

Appunti di Geologia Stratigrafica

di Emanuele Paone
emanuele_paone@yahoo.it
Unical (Cosenza-rende)



1) Metodi di studio, cronologia e tecniche di correlazione stratigrafica, unità stratigrafiche formali

- Metodi di cronologia relativa:

Con le misure relative possiamo stimare quanto una roccia è più vecchia o più giovane di un'altra in termini di n unità litostratigrafiche (litostratigrafia), n unità sequenziali (stratigrafia sequenziale), n zone biostratigrafiche (biostratigrafia), n magnetozone (magnetostratigrafia), n escursioni isotopiche (stratigrafia isotopica), n periodi astronomici (astrostratigrafia). Tutti questi metodi NON esprimono quindi l'età della roccia in anni, ma in maniera relativa. Sono metodi però che forniscono informazioni abbondanti e continue in senso stratigrafico, mentre le misure "assolute" da datazioni radiometriche sono molto più puntiformi nel tempo poichè fortemente vincolate ai tipi di rocce-minerali utilizzabili in laboratorio per le analisi. Il segreto sta nell'INTEGRARE le misure relative con misure "assolute" da datazioni radiometriche, ottenendo SCALE TEMPORALI di riferimento.

- principi di Stenone (sovrapposizione, originaria orizzontalità degli strati e relative eccezioni, originaria continuità laterale degli strati);

PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE

Il principio di sovrapposizione stabilisce che gli strati più antichi sono coperti da quelli più recenti. Così, in una sequenza sedimentaria, l'elemento più giovane si trova più in alto.

Principio di orizzontalità degli strati

Gli strati si sono depositati orizzontalmente e solo in seguito si sono deformati assumendo altre giaciture. "Gli strati sia perpendicolari all'orizzontale che inclinati erano un tempo paralleli all'orizzontale."

Principio di originaria orizzontalità

Le rocce sedimentarie si depongono con geometrie (sub)orizzontali parallelamente alla superficie terrestre (sul particolare sedimentario agisce la forza di gravità)

PRINCIPIO DI CONTINUITÀ LATERALE

Si può assumere che gli strati continuassero lateralmente molto più lontano rispetto a dove finiscono attualmente. "I materiali che formano ogni strato erano continui lungo tutta la superficie della Terra a meno che qualche altro corpo solido non li interrompesse."

PRINCIPIO DI INTERSEZIONE

Gli elementi che tagliano gli strati, li postdatano. "Se un corpo o una discontinuità taglia attraverso uno strato, deve essersi formata dopo quello strato.

- rapporti stratigrafico-geometrici tra diversi corpi litologici come base della cronologia relativa (cross-and-cut relationships);

Cross and cut

Un evento che interrompe una roccia tagliandola trasversalmente (intersecandola) è più giovane della roccia tagliata. Gli eventi possono essere: paraconcordanze, discordanze angolari, intrusioni magmatiche e faglie.

Discontinuità:

Una discontinuità è una superficie tra due corpi rocciosi che rappresenta un'interruzione (lacuna) significativa nella successione stratigrafica.

Discordanza angolare.

Una discontinuità in corrispondenza della quale i piani di stratificazione delle unità sottostanti e soprastanti formano un angolo gli uni rispetto agli altri, indicando deformazione tettonica prima dell'erosione oppure un onlap molto marcato.

Disconformità.

Una discontinuità in corrispondenza della quale i piani di stratificazione delle unità sottostanti e sovrastanti sono essenzialmente paralleli. Generalmente questo parallelismo apparente è limitato ad aree ristrette, mentre a scala regionale è generalmente presente un certo grado di discordanza (troncatura erosiva dell'unità sottostante o onlap in quella sovrastante).

Diastema.

Una breve interruzione nella sedimentazione con poca o senza erosione prima della ripresa della sedimentazione. Questi brevi arresti nella sedimentazione hanno generalmente un'estensione laterale limitata e non rappresentano elementi appropriati sui quali basare unità a limiti inconformi.

Unità Litostratigrafiche

La litostratigrafia si occupa di suddividere e gerarchizzare le successioni rocciose in unità formali distinte sulla base della loro litologia; l'unità litostratigrafica risulta quindi un corpo roccioso separabile da quelli adiacenti in base alle caratteristiche litologiche ed alla posizione stratigrafica.

Ne consegue che concorrono alla definizione di un'unità litostratigrafica solo caratteri fisici, facilmente riconoscibili sul terreno. È richiesta una complessiva omogeneità litologica o la presenza di caratteri litologici peculiari.

Anche il contenuto fossilifero, se particolarmente rappresentativo, può essere utile nella distinzione di unità litostratigrafiche (ad esempio nel caso di coquine, radiolariti, livelli di carbone, ecc.; il Rosso Ammonitico, gli scisti ad aptici sono esempi di come i fossili possano essere uno dei caratteri più facilmente riconoscibili in una formazione).

Le unità litostratigrafiche formali risultano così gerarchizzate: strato (colata)-membro- formazionegruppo.

Unità litostratigrafiche informali sono la lingua e la lente, dove per lingua si intende una parte di un'unità litostratigrafica che si protende al di fuori del corpo principale dell'unità stessa, mentre per lente si intende un corpo lenticolare distinto litologicamente dall'unità litostratigrafica che lo racchiude.

1. Strato

È un livello o letto delimitato da due discontinuità/superfici fisiche all'interno di una successione stratificata distinguibile da quelli adiacenti sulla base delle sue caratteristiche litologiche. Ha uno spessore da pochi centimetri a pochi metri. Più letti contigui/sovrapposti, che presentino omogeneità litologica possono costituire un'unità litostratigrafica formale. Possono rivelarsi estremamente utili per correlazioni.

2. Membro

È una parte di una formazione distinguibile dal resto della formazione stessa in base alle sue caratteristiche litologiche. Non è vincolato a limiti di estensione o spessore; deve essere istituito formalmente solo in caso di reale utilità. Deve avere uno stratotipo chiaramente designato.

3. Formazione

È l'unità litostratigrafica fondamentale. Indica un corpo roccioso distinguibile da quelli adiacenti sulla base delle caratteristiche litologiche. Una formazione risulta definita unicamente dalla sua litologia (composizione, tessitura, strutture, colore) e dalla sua posizione stratigrafica; può essere costituita da un qualsiasi tipo di roccia (sedimentaria, ignea, metamorfica o, in alcuni casi, associazioni di due o più tipi di roccia) e può includere anche discontinuità deposizionali, a meno che non coincidano con significativi cambiamenti litologici.

Sono caratteri fondamentali per una formazione la riconoscibilità sul terreno e la cartografabilità. La cartografabilità impone uno spessore minimo per la formazione;

4. Gruppo

È un'unità litostratigrafica che raggruppa due o più formazioni con caratteri litologici comuni. I gruppi sono di una certa utilità nella cartografia a piccola scala e negli studi regionali. Rispetto alle formazioni, mostrano più flessibilità; ad esempio possono essere costituiti da formazioni diverse in aree diverse, oppure una formazione può essere condivisa da gruppi adiacenti lateralmente. Il gruppo ha uno stratotipo composito, dato dagli stratotipi delle unità che lo compongono.

5. Supergruppo e Sottogruppo

Il supergruppo riunisce gruppi o insiemi di gruppi e formazioni sulla base della condivisione di alcune proprietà litologiche. Deve essere istituito solo in caso di reale utilità. Un sottogruppo è una divisione interna ad un gruppo.

6. Complesso

È un'unità litostratigrafica che comprende diversi tipi di rocce (sedimentarie, ignee, metamorfiche) e risulta caratterizzata da mescolanza litologica irregolare o complicazioni nei rapporti strutturali tra i diversi componenti, tali da oscurare la sequenza originaria delle rocce componenti e da non permettere la cartografabilità delle singoli componenti rocciose o della sequenza rocciosa. Il termine può essere usato come parte di un nome formale al posto di un termine litologico o gerarchico. Orizzonte litostratigrafico o litoorizzonte o livello guida È una superficie distinta per le sue peculiari caratteristiche litologiche (ad esempio un limite di un'unità litostratigrafica o una superficie all'interno dell'unità stessa), oppure un livello marker di limitato spessore con litologia distintiva a scala apprezzabile

Caratteri degli strati:

Per osservare nel dettaglio le caratteristiche relative degli strati si prendano in esame due tipi de essi:

- ✿ Uno starto torbidityco, effetto di deposizione catastrofica e istantanea, la deposizione avviene per progressiva decelerazione dovuta agli attriti esterni, al suo interno la deposizione è chiaramente verticale e verso diminuisce la percentuale numerica dei clasti mentre inversamente proporzionale alla profondità è la granulometria. Così come è noto per la sequenza di Bouma.
- ✿ Lo strato tidale ha un tempo variabile che può prolungarsi fino alle migliaia di anni, variabili in un così ampio lasso di tempo sono anche i processi che incontra. Flusso e riflusso non sono equivalenti quasi mai, i cicli che si osservano hanno le durate più varie, da quella annuale, a quella sigiziale, a quella diurna o addirittura semidiurna. Ciò nonostante la stratificazione è chiara. In linea generale si distingueranno gruppi di strati e di lamine, associati per origine e sviluppo, nonché per morfologia. uno starto può essere monolitologico o plurilitologico.

