

Francesco Speciale

CARSISMO IDROTERMALISMO MINERALIZZAZIONI

giacimento minerale di barite e fluorite
Monte Eurako Sicilia Nord Occidentale
aspetti geochimici



*A Paolo Di Salvo che
entusiasmato dei racconti della
scoperta delle straordinarie
mineralizzazioni decise di
isciversi a Geologia*

Riassunto

In questo articolo si parla di un deposito minerale di barite e fluorite in rocce sedimentarie, prodotto da interazione tra rocce carbonatiche e fluidi idrotermali di origine meteorica riscaldati per circolazione nel sottosuolo da un gradiente geotermico moderato, non generato da processi magmatici nel sottosuolo profondo. Le rocce che ospitano il deposito sono caratterizzate dalla tipica morfologia carsica superficiale, in quei luoghi molto accentuata. Il fenomeno carsico appare essere precedente a quello della mineralizzazione, o quanto meno contemporaneo, suggerendo che i due fenomeni, carsismo e lisciviazione geochimica, abbiano agito in qualche modo in sinergia. Il giacimento risulta essere unico in tutta la regione Sicilia, unico anche per modello di formazione.

Introduzione

La scoperta minerali risale ai primi anni Settanta, secolo scorso, proprio durante le indagini condotte sul territorio per un lavoro di tesi di laurea in geologia, e fu del tutto casuale; avvenne semplicemente calpestando quanto in un primo era sembrato trattarsi di fondi di bottiglia sparsi e mescolati al terriccio, risalendo lungo una pista tortuosa tracciata dagli animali al pascolo.

Dalle preliminari ricerche nei dintorni, prestando attenzione ai fatti mineralogici degli affioramenti delle rocce calcaree, apparve chiaro che non si trattava di isolati e sporadici cristalli di fluorite trovati un po' ovunque, ma di ben altro ancora. Nei dintorni c'era pure barite, in abbondanza, a formare spesse croste sugli affioramenti delle rocce calcaree. Tutto lasciava pensare già allora che i luoghi della scoperta celassero un vero giacimento minerale di fluorite e barite.

Il giacimento sembrava estendersi tutt'intorno al cocuzzolo di Poggio Balate, entro un raggio di poche centinaia di metri. Tuttavia le tracce dei minerali furono trovati anche lontano da Poggio Balate, alla Rocca del Belvedere di Termini Imerese e fino ai rilievi intorno a Caccamo, in particolare a Rocca Grande, un rilievo monoclinale a ovest di Caccamo; ma sempre all'interno di un vasto territorio, di natura prevalente argilloso quarzo-arenitico, compreso tra il versante occidentale della lunga dorsale montuosa del Monte San Calogero/Monte Eurako, e il tratto terminale del Fiume San Leonardo, che corre lungo il margine orientale del complesso montuoso dei monti di Trabia.

Le rocce interessate dalle mineralizzazioni erano sempre i calcari mesozoici di una medesima formazione litostratigrafica, nota come Formazione Crisanti; in particolare le breccie calcaree giurassiche di questa formazione.

Di questi minerali e del giacimento di Poggio Balate, fino al giorno della scoperta non se ne sapeva nulla; la fluorite probabilmente era già stata scoperta da qualcuno, ma non fu mai segnalata, restando ai suoi occhi un fatto curioso privo di interesse. Tuttavia, le aree circostanti erano già note per le ricerche di micropaleontologia, in particolare per la serie nummulitica dei dintorni di Termini Imerese.

Qualcun altro però ne avrebbe dato notizia negli anni successivi, sul finire degli anni Ottanta proprio in occasione di certi lavori di sbancamento per la costruzione della strada e delle strutture a servizio delle antenne della telefonia mobile; questi lavori misero alla luce consistenti vene di minerali ricchi di fluorite e barite, richiamando perciò l'attenzione di molti appassionati.

Oggi quanto resta del giacimento è ancora visibile usando Street View.

Le rocce e la geologia dei luoghi

Questo articolo è un tentativo di ricostruire i fatti e gli eventi geologici che hanno permesso di produrre alla fine le diffuse mineralizzazioni di fluorite e barite, pertanto è opportuno presentare una sintesi della geologia dei luoghi: le rocce, la tettonica, la morfologia.

Il territorio delle mineralizzazioni, situato tra i due importanti sistemi montuosi, presenta una conformazione caratterizzata da rilievi calcarei separati e disposti in una successione di strutture morfologiche monoclinali che mostrano un loro tipico profilo; con un fronte troncato da un sistema di faglie dirette, mentre il lato acclive si distingue per le forti pendenze degli strati rocciosi.

L'aspetto complessivo di questi rilievi, sembra rappresentare ciò che rimane di un'anticlinale disarticolata che emerge da una copertura di terreni flyschiodi, composti principalmente da argille, argille sabbiose e quarzareniti.

In questa area, i sistemi montuosi e i rilievi monoclinali che la caratterizzano vengono descritti come appartenenti a una complessa serie di unità tettoniche sovrapposte come conseguenza di imponenti deformazioni tettoniche avvenute nel corso del Miocene. Le rocce coinvolte in queste deformazioni appartengono ad una complessa unità sedimentaria che si è sviluppata a partire dal Triassico; questa unità sedimentaria prevalentemente terrigena viene descritta come *Dominio Paleogeografico in Facies Imerese* o più semplicemente rocce del *Dominio Imerese*.

Questi sedimenti si sono accumulati sui fondali di un antico oceano ormai non più esistente di cui ormai a testimonianza restano solo le rocce che formano i rilievi montuosi; questo antico oceano, noto come Oceano Tetide, o semplicemente Tetide, era un braccio

oceanico disposto in senso Est-Ovest che, nei tempi geologici compresi tra il Permiano e il Miocene, separava l'Africa settentrionale dall'Europa e dall'Asia.

