzo misura livello
- Sorgente
- ✿ Grotta

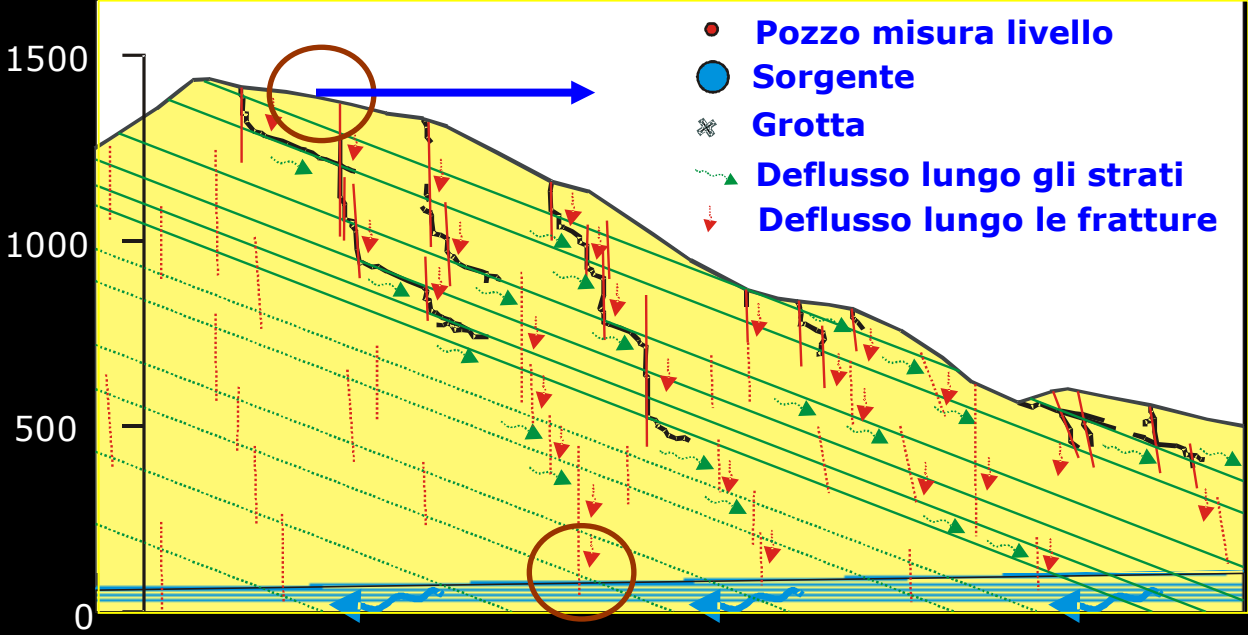


DIREZIONE DI FLUSSO

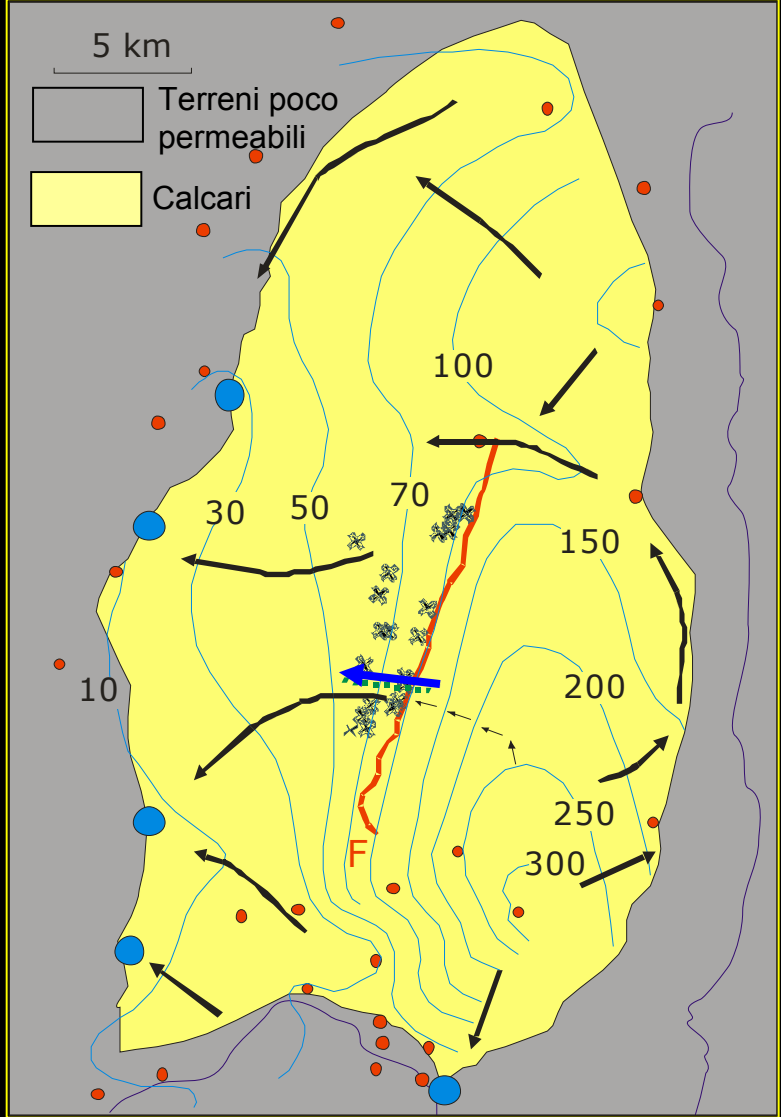
FLUSSO NELLA ZONA SATURA

le direzioni di flusso
(e di contaminazione)
possono essere diverse

FLUSSO NELLA ZONA NON SATURA



da Bartolomei C., Celico P., Pecoraro A. (1980). Ipotesi di alimentazione artificiale della falda di base dei monti Lepini. Atti IV Congr. Intern. Acque Sott., I.A.H., Acireale.



CONTAMINAZIONE delle acque sotterranee

l'acquifero CARSICO rispetto ad un acquifero in MATERIALI SCIOLTI ha:

limitate capacità di assorbimento e di filtrazione = **trasporto rapido del contaminante**

elevata velocità di scorrimento = breve tempo di residenza nell'acquifero = **decadimento meno efficace** = il contaminante può raggiungere le sorgenti molto velocemente



Miniera di Naica (foto S.-E. Lauritzen)

condizioni generalmente ossidanti = **riduzione della concentrazione di alcuni contaminanti** (ammoniaca, Fe, Mn e altri metalli pesanti)

minore tempo di residenza = **alcuni tipi di contaminazione si risolvono più rapidamente**

minore sensibilità alle **piogge acide**

COSA SI INTENDE PER CONTAMINANTE E PER INQUINAMENTO?

“Tutte le sostanze disciolte immesse in un corpo idrico come risultante delle attività dell’uomo vengono definite contaminanti, anche quando la concentrazione non raggiunge livelli tali da determinare uno scadimento significativo della qualità dell’acqua”

Freeze R.A., Cherry J.A. (1979). Groundwater. Prentice Hall, 604 pp.

Si confrontano idee diverse

Celico P. (1986). Prospezioni idrogeologiche. Liguori, 528 pp.



Contaminazione “naturale” (foto M. Mecchia)

“Per inquinamento delle acque si intende il fenomeno della contaminazione che interessa i corpi idrici per la presenza naturale o per l’immissione di sostanze organiche, di sostanze chimiche e di calore oltre determinati limiti”

La TUTELA delle acque sotterranee in ITALIA

D. Lgs. 152/2006 e D. Lgs. 30/2009

Qualità delle acque sotterranee

La normativa fissa due obiettivi:



“tutte le acque superficiali e sotterranee, ancorché non estratte dal sottosuolo, appartengono al demanio dello Stato”

foto S.-E. Lauritzen

1) Qualità ambientale

ha l'obiettivo di mantenere i processi naturali di **autodepurazione**

riguarda i corpi idrici **SIGNIFICATIVI**, cioè falde freatiche e falde profonde, sorgenti concentrate o diffuse non riguarda gli orizzonti saturi di modesta estensione

2) Qualità per specifica destinazione (per es. potabile)

ha l'obiettivo di mantenere i requisiti di idoneità per il **consumo da parte dell'uomo**

riguarda tutti i corpi idrici sotterranei che forniscono (o potrebbero fornire) in media oltre 10 m³ al giorno (0,12 L/s) o servono più di 50 persone

ACQUA POTABILE

D. Lgs. 31/2001 e D. Lgs. 27/2002

Il giudizio di potabilità di un'acqua viene dato sulla base di un esame chimico-fisico e batteriologico di routine

- parametri **microbiologici**:

E. coli ed enterococchi = 0 in 100 mL

- parametri **chimici**, per es.:

arsenico $\leq 10 \mu\text{g/L}$

benzene $\leq 1,0 \mu\text{g/L}$

boro $\leq 1,0 \text{mg/L}$

cadmio $\leq 5,0 \mu\text{g/L}$

piombo $\leq 10 \mu\text{g/L}$

nitrati (come NO^3) $\leq 50 \text{mg/L}$

nitriti (come NO^2) $\leq 0,5 \text{mg/L}$

antiparassitari totali $\leq 0,50 \mu\text{g/L}$

idrocarburi policiclici aromatici $\leq 0,10 \mu\text{g/L}$

- parametri **indicatori**, per es.:

pH compreso fra 6,5 e 9,5

odore, colore, sapore, torbidità = accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale

Per essere sottoposta ai trattamenti di potabilizzazione e raggiungere il livello di qualità previsto per l'acqua "potabile", l'acqua sotterranea deve rispettare i limiti previsti dal D. Lgs. 31/2001

QUALITÀ "AMBIENTALE" delle acque sotterranee

Deve essere valutata in base a due tipi di parametri:

1 - "Stato quantitativo" = Livello acque sotterranee

2 - "Stato chimico" = 1) Conduttività
2) Concentrazioni di:
ossigeno, pH, conduttività,
nitrati, ione ammonio, ...

D. Lgs. 152/2006 e D. Lgs. 30/2009



foto G. Savino

LE SOSTANZE CONTAMINANTI

In base alle **modalità di trasporto** nell'acquifero carsico:

- ☀ Sostanze organiche e inorganiche solubili in acqua
- ☀ Sostanze organiche poco solubili, meno dense dell'acqua
- ☀ Sostanze organiche poco solubili, più dense dell'acqua
- ☀ Agenti microbiologici patogeni
- ☀ Metalli
- ☀ Rifiuti

Vesper D.J., Loop C.M., White W.B. (2001). Contaminant transport in karst aquifers. *Theoretical and Applied Karstology*, 13-14, pp. 101-111.

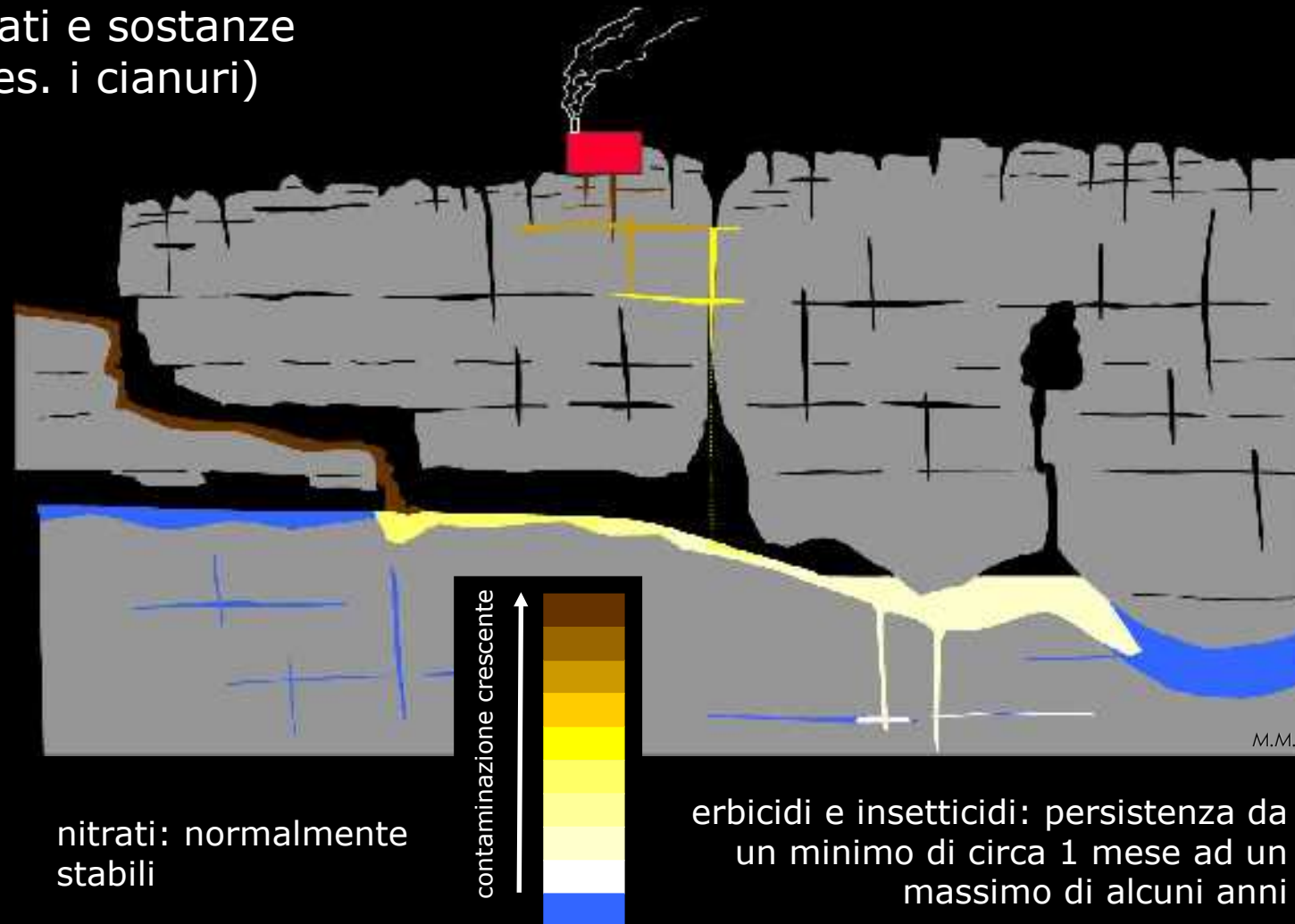
Organiche: ammoniaca e nitrati (che derivano da decomposizione, principalmente da rifiuti umani e animali), acidi carbossilici, fenoli, alcuni fitofarmaci

Inorganiche: cloruri, solfati e sostanze altamente tossiche (per es. i cianuri)