Gli strati possono contenere letti e lamine, essere o non omogenei, il secondo caso presenta almeno 2 variabili

- ✿ Strati organizzati
- ✿ Strati disorganizzati

Un fattore ulteriore, di cui tener conto nello studio degli strati è l'ambiente che influenza il potenziale di preservazione, difatti, le condizioni in cui uno strato è deposto in origine ne determinano direttamente la durata, così come è significativo il fatto che uno strato depositatosi per cause improvvise e catastrofiche è consumato ed eroso da fattori che non contrastano l'improvvisa crescita nel bilancio del materiale depositato, è il caso delle torbiditi e non delle spiagge a ciclo erosione deposizione stabile.

Significato dello spessore degli strati:

Una classificazione dei corpi sedimentari può essere stabilita in funzione del loro 'spessore' che il più delle volte (ma non sempre) è sinonimo dell'importanza dell'evento sedimentario che lo ha generato.

Per spessore distinguiamo.

In cm strati di tipo:

- ⊕ 1000 < megastrati
- ⊕ 100 < molto spessi
- ⊕ 30 < spessi
- ⊕ 10 < medi
- ⊕ 3 < sottili
- ⊕ <3 molto sottili

In mm lamine:

- * 100 < molto spesse
- * 30 < spesse
- * 10 < medie
- * 3 < sottili
- * <3 molto sottili

Se invece andiamo ad una classificazione geometrica degli strati, li divideremo in:

- ❖ A strati paralleli
- ❖ A strati non paralleli

- ⊞ Discontinui
- ⊞ Continui

Per morfologia:

- † Curva
- † Ondulata
- † Piana

Successioni sedimentarie

La maniera più semplice di dividere le successioni sedimentarie è rappresentata dalla suddivisione per variazioni litologiche. Alle volte, agiremo in modo da distinguere una successione relativa, altre volte, n'observeremo le correlazioni con i bacini circostanti..

Unità crono stratigrafiche

Le successioni possono essere considerate suddivise da superfici isocrone che le delimitano, sono cioè spessori di sedimento depositi in un intervallo di tempo preciso. Tra gli altri utilizzi geocronologici, le unità cronostratigrafiche sono necessarie alla correlazione dei margini esistenti sui continenti ai lati dell'oceano atlantico, continenti che un tempo si trovavano uniti in una sola massa continentale.

Differenza tra le unità litostratigrafiche e cronostratigrafiche:

Sostanzialmente abbiamo due classificazioni: una morfologico strutturale, che definisce un bacino caratterizzato da una sua propria natura litologica , cioè chimica-granulometrica-composizioneale, sarà utile quindi per la ricerca di un sito minerario o per la ricerca di idrocarburi, poichè siffatte risorse hanno facies, loro associate,

tipiche, una cronologica basata sull'appartenenza di una facies ad un range temporale, le unità cronostratigrafiche, che si distinguono in questa seconda classificazione, sono unità concettuali di tipo non visibile, spesso però necessarie al formarsi di opinioni, scientificamente supportate, su quelle che erano le caratteristiche tipiche di un periodo.

Un modo per potere distinguere le facies a grande scala è quello di suddividerli in base alle loro differenze litologiche. Questo principio è quello che regola la definizione delle Unità litostratigrafiche.

La suddivisione di pacchi di rocce, impilate secondo una successione stratigrafica, utilizzando un metodo litostratigrafico è l'approccio più semplice e diretto che si possa adottare sul campo. I limiti di che separano le diverse unità sono quindi limiti di variazione litologica.

Alle volte però, l'applicazione del metodo litostratigrafico non è sufficiente, soprattutto dove esistono delle successioni poco spesse (condensate) che riassumono svariati milioni di anni e che sono caratterizzate da un'unica litologia.

Un modo di classificare i corpi sedimentari usando criteri litostratigrafici è la formazione (o unità formazionali) La formazione è una successione di sedimenti, i cui affioramenti sono riconoscibili e presenti a scala di bacino, caratterizzata da una o più litologie che la distinguono dalle successioni sotto- e sopra-stanti, la cui età deve essere ben riconosciuta. La formazione, quando costituita da due o più litologie, può essere ulteriormente suddivisa in MEMBRI. La formazione assume la denominazione del luogo in cui viene meglio riconosciuta, descritta e documentata. È chiamato correlazione un metodo di indagine che utilizza analogie tra unità geologiche per estendere queste informazioni su una larga area geografica. Effettuando correlazioni tra successioni stratigrafiche situate in località diverse, è possibile ricostruire in modo completo la successione degli eventi geologici, biologici e ambientali di una data regione e dell'intera Terra.

Unità Biostratigrafiche:

nozione di fossile-guida, correlazioni per mezzo dei fossili; biozone;

- CLASSIFICAZIONE BIOSTRATIGRAFICA

La classificazione biostratigrafica è finalizzata a suddividere ed organizzare una sezione stratigrafica in unità biostratigrafiche, definite sulla base del loro contenuto fossilifero. Le possibilità di classificazione sono diverse. Comune denominatore deve essere l'utilità e la riconoscibilità.

Le unità biostratigrafiche devono essere ritenute presenti solo quando siano effettivamente esistenti gli elementi paleontologici che le identificano. La pura somiglianza di litologia, l'equivalenza di età o di ambiente deposizionale non giustificano l'inclusione di una successione di strati in una data unità biostratigrafica.

Le unità biostratigrafiche sono delle unità descrittive. L'estensione temporale e geografica di un'unità biostratigrafica è dipendente dai fossili che la determinano o caratterizzano; pertanto sono possibili nel tempo variazioni dello spessore e dell'estensione laterale delle unità biostratigrafiche, soprattutto in funzione dell'evoluzione delle conoscenze tassonomiche e delle distribuzioni dei fossili.

Zona biostratigrafica o Biozona. Un corpo roccioso definito o caratterizzato sulla base del suo contenuto fossilifero. Il prefisso bio- serve a distinguere le zone biostratigrafiche dagli altri tipi di zona, ma qualora nel contesto sia già stato chiarito il significato del termine, può essere semplicemente usato il termine "zona". Lo stesso vale per il tipo di biozona. Poiché lo status tassonomico dei fossili può variare, anche la nomenclatura, l'estensione geografica e temporale delle biozone potrà subire modificazioni. La biozona è fondata sulla presenza di un singolo taxon o più taxa, ed è definita sulla base del suo contenuto e dei suoi limiti. Lo stesso intervallo stratigrafico può essere classificato in modo diverso, attraverso unità biostratigrafiche basate su gruppi fossili diversi. I limiti tra le zone di queste diverse scale non sono di regola coincidenti.

Bioorizzonte. Rappresenta un limite stratigrafico, una superficie o un'interfaccia attraverso la quale si manifesta un cambiamento significativo e riconoscibile nei caratteri biostratigrafici.

ZONE BIOSTRATIGRAFICHE

Uno stesso intervallo roccioso può essere suddiviso in zone biostratigrafiche differenti a seconda tipo di biozona utilizzato. I diversi tipi di biozone non hanno significato gerarchico e l'applicazione di un tipo non compromette l'utilizzo degli altri nello stesso contesto stratigrafico.

Sono distinti cinque tipi di biozone: biozona di distribuzione, biozona di intervallo, biozona filetica, biozona di associazione, biozona di abbondanza. La biozona oppeliana

1. Biozona di distribuzione

Successione di strati che rappresenta la distribuzione conosciuta per uno o più elementi scelti nell'ambito dell'associazione fossile presente in un certo intervallo stratigrafico. Il termine "distribuzione" va inteso sia in senso stratigrafico che geografico e può essere riferito ad un'unica categoria tassonomica (specie, genere, famiglia, ecc.), ad un gruppo di taxa o ad una qualunque caratteristica paleontologica. I limiti di una biozona di distribuzione devono sempre essere definiti esplicitamente.

2. Biozona di intervallo

Successione di strati fossiliferi compreso tra due bioorizzonti. Ne consegue che un intervallo sterile tra due bioorizzonti non costituisce una biozona d'intervallo e che una biozona d'intervallo non è definita dal suo contenuto specifico, ma solo dai suoi limiti. Tipiche biozone d'intervallo sono i pacchi di strati compresi tra un evento di comparsa ed uno di estinzione.

Biozone di intervallo possono essere definite anche in corrispondenza della distribuzione parziale di un taxon o della distribuzione concomitante di due taxa, qualora la distribuzione dei fossili-indici non sia continua

3. Biozona filetica

Successione di strati contenenti esemplari che rappresentano un segmento specifico di una linea evolutiva. Può essere rappresentata dall'intera distribuzione di un fossile, oppure dalla sua distribuzione al di sotto della comparsa di un ramo laterale nella linea filetica (discendente). I limiti della biozona sono pertanto definiti da eventi filetici, entro la linea in oggetto

4. Biozona di associazione

Successione di strati caratterizzata da un'associazione tipica di tre o più fossili, i quali, considerati congiuntamente, permettono di distinguerla dagli strati adiacenti. I limiti sono definiti in corrispondenza di bioorizzonti, che rappresentano i limiti di presenza dell'associazione caratteristica dell'unità. È quindi necessario definire esplicitamente l'associazione sulla base della quale è definita la biozona, ma non tutti i membri caratterizzanti devono essere presenti per assegnare una successione di strati alla biozona;

5. Biozona di abbondanza

Corpo roccioso nel quale l'abbondanza di un determinato taxon o di un gruppo di taxa è significativamente maggiore rispetto agli strati adiacenti (ad esempio, l'abbondanza di *Calpionella alpina* identifica la base della Biozona a C. alpina nella scala di REMANE, 1985). I limiti sono definiti da bioorizzonti in corrispondenza dei quali avvengono cambiamenti nell'abbondanza del taxon o dei taxa che definiscono la biozona.