Le rocce di questo dominio paleogeografico sono organizzate in distinte formazioni litostratigrafiche, dalla più antica alla più recente: *Formazione Mufara* (argille e calcari marnosi) Trias Medio - Superiore; *Formazione Scillato* (calcari dolomitici con noduli e liste di selce) Trias Superiore; *Formazione Fanusi* (brecce calcaree dolomitiche) Giurassico Inferiore; *Formazione Crisanti* (radiolariti, brecce calcaree, marne e argilliti silicee, areniti calcaree) Giurassico Superiore - Cretaceo Medio; *Formazione Caltavuturo* (sedimenti terrigeni di varia natura, marne calcaree, argilliti e calcari detritici grana fine) Cretaceo Medio - Oligocene; e infine nella parte superiore una sequenza terrigena (argille, argille sabbiose, quarzareniti), il *Flysch Numidico* di età Oligocene Superiore - Miocene Inferiore.

In questo contesto litologico la massima espressione delle mineralizzazioni è localizzata in due importanti aree: a **Poggio Balate** (Termini Imerese) e **Rocca Grande** (Caccamo); ma le tracce si rinvencono in tutti gli affioramenti di rocce carbonatiche mesozoiche all'interno del territorio.

In questo articolo, una discreta documentazione fotografica si trova in una sezione a parte, oppure andando all'indirizzo

www.fraspe.it/geologia/pb

pertanto se ne suggerisce la consultazione.

Le immagini sono organizzate per temi e riguardano prevalentemente i minerali, così come si possono ancora scoprire esplorando i luoghi, anche a cinquanta anni dalla scoperta del giacimento.



La geologia dei luoghi. In primo piano in basso a sinistra le rocce della collinetta di Poggio Balate, sullo sfondo, l'imponente complesso di Monte Euraco. In basso al centro il Vallone Tre Pietre, prosecuzione naturale del Vallone della Pernice che raccolgono le impetuose acque torrentizie del versante occidentale del complesso montuoso del San Calogero.

Poggio Balate

è un basso rilievo di natura calcarea al margine nord occidentale di Monte Eurako, o Monte San Calogero, a pochi chilometri dalla costa settentrionale della Sicilia, nel territorio comunale di Termini Imerese. Il basso rilievo è separato dall'imponente complesso montuoso del San Calogero da una lunga e profonda frattura tettonica con andamento ENE WSW, risultando notevolmente ribassato per un migliaio di metri rispetto alle formazioni rocciose del San Calogero di età Trias-Giura-Cretaceo.

Questa lunga frattura è ricoperta da un ampio lembo di detrito di falda che nasconde per un tratto considerevole il contatto tettonico tra rocce di età diversa all'interno della stessa unità sedimentaria, diventando visibile proprio nell'area intorno a Poggio Balate.

Queste rocce infatti a Poggio Balate sono caratterizzate da varie e curiose forme carsiche

superficiali prodotte dalla dissoluzione del carbonato di calcio a opera della CO_2 disciolta nell'acqua di origine meteorica.

Il tipo litologico prevalente che forma e caratterizza la sommità del rilievo è la roccia calcarea; si tratta di una roccia detritica, una breccia calcarea, di colore marcatamente grigio, dall'aspetto massivo, a tratti fessurata, molto ruvida, tenace e resistente al colpo del martello e tuttavia molto vulnerabili all'azione corrosiva delle acque di scorrimento superficiali.

Questo tipo litologico è molto diffuso nei monti del settore centrosettentrionale della Sicilia, dalle Madonie fino ai monti intorno a Palermo; nella geologia regionale viene identificato come una calcirudite, una breccia calcarea ricca di frammenti fossili del periodo geologico Giurassico Superiore; tra tutti, frammenti fossili di Ellipsactinie, spugne a scheletro calcareo del periodo Giurassico, inclusi nei clasti.

I processi geochimici

Questa breccia calcarea, tenacemente cementata da carbonato di calcio CaCO_3 , a Poggio Balate è stata sede di almeno due importanti processi geochimici, per molti aspetti unici in tutta la regione, ad iniziare dalla corrosione carsica.

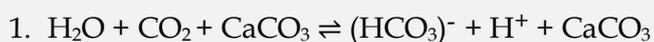
La corrosione carsica è un processo chimico che coinvolge principalmente le rocce calcaree, ma può interessare anche quelle gessose,

sebbene con modi ed effetti diversi; tutto inizia dalle acque di scorrimento meteoriche.

L'acqua, in contatto con l'aria e con il suolo, forma un acido debole, l'acido carbonico H_2CO_3 , che reagisce con il carbonato di calcio CaCO_3 presente nelle rocce, trasformandolo in bicarbonato di calcio, un composto solubile in acqua.

La reazione chimica è descritta, come qui indicato, in due successive fasi, mostrando la formazione degli ioni dei componenti principali coinvolti:

1) formazione degli ioni, 2) formazione del carbonato di calcio, solubile in acqua.



Il prodotto finale $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ è via via asportato durante il dilavamento delle acque di scorrimento, lasciando i segni della corrosione sulle rocce esposte all'atmosfera.

La corrosione carsica comunque genera diverse forme di erosione e deposizione, sia in superficie che in profondità; queste forme caratterizzano il tipico variegato paesaggio carsico montano e collinare, ma nel caso di Poggio Balate, il carsismo epigeo è nettamente prevalente, cosicché, essendo le sue rocce ricche di carbonato di calcio, la corrosione ha prodotto una spiccata morfologia fatta di forme che documentano l'asportazione del bicarbonato di calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ a seguito del dilavamento delle acque di scorrimento.

Tra le tipiche forme di corrosione carsica superficiale si annoverano proprio quelle interessanti di Poggio Balate, quali: campi carreggiati, scannellature, solchi a doccia, crepacci, tutti questi caratterizzati da forme aguzze taglienti, e altre di forme meno aguzze, quali vaschette di corrosione, inghiottitoi e cavità alveolari.

Le forme di corrosione carsica diffuse sulla sommità perciò predominano su tutto e hanno determinato sia la morfologia del rilievo calcareo che il tipo di vegetazione, e perciò dell'ambiente biotico naturale. E, almeno per questo aspetto, Poggio Balate potrebbe essere considerato un esempio eccellente di un sito didattico facilmente accessibile per osservare e descrivere il fenomeno del carsismo epigeo, come illustrato nella raccolta di immagini presenti nella sezione dedicata al carsismo; in un'area di alcune centinaia di metri quadrati, si possono osservare le varie forme di carsismo epigeo descritte solitamente nei manuali di geomorfologia.