Si muovono insieme all'acqua e formano una "striscia" che migra verso valle lungo il condotto carsico

Man mano che nuovi affluenti aumentano la portata del condotto, il contaminante viene diluito

Durante le piene, però, la concentrazione può salire per effetto del pistonaggio del contaminante presente sopra la falda



nitrati: normalmente stabili

erbicidi e insetticidi: persistenza da un minimo di circa 1 mese ad un massimo di alcuni anni

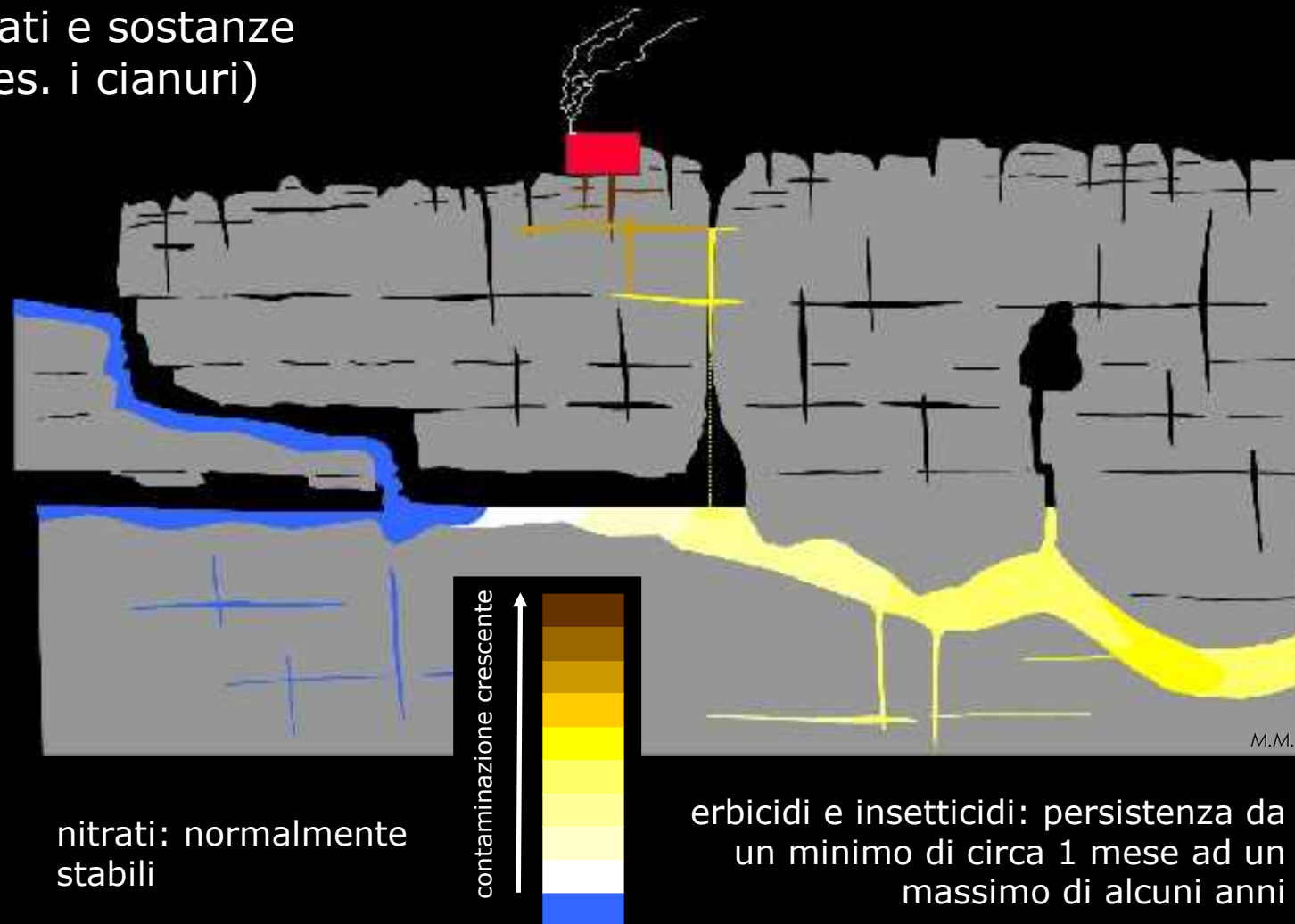
Organiche: ammoniaca e nitrati (che derivano da decomposizione, principalmente da rifiuti umani e animali), acidi carbossilici, fenoli, alcuni fitofarmaci

Inorganiche: cloruri, solfati e sostanze altamente tossiche (per es. i cianuri)

Si muovono insieme all'acqua e formano una "striscia" che migra verso valle lungo il condotto carsico

Man mano che nuovi affluenti aumentano la portata del condotto, il contaminante viene diluito

Durante le piene, però, la concentrazione può salire per effetto del pistonaggio del contaminante presente sopra la falda



nitrati: normalmente stabili

erbicidi e insetticidi: persistenza da un minimo di circa 1 mese ad un massimo di alcuni anni

CONTAMINANTI

SOSTANZE POCO SOLUBILI,
MENO DENSE DELL'ACQUA

Idrocarburi del petrolio (LNAPL = fase liquida leggera non acquosa: benzina, gasolio [con benzene e toluene])

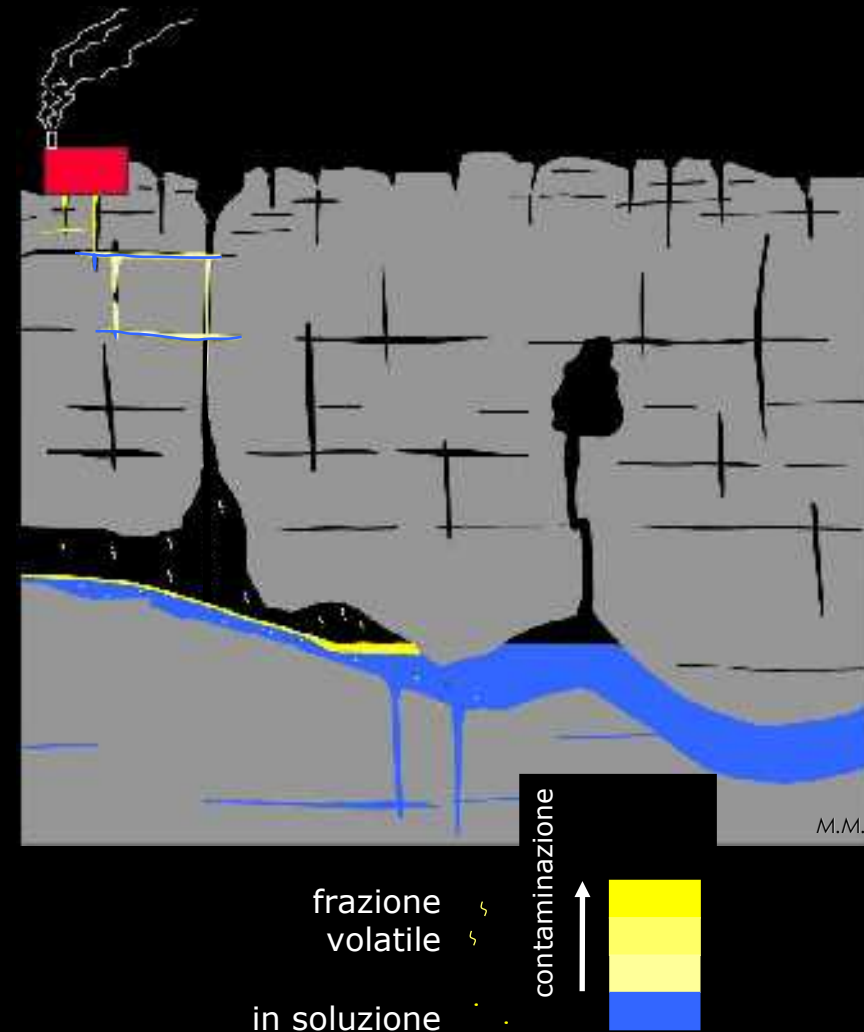
Galleggiano sulle superfici d'acqua

A contatto con l'aria vengono lentamente degradati

Raggiunto un condotto attivo tendono a fermarsi nelle pozze che precedono i sifoni

La frazione solubile si muove insieme all'acqua

La frazione volatile invade fessure e condotti sovrastanti

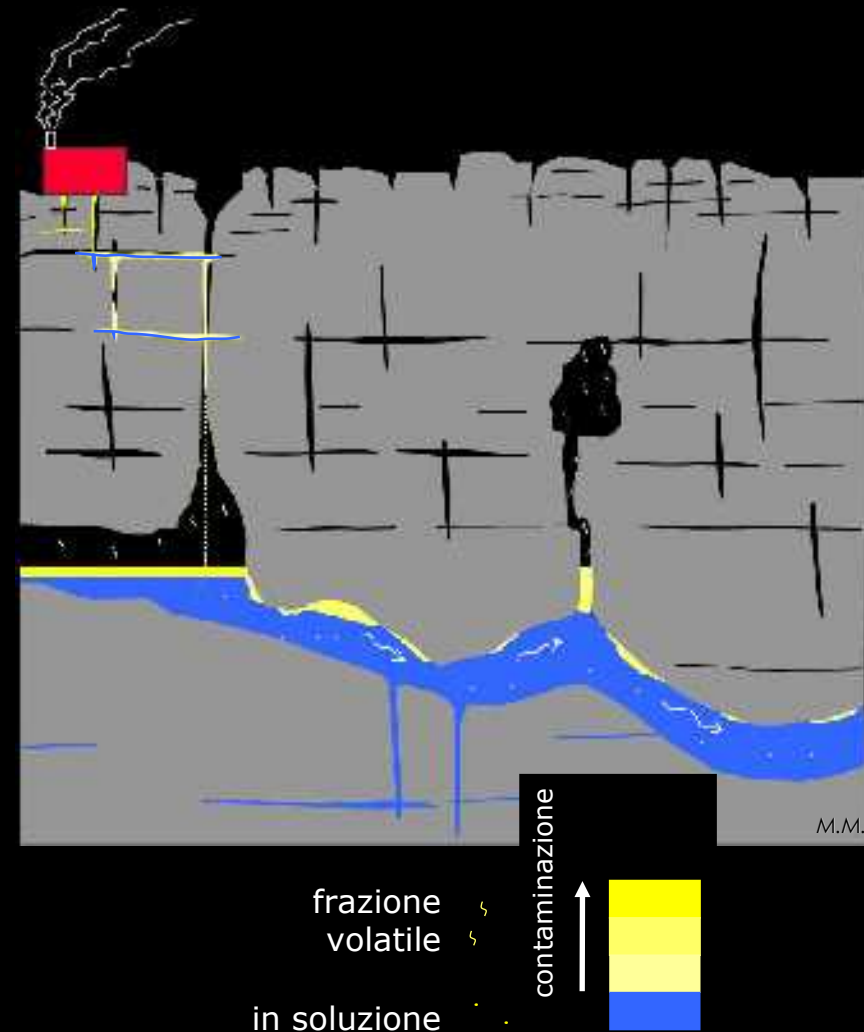


CONTAMINANTI

SOSTANZE POCO SOLUBILI, MENO DENSE DELL'ACQUA

Nella zona epicarsica, pochi metri sotto la superficie topografica, ristagnano galleggiando nelle pozze d'acqua, per essere mobilizzati in occasione degli eventi piovosi

Durante le piene salgono insieme alla superficie dell'acqua e alla sommità del condotto vengono spinti nelle fessure eventualmente presenti; in assenza di vie di fuga si mobilizzano avanzando nel condotto in pressione



CONTAMINANTI

SOSTANZE POCO SOLUBILI,
PIU' DENSE DELL'ACQUA

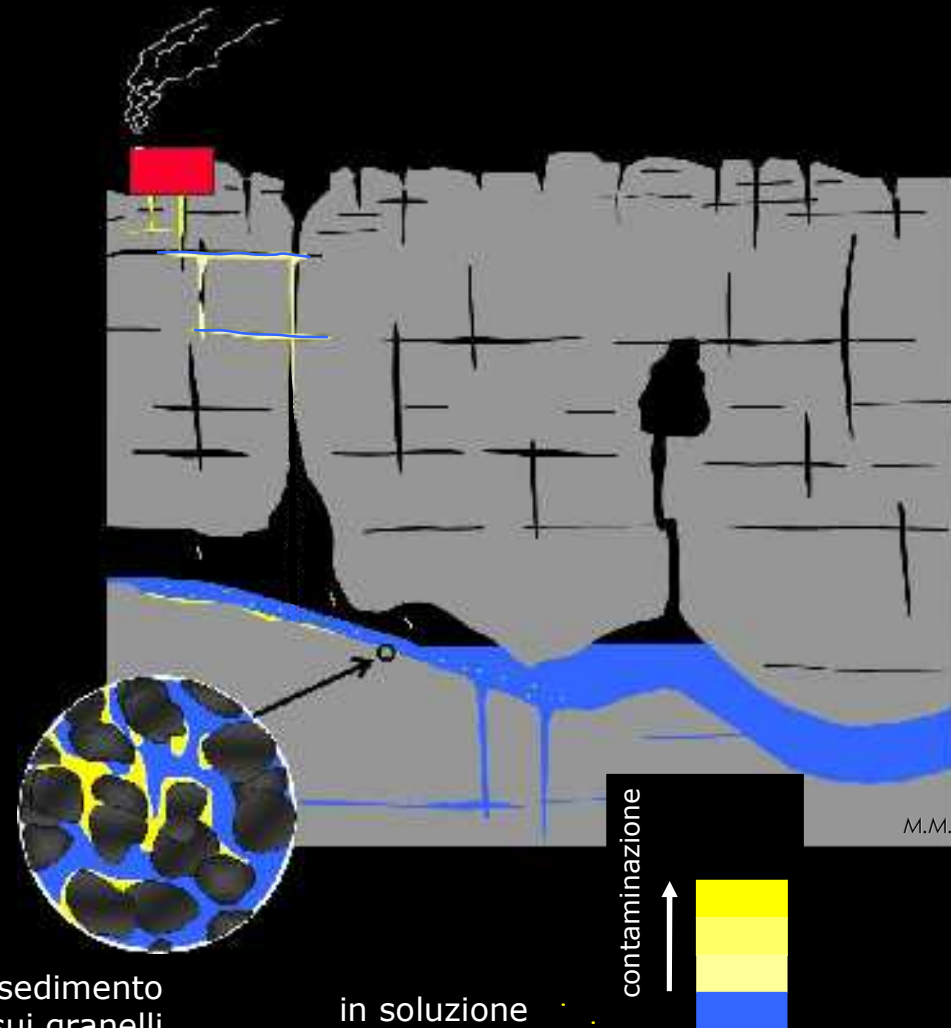
Idrocarburi clorurati (DNAPL = liquidi densi in fase non acquosa: trielina, cloruro di metilene, PCB)

In acqua affondano

Nei condotti carsici attivi si accumulano sul fondo e impregnano il sedimento

La degradazione in acqua è poco efficiente

La frazione solubile si scioglie progressivamente in acqua e viene trasportata con essa



gli idrocarburi pesanti impregnano il sedimento
e vengono adsorbiti sui granelli

in soluzione

CONTAMINANTI

SOSTANZE POCO SOLUBILI, PIU' DENSE DELL'ACQUA

Nella zona epicarsica, pochi metri sotto la superficie topografica, si depositano sul fondo delle pozze d'acqua, da dove vengono mobilizzati in occasione degli eventi piovosi, colando lungo le fessure della zona non satura

Si mobilizzano durante le piene, durante le quali anche il sedimento viene movimentato

Affondando, possono raggiungere grandi profondità sotto il livello dell'acqua

Sono spesso immiscibili in acqua e vengono adsorbiti e ritenuti "per sempre" nelle fessure e nei sedimenti, divenendo fonte di un rilascio in soluzione continuo e progressivo della fase contaminante

gli idrocarburi pesanti impregnano il sedimento e vengono adsorbiti sui granelli



Cromo, nickel, cadmio, mercurio, piombo, ...