Le tecniche biostratigrafiche e biostratinomiche devono essere applicate a sezioni stratigrafiche e non a singoli campioni. La metodologia di lavoro parte dalla misurazione e descrizione di sezioni stratigrafiche di dettaglio, per poi passare ad una fase di campionamento, di studio paleontologico, la cui finalità è la costruzione di una tabella di distribuzione dei fossili e la distinzione di biozone. La fase del campionamento risulta particolarmente importante e va eseguita strato-per-strato. La classificazione biostratigrafica porta, infatti, al riconoscimento delle biozone ed alla conseguente possibilità di stabilire correlazioni e di costruire scale biostratigrafiche. Il dettaglio del campionamento determina la precisione e l'affidabilità delle scale biostratigrafiche stesse.

Un modo per potere distinguere le facies a grande scala è quello di suddividerli in base alle loro differenze paleontologiche. Questo principio è quello che regola la definizione delle Unità bio-stratigrafiche. Esistono particolari specie di macro- e micro-fossili che possono scandire la scala dei tempi geologici in funzione della loro 'comparsa' e della loro conseguente 'scomparsa' (o estinzione). Il ritrovamento o la

perdita di una o più specie, ci può fornire la possibilità di suddividere una successione stratigrafica in differenti unità, che vengono chiamate unità biostratigrafiche. Ognuna di esse è caratterizzata da una determinata associazione paleo-faunistica.

Il principio della successione fossile stabilisce che particolari forme fossili possono essere usate come marcatori dell'epoca nella quale si sono sedimentati questo perché gli organismi si evolvono attraverso il tempo.

- Cronostratigrafia:

Un modo per potere distinguere le facies a grande scala è quello di suddividerli in base alle loro differenze di età, calcolate con metodi assoluti. Questo principio è quello che regola la definizione delle unità cronostratigrafiche.

La datazione assoluta delle rocce avviene attraverso l'utilizzo della datazione radiometrica (o isotopica). Essa impiega elementi naturali radioattivi come il rubidio-87 (^{87}Rb) che perdendo un elettrone si trasforma in stronzio-87 (^{87}Sr). Un altro elemento, molto abbondante nelle rocce è il carbonio-14 (^{14}C). Ogni atomo possiede un TEMPO DI Decadimento radioattivo La datazione delle rocce avviene misurando questo tempo, risalendo al momento in cui l'atomo ha avuto origine.

Cronologia geologica:

La ricostruzione degli eventi che hanno interessato la storia della terra può essere effettuata stabilendo l'antiorità o la posteriorità di un evento rispetto ad un altro; questo tipo di datazioni erano considerate le uniche fino alla scoperta della radioattività, nonché delle datazioni assolute e si chiamavano datazioni relative.

Cronologia relativa:

La datazione relativa si basa sulla sovrapposizione, già noto principio stratigrafico basato sulla teoria di stesone, i limiti del principio di sovrapposizione sono anche conosciuti e quindi quelli della datazione relativa. E' anche riconosciuto valido il metodo della datazione sulla base dei fossili, i quali avendo un range definito compreso tra loro apparizione e loro scomparsa, sia essa dovuta ad estinzione o pseudoestinzione. Sostanzialmente si osserva la diversità delle specie in una sequenza di strati in verticale, basti pensare a fossili che sono così tipici di un periodo da dargli nome (Nummulitico-paleoceno). Con la raccolta di dati basati sullo studio dei fossili e le loro associazioni si è diviso il tempo in tabelle geocronologiche, esse hanno come riferimento periodi via via più piccoli così nominati:

- ❖ Eoni.
- ❖ Ere.
- ❖ Periodi.
- ❖ Epoche.
- ❖ Età.

Secondo la stratigrafia tradizionale un'età, in ultimo è divisa in croni, l'insieme degli strati formati in un crono è una cronozona. Nella datazione relativa degli strati di origine intrusiva si osservano le relazioni tra le differenti intrusioni. Ad esempio si osservi che i filoni più giovani tagliano sempre quelli più antichi, o che uno strato

metamorfosato sarà sempre più antico rispetto all'intrusione al suo contatto, parimenti si prenderà atto di superfici di erosione sulle quali si hanno nuove deposizioni

- Datazioni radiometriche:

- principi generali e principali metodi (Uranio-Piombo, Potassio-Argon, Rubidio-Stronzio, Carbonio 14);

Metodo	T _{0.5} in anni	Minerali o rocce utilizzati
Metodo del Rubidio/Stronzio		
⁸⁷ Rb / ⁸⁷ Sr	47 miliardi	Feldspati potassici, Miche, Rocce metamorfiche
Metodo del Torio/Piombo		
²³² Th / ²⁰⁸ Pb	13.9 miliardi	Zircone, Pechblenda
Metodo dell'Uranio 238/Piombo		
²³⁸ U / ²⁰⁸ Pb	4.51 miliardi	Zircone, Pechblenda
Metodo del Potassio/Argon		
⁴⁰ K / ⁴⁰ Ar	1.3 miliardi	Muscovite, Orneblenda, Feldspati, Rocce vulcaniche
Metodo dell'Uranio 235/Piombo		
²³⁵ U / ²⁰⁷ Pb	723 milioni	Zircone, Pechblenda
Metodo del Carbonio 14 (in Azoto 14)		
¹⁴ C / ¹⁴ N	5700	Rocce sedimentarie, materiale organico
⁸⁷ Rb / ⁸⁷ Sr	47.000 milioni	Feldspati potassici, Miche, Rocce metamorfiche

Cronologia assoluta

Le rocce contengono un certo numero di elementi radioattivi naturali derivanti dal magma originario. Molti isotopi radioattivi naturali possono essere usati per le misure radiometriche ma i più utilizzati sono: uranio, torio, potassio, rubidio e carbonio. Questi isotopi sono largamente presenti nella maggior parte dei minerali ed hanno un ampio spettro di tempo di dimezzamento permettendo la datazione assoluta di un ampio numero di rocce.

Le misure radiometriche permettono di risalire all'età assoluta di una roccia sulla base del tasso di decadimento radioattivo cioè del numero di atomi dell'isotopo radioattivo che si trasformano in uno più stabile nell'unità di tempo.

Il tasso di decadimento viene quantificato come tempo di dimezzamento cioè il tempo necessario per far decadere la metà degli atomi dell'elemento radioattivo.

Metodo rubidio-stronzio

Usato per datare antiche rocce terrestri ignee e metamorfiche, e campioni di rocce lunari, questo metodo si basa sul decadimento del rubidio 87 in stronzio 87, con emissione di particelle beta. È frequentemente usato per verificare l'esattezza delle datazioni potassio-argo, dato che lo stronzio, anche se esposto a temperature moderatamente alte, non tende a disperdersi come l'argo.

Metodo potassio-argo

Il decadimento del potassio 40 in argo è ampiamente usato per la datazione di rocce, in particolare di miche, feldspati e orneblende, in cui questo elemento è presente in grandi quantità. La fuga di argo costituisce un problema se la roccia è stata esposta a temperature superiori a 125 °C: in questo caso l'età determinata indicherà l'ultimo episodio di riscaldamento subito dalla roccia, e non il tempo trascorso dalla formazione.

Metodo del Carbonio

Questa tecnica, sviluppata nel 1947 dal chimico statunitense Willard Libby e dai suoi colleghi dell'Università di Chicago, è spesso utile per risolvere problemi cronologici in archeologia, antropologia, oceanografia, pedologia, climatologia e geologia recente.

Attraverso l'attività metabolica, il livello di carbonio 14 in un organismo vivente si mantiene pari a quello presente nell'atmosfera o nelle parti dinamiche della Terra, come l'oceano. Dopo la morte dell'organismo, il carbonio 14 comincia a decadere con tasso di decadimento noto, senza che sia possibile una reintegrazione di carbonio dall'atmosfera. Una misura del livello di carbonio consente quindi un calcolo dell'età dei resti; tuttavia il rapido decadimento del carbonio fa sì che l'applicazione di questo metodo sia limitata alla datazione di oggetti di circa 50.000 anni, benché con tecniche moderne e sofisticate sia a volte possibile estendere l'intervallo di tempo a circa 70.000 anni; l'incertezza aumenta tuttavia con l'età del campione.