A Poggio Balate le strabilianti mineralizzazioni riguardano in modo pressoché esclusivo le breccie calcaree tenacemente cementate del Giurassico e in misura minore quelle del Cretaceo; questi distinti livelli di rocce detritiche ben cementate sono separati tra loro da strati poco spessi di argilliti silicee scistose varicolori e sottili strati di radiolariti con intercalati spessi letti di diaspro venati di minuti cristalli di quarzo.

Queste mineralizzazioni, per una uniforme quantità di minerale concentrato, seppure in volumi discontinui di roccia, assumono nel complesso i caratteri tipici di un giacimento; potenzialmente coltivabile, se il giacimento fosse risultato essere stato più esteso di quanto lo è a vista; il giacimento infatti sembra non estendersi intorno al cocuzzolo oltre a un raggio di alcune centinaia di metri, e non è dato di conoscere fino a quale profondità dal suolo.

Carsismo epigeo, idrotermalismo e mineralizzazioni connotano dunque i luoghi attorno alla sommità di Poggio Balate. Associando a ciascuno di questi aspetti lo stesso generico termine di evento, viene spontaneo chiedersi con quale sequenza questi eventi si siano succeduti. Tuttavia è importante tenere conto di un altro fatto, un lungo evento, ancora più rilevante, che per molti aspetti li ha diretti: l'attività tettonica, che ha dislocato nel corso del Pleistocene fino ai giorni d'oggi la geologia recente dei luoghi, predisponendo, nel complesso scenario orografico, le condizioni adatte a che si producessero alla fine le stupefacenti mineralizzazioni a fluorite e barite di Poggio Balate.

Questi eventi, in termini di tempo geologico, sono recenti e tuttora attivi, e abbracciano tutto il Quaternario; ad esclusione di quello che ha prodotto le mineralizzazioni, ormai del tutto cessato, cosicché questo evento a confronto con gli altri può essere considerato essere stato di durata effimera.

Una sequenza degli eventi, dedotta dai fatti osservati sul terreno, sebbene banale, è questa:

1. attività tettonica responsabile dell'attuale assetto tettonico orografico dell'imponente Monte Eurako;
2. carsismo epigeo da acque di scorrimento ancora in corso, oggi però con caratteri diversi a motivo di mutate condizioni climatiche;
3. idrotermalismo e processi geochimici mineralizzanti associati, lì ormai cessati.

Queste considerazioni vengono suggerite anche dai modi come barite e fluorite si sono depositati nella roccia.

Osservando il modo di cristallizzare della fluorite, si trova che essa cristallizza in cristalli limpidi direttamente sulle superfici corrose dal carsismo, oltretutto in fratture beanti e superfici di faglia. All'interno della roccia incassante, invece, in masse microcristalline di varie dimensioni, fino a grossi aggregati di cristalli con spigoli anche oltre dieci centimetri, che sono l'oggetto della ricerca da parte degli appassionati. Qui però la fluorite presenta inclusioni varie ed è sempre ricoperta di patine incrostanti, solo raramente può succedere di estrarre cristalli limpidi.

La barite invece si trova come incrostazioni centimetriche sulla roccia in affioramento, oppure in sottili cristalli tabulari tra i cristalli di fluorite, indicando in questo caso una paragenesi; oppure ancora in grosse masse bianche di candore madreperlaceo all'interno di cavità della roccia a formare vene, nicchie, filoni, sacche.

Sembrerebbe perciò che la barite abbia seguito distinti percorsi mineralizzanti; uno singenetico con la fluorite e un altro, terminale, a incrostare le rocce in affioramento. Questi aspetti potrebbero essere indicativi dei tempi e dei modi con i quali si è svolto il fenomeno geochimico e che confermerebbero in qualche modo l'ordine degli eventi sopra considerati.

Dati geochimici sullo studio delle Terre Rare, REE, (vedi bibliografia) escludono una formazione del giacimento da fluidi idrotermali di origine plutonica; escludendo anche una formazione singenetica (sedimentazione, litificazione, diagenesi) del giacimento con il corpo sedimentario che lo ospita.

Inoltre, quelli chimici, isotopici, mineralogici, confermano valida l'ipotesi di una genesi idrotermale, peraltro già considerata all'indomani della scoperta. Viene però suggerita una genesi idrotermale del tutto pecu-

liare; essenzialmente da circolazione di acque meteoriche di infiltrazione nel profondo sottosuolo, riscaldate per gradiente geotermico, che in risalita infine interagiscono come sorgenti idrotermali con le rocce carbonatiche.

Il fatto che le mineralizzazioni siano avvenute in preesistenti cavità carsiche, oltretutto sulle pareti di fratture beanti, lascia pensare che il carsismo abbia svolto un ruolo importante. Le strabilianti mineralizzazioni di barite e fluorite appaiono perciò essere strettamente legate al carsismo epigeo che ha energicamente agito sul cocuzzolo di Poggio Balate; è interessante inoltre rilevare che minuscoli cristalli di fluorite si trovano pure su superfici corrose di specchi di faglia, ricoperte in modo non uniforme da croste di ossido limonitico di intenso colore rosso ruggine.

Il processo mineralizzante sembra essersi svolto per descensus, percolazione di acque meteoriche di scorrimento e di fluidi idrotermali prima risaliti alla superficie, mantenendo ancora incamerata l'energia geotermica necessaria ad innescare il processo geochimico.

Durante questo processo gli elementi più facilmente solubili delle rocce carbonatiche, essenzialmente il carbonato di calcio CaCO_3 , sarebbero stati asportati e sostituiti dalla fluorite CaF_2 ; con la barite BaSO_4 a formare anche spesse croste sugli affioramenti calcarei nell'ultima fase dell'evento.

Le rocce interessate dal processo geochimico, sono state inevitabilmente soltanto le rocce carbonatiche; restando invece escluse dalle mineralizzazioni, perché insensibili e inerti ai fluidi mineralizzanti, le rocce silicee, le radiolariti, sottostanti alle calcirudite del Giurassico e le micriti silicee con strati di selce sovrastanti. Queste rocce costituiscono nella Geologia Regionale un unico corpo sedimentario che si estende dal Giurassico Superiore al Cretaceo, ed è noto come Formazione Crisanti

La fluorite stessa assume le caratteristiche di giacimento, trovandosi in masse microcristalline che vanno fino a formare strabilianti

aggregati di cristalli fluorite di notevoli dimensioni; spaziando da pochi millimetri a cristalli con spigoli centimetrici.