Nelle acque carsiche, con pH neutro, tendono a precipitare come idrossidi e carbonati; in generale, la contaminazione è attenuata

Vengono adsorbiti sui materiali detritici fini, in particolare sui piccoli granelli di argilla del sedimento

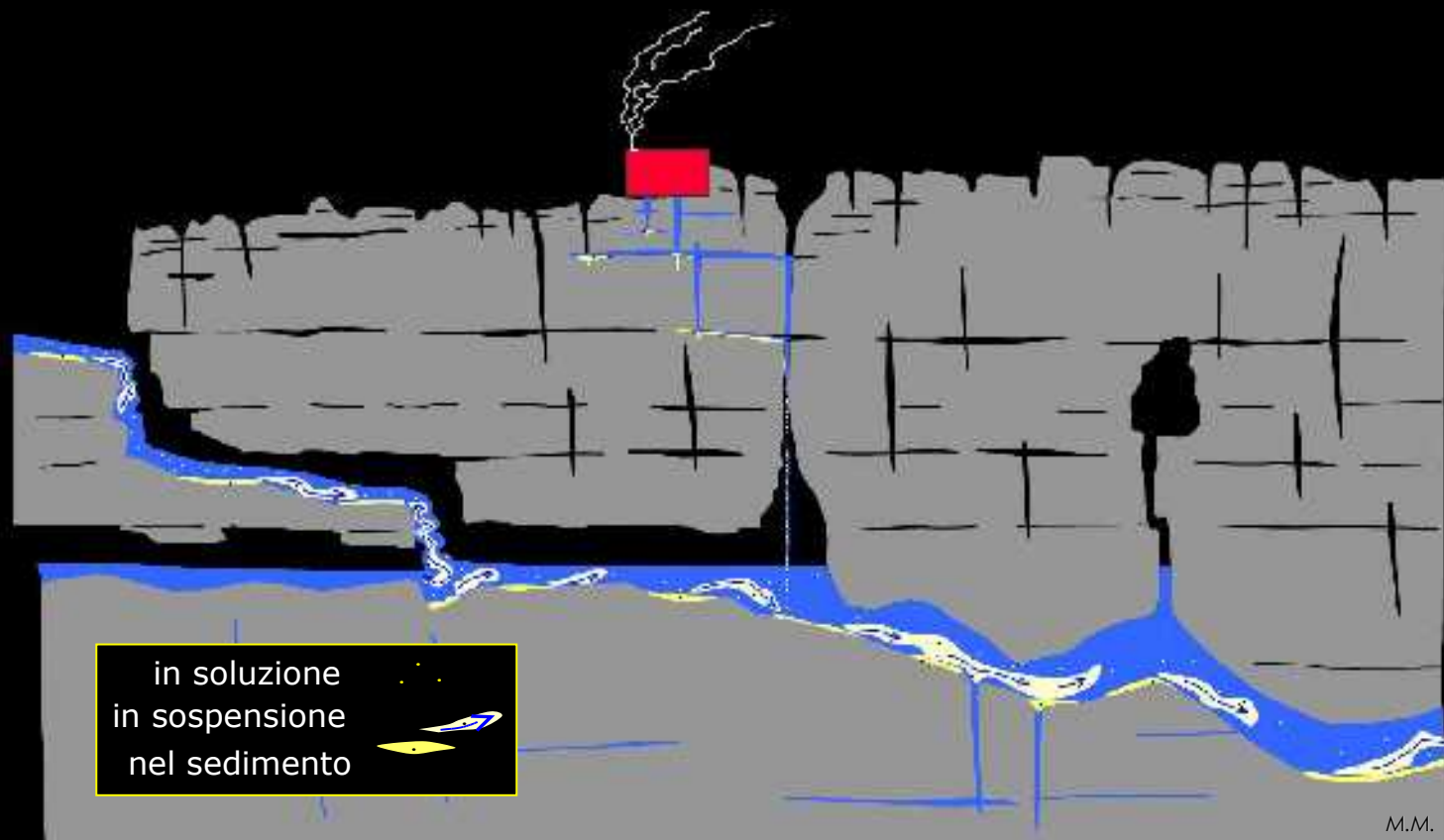
Una frazione passa comunque in soluzione e la loro concentrazione in acqua può superare quella prevista per le acque potabili



Cromo, nickel, cadmio, mercurio, piombo, ...

L'elevata velocità di flusso nei condotti carsici, soprattutto dopo le piogge, porta in sospensione grandi quantità di sedimento e quindi dei metalli eventualmente adsorbiti sui granelli

I picchi di concentrazione si riscontrano quindi durante le piene

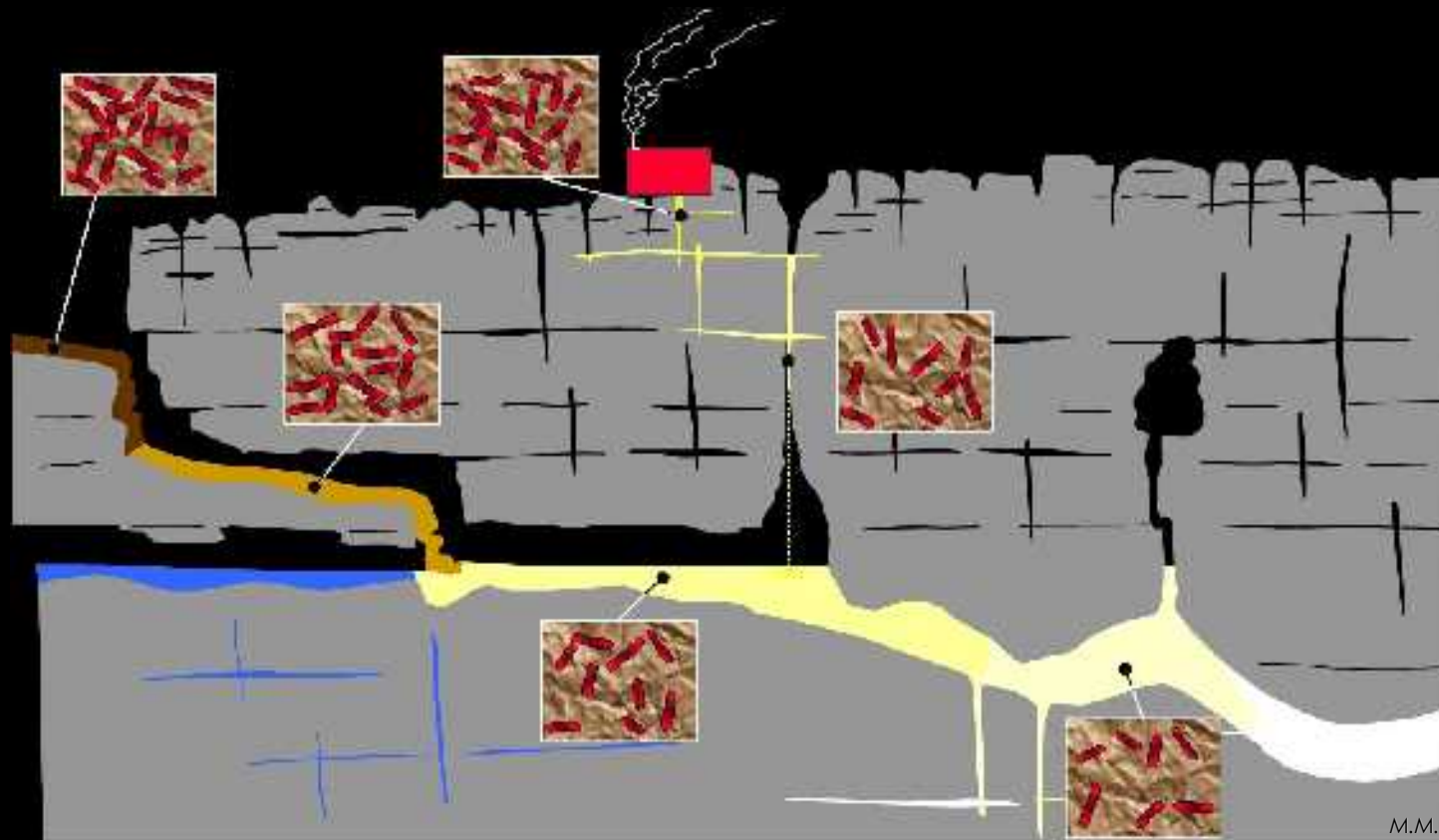


Virus, batteri, parassiti da scarichi fognari o di origine animale

Dimensioni tipiche dei microorganismi: da meno di 1 micron a centinaia di micron

Negli acquiferi porosi i microbi vengono trattenuti nei pori, dove muoiono dopo un certo tempo (20-50 giorni)

Nell'acquifero carsico, mancando la filtrazione, vengono rapidamente trasportati nei condotti dove rimangono attivi per lunghe distanze

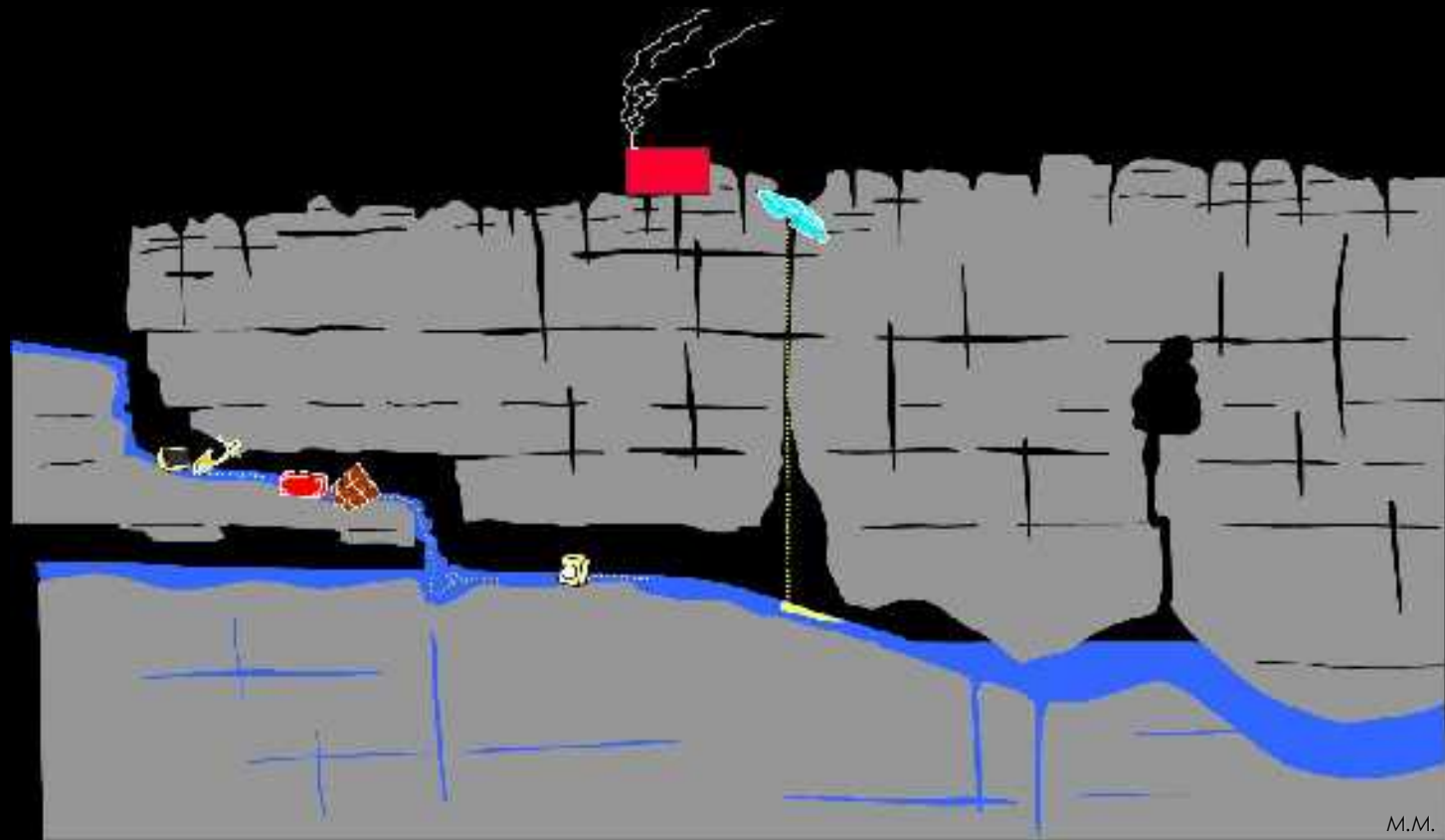


Numerosi i fattori influenzano la vita dei virus nel sottosuolo: temperatura, umidità, pH, attività microbica, sali, materia organica, ...