Nel 1962 il tempo di dimezzamento del radiocarbonio è stato ridefinito da 5570 ± 30 anni a 5730 ± 40 anni, cosicché alcune date determinate in precedenza necessitano di correzione; inoltre, per tener conto della radioattività recentemente introdotta nell'atmosfera, le date al radiocarbonio vengono calcolate con riferimento all'anno 1950. Tra i fattori di incertezza che possono portare a errori nella definizione di una scala temporale, il problema più serio consiste nella contaminazione successiva di un campione, che può essere causata da percolazione di acque, da incorporazione di carbonio più giovane o più antico, e dalla contaminazione sul campo o in laboratorio causata dagli stessi ricercatori

IL TEMPO GEOLOGICO

I geologi suddividono il tempo geologico in Ere, Periodi, Epoche ed Età (o Piani). Queste ultime sono le divisioni unitarie più brevi del tempo geologico. La maggior parte dei Piani è stata definita sulla base delle comparse e delle scomparse di organismi prima ancora che fossero applicati metodi di datazione più precisi o alternativi. Le Età sono riferite a "stratotipi". Lo stratotipo, affioramento roccioso ben esposto e documentato da abbondanti fossili, rappresenta lo standard per la definizione e il riconoscimento di una determinata Età in tutto il mondo. Le associazioni fossilifere presenti nello stratotipo di un Piano costituiscono la base per effettuare correlazioni temporali relative tra rocce che affiorano in luoghi diversi e che contengono gli stessi fossili. Tutto questo si basa sulla supposizione che l'età di questi fossili caratteristici sia la stessa in tutto il mondo. La parte sommitale dello stratotipo di un Piano non corrisponde tuttavia necessariamente, in termini di età, alla base del Piano successivo. Gli stratotipi che rappresentano Piani o Età successive si trovano in genere a grandi distanze tra loro, magari in paesi o continenti diversi. Ecco quindi che per definire il limite tra diverse Età, i geologi devono designare altri affioramenti nei quali i limiti siano ben esposti e documentabili sulla base di diversi criteri come le variazioni delle specie fossili, le proprietà geofisiche e geochemiche delle rocce, ecc. Questi affioramenti rappresentano le Sezioni Globali di Stratotipo e di Punto per i vari limiti cronostratigrafici, in altre parole i GSSP.

. Unità cronostratigrafiche

Corpo roccioso che si è formato durante un certo intervallo di tempo. Le unità cronostratigrafiche sono limitate da superfici sincrone. Le unità cronostratigrafiche sono organizzate gerarchicamente (Eonotema, Eratema, Sistema, Serie, Piano, Sottopiano, cui corrispondono le unità geocronologiche Eon, Era, Periodo, Epoca, Età, Sottoetà o Età) . L'unità fondamentale è il piano, che rappresenta l'unità di maggior utilità pratica nelle correlazioni interregionali e la più piccola unità riconoscibile a livello globale. Inoltre, esistono unità cronostratigrafiche formali non gerarchiche, ovvero le cronozone

1. Piano

L'unità cronostratigrafica fondamentale è il piano; è definito dagli stratotipi dei limiti. La durata temporale di un piano può essere varia, ma generalmente è compresa tra 2 e 10 Ma; lo spessore non è rappresentativo e può variare da luogo a luogo. L'unità geocronologica corrispondente è l'età. Il nome del piano di norma deriva da un toponimo geografico relativo alla località dove si trovano lo stratotipo o l'area tipo (Oxfordiano, da Oxford; Langhiano, dall'area delle Langhe in Piemonte), oppure dall'unità litostratigrafica che lo rappresenta.

2. Sottopiano

È una suddivisione del piano. Non tutti i piani sono suddivisi in sottopiani denominati formalmente. Il sottopiano è definito dagli stratotipi dei limiti. Le regole nomenclaturali sono quelle valide per il piano.

3. Serie

È un'unità cronostatigrafica gerarchica di rango superiore al piano, che risulta sempre dalla suddivisione di un sistema, normalmente, ma non necessariamente, suddivisa in piani (in genere in numero da 2 a 6). L'unità geocronologica equivalente è l'epoca. La serie è definita dagli stratotipi dei limiti inferiore e superiore, che coincidono rispettivamente con lo stratotipo inferiore del piano più antico della serie e lo stratotipo inferiore del primo piano al di sopra della serie. Se la serie non è suddivisa in piani, ha stratotipi propri.

4. Sistema

È un'unità cronostatigrafica di rango compreso tra la serie e l'eratema. È definito dagli stratotipi dei limiti, che coincidono con quelli delle unità di rango inferiore, se il sistema è suddiviso in serie. L'intervallo temporale rappresentato da un sistema solitamente varia da 22 a 80 Ma. L'equivalente unità geocronologica è il periodo.

6. Eonotema

È l'unità cronostatigrafica di rango più alto. Sono distinti tre eonotemi, denominati, dal più antico al più recente, Archeano, Proterozoico e Fanerozoico

Cronozona È un'unità cronostatigrafica formale, ma non riveste un rango preciso nell'ordine gerarchico.

Rappresenta un corpo roccioso che si è formato ovunque nel mondo durante l'intervallo temporale corrispondente ad un'unità stratigrafica o ad un evento geologico. Ad esempio, la cronozona può essere definita su basi biostratigrafiche; in tal caso rappresenta l'estensione temporale massima di una biozona, ma non è vincolata alla presenza del o dei fossili che definiscono la biozona stessa. Se la cronozona è riferita ad un'unità per la quale è stato definito uno stratotipo, la sua estensione temporale può essere fissa e corrispondere a quella dello stratotipo, oppure può essere variabile e corrispondere all'estensione massima dell'unità (che può essere maggiore di quella dello stratotipo e soprattutto può subire variazioni con l'incremento delle conoscenze sull'unità). Se la differenza temporale è sensibile, dovrebbe essere reso esplicito il riferimento allo stratotipo oppure all'estensione conosciuta dell'unità. In questo modo è chiaro se i limiti della cronozona possono cambiare nel tempo col progredire delle conoscenze, oppure se sono fissi e coincidono, ad esempio, con limiti tra piani o sottopiani. L'estensione geografica di una cronozona è concettualmente illimitata; tuttavia, la sua applicabilità pratica è solitamente limitata all'area nella quale si riconosce l'unità su cui è definita.

- trasferimento dei dati numerici di età alle successioni sedimentarie;
- Magnetostratigrafia:
- la scala delle inversioni di polarità del campo geomagnetico ed il suo uso per le correlazioni stratigrafiche.

La magnetosfera ed il campo magnetico terrestre:

Le linee di forza del campo magnetico terrestre possono essere tracciate fino a grandi altezze e definiscono la magnetosfera; essa è la principale forma di difesa del sistema terra dal vento solare, questo vento o plasma si evidenzia nelle aurore polari. La complessa struttura magnetosferica comprende le fasce di Van Allen, zone in cui le particelle si muovono a spirale attorno alle linee di forza del campo magnetico terrestre. Il campo magnetico terrestre si definisce anche sulla base di intensità direzione e verso, sulla superficie del pianeta:

- ❖ L'intensità si esprime in nanotesla.
- ❖ La direzione è l'angolo tra la proiezione dell'angolo sul piano orizzontale e il Nord geografico.
- ❖ L'inclinazione è l'angolo tra l'ago e l'orizzontale

Il paleomagnetismo:

Il paleomagnetismo si occupa dello studio dell'intensità, direzione e verso del vettore "magnetizzazione residua" (NRM Natural Remanent Magnetization). La NRM è di grande utilità nella classificazione stratigrafica; essa indica: (i) lo stato di polarità magnetica nella roccia, normale o inversa, (ii) l'inversione di polarità magnetica nella roccia, da normale a inversa e viceversa, (iii) la posizione nello spazio del polo paleomagnetico corrispondente, che può mostrare una migrazione apparente dovuta al movimento della placca alla quale il polo si riferisce, (iv) le variazioni di intensità della componente dipolare del campo magnetico terrestre, e (v) le variazioni delle caratteristiche delle componenti non dipolari del campo magnetico terrestre. Quando una qualsiasi di tali proprietà varia all'interno dei corpi rocciosi, può costituire la base per la distinzione di unità stratigrafiche note complessivamente con il nome di unità magnetostratigrafiche. La proprietà magnetica più utile in stratigrafia è indubbiamente il cambiamento di verso del vettore della magnetizzazione residua naturale delle rocce, causato dalle inversioni di polarità del campo magnetico terrestre, avvenute frequentemente nel corso della storia geologica della Terra. Se si può stabilire con sufficiente approssimazione che la NRM di un corpo roccioso è stata acquisita al momento della sua formazione, e non costituisce una rimagnetizzazione successiva, allora i cambiamenti di verso del vettore della NRM registrati in una successione rocciosa possono essere utilizzati per suddividerla in unità caratterizzate dalla loro polarità magnetica: tali unità vengono denominate unità di polarità magnetostratigrafica.

Le unità di polarità magnetostratigrafica possono essere normali o inverse.

Secondo studi degli ultimi duecento anni, le rocce preservano la direzione che ha il campo magnetico durante il loro raffreddamento, si osservò però che la temperatura

oltre un punto critico detto punto di Curie smagnetizza ogni tipo di materiale, questo, però non avviene in una lava, essa appena solidificata ed in via di raffreddamento, attraversando il punto di Curie, acquisisce una robusta direzionalità nella magnetizzazione. I minerali che registrano il campo magnetico sono la magnetite (Fe_3O_4) e l'ematite (Fe_2O_4). La magnetizzazione di questo tipo detta "termorimamente" risulta essere piuttosto tenace rispetto alle sollecitazioni meccaniche e termiche. Oltre alle rocce magmatiche anche i depositi sedimentari preservano una certa direzionalità nelle particelle ferrose in essi contenute, il fenomeno che si osserva in questo caso si chiama magnetizzazione detritica residua, e interessa particelle di dimensioni inferiori a 10 micrometri. Un ultimo tipo di magnetizzazione è quella chimica, essa è il risultato di particelle magnetizzate durante la formazione, poi trasportate in soluzione, e quindi ridepositate in un nuovo sedimento.