Al tempo della scoperta i cristalli di fluorite, mascherati da incrostazioni e nascosti dalla vegetazione, erano riconoscibili negli affioramenti calcarei solo con attente osservazioni, ma succedeva pure di estrarre campioni interessanti di fluorite tra gli anfratti rocciosi semplicemente smuovendo il terriccio sotto lo strato vegetale; perfino estraendo blocchi di pietre dai muretti a secco costruiti per il contenimento dei terreni, lì coltivati a ulivi.

La ricerca degli questi aggregati cristallini, formati di individui idiomorfi, costituisce ancora l'oggetto della ricerca di appassionati e collezionisti. E purtroppo, nel corso degli anni si è dovuto assistere ad un consistente impoverimento del giacimento.

È da ritenere che la scoperta della fluorite a Poggio Balate rivesta una certa importanza, sia dal punto di vista geologico che geochimico; innanzitutto, va sottolineato che si tratta di un giacimento di origine idrotermale in ambiente sedimentario, il che lo differenzia significativamente dai giacimenti minerali associati alle masse plutoniche nel sottosuolo, dove la fluorite compare di solito come minerale secondario nei filoni idrotermali.

L'esistenza di questi minerali in rocce carbonatiche sedimentarie conferisce perciò al giacimento un'importanza geochimica rilevante, essendo che l'idrotermalismo regionale siciliano è: massimamente legato a un sottosuolo di natura sedimentaria; alla complessa struttura tettonica profonda; e a un assetto orografico complessivo giovanile che si è impostato nel corso del Pleistocene, come conseguenza di una attività tettonica di tipo distensivo tuttora persistente.

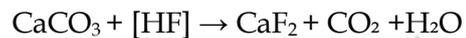
Allo stato attuale delle conoscenze, risulta che il fenomeno geochimico che ha prodotto le mineralizzazioni è esteso soltanto all'interno del vasto territorio compreso tra il margine occidentale del complesso montuoso del

Monte San Calogero e i monti di Trabia lungo il tratto terminale del Fiume San Leonardo. In questo vasto territorio, le mineralizzazioni sono localizzate significativamente nelle brecce calcaree Giurassiche ad Ellipsactinie della Formazione Crisanti; questo particolare tipo litologico sembra avere offerto un ambiente perfetto perché lì si sviluppasse lo strabiliante fenomeno geochimico.

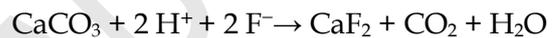
La formazione del giacimento minerale di fluorite e barite nelle rocce calcaree sotto l'azione di fluidi idrotermali di bassa temperatura è stato un processo complesso, durante il quale la roccia è stata soggetta ad una azione geochimica di lisciviazione, controllata dal pH dell'acqua e dagli ioni in questa disciolti, che ha comportato la rimozione e il trasferimento degli ioni calcio Ca^{++} dalla roccia, che fungeva da grande riserva di carbonato di calcio, CaCO_3 , per formare infine la fluorite CaF_2 ,

grazie alla disponibilità di ioni fluoro F^- esistenti in soluzione, in competizione gli ossidrili OH^- .

La reazione chimica che ha trasformato il carbonato di calcio in fluorite può essere descritta in modo semplificato come qui indicato:



In questa reazione chimica, il fluoruro di idrogeno [HF], acido fluoridrico, è presente nei fluidi termali come abbondante riserva di ioni F^- che assicurano la trasformazione del carbonato di calcio CaCO_3 della roccia in fluorite CaF_2 , liberandosi contestualmente anidride carbonica CO_2 e acqua H_2O , e pertanto va riscritta, mostrando gli ioni protagonisti del processo chimico:



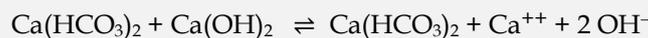
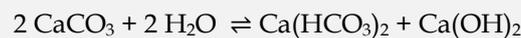
Forma carsica con pareti interne corrose e tappezzate di barite

Da ciò si può asserire, che, a differenza del carsismo epigeo, durante il quale si forma il bicarbonato di calcio, rimosso dal naturale dilavamento meteorico, nel corso della lisciviazione gli ioni calcio Ca^{++} non sono rimossi, ma si legano agli ioni fluoro F^- per formare il fluoruro di calcio in cristalli di fluorite CaF_2 ; il fluoro d'altra parte è un elemento chimico classificato in geochimica come litofilo, per la sua tendenza a legarsi con gli ioni liberi in

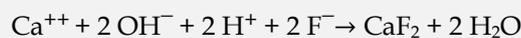
soluzione, in questo caso con lo ione calcio Ca^{++} .

C'è da pensare perciò che carsismo epigeo e lisciviazione abbiano agito sinergicamente in due distinti processi geochimici qui di seguito indicati, che in modalità diverse conducono allo stesso risultato, la fluorite CaF_2 .

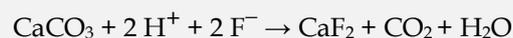
- a) **processo carsico**: trasformando la fase solida del carbonato di calcio in quella di bicarbonato $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ solubile in acqua come avviene nella generalità dei casi. Tuttavia, tenuto conto degli aspetti morfologici delle rocce indicativi di una intensa corrosione carsica sostenuta da fluidi saturi in CO_2 , durante questo processo carsico si liberano anche ioni Ca^{++} . La reazione chimica semplificate, tralasciando di riportare quelle intermedie, è:



Il bicarbonato $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ è eliminato dal dilavamento, il Ca^{++} invece si unisce agli ioni fluoro dei fluidi idrotermali:



- b) **lisciviazione**: sostenuta dalla riserva di ioni fluoro 2F^- , per cristallizzare la fluorite CaF_2 , direttamente da CaCO_3 :



Mix di a) e b): tutti i componenti presenti in momenti diversi nella fase liquida che danno luogo ai prodotti finali



Formazione della fluorite

Questi due distinti processi geochimici potrebbero essere correlati alla formazione di due generazioni differenti di fluorite. Da un lato, si osservano cristalli di fluorite dall'aspetto vitreo e limpido, generalmente di dimensioni più contenute in singoli cristalli millimetrici "incastonati" nella roccia; oppure in druse e geodi, in questi casi le dimensioni dei singoli cristalli raggiungono i 10mm; nella sezione dedicata alle immagini sono documentati questi aspetti.