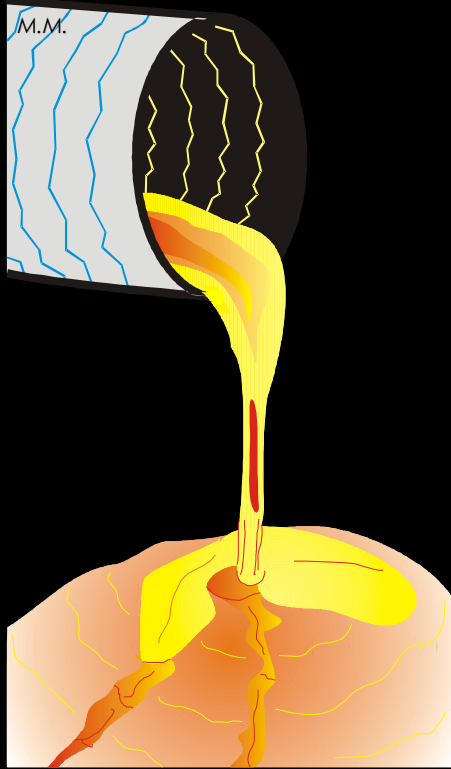
L'utilizzo di doline e inghiottitoi come luoghi di abbandono di rifiuti di ogni tipo è stato, ed è ancora, largamente diffuso

Durante le piene, i rifiuti possono essere trasportati per distanze anche lunghe nei condotti carsici attivi

Nel tempo i rifiuti rilasciano progressivamente in acqua i contaminanti che contengono



GLI SCARICHI



SCARICO è "qualsiasi immissione effettuata esclusivamente tramite un sistema stabile di collettamento che collega senza soluzione di continuità il ciclo di produzione del refluo con il corpo ricettore in acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla sua natura inquinante, anche sottoposta a preventivo trattamento di depurazione" (D.Lgs. 152/2006)

GLI SCARICHI

D. Lgs. 152/2006

È vietato lo scarico **diretto** nelle acque sotterranee e nel sottosuolo
(con alcune deroghe)

-immissione **diretta** nelle acque sotterranee =
scarico senza l'infiltrazione attraverso il suolo o
il sottosuolo

-immissione **indiretta** di inquinanti nelle acque
sotterranee è quella che avviene attraverso il suolo
o il sottosuolo (D. Lgs. 4/2008)

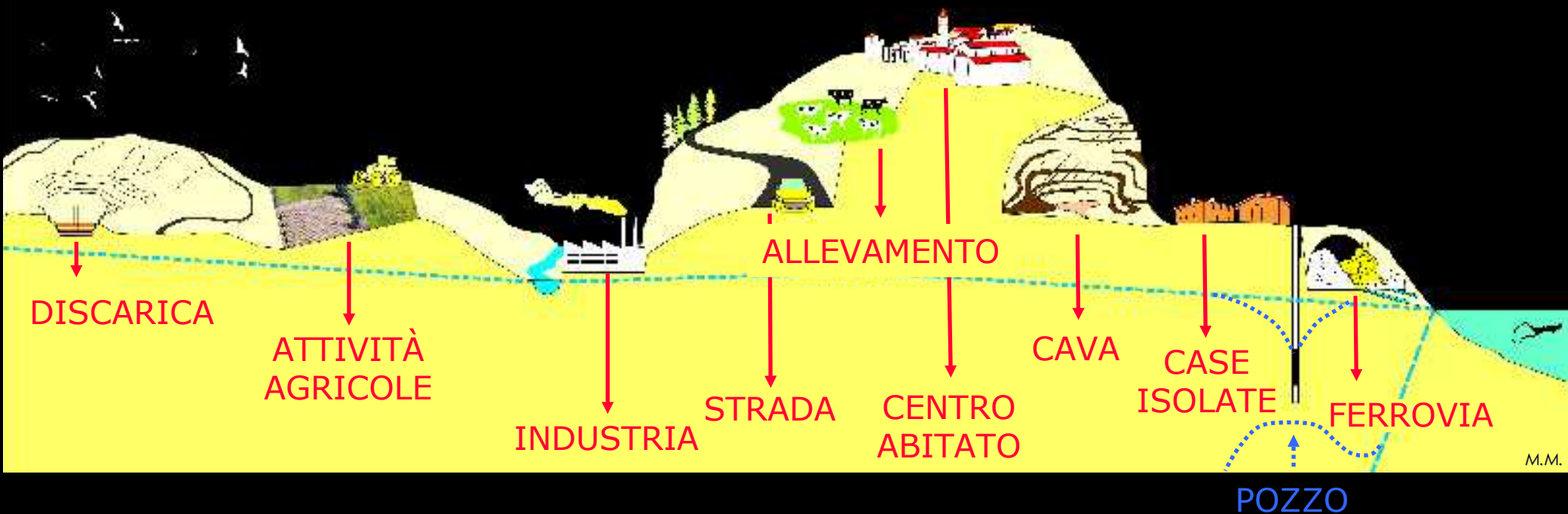
-gli scarichi devono essere convogliati in corpi idrici
superficiali oppure destinati al riutilizzo o all'utilizzazione
agronomica

-gli scarichi nelle acque superficiali devono rispettare i
valori-limite di emissione fissati in funzione del
perseguimento degli obiettivi di qualità



schiume in un inghiottitoio (foto G. Mecchia)

FONTI DI INQUINAMENTO



CENTRI ABITATI

Gli agglomerati con un numero di abitanti equivalenti superiore a 2000 devono essere provvisti di reti fognarie per le acque reflue urbane

È vietato lo **scarico diretto nelle acque sotterranee** e nel **sottosuolo** (D. Lgs. 152/2006)

Lo **scarico sul suolo** è vietato, fatta eccezione per:

- gli scaricatori di piena delle reti fognarie
- **gli scarichi di acque reflue urbane per i quali sia accertata l'impossibilità tecnica o l'eccessiva onerosità**
- gli scarichi di acque meteoriche convogliate in reti fognarie separate



foto F. De Lorenzo

CENTRI ABITATI

Parametri indicatori di inquinamento civile:

- Cloruri
- Sodio
- Fosfati e borati da detersivi
- Ammoniaca, nitriti e nitrati da decomposizione dell'urea
- BOD (domanda biochimica di ossigeno)
- Detersivi
- Batteri e virus
- Metalli



foto F. De Lorenzo

CASE ISOLATE

È vietato lo **scarico diretto nelle acque sotterranee** e nel **sottosuolo** (D. Lgs. 152/2006)

Lo **scarico sul suolo** è vietato, fatta eccezione per edifici isolati che producono acque reflue domestiche

In questo caso, le acque reflue domestiche devono essere dotate di sistemi adeguati che raggiungano lo stesso livello di protezione ambientale



foto F. De Lorenzo

CASE ISOLATE

Le **fosse settiche** sono impianti per la chiarificazione del liquame e la parziale digestione del fango:

- pozzi neri
- fosse biologiche
- vasche tipo Imhoff

Probabilmente, la maggior parte delle vasche settiche non funziona come dovrebbe

Gli scarichi domestici di case isolate rappresentano un'importante fonte di contaminazione delle acque sotterranee da nitrati e batteri



foto F. De Lorenzo

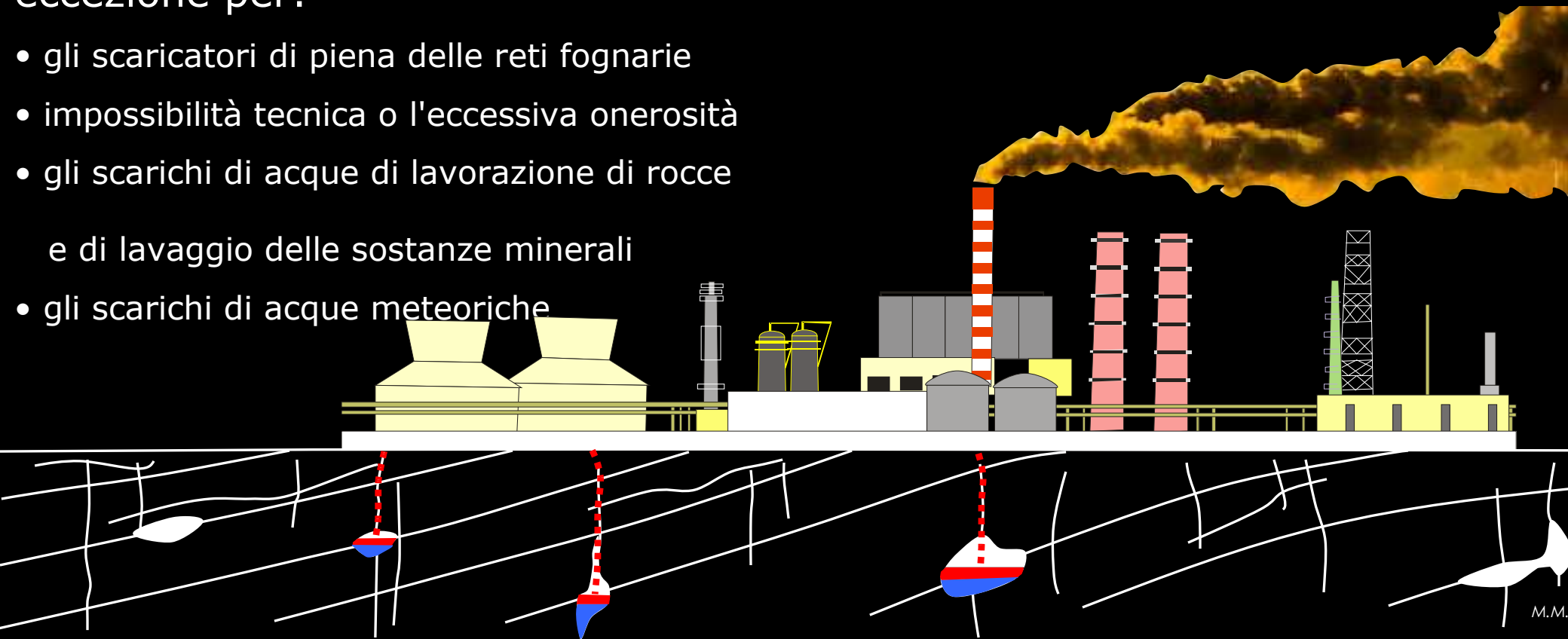
ATTIVITÀ INDUSTRIALI

È vietato lo **scarico diretto nelle acque sotterranee** e nel sottosuolo (D. Lgs. 152/2006)

lo **scarico sul suolo** è vietato, ad eccezione per:

- gli scaricatori di piena delle reti fognarie
- impossibilità tecnica o l'eccessiva onerosità
- gli scarichi di acque di lavorazione di rocce e di lavaggio delle sostanze minerali
- gli scarichi di acque meteoriche

Le caratteristiche degli scarichi delle lavorazioni industriali sono molto variabili, dipendendo dalla specifica attività produttiva



ATTIVITÀ AGRICOLE e ALLEVAMENTO

Allevamenti

Contaminazione da sostanze organiche
(scarico di residui animali)

Le misure adottate da un'azienda devono garantire che il quantitativo di effluente zootecnico sparso sul terreno ogni anno, compreso quello depositato dagli animali stessi, non superi un apporto pari a 170 kg di azoto per ettaro (D. Lgs. 152/2006)



foto G. Mecchia

Attività agricole

Contaminazione dovuta a spargimento di concimi e pesticidi, soprattutto su suoli saturi d'acqua, e da perdite da serbatoi

I batteri immessi nel sottosuolo progressivamente muoiono

Si considera generalmente sufficiente un periodo di 50 giorni per garantire la loro scomparsa

Il valore è solo indicativo, certamente una parte dei batteri può vivere più a lungo

ATTIVITÀ AGRICOLE e ALLEVAMENTO



foto M. Mecchia

Spargimento e successivo dilavamento (irrigazione) di:

- ☀ **CONCIMI** (composti azotati: nitrati, nitriti, ammoniaca, concimi animali)
- ☀ **PRODOTTI FITOSANITARI** (composti organici, metalli pesanti) utilizzati per combattere le avversità delle piante

La normativa italiana (D. Lgs. 152/2006) tutela le zone vulnerabili "da nitrati di origine agricola" e quelle "da prodotti fitosanitari"

Le Regioni individuano le aree vulnerabili, anche con l'uso di carte di vulnerabilità dell'acquifero

ATTIVITÀ AGRICOLE e ALLEVAMENTO

Anche il pascolo di bestiame in modo diffuso e l'uso di concimi organici nell'agricoltura non intensiva possono causare inquinamento microbiologico

In particolare, le piccole sorgenti carsiche d'alta quota possono presentare una contaminazione microbica nel periodo dell'alpeggio, soprattutto dopo le piogge



foto G. Mecchia

CAVE

Le cave rappresentano una delle maggiori attività di modifica definitiva e rilevante dell'assetto urbanistico-territoriale

Rimozione dello strato superficiale (epicarso), con conseguente **infiltrazione diretta e rapida** di eventuali contaminanti nell'acquifero

Inquinamento microbiologico e contaminazione dai sedimenti fini prodotti nelle attività di cava e da versamenti accidentali



foto G. Mecchia

È vietato lo **scarico diretto nelle acque sotterranee** e nel sottosuolo
(D. Lgs. 152/2006)

È anche vietato lo scarico o l'immissione **diretta** nelle acque sotterranee delle **acque meteoriche di dilavamento** dei piazzali, che possono essere contaminate da idrocarburi, da particelle di pneumatici usurati, da sale antigelo

Queste acque devono essere convogliate e opportunamente trattate prima dell'immissione in un corso d'acqua (vasche di sedimentazione per i solidi sospesi, disoleatore per idrocarburi)



foto M. Mecchia

CAVE

Il **pompaggio** di acque da pozzi all'interno della cava, o uno scavo che intercetti la superficie della falda, possono essere causa di:

- ☀️ abbassamento localizzato del livello piezometrico
- ☀️ modifica delle caratteristiche di flusso delle sorgenti
- ☀️ contaminazione delle acque sotterranee