Un ulteriore modo per potere distinguere le facies a grande scala è quello di suddividerli in base alle loro differenze di paleomagnetismo misurate all'interno dei sedimenti. Questo principio è quello che regola la definizione delle UNITA' MAGNETO-STRATIGRAFICHE. Durante la sua evoluzione geologica, il globo terrestre ha progressivamente invertito l'orientazione del suo proprio campo magnetico. Queste inversioni possono essere state registrate dai sedimenti particellari fini.

Se la sedimentazione avviene in condizioni di quiescenza, ogni singola particella ('ferrosensibile') può orientarsi verso il nord comportandosi come l'ago di una bussola.

2) Analisi di facies e ricostruzione degli ambienti di deposizione

- Facies: definizione di facies in sedimentologia; analisi delle diverse componenti fisiche e biologiche che entrano nella definizione di "facies": a) composizione mineralogico-petrografica; b) stratificazione c) strutture sedimentarie deposizionali e post-deposizionali; d) contenuto fossilifero (inclusi gli aspetti tafonomici); e) modelli di bioturbazione; f) eventuali trends evolutivi dal basso verso l'alto).

Legge di Walter

I sedimenti della stessa facies si depositano gli uni accanto agli altri. I sedimenti di facies attigue si depositano gli uni accanto agli altri (eteropia). A causa di trasgressioni e regressioni, i depositi di facies migrano lateralmente e si sovrappongono a depositi di facies attigue

- Analisi di facies in sottosuolo: cenni sui log geofisici di pozzo (raggi gamma, resistività, potenziale spontaneo, dipmeter), con riferimento alle sequenze di facies esaminate al punto D.

3) Stratigrafia dinamica

- Trasgressioni e regressioni: definizione, esempi, lettura dei trends trasgressivi e regressivi nelle successioni stratigrafiche reali; modelli di impilamento delle sequenze di facies.

- L'apporto della stratigrafia sismica all'interpretazione delle geometrie deposizionali

- Eustatismo e subsidenza; definizione di eustatismo; sue cause (glaciazioni; velocità di espansione delle dorsali, lunghezza complessiva del sistema di dorsali). Definizione di subsidenza; tipi di subsidenza (tettonica, termica, da carico).

Eustatismo. Termine coniato da SUESS nel 1906; indica fluttuazioni globali del livello marino, misurate tra la superficie del mare ed un punto fisso, generalmente localizzato al centro della Terra.

I fattori principali che causano le variazioni eustatiche del livello del mare sono rappresentati da un lato da variazioni della capacità volumetrica dei bacini oceanici (ad esempio cambiamenti di volume delle dorsali oceaniche o mutamenti legati alla riorganizzazione delle placche litosferiche) e dall'altro da variazioni di volume dell'acqua oceanica

- Cenni di stratigrafia sequenziale: sequenze deposizionali di vario ordine. I trend maggiori nella variazione del livello marino ed il Ciclo di Wilson.

La Stratigrafia Sequenziale si basa sul seguente concetto: Nelle aree marine, la sedimentazione dei grossi sistemi deposizionali avviene secondo una natura ciclica, poiché essa è legata alle oscillazioni cicliche del livello del mare relativo.

Per RELATIVO LIVELLO DEL MARE si intende la combinazione dei movimenti prodotti dallo spostamento verticale del continente (subsidenza e sollevamento) con le oscillazioni del livello del mare (eustatismo). Questa azione combinata produce una curva che viene chiamata CURVA DI OSCILLAZIONE RELATIVA DEL LIVELLO DEL MARE L'unità fondamentale della Stratigrafia Sequenziale è la SEQUENZA DEPOSIZIONALE Una SEQUENZA DEPOSIZIONALE è data da una successione di sedimenti, geneticamente legati tra di essi, che sono compresi alla base ed al tetto da superfici di discordanza e che rappresentano un ciclo completo di oscillazione del relativo livello del mare. Una SEQUENZA DEPOSIZIONALE può essere suddivisa in systems tract. Ogni systems tract (composto a sua volta da sistemi deposizionali) si forma durante un preciso momento della curva di oscillazione relativa del livello del mare.

Variazioni relative del livello del mare. Variazioni misurate tra la superficie del mare ed una superficie di riferimento locale e mobile, come ad esempio il basamento o una superficie all'interno della successione sedimentaria. Non deve essere confuso con la profondità dell'acqua marina, quest'ultima misurata tra la superficie del mare ed il fondale in una certa località geografica in un preciso momento. Le variazioni relative del livello del mare causano variazioni delle superfici deposizionali come sinteticamente riassunto nella. Vari fattori possono causare variazioni relative del livello del mare: subsidenza o sollevamento della superficie di riferimento, compattazione dei sedimenti, fluttuazioni eustatiche.

Livello di base.

Rappresenta un fattore di controllo fondamentale nell'accumulo dei sedimenti. Da un punto di vista del significato stratigrafico, il concetto è stato formulato da BARREL (1917), il quale definisce il livello di base come quella superficie lungo la quale le forze esterne tendono ad indebolirsi, la superficie lungo la quale non c'è erosione né deposizione", e da SLOSS (1962), il quale descrive il livello di base come "una superficie di equilibrio al di sopra della quale una particella sedimentaria non può trovare equilibrio ed al di sotto della quale deposizione e seppellimento sono possibili". Oggi il termine "livello di base" viene usato (implicitamente o esplicitamente) per indicare una superficie ondulata di equilibrio che interseca in vario modo la superficie terrestre e che fluttua in risposta a vari fattori di controllo tra cui subsidenza tettonica, eustatismo, apporto sedimentario, ecc. Le variazioni del livello di base esercitano un controllo sull'architettura stratigrafica alla scala delle sequenze deposizionali.

Accomodamento (accommodation). Spazio reso disponibile per il potenziale accumulo dei sedimenti (JERVEY, 1988). È controllato da eustatismo e tettonica, dagli apporti sedimentari e dalla profondità del mare secondo le seguenti relazioni (EMERY & MYERS, 1996):

Δ accomodamento = Δ eustatismo + Δ subsidenza + Δ compattazione
 profondità del mare = eustatismo + subsidenza + compattazione - apporti sedimentari

Geometria progradazionale (downstepping stacking pattern). Si ha quando il tasso di apporto sedimentario è maggiore del tasso di creazione di accomodamento nel topset (si veda oltre per la definizione) e le facies migrano verso il bacino.

Geometria retrogradazionale (backstepping stacking pattern). Si ha quando gli apporti sedimentari sono minori del tasso di creazione di spazio e le facies migrano verso terra lungo il profilo della piattaforma.

Geometria aggradazionale. Si ha quando i due tassi si equilibrano e le facies si sovrappongono verticalmente, senza migrazione dell'offlap break (si veda oltre per la definizione).

Topset. Parte prossimale nel profilo del margine di un bacino, caratterizzata da bassi gradienti topografici ($< 0.1^\circ$). Generalmente comprende sistemi deposizionali fluviali, deltaici e marini di acque basse.

Clinoforme o Foreset. Zona a maggior pendenza ($>0.1^\circ$) nel profilo del margine del bacino, che si sviluppa in posizione distale rispetto al topset. Esso comprende sistemi deposizionali di acque via via più profonde .

Bottomset. Zona alla base del foreset caratterizzata da bassi gradienti topografici e comprendente sistemi deposizionali di acque profonde .

Offlap break. Punto di cambiamento di pendenza (rottura di pendio) principale nel profilo deposizionale, coincidente con il raccordo tra topset e foreset. La posizione dell'offlap break ha grande importanza durante gli abbassamenti relativi del livello del mare.

Toplap. Terminazione di riflettori sismici al limite superiore di una sequenza (MITCHUM et alii, 1977).

Baselap. Terminazione dei riflettori sismici al limite inferiore di una sequenza (MITCHUM et alii, 1977). Si distinguono due tipi di terminazioni di letto a diversa geometria, onlap e downlap.

Onlap. Contatto verso terra di strati originariamente orizzontali su una superficie originariamente inclinata, o di strati originariamente inclinati su una superficie originariamente più inclinata (MITCHUM et alii, 1977).

Downlap. Contatto distale di strati originariamente inclinati su una superficie originariamente orizzontale o inclinata (MITCHUM et alii, 1977).

- S e q u e n z e

Sequenza. È l'unità fondamentale (informale) della stratigrafia sequenziale. Nell'accezione originale della stratigrafia sequenziale indica un'unità stratigrafica costituita da una successione relativamente continua di strati geneticamente legati, delimitata alla base ed alla sommità da superfici di discontinuità o dalle superfici di continuità ad esse correlabili (MITCHUM et alii, 1977) . È spesso impropriamente usato come termine per "successione".