Dall'altro, si osservano cristalli "sporchi" di fluorite di grosse dimensioni ospitati nella roccia come depositi minerali; questi cristalli sono caratterizzati da inclusioni di varia natura inglobate all'interno, le inclusioni sono già visibili ad occhio nudo.

Le due generazioni sembrano perciò essere derivate da un mix dei due processi geochimici. Uno principale, processo carsico, più lungo nel tempo e tuttora in corso; l'altro, il processo di formazione dei cristalli per lisciviazione, limitato nel tempo. In questa situazione sembra essere stata risultata favorita la formazione di fluoriti "sporche" di dimensioni anche considerevoli.

L'interazione tra fluidi idrotermali e roccia calcarea ha innescato una serie di altri complessi processi di alterazione chimica che hanno provocato la dissoluzione di vari altri componenti minerali minori presenti nella roccia. La dissoluzione, liberando altri ioni, ha contribuito al bilanciamento delle reazioni geochimiche coinvolte.

Gli spazi vuoti creati dalla fratturazione, conseguenza di una tettonica distensiva recente, sono stati riempiti da una miscelanza di componenti di seconda generazione privi di importanza, in gergo minerario ganga; la roccia calcarea ha subito perciò ulteriori modificazioni, dando origine a un materiale di alterazione utile come indicatore di presenza dei minerali.

Il processo di lisciviazione è stato favorito da condizioni di pH acido dei fluidi idrotermali, che aumentando la solubilità del carbonato di calcio, hanno promosso alla fine la formazione di fluorite e la deposizione di notevoli quantità di barite. Nessun solfuro metallico infatti è stato rilevato, anche sporadicamente, nelle breccie calcaree delle aree mineralizzata; la mancanza di solfuri metallici, può essere spiegata dall'esistenza della barite $BaSO_4$ presente in notevoli quantità, a testimonianza di condizioni geochimiche prettamente ossidanti.

La fine del processo mineralizzante sarà stata preceduta da una graduale diminuzione della pressione e della temperatura dei fluidi idrotermali, fino alla loro cessazione. Questa situazione potrebbe essere testimoniata dalla zonatura, quale effetto di uno non regolare accrescimento dei cristalli riscontrato in diversi campioni di fluorite; in questo caso la zonatura sarebbe conseguenza delle variazioni chimiche e fisiche e di flusso idrotermale occorsi durante il processo di cristallizzazione della fluorite.

Le inclusioni visibili anche a occhio nudo in molti campioni, documentano variazioni composizionali dei fluidi idrotermali. Questo fatto riflette il modo come avviene la cristallizzazione, essendo che nel corso di una crescita irregolare o in modo rapido è possibile che al loro interno vengano intrappolate bolle di gas o gocce di liquido. D'altro canto, se la formazione dei cristalli avviene in modo lento e/o in condizioni stabili, le unità costitutive tendono a disporsi in maniera più ordinata e compatta, limitando o riducendo le inclusioni; di conseguenza, questi cristalli possono apparire limpidi e brillanti.

È interessante rilevare che le inclusioni presenti nei cristalli di fluorite possono rivelarsi utili per ottenere informazioni relative alla temperatura, pressione ed evoluzione dei fluidi idrotermali che hanno interagito con le rocce.

Il fluoro nel sottosuolo

In natura il fluoro è presente, - come acido fluoridrico HF nelle emanazioni gassose vulcaniche; - nei mari in forma ionica come fluoruro in basse concentrazioni; - ed è pure presente nella litosfera in fase solida come minerale. Purtroppo, il tracciamento isotopico del fluoro non è possibile per il fatto che esso non ha isotopi naturali.

Di certo il fluoro è stato veicolato da fluidi idrotermali, di origine meteorica, riscaldati per circolazione nel sottosuolo profondo da un gradiente geotermico moderato. Questo processo ha determinato variazioni nelle caratteristiche chimiche e nella composizione degli isotopi dell'ossigeno dell'acqua, che risultano utili per tracciare il percorso dell'acqua, dalla infiltrazione nel sottosuolo fino alla risorgenza come fluido idrotermale.

Il processo che ha prodotto le mineralizzazioni, oggi cessato, sembra avere avuto una breve vita, e resta da chiedersi: 1) dove collocare l'origine primaria del fluoro; 2) quale sia stata l'evoluzione delle manifestazioni idrotermali responsabili delle mineralizzazioni; 3) come mai il fenomeno geochimico è esteso soltanto all'interno di un esclusivo settore geologico, al di fuori del quale nessuna segnalazione di analoghe mineralizzazioni.

Resta perciò ancora aperto il problema della sua veicolazione entro i fluidi idrotermali, limitatamente al sottosuolo del territorio compreso tra il complesso montuoso di Monte Eurako - San Calogero e il tratto terminale del Fiume San Leonardo.

Questi fatti, almeno nella regione Sicilia, rendono unico il modello formazionale del giacimento di Poggio Balate; giacimento minerale in rocce sedimentarie prodotto da interazione tra rocce carbonatiche e fluidi idrotermali di origine meteorica riscaldati per circolazione nel sottosuolo da un gradiente geotermico moderato, non generato da processi magmatici nel sottosuolo profondo.