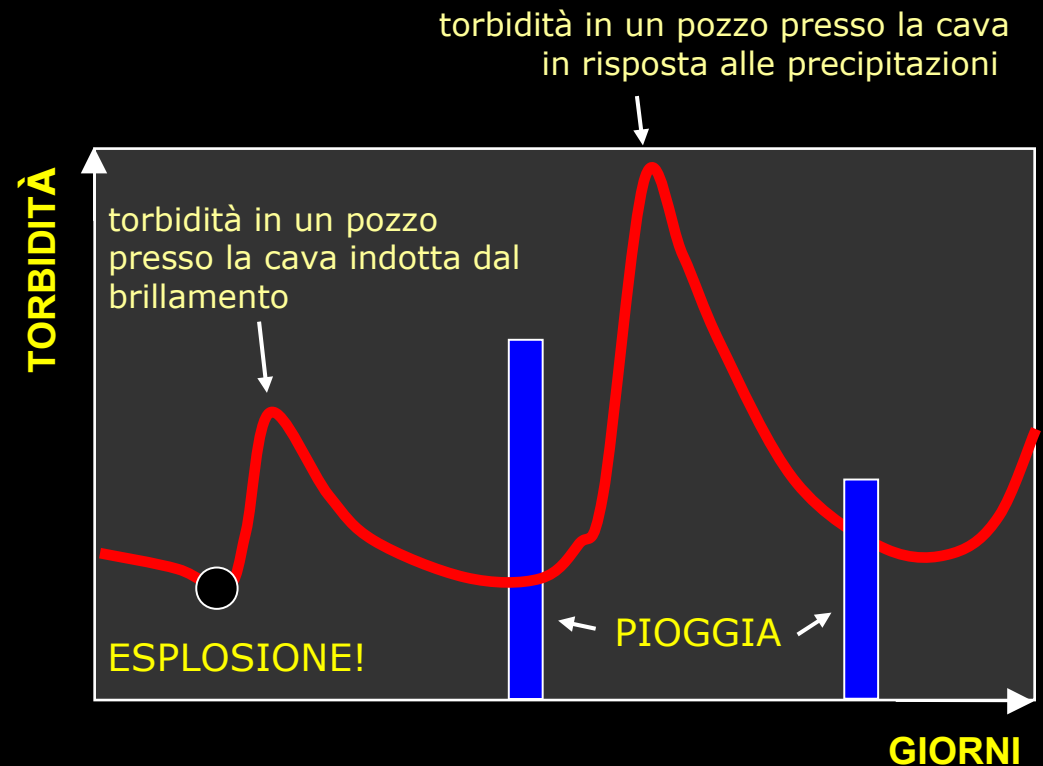


foto F. De Lorenzo

CAVE

Un aumento di **torbidità** dell'acqua in pozzi e sorgenti nei pressi di una cava può verificarsi in seguito a **precipitazioni** e in alcuni casi come conseguenza del **brillamento delle cariche**

Le vibrazioni della roccia dovute all'esplosione possono portare il materiale fine presente nelle fessure della roccia in sospensione nell'acqua di falda

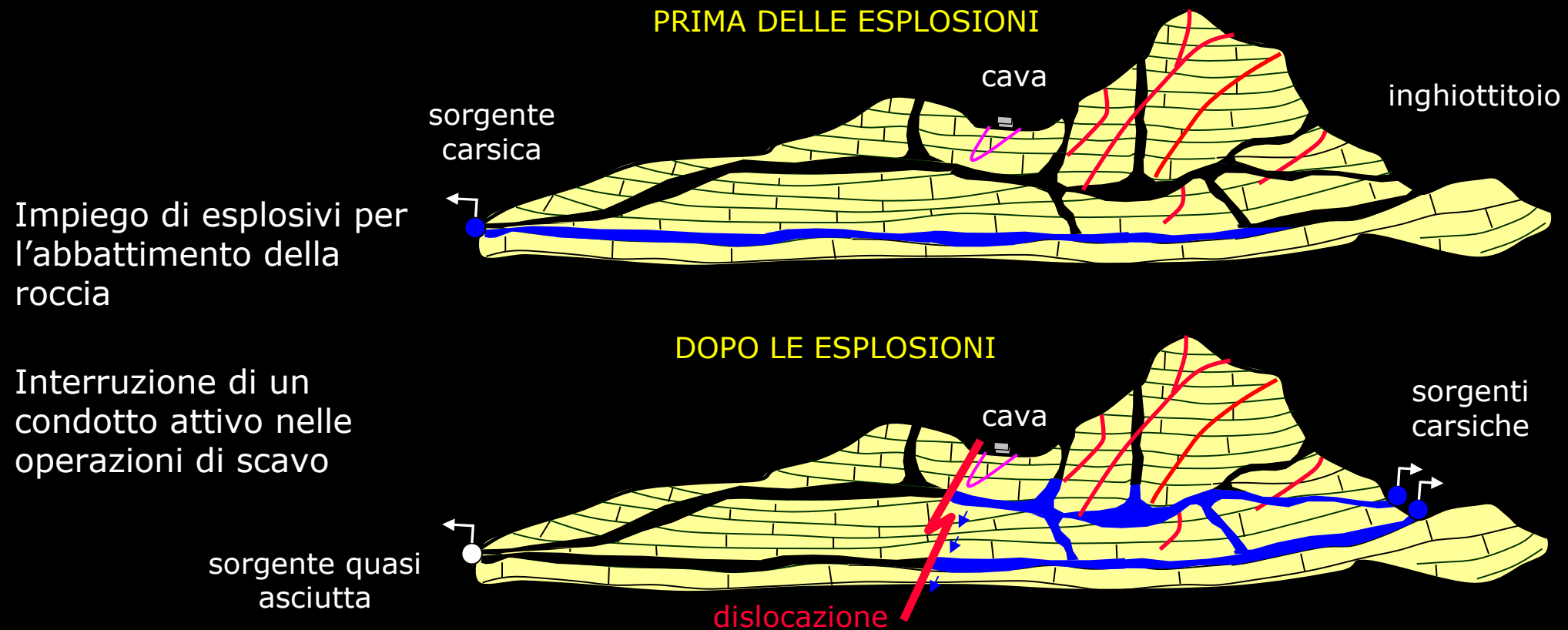


adattato da Green J.A., Pavlish J.A., Merritt R.G., Leete J.L. (2005) - Hydraulic Impacts of Quarries and Gravel Pits. Minnesota Department of Natural Resources, Division of Waters.

CAVE

Le attività estrattive possono determinare il **cambiamento del percorso delle acque sotterranee**, con il prosciugamento di una sorgente e attivazione di una diversa emergenza

da Mehmet Ekmekci (1993). Impact of quarries on karst groundwater systems. Hydrogeological Processes in Karst Terrenes. IAHS Publ. no. 207, pp. 3-6.



CAVE



foto G. Mecchia

Deposito di rifiuti di estrazione
L'abbandono, lo scarico, il deposito e lo smaltimento incontrollati dei rifiuti di estrazione sul suolo, nel suolo e nelle acque superficiali e sotterranee sono vietati



foto M. Mecchia

Cave abbandonate

Nel passato (?) al termine delle attività le cave venivano spesso utilizzate come **discariche abusive**

DISCARICHE

L'abbandono, lo scarico, il deposito e lo smaltimento incontrollati dei rifiuti sul suolo, nel suolo e nelle acque superficiali e sotterranee sono vietati

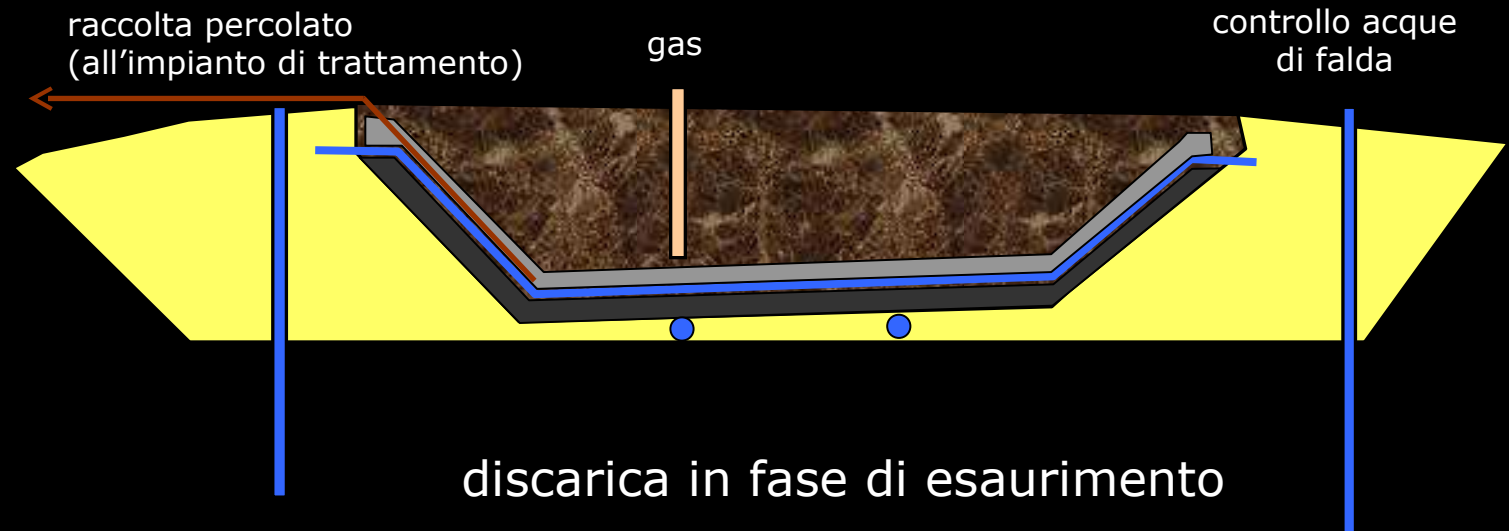
Aree adibite allo **smaltimento dei rifiuti**

(D. Lgs. 36/2003 – Discariche di rifiuti; D. Lgs. 22/1997 – Rifiuti)

- discarica per rifiuti inerti
- discarica per rifiuti non pericolosi
- discarica per rifiuti pericolosi

non si dissolvono, non bruciano né sono soggetti ad altre reazioni fisiche o chimiche, non sono biodegradabili

L'acqua che si infiltra nell'ammasso di rifiuti e giunge al fondo della discarica costituisce il **percolato**



DISCARICHE

“Gli impianti di discarica, sia di rifiuti non pericolosi che pericolosi, non possono essere ubicati in corrispondenza di **doline**, **inghiottitoi** o **altre forme di carsismo superficiale**” (D. Lgs. 36/2003)

Però, con provvedimento motivato, le Regioni possono autorizzare la realizzazione di discariche per rifiuti non pericolosi anche in questi luoghi

L'utilizzo di doline e inghiottitoi come luoghi di abbandono di rifiuti di ogni tipo è stato ed ancora è largamente diffuso



foto M. Merlo

STRADE

Inquinamento del suolo a bordo strada a causa delle sostanze rilasciate: idrocarburi incombusti, piombo, cadmio, polveri, fango, cloruri dal sale antigelo, versamenti accidentali

Stazioni di servizio: rischio di versamento di idrocarburi



foto M. Piro



foto F. De Lorenzo

FERROVIE

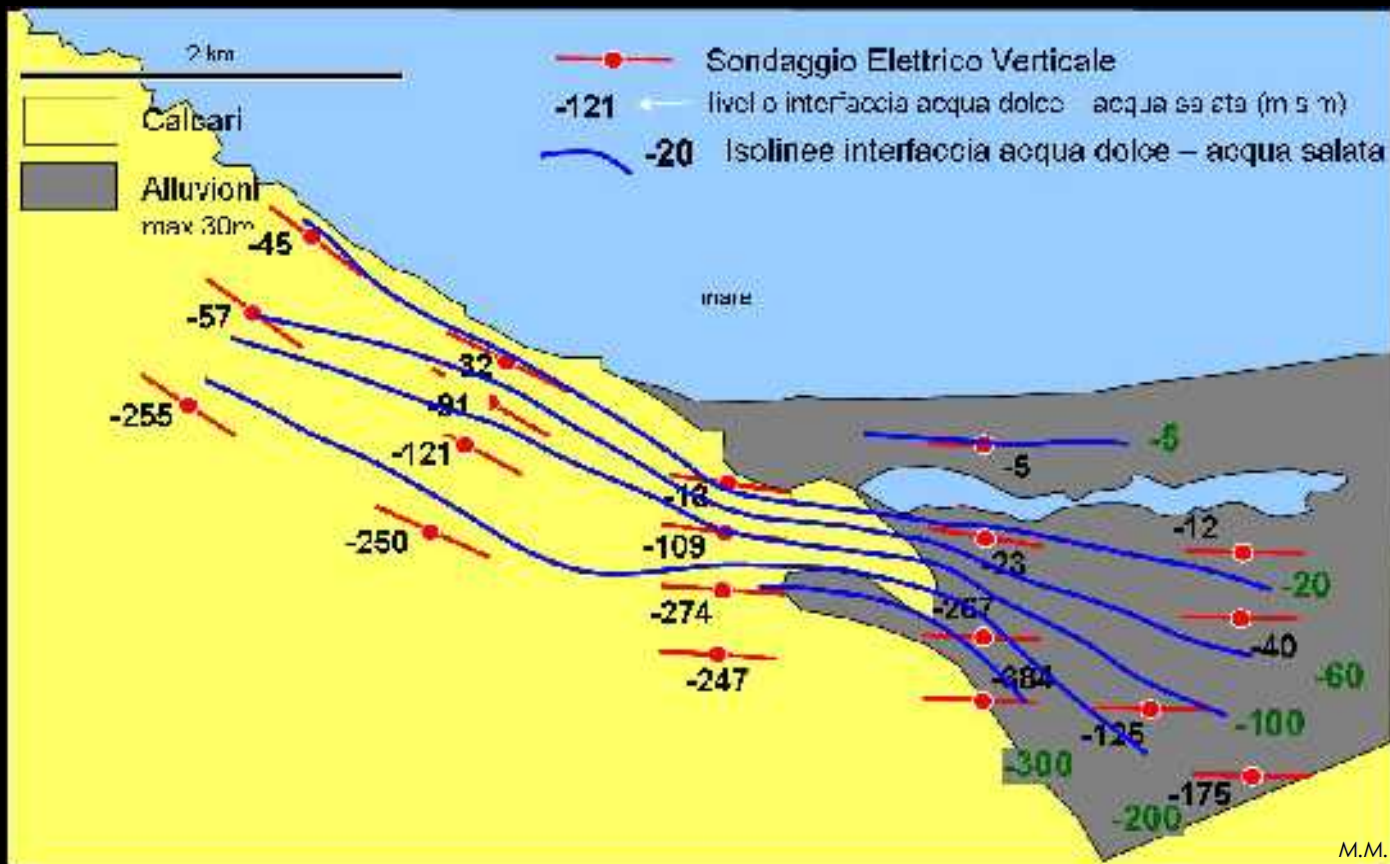
Inquinamento del suolo lungo la ferrovia per rilascio di lubrificanti, impiego di erbicidi e dispersione di sostanze fecali