Limite di sequenza (sequence boundary). Superficie di discontinuità che si forma durante la fase di abbassamento relativo del livello marino (MITCHUM & VAN WAGONER, 1991).

Nella definizione iniziale (MITCHUM et alii, 1977), il termine discontinuità aveva un significato generale, comprendendo hiatus marini e intervalli condensati.

Successivamente il significato del termine è stato limitato a superfici separanti strati più giovani da strati più antichi, in corrispondenza dei quali si verifica un'erosione subaerea ed, eventualmente, sottomarina ed esposizione subaerea, e vi è uno hiatus significativo (VAN WAGONER et alii, 1988).

In base all'entità dell'abbassamento del livello marino e dell'erosione ad essa associata, i limiti di sequenza vengono distinti in limiti di tipo 1 e limiti di tipo 2: limite di sequenza di tipo 1. È caratterizzato da esposizione subaerea di tutta l'area del topset e concomitante erosione associata a ringiovanimento dei corsi d'acqua, spostamento delle facies verso bacino, spostamento verso il basso (downward shift) dell'onlap costiero (descritto da BOSELLINI et alii, 1989, come riattacco degli onlap costieri più al largo) e onlap degli strati sovrastanti. Lo spostamento delle facies verso il bacino provoca la sovrapposizione di depositi continentali o parali su sedimenti di mare basso, senza che vi siano interposte facies intermedie. Secondo VAN WAGONER et alii, (1988) un limite di sequenza di tipo 1 si origina quando il tasso di abbassamento eustatico supera il tasso di subsidenza del bacino in corrispondenza dell'offlap break, causando un abbassamento relativo del livello del mare in quel punto.

limite di sequenza di tipo 2. Si origina quando il livello relativo del mare si abbassa lungo il topset, senza però raggiungere l'offlap break. Esso viene riconosciuto in base allo spostamento verso il basso dell'onlap costiero fino ad un punto posizionato verso terra rispetto all'offlap break. In corrispondenza di tale limite non si verificano quindi significativi fenomeni erosivi, spostamento delle facies verso il bacino e formazione di conoidi sottomarine (torbiditi bacinali). Secondo EMERY & MYERS (1996) tale limite è difficile da riconoscere sia in affioramento che sulle sezioni sismiche, dove la risoluzione (qualche decina di metri) non permette di distinguere il piccolo cambiamento di giacitura di un topset in onlap sul precedente topset.

Alcuni Autori come POSAMENTIER & ALLEN (1999) suggeriscono l'abbandono di questa distinzione ritenuta artificiale, al fine di semplificare la terminologia e di evitare cattive interpretazioni di questi concetti.

Geologia Stratigrafica

Etimologicamente stratigrafia significa descrizione degli strati, derivando dall'unione tra il termine latino "stratum" ed il greco "graphia". È una delle più vaste discipline delle Scienze della Terra poiché studia la disposizione nello spazio e nel tempo dei corpi rocciosi e gli eventi che essi rappresentano al fine di ricostruire la storia della Terra e la sua evoluzione. La stratigrafia comprende quindi lo studio di tutti i tipi di rocce sedimentarie, magmatiche e metamorfiche, sia stratificate che non stratificate.

LA CLASSIFICAZIONE STRATIGRAFICA

La classificazione stratigrafica organizza i corpi rocciosi in unità basate sulle loro proprietà, quali la composizione litologica, il contenuto in fossili, la polarità magnetica, le proprietà elettriche, la risposta sismica, le caratteristiche geochemiche. Le rocce possono essere classificate anche in base al tempo e all'ambiente di formazione. Ogni corpo roccioso mostra molteplici attributi che possono essere usati singolarmente per la sua classificazione. Poiché la posizione stratigrafica del cambiamento di un attributo non necessariamente coincide con quella di un altro, i limiti delle diverse unità generalmente non coincidono

Le unità formalizzabili

- unità litostratigrafiche: unità basate sulle proprietà litologiche dei corpi rocciosi;
- unità biostratigrafiche: unità basate sul contenuto fossilifero dei corpi rocciosi; -
- unità cronostratigrafiche/geocronologiche:
- unità di polarità magnetostratigrafica: unità basate sulla polarità della magnetizzazione residua dei corpi rocciosi;
- unità a limiti inconformi (Unconformity-bounded Stratigraphic Units, UBSU): unità delimitate inferiormente e superiormente da discontinuità stratigrafiche significative;

UNITÀ CRONOSTRATIGRAFICHE ED UNITÀ GEOCRONOLOGICHE

Un'unità cronostratigrafica è un corpo roccioso che si è formato in un certo intervallo di tempo.

Tale intervallo di tempo costituisce un'unità geocronologica, che non essendo rappresentata da un corpo tangibile, ma da unità di tempo geologico, non può essere considerata una categoria stratigrafica. Se le unità cronostratigrafiche rappresentano quindi uno strumento tangibile (corpi rocciosi) per "misurare" la storia della Terra (ovvero suddividerla in Periodi, Epoche, Età, ecc.) e sono assimilabili ad unità di misura standard (come il "metro campione" di Parigi), le unità geocronologiche esprimono il tempo "in se stesso" di queste unità cronostratigrafiche.

Generalmente i rapporti tra unità cronostratigrafiche e geocronologiche vengono visualizzati tramite l'esempio della clessidra: le prime sono rappresentate dalla sabbia che scorre in un determinato intervallo di tempo, mentre le seconde misurano l'intervallo di tempo durante il quale la sabbia scorre. Si può dire che la durata del flusso di sabbia misura un certo intervallo di tempo (un'ora per esempio), ma non si può affermare che la sabbia stessa sia un'ora di tempo. La scala cronostratigrafica, essendo materializzata da rocce che generalmente presentano lacune, può essere considerata realmente discontinua. La continuità attiene solo ad unità astratte come quelle geocronologiche. Tuttavia, secondo alcuni, l'identificazione delle unità cronostratigrafiche tramite i loro limiti inferiori e superiori rende immateriale la differenza tra unità cronostratigrafiche ed unità geocronologiche.

UNITÀ TETTONOSTRATIGRAFICHE

•Il trattamento dal punto di vista stratigrafico delle rocce ignee e metamorfiche rappresenta per gli stratigrafi ed i geologi dei basamenti cristallini un argomento ancora in discussione, del quale diamo qui un breve accenno.

•Il problema principale è se la litostratigrafia possa essere estesa a ricoprire anche questi tipi di rocce, in particolare nei casi in cui non siano stratificate, oppure se esse debbano rientrare in una nuova categoria stratigrafica. Nonostante la presa di posizione del NASC (1983), che prevede le unità litodemiche per classificare e cartografare le rocce ignee e metamorfiche sulla base della sola litologia, l'ISG (SALVADOR, 1994) ha respinto formalmente questo tipo di soluzione.

L'impossibilità di riconoscere la posizione stratigrafica di queste rocce è infatti stato considerato un motivo valido per escludere l'introduzione di una nuova categoria di unità stratigrafiche. Le rocce ignee e metamorfiche sono state quindi trattate nell'ISG, 1994, alla stregua delle unità litostratigrafiche, classificabili come gruppo, formazione, membro, oppure, nel caso di rapporti geometrici complessi e mescolanza di più tipi litologici, come complesso. Lo stesso approccio è stato suggerito in Italia anche dalla Guida al Rilevamento (PASQUAREÈ et alii, 1992).

•Queste indicazioni si sono scontrate spesso nei casi reali con l'impossibilità di formalizzare questi corpi rocciosi, definendo uno stratotipo, la potenza ed altre caratteristiche richieste dall'ISG, 1994.

•Nel caso di rocce metamorfiche intensamente deformate, inoltre, i processi tettonometamorfici possono portare all'uniformità litologica di protoliti originariamente diversi ed appartenenti a successioni sedimentarie distinte e/o di età differente; viceversa, successioni di rocce originariamente simili dal punto di vista litologico, possono subire processi tettonometamorfici diversi che portano a successioni metasedimentarie differenti. Lo strumento litostratigrafico in questo caso non è sufficiente a riconoscere e valorizzare i processi post-deposizionali.

LITOSTRATIGRAFIA

•La litostratigrafia si occupa di suddividere e gerarchizzare le successioni rocciose in unità formali distinte sulla base della loro litologia; l'unità litostratigrafica risulta quindi un corpo roccioso separabile da quelli adiacenti in base alle caratteristiche litologiche ed alla posizione stratigrafica.

•Ne consegue che concorrono alla definizione di un'unità litostratigrafica solo caratteri fisici, facilmente riconoscibili sul terreno. È richiesta una complessiva omogeneità litologica o la presenza di caratteri litologici peculiari.

•Anche il contenuto fossilifero, se particolarmente rappresentativo, può essere utile nella distinzione di unità litostratigrafiche (ad esempio nel caso di coquine, radiolariti, livelli di carbone, ecc.);

•il Rosso Ammonitico, gli scisti ad aptici sono esempi di come i fossili possano essere uno dei caratteri più facilmente riconoscibili in una formazione).

1. Strato

•É un livello o letto delimitato da due discontinuità/superfici fisiche all'interno di una successione stratificata distinguibile da quelli adiacenti sulla base delle sue caratteristiche litologiche. Ha uno spessore da pochi centimetri a pochi metri. Più letti contigui/sovrapposti, che presentino omogeneità litologica possono costituire un'unità litostratigrafica formale. Possono rivelarsi estremamente utili per correlazioni.