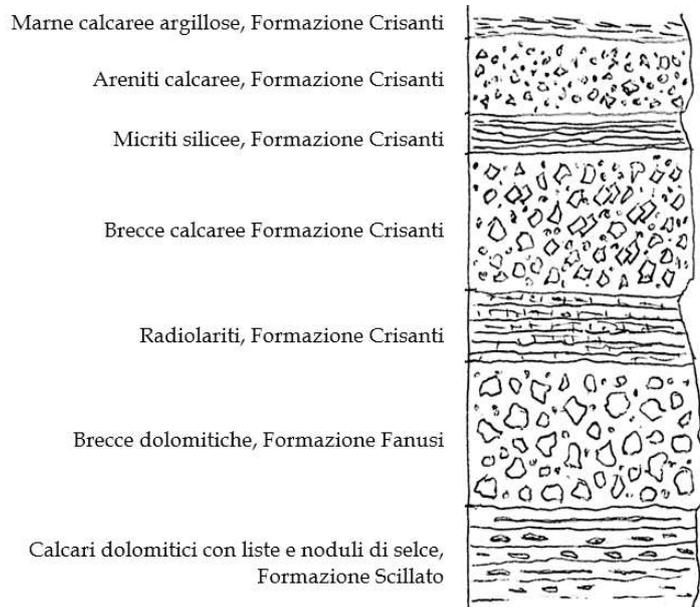
Aspetti litostratigrafici nei dintorni di Poggio Balate.

La geologia del territorio delle mineralizzazioni è costituita da terreni Mesozoici e Terziari appartenenti al dominio paleografico dell'Unità Sedimentaria in facies Imerese. Si tratta di sedimenti terrigeni calcarei, calcareo dolomitici, marnosi e silicei di età compresa tra il Trias superiore e l'Oligocene, che riflettono l'evoluzione nel tempo del bacino di sedimentazione di questa unità paleogeografica.

Disgiunti da essi seguono terreni argillosi pelitico arenacei e quarzoarenitici del Flysch Numidico di età Oligocene sup. - Miocene inf.

Nel territorio sono assenti i terreni della serie Gessosa Solfifera, che cominciano a comparire con terreni gesso-arenitici a sud del territorio, a una distanza dalla costa intorno a 10km.

A destra, la litologia nei dintorni della collinetta di Poggio Balate è sintetizzata in un diagramma stratigrafico semplificato che mostra le diverse tipologie di rocce e sedimenti esistenti nel territorio. In questo diagramma le rocce sedimentarie denominate Formazione Crisanti, di età Lias Superiore - Cretaceo Superiore, caratterizzano il rilievo di Poggio Balate. Le rocce interessate dalle



Schema litostratigrafico semplificato del Dominio Imerese

mineralizzazioni sono, in modo esclusivo le breccie calcaree Giurassiche ad Ellipsactinie; in misura minore le calcareniti Cretacee.

sporadiche tracce di barite si trovano nelle breccie dolomitiche sottostanti alle radiolariti; queste rocce riguardano la Formazione Fanusi di età Trias superiore - Giura inferiore.

Nessuna traccia di mineralizzazioni di fluorite e barite nelle micriti silicee e nelle radiolariti; e nemmeno negli strati delle rocce calcaree dolomitiche con noduli e liste di selce della Formazione Scillato, che è sottostante le breccie dolomitiche della Formazione Fanusi.

La geologia dei luoghi



Carta Geologica D'Italia, ritaglio da foglio 609-596 Termini Imerese.

La collinetta di Poggio Balate, 280m S.L., in alto a un terzo da sinistra, è separata dall'imponente complesso del Monte San Calogero, 1.300m S.L., in basso a destra, da una lunga frattura tettonica con andamento ENE WSW; la collinetta è poi affettata da un sistema di faglie più recenti caratterizzate da modesti rigetti verticali.

Letture carta.

SCT: strati calcarei detritici grana fine con liste e noduli di selce **Formazione Scillato Trias Superiore.**

FUN: breccie calcaree dolomitiche **Giura Inf. Formazione Fanusi,**

CR1: strati di selce, radiolariti . **Formazione Crisanti**

CR2 breccie calcaree, calcirudite ad Ellipsactinie **Giura Sup. Formazione Crisanti**

CR3: micriti silicee con livelli di strati di selce, bedded chert, diaspri vari colori, **Cretaceo Inf. Formazione Crisanti**

CR4 breccie calcaree calcareniti **Cretaceo Superiore, Formazione Crisanti.**

CAL: marne e argilliti veri colori **Formazione Caltavuturo, Cretaceo Superiore - Oligocene**

POZ: marne argillose e calcari detritici a grana fine con strati calcarei ricchi di macro foraminiferi, es. nummuliti, **Formazione Polizzi, Eocene Superiore - Oligocene**

FYN2: argille sabbiose e quarzareniti **Flysch Numidico, Miocene.**

Appendice

IDROTHERMALISMO – FORMAZIONE DEI GIACIMENTI MINERALI

L'acqua nei confronti delle rocce è un potente agente corrosivo; scorrendo sul terreno e sulle rocce disgrega i minerali che le compongono e si carica di componenti chimici, producendo alla fine, in dipendenza delle condizioni ambientali, anche trasformazioni profondo nelle stesse rocce.

Gran parte dell'acqua che cade sulla superficie della Terra si infiltra nel terreno iniziando un lungo cammino nelle profondità del sottosuolo; il percorso e la durata della permanenza dell'acqua nelle profondità dipendono dalla natura e dalla disposizione reciproca degli strati di rocce. La velocità di spostamento di infiltrazione dipende in ogni caso dalla natura delle rocce e da certe caratteristiche legate alla loro struttura.

Delle acque del sottosuolo si può affermare che l'origine è esclusivamente meteorica; è acqua che scorre sul terreno dopo le piogge e lo scioglimento del manto nevoso, parte della quale si infiltra nel suolo iniziando un lungo e lento cammino nelle profondità del sottosuolo, permeando le rocce e diffondendosi fino a grandi distanze.

Nel sottosuolo, in particolari situazioni geografiche e geologiche, sono possibili mescolamenti con acque di altra provenienza: acqua marina, oppure juvenile, ovvero acqua di origine vulcanica. Tuttavia studi sulle acque juvenili mediante analisi chimiche fisiche sugli isotopi dell'ossigeno hanno portato a concludere che il contributo dell'acqua juvenile nella composizione percentuale dell'acqua che circola nel sottosuolo è pressoché irrilevante e perciò la composizione delle acque termali può essere spiegata come una evoluzione delle acque meteoriche che si infiltrano nelle profondità della crosta terrestre dove avvengono scambi di isotopi dell'ossigeno con le rocce. In definitiva le acque termali non sono altro che riciclaggio di acque superficiali di origine meteorica che si riscaldano, in dipendenza del gradiente geotermico, scendendo in profondità.