Rischio di incidenti con dispersione di idrocarburi o di altri contaminanti

SOVRASFRUTTAMENTO DELLE FALDE

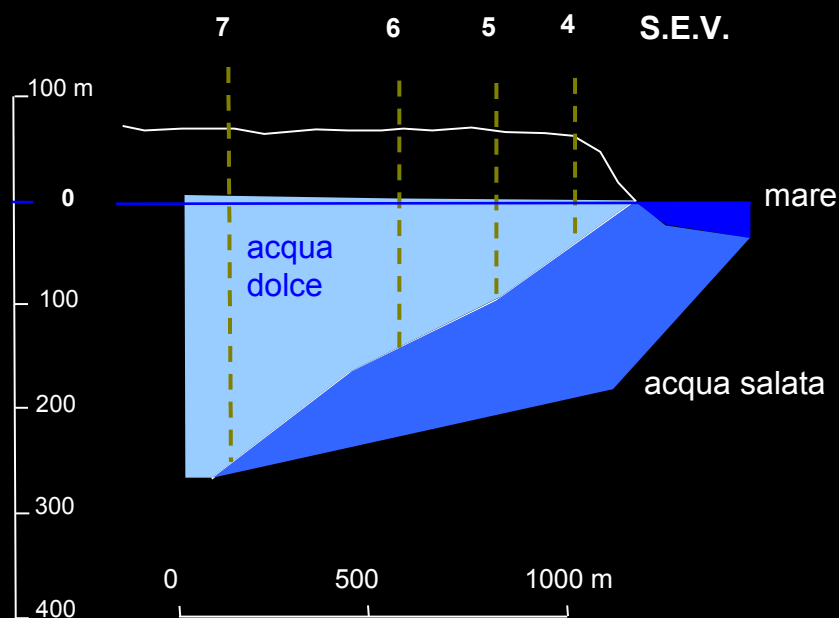
SALINIZZAZIONE DELL'ACQUIFERO CARSICO

Generalmente prodotta dall'intrusione di acqua marina, determina l'aumento della concentrazione di cloruri, solfati, sodio, e quindi lo scadimento della qualità dell'acqua



Le posizioni del livello dell'acqua e l'interfaccia acqua dolce - acqua salata possono essere stabilite con misure geofisiche

SOVRASFRUTTAMENTO DELLE FALDE

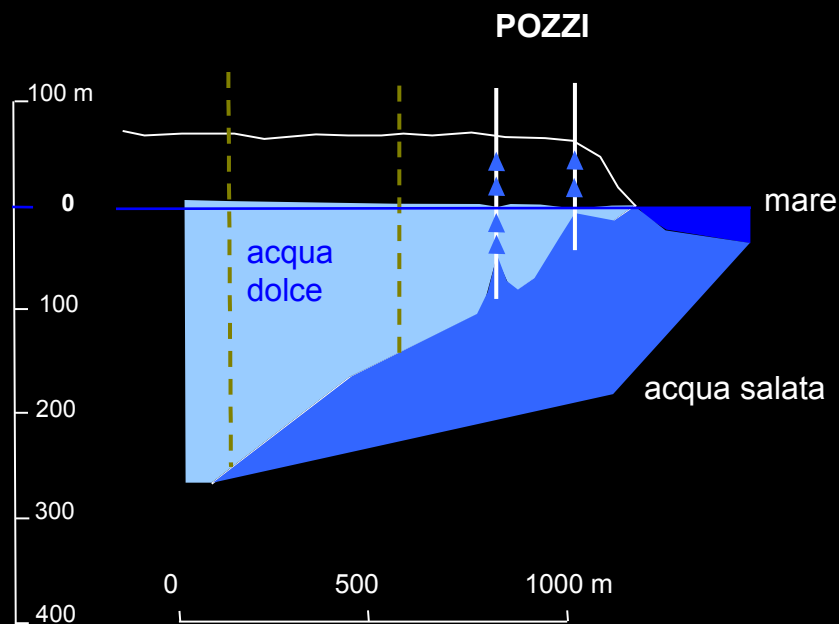


SALINIZZAZIONE

Il pompaggio eccessivo dai pozzi nella fascia costiera può determinare un significativo abbassamento del livello della falda

In una falda costiera, se il livello scende di 1 m l'interfaccia acqua dolce – acqua salata sale approssimativamente di 40 m

SOVRASFRUTTAMENTO DELLE FALDE



SALINIZZAZIONE

Il pompaggio eccessivo dai pozzi nella fascia costiera può determinare un significativo abbassamento del livello della falda

In una falda costiera, se il livello scende di 1 m l'interfaccia acqua dolce – acqua salata sale approssimativamente di 40 m

Il problema del sovrasfruttamento delle falde in Italia è rilevante. Per esempio, nel bacino del Tevere 7 strutture idrogeologiche su 26 subiscono prelievi per uso potabile superiore alla percentuale della risorsa rinnovabile minima stimata

(Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (2001). Primo rapporto SINAnet sulle acque)

METODI DI STUDIO

per cercare di capire il destino dei contaminanti immessi in un acquifero carsico:

- ✿ Studio delle caratteristiche del contaminante
- ✿ Individuazione di sorgenti, torrenti e pozzi (possibili emergenze delle acque)
- ✿ Sopralluogo nella stagione piovosa: misure di portata, temperatura e conducibilità elettrica delle acque
- ✿ Misura del livello dell'acqua nei pozzi
- ✿ Censimento delle grotte presenti sul territorio
- ✿ Studio dell'assetto strutturale dell'area
- ✿ Prove con traccianti
- ✿ Analisi geochimiche

I TRACCIANTI ARTIFICIALI

Permettono di determinare il **collegamento idrico** fra due punti dell'acquifero carsico e il tempo del percorso e di simulare il comportamento dei contaminanti **disciolti in acqua**

foto B. Vigna



Vigna B. (2009). I traccianti artificiali. SSI, Progetto Powerpoint 2009

Immissione di una soluzione acquosa di **tinopal**

foto B. Vigna



La **fluoresceina**, anche a concentrazione ridotta, è molto visibile: è bene comunicare agli uffici competenti la realizzazione del test

CARTA VULNERABILITÀ

Zonazione della possibilità di diffusione di un contaminante nell'acquifero, in funzione delle caratteristiche del terreno di superficie e delle condizioni idrogeologiche (D. Lgs. 152/2006)

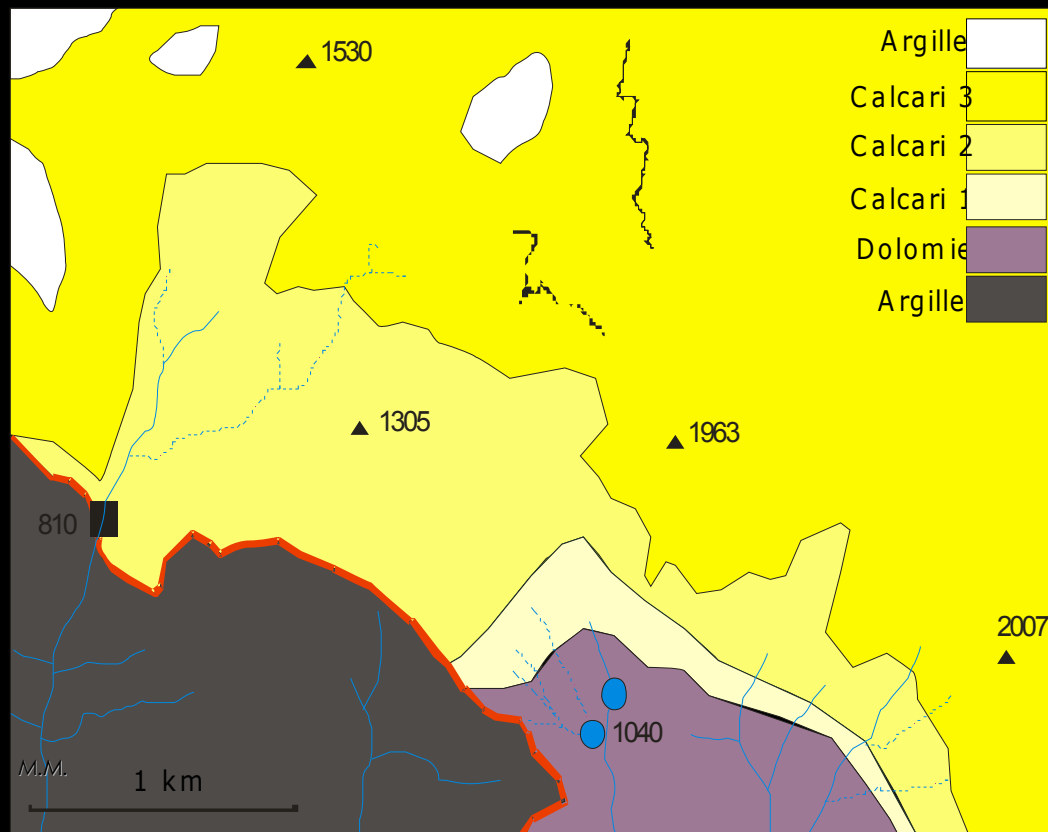
La vulnerabilità viene considerata su due livelli:

- **Vulnerabilità intrinseca dell'acquifero**
in base alle caratteristiche geologiche e idrogeologiche, ma indipendente dalla natura del contaminante
- **Vulnerabilità specifica**
riferita ad un particolare inquinante

CARTA VULNERABILITÀ

Diversi metodi sono stati messi a punto per la definizione della vulnerabilità intrinseca di un **acquifero carsico**:
EPIK, PI, COP

Geologia dell'area



il METODO EPIK per
l'acquifero CARSICO

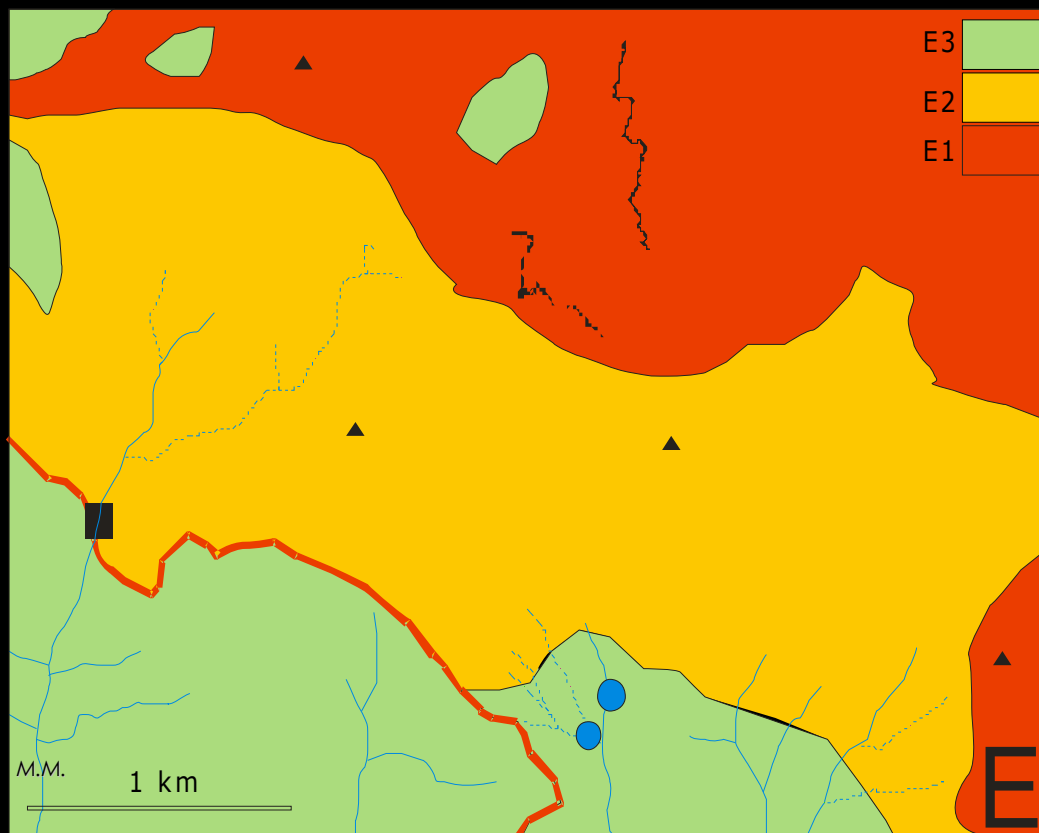
E
P
I
K

Doerfliger N., Jeannin P.-Y., Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39, 2.

CARTA VULNERABILITÀ

Diversi metodi sono stati messi a punto per la definizione della vulnerabilità intrinseca di un **acquifero carsico**:
EPIK, PI, COP

il METODO EPIK per
l'acquifero CARSICO

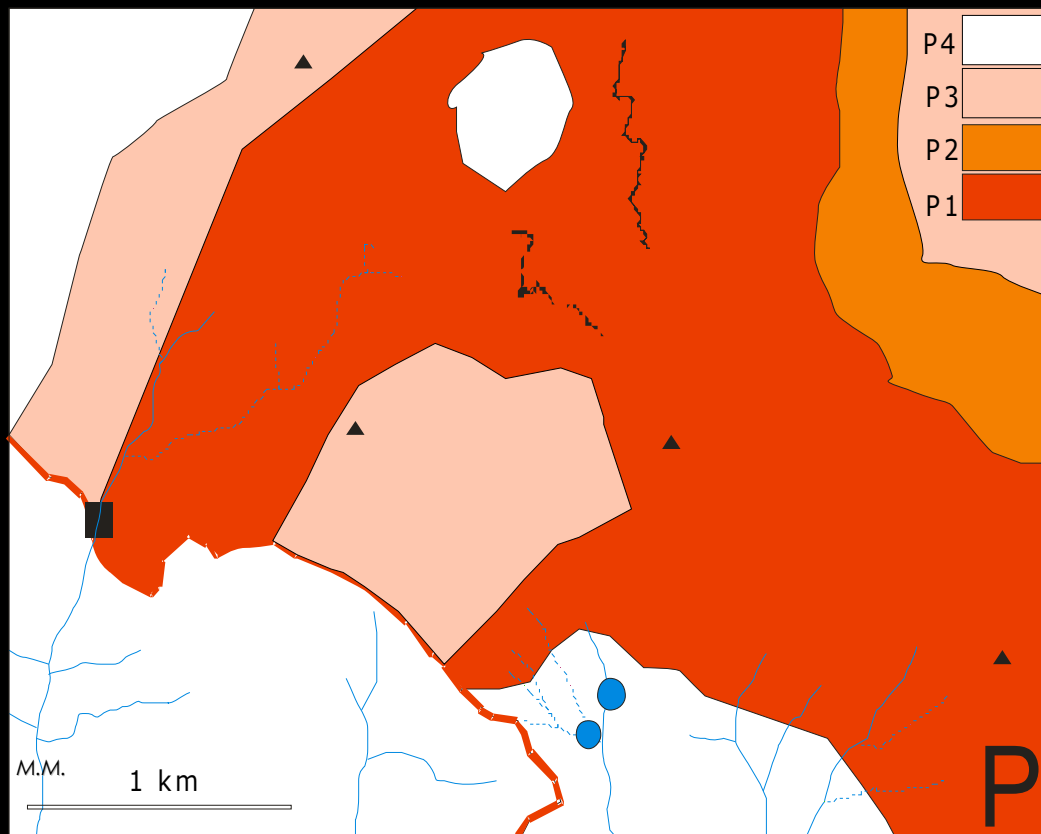


E carta dell'epicarso/morfologia carsica
P carta della copertura di protezione
I carta delle condizioni di infiltrazione
K valutazione del reticolo carsico

Doerfliger N., Jeannin P.-Y., Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39, 2.