•L'equivalente dello strato nell'ambito delle rocce vulcaniche è la "colata".

•i, formazione/i sovrastante/i, formazione/i eteropica/che, formazione incassante), contenuto fossilifero, attribuzione cronologica, ambiente deposizionale, dominio paleogeografico ed unità strutturale di appartenenza della formazione.

2. Membro

•É una parte di una formazione distinguibile dal resto della formazione stessa in base alle sue caratteristiche litologiche. Non è vincolato a limiti di estensione o spessore; deve essere istituito formalmente solo in caso di reale utilità. Deve avere uno stratotipo chiaramente designato. L'istituzione di un membro non indica automaticamente che il resto della formazione sia un altro membro, cioè non è necessario che una formazione sia totalmente suddivisa in membri.

3. Formazione

•É l'unità litostratigrafica fondamentale. Indica un corpo roccioso distinguibile da quelli adiacenti sulla base delle caratteristiche litologiche. Una formazione risulta definita unicamente dalla sua litologia (composizione, tessitura, strutture, colore) e dalla sua posizione stratigrafica;

•può essere costituita da un qualsiasi tipo di roccia (sedimentaria, ignea, metamorfica o, in alcuni casi, associazioni di due o più tipi di roccia) e può includere anche discontinuità deposizionali, a meno che non coincidano con significativi cambiamenti litologici.

4. Gruppo

•É un'unità litostratigrafica che raggruppa due o più formazioni con caratteri litologici comuni. I gruppi sono di una certa utilità nella cartografia a piccola scala e negli studi regionali. Rispetto alle formazioni, mostrano più flessibilità; ad esempio possono essere costituiti da formazioni diverse in aree diverse, oppure una formazione può essere condivisa da gruppi adiacenti lateralmente.

- Il gruppo ha uno stratotipo composito, dato dagli stratotipi delle unità che lo compongono.

5. Supergruppo e Sottogruppo

- Il supergruppo riunisce gruppi o insiemi di gruppi e formazioni sulla base della condivisione di alcune proprietà litologiche. Deve essere istituito solo in caso di reale utilità. Un sottogruppo è una divisione interna ad un gruppo.

6. Complesso

- É un'unità litostratigrafica che comprende diversi tipi di rocce (sedimentarie, ignee, metamorfiche) e risulta caratterizzata da mescolanza litologica irregolare o complicazioni nei rapporti strutturali tra i diversi componenti, tali da oscurare la sequenza originaria delle rocce e componenti e da non permettere la cartografabilità delle singoli componenti rocciose o della sequenza rocciosa. Il termine può essere usato come parte di un nome formale al posto di un termine litologico o gerarchico.

7. Orizzonte litostratigrafico o litoorizzonte o livello guida

- É una superficie distinta per le sue peculiari caratteristiche litologiche (ad esempio un limite di un'unità litostratigrafica o una superficie all'interno dell'unità stessa), oppure un livello marker di limitato spessore con litologia distintiva a scala apprezzabile (ad esempio, il Livello Bonarelli ed il Livello Selli del Cretacico dell'Appennino).

8. Unità litostratigrafiche informali

- Se un'unità litostratigrafica merita un nome, necessita una definizione ed una descrizione formale. In tal modo si impone una disciplina con lo scopo di limitare il rischio di creare unità mal definite, che portano ad incomprensioni. Le possibilità di equivoco tra unità formali ed informali sono infatti molte; ad esempio, nel caso vengano pubblicate delle unità con la lettera iniziale del termine litologico o gerarchico minuscola (utilizzo informale), può accadere che prima o poi siano ripubblicate con la lettera iniziale maiuscola (utilizzo formale), creando in tal modo confusione. Inoltre, nella lingua parlata e nelle presentazioni orali non è possibile distinguere tra termini che abbiano la lettera iniziale maiuscola o minuscola. Infine, l'uso di nomi geografici per unità informali, preclude successivamente l'utilizzo degli stessi per unità formali.

- Pertanto, se possibile, è preferibile evitare il riconoscimento e l'utilizzo di unità litostratigrafiche informali che possano col tempo correre il rischio di essere trattate come unità formali.

•I termini “litozona” e “zona” sono stati utilizzati informalmente per quelle unità litostratigrafiche distinte sulla base delle proprietà litologiche, alle quali si fa riferimento occasionalmente, ma per le quali non sussistono le caratteristiche per giustificare una designazione formale. Corpi litostratigrafici distinti più per la loro utilità che per la loro litologia (come acquiferi, sabbie petrolifere, livelli carboniosi, giacimenti minerali) sono da considerarsi informali anche se distinti da un nome. Tali unità, tuttavia, possono essere riconosciute formalmente come strati, membri o formazioni se risultano importanti per l'interpretazione della stratigrafia regionale.

BIOSTRATIGRAFIA

•La diffusa presenza di resti fossili nelle rocce sedimentarie fornisce uno strumento per la loro classificazione e correlazione secondo alcuni criteri, tra cui quello temporale. La disciplina che si occupa di questo aspetto viene definita biostratigrafia.

CLASSIFICAZIONE BIOSTRATIGRAFICA

•La classificazione biostratigrafica è finalizzata a suddividere ed organizzare una sezione stratigrafica in unità biostratigrafiche, definite sulla base del loro contenuto fossilifero. Le possibilità di classificazione sono diverse. Comune denominatore deve essere l'utilità e la riconoscibilità.

•Le unità biostratigrafiche devono essere ritenute presenti solo quando siano effettivamente esistenti gli elementi paleontologici che le identificano. La pura somiglianza di litologia, l'equivalenza di età o di ambiente deposizionale non giustificano l'inclusione di una successione di strati in una data unità biostratigrafica. Le unità biostratigrafiche sono delle unità descrittive. L'estensione temporale e geografica di un'unità biostratigrafica è dipendente dai fossili che la determinano o caratterizzano; pertanto sono possibili nel tempo variazioni dello spessore e dell'estensione laterale delle unità biostratigrafiche, soprattutto in funzione dell'evoluzione delle conoscenze tassonomiche e delle distribuzioni dei fossili.

ZONE BIOSTRATIGRAFICHE

•Uno stesso intervallo roccioso può essere suddiviso in zone biostratigrafiche differenti a seconda tipo di biozona utilizzato. I diversi tipi di biozone non hanno significato gerarchico e l'applicazione di un tipo non compromette l'utilizzo degli altri nello stesso contesto stratigrafico. Sono distinti cinque tipi di biozone: biozona di distribuzione, biozona di intervallo, biozona filetica, biozona di associazione, biozona di abbondanza. La biozona oppeliana

1. Biozona di distribuzione

- Successione di strati che rappresenta la distribuzione conosciuta per uno o più elementi scelti nell'ambito dell'associazione fossile presente in un certo intervallo stratigrafico. Il termine "distribuzione" va inteso sia in senso stratigrafico che geografico e può essere riferito ad un'unica categoria tassonomica (specie, genere, famiglia, ecc.), ad un gruppo di taxa o ad una qualunque caratteristica paleontologica. I limiti di una biozona di distribuzione devono sempre essere definiti esplicitamente.

1a. Biozona di distribuzione totale

- Successione di strati che rappresenta la distribuzione conosciuta (stratigrafica e geografica) di un taxon (specie, genere, famiglia, ecc.). È costituita dalla somma delle distribuzioni documentate in tutte le sezioni nelle quali il taxon è stato riconosciuto. I limiti, sia in senso verticale che orizzontale, sono definiti dalla comparsa e scomparsa del taxon, rendendo quindi distinguibile la biozona dagli strati adiacenti. Sono quindi delle superfici (bioorizzonti) che segnano i limiti esterni di presenza di un taxon in ogni singola sezione dove il taxon sia stato rinvenuto. Il nome della biozona è definito dal nome del taxon di cui la biozona rappresenta la distribuzione.

1b. Biozona di distribuzione concomitante

- Successione di strati che comprende la parte concomitante, coincidente o sovrapponibile delle distribuzioni conosciute di due taxa scelti tra quelli che costituiscono la documentazione paleontologica presente in un certo intervallo stratigrafico. I suoi limiti sono definiti dall'inizio e termine della presenza concomitante dei due fossili-indici. Le biozone di distribuzione concomitante prendono il nome dai due taxa che caratterizzano la biozona per via della sovrapposizione delle loro distribuzioni.

2. Biozona di intervallo

- Successione di strati fossiliferi compreso tra due bioorizzonti. Ne consegue che un intervallo sterile tra due bioorizzonti non costituisce una biozona d'intervallo e che una biozona d'intervallo non è definita dal suo contenuto specifico, ma solo dai suoi limiti. Tipiche biozone d'intervallo sono i pacchi di strati compresi tra un evento di comparsa ed uno di estinzione. Biozone di intervallo possono essere definite anche in corrispondenza della distribuzione parziale di un taxon o della distribuzione concomitante di due taxa, qualora la distribuzione dei fossili-indici non sia continua.