In particolari situazioni e condizioni strutturali della geologia del sottosuolo, le acque che si infiltrano, oltre a riscaldarsi secondo il gradiente geotermico locale, si arricchiscono di elementi chimici sottratti dalle rocce, trasformandosi in quelli che vengono chiamati genericamente fluidi idrotermali più o meno ricchi di cationi di ioni alcalini e di gruppi anionici acidi. I gruppi ionici principalmente e solitamente disciolti nei fluidi sono il biossido di carbonio CO₂, e l'acido solfidrico H₂S.

I fluidi idrotermali alla fine del loro cammino risalgono rapidamente dal sottosuolo profondo lungo fratture che mettono a contatto rocce di diversa permeabilità, ad esempio strati di argille che sono impermeabili con strati di rocce calcaree che per natura e caratteristiche fisiche invece sono permeabili per fratturazione. In questo modo questi giungono alle sorgenti ancora relativamente caldi; in aree vulcaniche invece possono fuoriuscire con temperatura alta, prossime alla quella di ebollizione, e ricchi di minerali disciolti in soluzione.

I fluidi termali durante la permanenza a contatto con le rocce interagiscono con le stesse rocce comportando questo fatto uno scambio di componenti chimici che può produrre al termine una profonda alterazione nelle rocce; si tratta in questo caso di una trasformazione senza variazione di volume analoga al metasomatismo, che è una forma spinta di diagenesi, simile a quella che subiscono le rocce sedimentarie nelle quali, durante il seppellimento dei sedimenti, vecchi minerali vengono sostituiti parzialmente o totalmente da nuovi minerali di composizione chimica differente, in equilibrio con le nuove condizioni chimico fisiche in cui si trova la roccia; i minerali infatti si formano dalla precipitazioni e successivo accrescimento come aggregati cristallini a partire da ioni disciolti nei fluidi idrotermali e come conseguenza anche negli stessi fluidi può avvenire un cambiamento di composizione chimica.

L'alterazione idrotermale è un processo molto complesso che comprende una serie di modificazioni mineralogiche, chimiche e tessiturali derivanti dall'interazione delle soluzioni acquose calde con le rocce da esse attraversate. Le rocce che ne risultano assumono i tratti della eccezionalità, oltre che di solito vi si trovano minerali in concentrazioni elevate. In definitiva, i processi di alterazione idrotermale sono controllati dalla natura delle rocce nelle quali avviene il processo, dalla composizione dei fluidi in termini di concentrazione e attività chimica dei componenti disciolti in soluzione e infine dalla temperatura.

Queste alterazioni delle rocce in campo minerario vengono denominati depositi idrotermali. I depositi di minerali di origine idrotermale sono in definitiva rocce geochimicamente e mineralogicamente anomale che si formano in risposta a complessi processi geologici e a complesse reazioni fisiche-chimiche.

LISCIVIAZIONE

La lisciviazione geochimica si riferisce al processo attraverso il quale sostanze chimiche vengono rimosse da un materiale solido, come il suolo o le rocce, e si disperdono o si spostano attraverso l'acqua che percola nelle rocce. Questo fenomeno è di particolare interesse in campo geochimico e ambientale, poiché può influire sulla composizione chimica del suolo e delle acque sotterranee.

La lisciviazione può essere influenzata da vari fattori, tra cui la temperatura, il pH del suolo, la permeabilità del materiale geologico e la presenza di sostanze chimiche solubili. Questo processo può portare al trasferimento di sostanze nutritive, metalli, sali e altri composti chimici dal suolo alle acque sotterranee o superficiali.

In termini semplici, la lisciviazione è il processo per cui gli elementi solubili del suolo, per effetto dello scorrimento e della percolazione delle acque, vengono trasportati o migrano negli strati più profondi.

Il processo di lisciviazione, nel caso di quanto esposto in questo articolo, può essere descritto come un sistema chimico composto da tre componenti:

- un portatore solido, sostanza A, la roccia calcarea ricca di CaCO_3 ;
- un soluto, sostanza B, CaCO_3 ;
- un solvente, sostanza C, acque di scorrimento superficiale e fluidi idrotermali.

La formazione della fluorite è assicurata dalla presenza dello ione fluoro F^- nei fluidi idrotermali, e dalla dissoluzione carsica della calcite CaCO_3 che fornisce gli ioni Ca^{++} .

TRACCIAMENTO - FRAZIONAMENTO ISOTOPICO

Il **tracciamento** isotopico è una tecnica utilizzata in molte discipline scientifiche, tra cui la geologia, la biologia, l'agronomia, la medicina e l'archeologia. Questa tecnica sfrutta gli isotopi di un dato elemento chimico, che hanno lo stesso numero di protoni ma differiscono nel numero di neutroni e quindi nel numero di massa atomica, con conseguenti diverse concentrazioni nell'ambiente e trova impiego nello studio dei processi geochimici, come la precipitazione della calcite, in quelli atmosferici nei processi legati al ciclo evaporazione e condensazione dell'acqua e in quelli biologici legati alla fotosintesi; e altri campi ancora dove gli isotopi degli elementi sono coinvolti in reazioni chimiche. Alla base del tracciamento isotopico ci sta il frazionamento isotopico.

Il **frazionamento** isotopico è l'insieme dei processi chimici, fisici e biologici che conducono alla separazione delle diverse specie isotopiche di uno stesso elemento. Le cause che stanno alla base del frazionamento isotopico sono legate al comportamento degli isotopi di uno stesso elemento quando i composti chimici che li contengono sono coinvolti in fenomeni fisici oppure chimici; detto molto semplicemente gli isotopi più leggeri sono più reattivi di quelli pesanti.

Come conseguenza, i composti chimici che contengono gli isotopi più leggeri di una stessa specie atomica: a) reagiscono più velocemente nei fenomeni chimici, cosicché gli isotopi più leggeri tendono a concentrarsi nei prodotti finali; b) si muovono più rapidamente nei processi fisici di trasporto, ad esempio nell'evaporazione, cosicché gli isotopi più leggeri tendono a concentrarsi nei gas o nei vapori. L'entità di queste concentrazioni può essere misurata solo con apparecchiature in grado di rilevare il peso atomico di piccole quantità dei composti.