CARTA VULNERABILITÀ

Diversi metodi sono stati messi a punto per la definizione della vulnerabilità intrinseca di un **acquifero carsico**:
EPIK, PI, COP



il METODO EPIK per
l'acquifero CARSICO

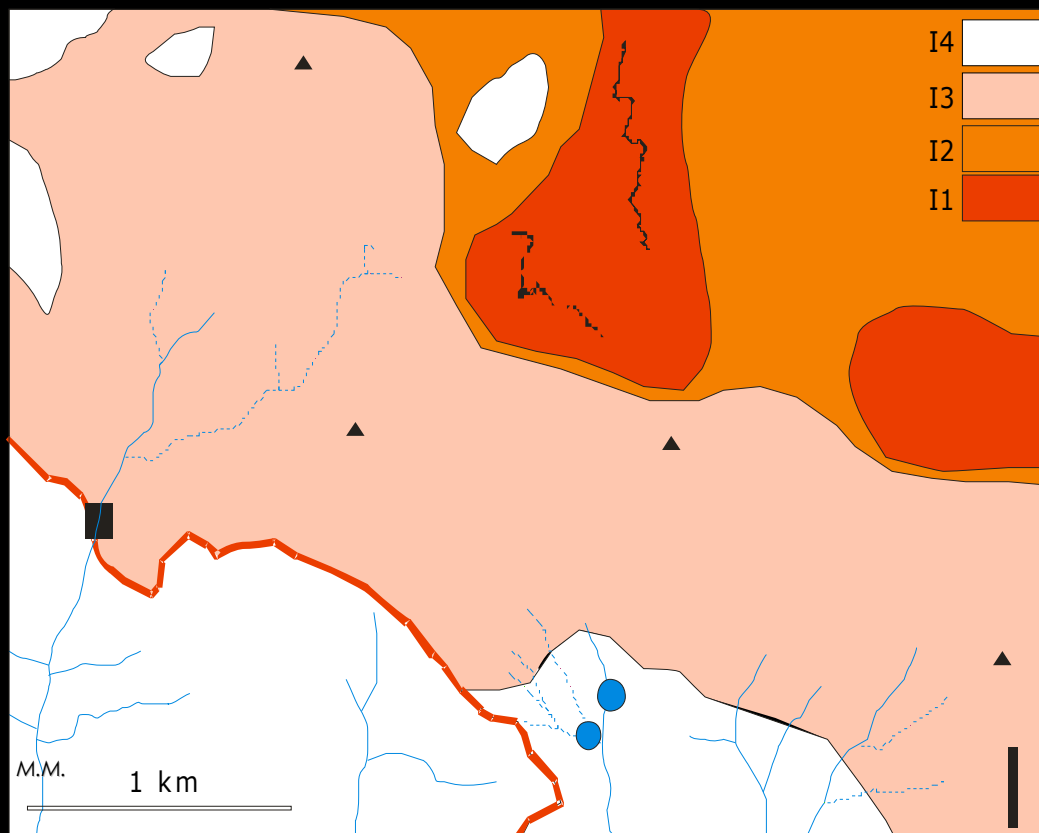
E carta dell'epicarso/morfologia carsica
P **carta della copertura di protezione**
I carta delle condizioni di infiltrazione
K valutazione del reticolo carsico

Doerfliger N., Jeannin P.-Y., Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39, 2.

CARTA VULNERABILITÀ

Diversi metodi sono stati messi a punto per la definizione della vulnerabilità intrinseca di un **acquifero carsico**:
EPIK, PI, COP

il METODO EPIK per
l'acquifero CARSICO



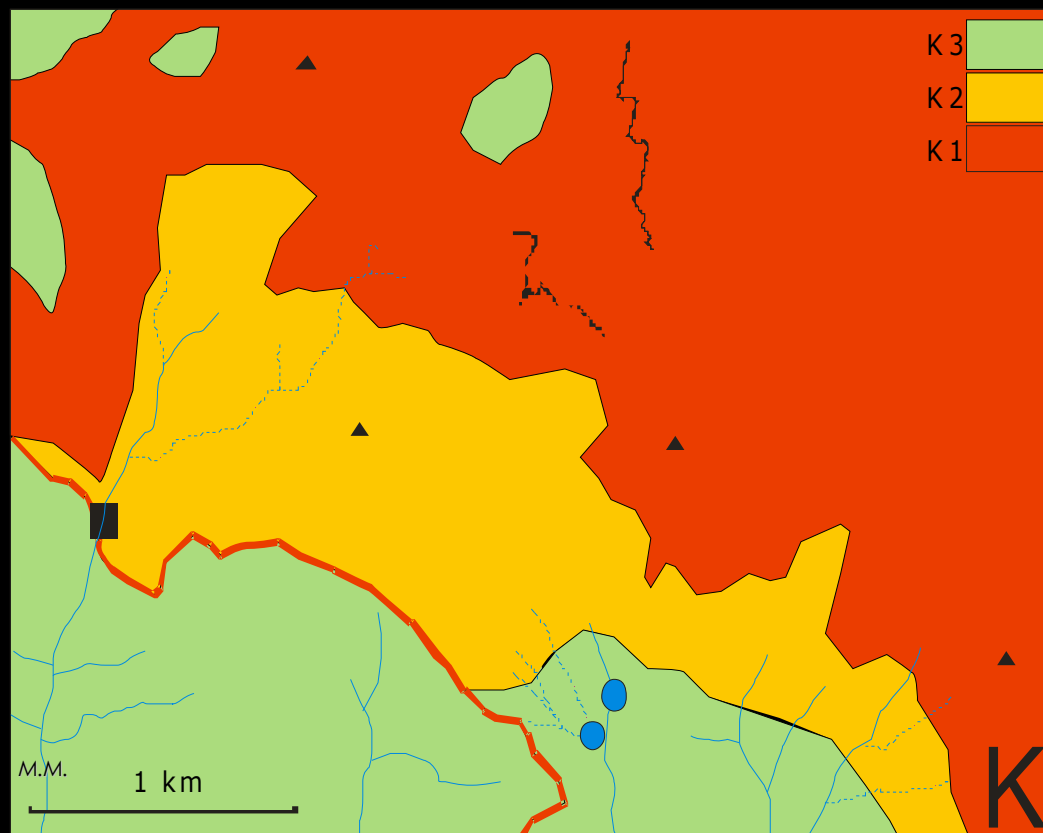
E carta dell'epicarso/morfologia carsica
P carta della copertura di protezione
I **carta delle condizioni di infiltrazione**
K valutazione del reticolo carsico

Doerfliger N., Jeannin P.-Y., Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39, 2.

CARTA VULNERABILITÀ

Diversi metodi sono stati messi a punto per la definizione della vulnerabilità intrinseca di un **acquifero carsico**:
EPIK, PI, COP

il METODO EPIK per
l'acquifero CARSICO

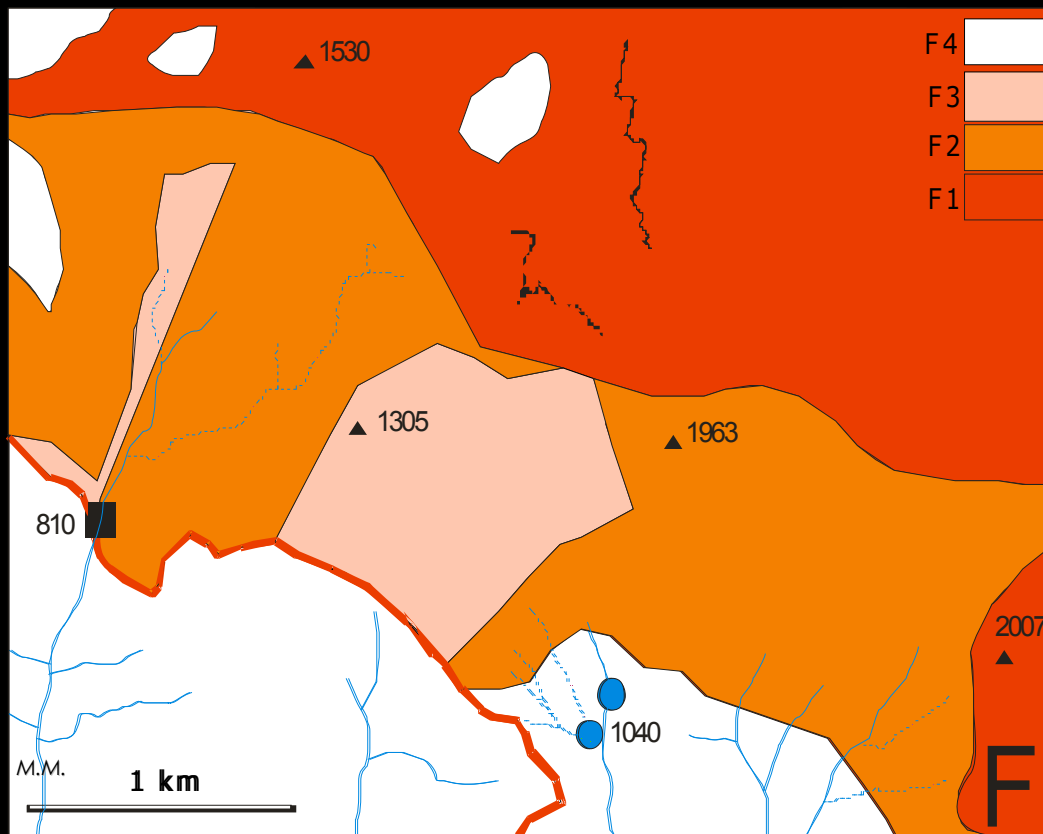


E carta dell'epicarso/morfologia carsica
P carta della copertura di protezione
I carta delle condizioni di infiltrazione
K **valutazione del reticolo carsico**

Doerfliger N., Jeannin P.-Y., Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39, 2.

CARTA VULNERABILITÀ

Diversi metodi sono stati messi a punto per la definizione della vulnerabilità intrinseca di un **acquifero carsico**:
EPIK, PI, COP



il METODO EPIK per
l'acquifero CARSICO

F calcolo del fattore di protezione

E carta dell'epicarso/morfologia carsica

P carta della copertura di protezione

I carta delle condizioni di infiltrazione

K valutazione del reticolo carsico

Doerfliger N., Jeannin P.-Y., Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39, 2.

AREE DI SALVAGUARDIA - acquiferi CARSIICI

zona di protezione

Delimitata dalla Regione. Limitazioni per insediamenti civili, produttivi, turistici, agro-forestali, zootecnici, ...

zona di rispetto

Raggio di 200 m, o area stabilita dalla Regione. Vincoli: è vietato l'uso di concimi e pesticidi, l'apertura di cave, un certo tipo di pascolo, ...

zona di tutela assoluta

Non si può accedere; estensione di almeno 10 m di raggio dal punto di captazione

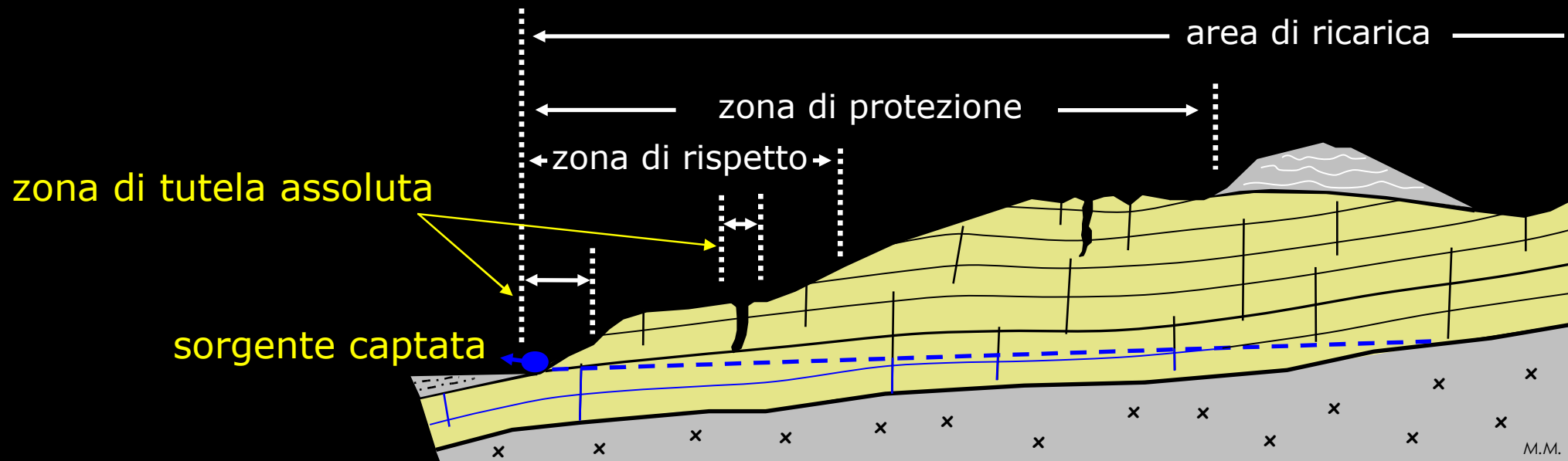
sorgente captata

inghiottitoio

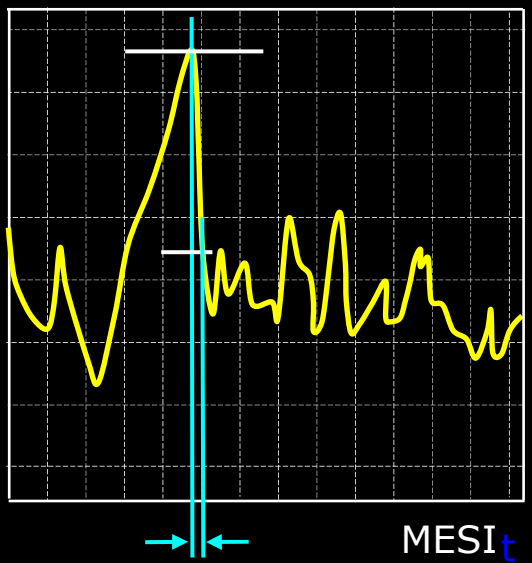
area di ricarica della falda

M.M.