Un esempio. Per stabilire l'origine, il percorso e la permanenza delle acque nel sottosuolo si ricorre ad analisi geochimiche basate sulla determinazione finale del rapporto tra gli isotopi dell'Ossigeno su campioni di acqua prelevati opportunamente in punti diversi di una area che presenti caratteri di unitarietà geologica. In particolare, l'isotopo che marca l'origine delle acque è l'isotopo pesante dell'ossigeno, ovvero Ossigeno-18 indicato in chimica con la notazione ^{18}O . In sostanza variazioni significative del ^{18}O possono rivelare la provenienza dell'acqua, oppure consentire di costruire un modello geochimico di formazione dei minerali che nella composizione chimica mineralogica contengono l'ossigeno.

L'Ossigeno in natura è presente principalmente e significativamente con due suoi distinti isotopi, uno detto ossigeno leggero, ovvero Ossigeno-16 ^{16}O , abbondante in natura con percentuali intorno 99,76% e l'altro ossigeno pesante, ovvero ossigeno ^{18}O , con percentuali intorno a 0,20%. Ne esiste un altro isotopo, Ossigeno-17, ^{17}O , ma in percentuali pressoché irrilevanti intorno a 0,04%.

L'ossigeno è legato all'acqua e perciò la accompagna nel suo ciclo naturale, evaporazione condensazione e precipitazione sotto forma di pioggia o neve; in questo processo l'acqua di evaporazione, che va a formare poi le nuvole risulta impoverita di ^{18}O che pesa di più del ^{16}O .

Considerazioni analoghe valgono pure per il Carbonio, che in natura è presente con gli isotopi Carbonio-12, ^{12}C e Carbonio-13, ^{13}C ; in verità esiste una lunga serie di isotopi del carbonio, fino a Carbonio-22, ^{22}C , di questi, il Carbonio-14 ^{14}C , un isotopo radioattivo, ha un uso pratico, venendo utilizzato per datare l'età di antichi documenti, ossa di animali, oppure piante e legno.

I fluidi idrotermali sono costituiti essenzialmente di acqua che nella composizione chimica contiene atomi di ossigeno in un ben determinato rapporto isotopico di Ossigeno-18 e Ossigeno-16, cioè dal rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Dalla conoscenza di questo rapporto, nel caso dell'acqua, si può tentare di risalire all'origine del fenomeno e ai processi geochimici che hanno prodotto i minerali; analoghe considerazioni valgono per gli isotopi del Carbonio e dello Solfo, cosicché è possibile ricostruire quali interazioni sono avvenute tra fluidi e minerali.

Per puntualizzare, quello che si calcola non è, nel caso dell'ossigeno, il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, ma lo scarto relativo del rapporto rispetto ad un valore standard assunto come rappresentativo, di solito riferito all'ossigeno dell'acqua marina; lo scarto può essere positivo oppure negativo, in dipendenza di un arricchimento o un impoverimento di ^{18}O .

In questi campi di applicazione non è possibile usare il fluoro come tracciante, perché questo non ha isotopi naturali.

Riferimenti bibliografici

Documentazione bibliografica reperibile in gran parte presso le biblioteche universitarie.

A. Bellanca, P. Censi, R. Neri, STUDIO ISOTOPICO, CHIMICO E TESSITURALE SU MATERIALI CARBONATICI ASSOCIATI A MINERALIZZAZIONI DI FLUORITE E BARITE NELL'AREA DI TERMINI IMERESE (SICILIA), RENDICONTI Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, 38 (3): pp. 1251-1261, 1983

Alaimo R. et All. GEOCHIMICA DELLE SORGENTI TERMALI SICILIANE - RENDICONTI Società di Mineralogia e Petrografia, 34 (2), 1978: pp 577-590.

Bellanca A. et All. RARE AND MINOR ELEMENT DISTRIBUTION AND PETROGRAPHIC FEATURES OF FLUORITES AND ASSOCIATED MESOZOIC LIMESTONES OF NORTHWESTERN SICILY - Chemical Geology, 32 (1981) 255-299 - Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - 1981.

Bellanca A. et All. Fluid inclusions in fluorite mineralizations of northwestern Sicily, Italy, Elsevier Chemical Geology CHEM GEOL 01/1987; 61:209-216. DOI:10.1016/00092541(87)900404

Catalano et All. Note Illustrative della Carta Geologica D'Italia, alla scala 1:50.000, foglio 609-596 TERMINI IMERESE - CAPO PLAIA, ISPRA - 2011.

ClaudeJean Allègre/ Gil Michard - LA GEOCHIMICA - Storia e sviluppo delle conoscenze nella chimica della sfera terrestre Newton Compton editori - 1977.

Flavio Jadoul et All., Note su Manifestazioni a Fluorite, Barite e Celestina nelle Successioni del Norico delle Prealpi Bergamasche -RENDICONTI Boll. Soc. It., 112(1993), 219-233, 12 ff.

MARIO BARBIERI UMBERTO MASI, CONSIDERAZIONI GEOCHIMICHE SULL'ORIGINE DEL GIACIMENTO DI BARITE E CELESTITE DI PIAN DELL'ORGANO (CIVITAVECCHIA), RENDI CONTI Società Italiana di Mineralogia e Petrografia, 34 (1), 1-16 (1978)

ORLANDI P. et All. LA MINERALIZZAZIONE IDROTERMALE A SOLFURI DI FERRO E BARITE NEI PRESSI DI CASCIANA TERME (VAL D'ERA, TOSCANA Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, 110 (2005) pagg. 161 - 166 (1978)

Pezzotta F. et All. Note su manifestazioni a fluorite, barite e celestina nelle successioni del norico delle Prealpi Bergamasche, Bollettino - Società Geologica Italiana, 1993.

Speciale F. - La facies del "Bacino Imerese" nell'entroterra termitano. Tesi di laurea inedita, Università degli studi di Palermo, 1974.

Testi utili da consultare

Guida Geologica del Parco delle Madonie, Ente Parco delle Madonie, Università degli Studi di Palermo, II ed. 2012.

Monte San Calogero, la riserva, l'ambiente, la storia, AZIENDA REGIONALE FORESTE DEMANIALI, dicembre 2003.

COPIA DELL'AUTORE