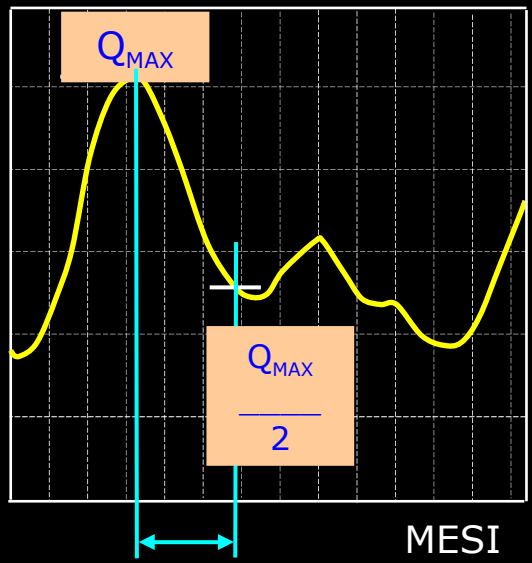
AREE DI SALVAGUARDIA - acquiferi CARSICI



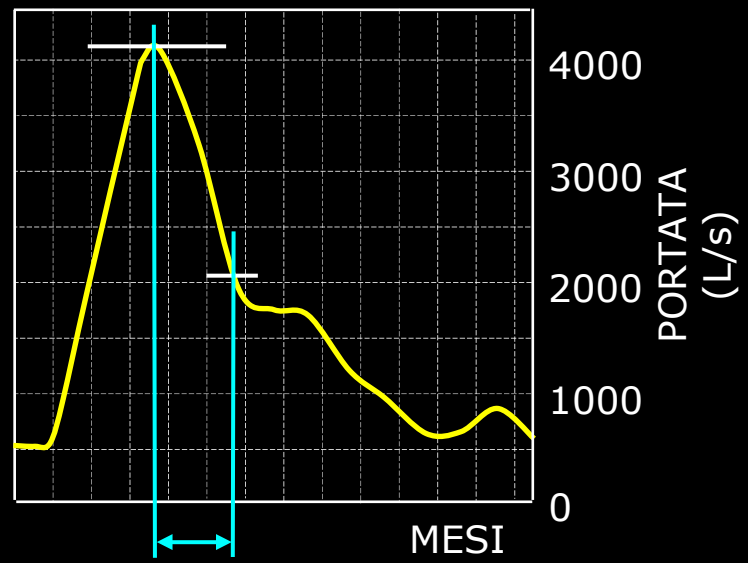
CURVE di RECESSIONE di SORGENTI CARSICHE



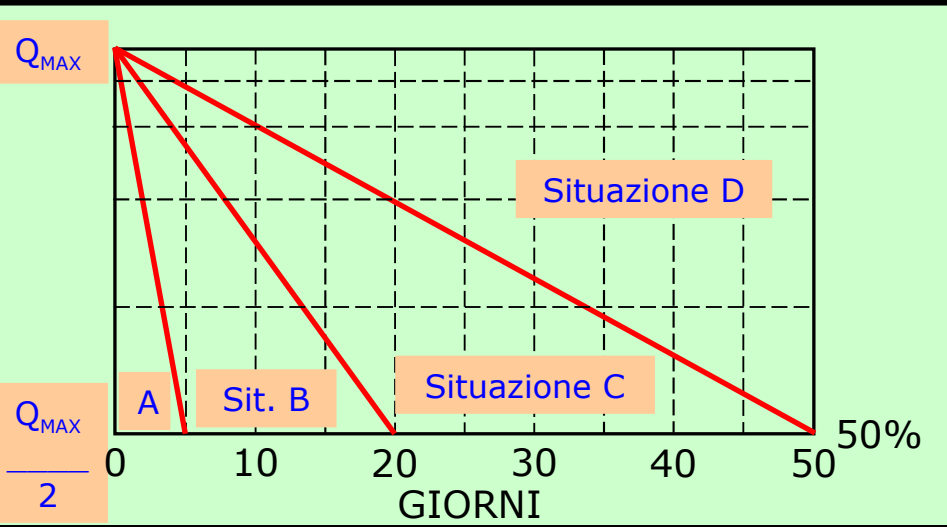
t=9 giorni



t=74 giorni



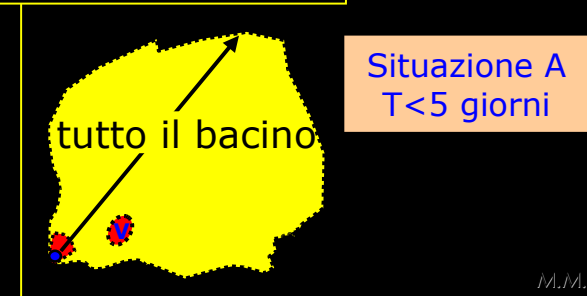
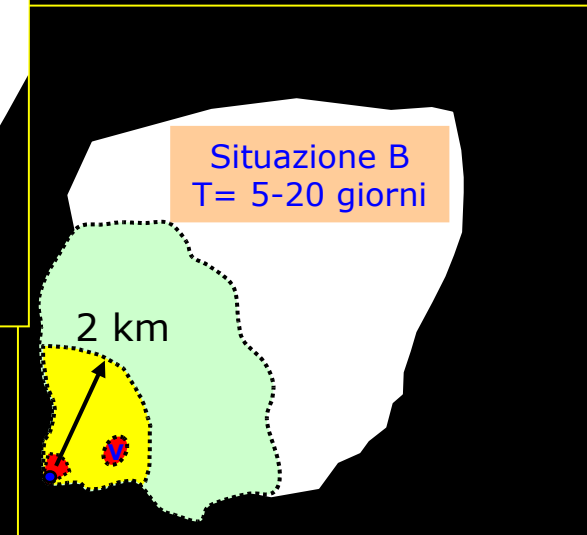
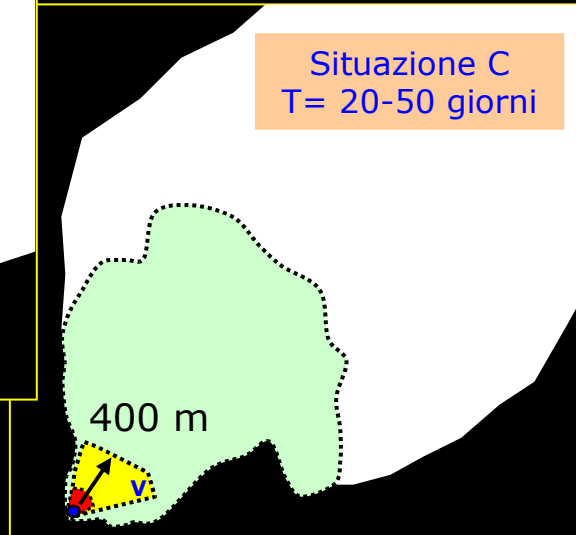
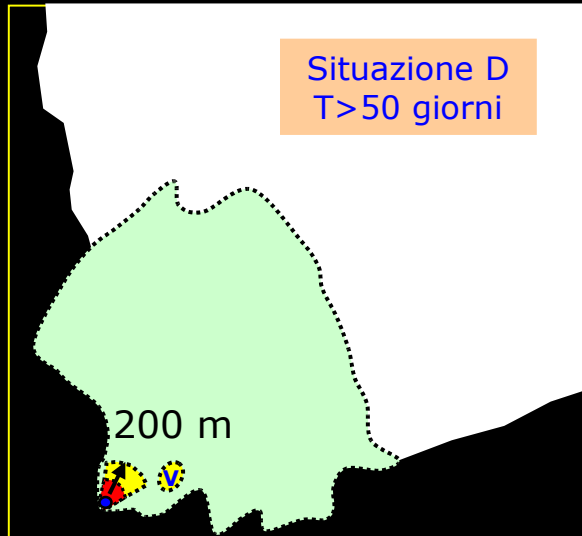
t=62 giorni



Il tempo di dimezzamento della portata massima nella curva di recessione da' una rappresentazione soddisfacente del tempo medio di svuotamento dei condotti che si trovano sopra la zona satura

Civita M. (2008). An improved method for delineating source protection zones for karst springs based on analysis of recession curve data. Hydrogeology Journal 16, p. 855-869.

AREE DI SALVAGUARDIA - acquiferi CARSICI



Metodo MDHT di Civita (2008)

Dimensionamento del sistema di zone di protezione (tutela assoluta, rispetto, protezione) in funzione del tempo di dimezzamento della portata massima

CAMBIAMENTI CLIMATICI

quali saranno le conseguenze sulle acque carsiche?

Erosione del suolo, deforestazione, disastri naturali, biodiversità

Scenari di cambiamento climatico sono previsti dalla maggior parte della comunità scientifica

In alcune regioni della Terra l'impatto dei cambiamenti climatici sulle acque sotterranee carsiche potrebbe essere molto forte, mentre in altre regioni si potrebbero verificare effetti insignificanti o persino favorevoli



foto M. Mecchia



RISANAMENTO DELL'ACQUIFERO CARSICO

“Se si considerano i lunghi tempi di ricambio delle acque di falda, le temperature basse che non favoriscono l'autodepurazione chimica e la minor presenza di flora batterica e materia organica, si deve concludere che l'inquinamento delle falde, anche per gli elevatissimi costi di risanamento, è un fenomeno pressoché irreversibile”

Agenzia Nazionale per la Protezione delle Acque (2001). Primo rapporto SINAnet sulle Acque.

“In developing a remediation approach, it is imperative ... to accept that some contaminants in some karst settings simply cannot be remediated”

Barner W., Uhlman K. (1995). Contaminant transport mechanisms in karst terrains and implications or remediation. In Beck (ed.). Karst GeoHazards, pp. 207-212. Balkema, Rotterdam.

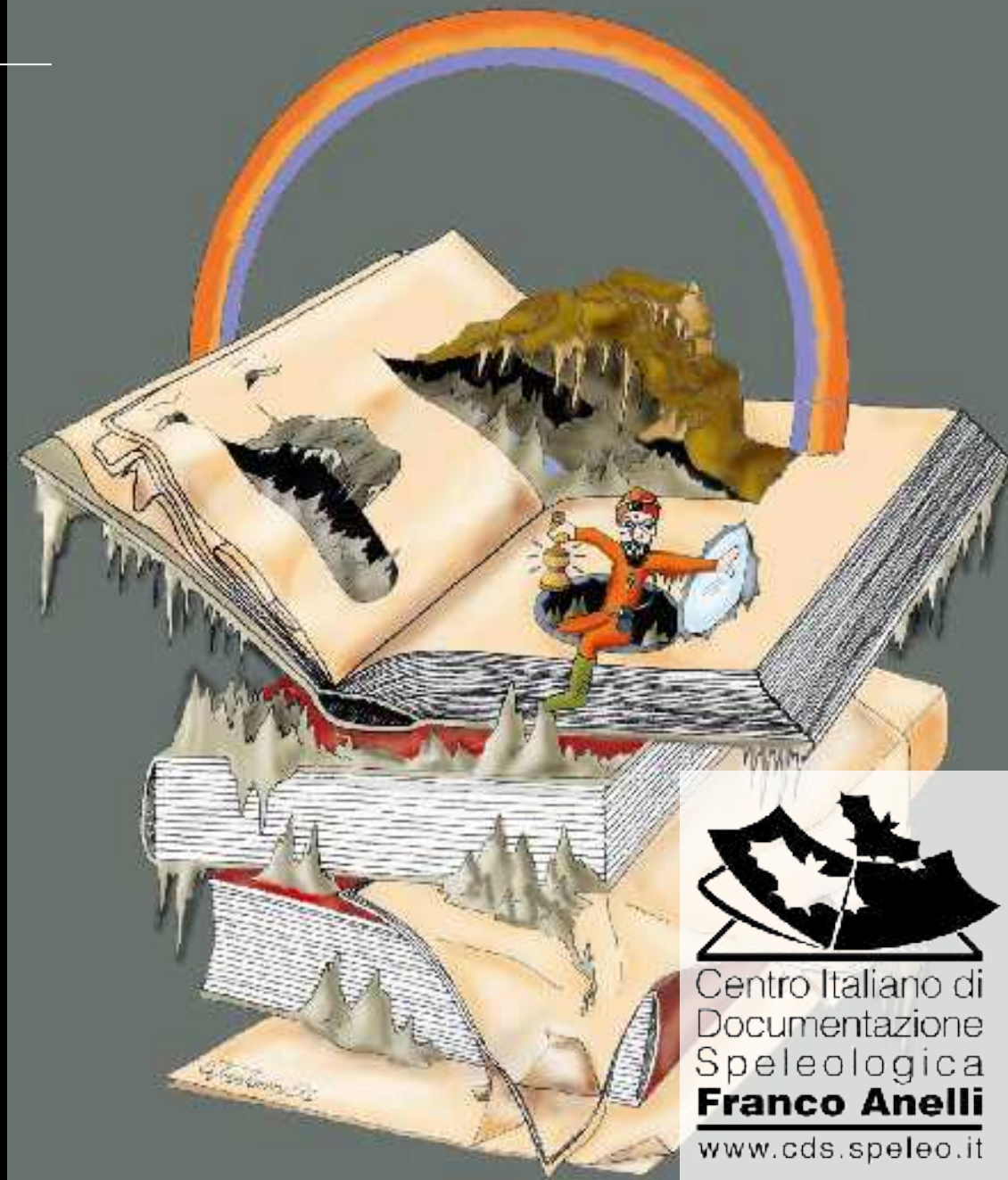


PER SAPERNE DI PIU'

SASOWSKY I.D., WICKS C.M. (2000) - Groundwater flow and contaminant transport in carbonate aquifers. A.A. Balkema, Rotterdam, 193 p.

VESPER D.J., LOOP C.M., WHITE W.B. (2001) - Contaminant transport in karst aquifers. Theoretical and Applied Karstology, 13-14, pp. 101-111.

VIGNA B. (2009) - I traccianti artificiali. SSI, Progetto Powerpoint 2009.



Centro Italiano di
Documentazione
Speleologica
Franco Anelli
www.cds.speleo.it

CREDITI

Questa lezione è stata preparata da Marco Mecchia

Per la parte fotografica si ringraziano i fotografi Francesco De Lorenzo, Stein-Erik Lauritzen, Giovanni Mecchia, Manuela Merlo, Maria Piro, Giuseppe Savino, Bartolomeo Vigna

I disegni sono stati preparati da Marco Mecchia con la collaborazione di Maria Cecilia Natalia

© **Società Speleologica Italiana**

Ogni parte di questa presentazione può essere riprodotta sotto la propria responsabilità, purché non si stravolgano i contenuti. Si prega di citare la fonte.