3. Biozona filetica

- Successione di strati contenenti esemplari che rappresentano un segmento specifico di una linea evolutiva. Può essere rappresentata dall'intera distribuzione di un fossile, oppure dalla sua distribuzione al di sotto della comparsa di un ramo laterale nella linea filetica (discendente). I limiti della biozona sono pertanto definiti da eventi

filetici, entro la linea in oggetto . Se da un punto di vista teorico questa biozona assicura la definizione della reale distribuzione verticale totale, non inficiata da carenze di documentazione paleontologica, l'applicabilità di tale tipo di biozona è assai scarsa ed ha uso limitato, anche perché risente dell'interpretazione, che può essere soggettiva, dei possibili rapporti filetici. L'applicabilità di tale biozona risulta limitata anche arealmente, in quanto condizioni ambientali diverse possono concorrere a influenzare lo sviluppo morfologico dei rappresentanti di una data linea filetica, rendendo più interpretativo il riconoscimento dei taxa-indice.

4. Biozona di associazione

- Successione di strati caratterizzata da un'associazione tipica di tre o più fossili, i quali, considerati congiuntamente, permettono di distinguerla dagli strati adiacenti. I limiti sono definiti in corrispondenza di bioorizzonti, che rappresentano i limiti di presenza dell'associazione caratteristica dell'unità. È quindi necessario definire esplicitamente l'associazione sulla base della quale è definita la biozona, ma non tutti i membri caratterizzanti devono essere presenti per assegnare una successione di strati alla biozona; la distribuzione totale dei suoi componenti non interviene rigorosamente nella definizione di una biozona.

5. Biozona di abbondanza

- Corpo roccioso nel quale l'abbondanza di un determinato taxon o di un gruppo di taxa è significativamente maggiore rispetto agli strati adiacenti. I limiti sono definiti da bioorizzonti in corrispondenza dei quali avvengono cambiamenti nell'abbondanza del taxon o dei taxa che definiscono la biozona. Ugualmente significativo è il concetto opposto, connesso con intervalli particolarmente impoveriti, definibile come paracme. La biozona di abbondanza prende il nome dal taxon o dai taxa dei quali rappresenta il bioevento di maggiore abbondanza.

LAMAGNETOSTRATIGRAFIA

- Il paleomagnetismo si occupa dello studio dell'intensità, direzione e verso del vettore "magnetizzazione residua" (NRM Natural Remanent Magnetization), registrato nelle rocce all'atto della loro formazione, e delle tipologie, caratteristiche e quantità dei minerali magnetici responsabili della NRM delle rocce.
- La magnetostratigrafia ha avuto un grandissimo sviluppo negli ultimi 30 anni, anche se i primi studi sulle proprietà magnetiche delle rocce risalgono agli albori del novecento.

ILMAGNETISMO DELLE ROCCE

•I principali meccanismi di acquisizione della magnetizzazione residua naturale nelle rocce sono tre:

- Magnetizzazione residua termica (TRM)

•É la magnetizzazione acquisita da una roccia durante il raffreddamento al di sotto della temperatura di Curie dei minerali ferromagnetici in essa contenuti. In corrispondenza di tale temperatura, i minerali naturalmente magnetici (come la magnetite) acquisiscono una magnetizzazione che viene progressivamente fissata nella roccia secondo la direzione del campo esterno inducente mentre essa si raffredda fino a temperatura ambiente. La temperatura di Curie per la magnetite pura, particolarmente abbondante in alcuni tipi di rocce magmatiche (ad es. i basalti), è di 575°C.

- Magnetizzazione residua detritica (DRM).

•É la magnetizzazione acquisita durante la deposizione in ambiente sedimentario di minerali magnetici di origine detritica o biogena. Si distinguono due tipi di DRM: la DRM deposizionale, dovuta all'allineamento dei minerali magnetici da parte del campo magnetico terrestre inducente durante la loro decantazione nella colonna d'acqua; la DRM post-deposizionale, legata alla rotazione dei minerali magnetici secondo il campo magnetico inducente quando essi si trovano nei pori interstiziali di un sedimento saturo in acqua.

- Magnetizzazione residua chimica (CRM)

•É la magnetizzazione dovuta a trasformazioni mineralogiche in seguito a processi metamorfici o a fenomeni di ossidazione a temperatura ambiente. In questi casi, infatti, il minerale ferromagnetico di nuova formazione si orienta parallelamente alla direzione del campo magnetico presente durante la trasformazione mineralogica. Le reazioni che avvengono più comunemente sono reazioni di disidratazione (trasformazione di goethite in ematite), reazioni di ossidazione (trasformazione di titanomagnetite in titanomagnetite) e reazioni di riduzione (trasformazione di ematite in magnetite).

UNITÀ CRONOSTRATIGRAFICHE

•Le unità cronostratigrafiche sono corpi rocciosi che si sono formati durante un determinato intervallo di tempo. Il corrispondente periodo di tempo in cui l'unità si è formata è definito come unità geocronologica

1. Piano

- L'unità cronostatigrafica fondamentale è il piano; è definito dagli stratotipi dei limiti. La durata temporale di un piano può essere varia, ma generalmente è compresa tra 2 e 10 Ma; lo spessore non è rappresentativo e può variare da luogo a luogo. L'unità geocronologica corrispondente è l'età. Il nome del piano di norma deriva da un toponimo geografico relativo alla località dove si trovano lo stratotipo o l'area tipo (Oxfordiano, da Oxford; Langhiano, dall'area delle Langhe in Piemonte), oppure dall'unità litostratigrafica che lo rappresenta.

2. Sottopiano

- É una suddivisione del piano. Non tutti i piani sono suddivisi in sottopiani denominati formalmente. Il sottopiano è definito dagli stratotipi dei limiti. Le regole nomenclaturali sono quelle valide per il piano.

3. Serie

- É un'unità cronostatigrafica gerarchica di rango superiore al piano, che risulta sempre dalla suddivisione di un sistema, normalmente, ma non necessariamente, suddivisa in piani (in genere in numero da 2 a 6). L'unità geocronologica equivalente è l'epoca
- La serie è definita dagli stratotipi dei limiti inferiore e superiore, che coincidono rispettivamente con lo stratotipo inferiore del piano più antico della serie e lo stratotipo inferiore del primo piano al di sopra della serie. Se la serie non è suddivisa in piani, ha stratotipi propri.

4. Sistema

- É un'unità cronostatigrafica di rango compreso tra la serie e l'eratema.
- É definito dagli stratotipi dei limiti, che coincidono con quelli delle unità di rango inferiore, se il sistema è suddiviso in serie. L'intervallo temporale rappresentato da un sistema solitamente varia da 22 a 80 Ma. L'equivalente unità geocronologica è il periodo. La denominazione dei sistemi è estremamente varia ed ormai di uso consolidato (Neogene, Permiano, Ordoviciano, Triassico, Cretacico, Quaternario, ecc.), pertanto non vengono definite regole nomenclaturali. Il periodo prende lo stesso nome del sistema corrispondente.

5. Eratema

- É un'unità cronostatigrafica di rango superiore al sistema. É denominata sulla base dei maggiori cambiamenti evolutivi della vita sulla Terra: Paleozoico (vita antica),

Mesozoico (vita intermedia), Cenozoico (vita recente). L'unità geocronologica corrispondente è l'era, che prende lo stesso nome dell'eratema cui corrisponde

6. Eonotema

- È l'unità cronostatigrafica di rango più alto. Sono distinti tre eonotemi, denominati, dal più antico al più recente, Archeano, Proterozoico e Fanerozoico (che comprende gli eratemi Paleozoico, Mesozoico, Cenozoico). L'unità geocronologica corrispondente è l'eon, che prende lo stesso nome dell'eonotema cui corrisponde.

Cronozona

- È un'unità cronostatigrafica formale, ma non riveste un rango preciso nell'ordine gerarchico. Rappresenta un corpo roccioso che si è formato ovunque nel mondo durante l'intervallo temporale corrispondente ad un'unità stratigrafica o ad un evento geologico. Ad esempio, la cronozona può essere definita su basi biostratigrafiche; in tal caso rappresenta l'estensione temporale massima di una biozona, ma non è vincolata alla presenza del o dei fossili che definiscono la biozona stessa. Se la cronozona è riferita ad un'unità per la quale è stato definito uno stratotipo, la sua estensione temporale può essere fissa e corrispondere a quella dello stratotipo, oppure può essere variabile e corrispondere all'estensione massima dell'unità

UNITÀ A LIMITI INCONFORMI

• In passato, i geologi hanno spesso posizionato i limiti delle unità in corrispondenza di superfici di discontinuità nella sequenza stratigrafica, poiché esse sono spesso indicate da elementi estremamente rilevanti, significativi e di facile riconoscimento (discordanze angolari, cambiamenti litologici e/o lacune faunistiche). Molti dei sistemi dell'attuale Scala Cronostatigrafica Standard corrispondevano originariamente in parte (il contenuto lito-faunistico era parte essenziale) a unità a limiti inconformi, poiché delimitati alla base ed alla sommità da discontinuità (ad esempio il Devoniano in Inghilterra).

• Il riconoscimento delle unità a limiti inconformi ha una lunga storia, iniziata quando Sloss et alii (1949, pp. 109-111) hanno introdotto il termine di sequenza per indicare unità comprendenti insieme di strati separati da discontinuità marcate, tracciabili e correlabili su lunghe distanze in base a cambiamenti litologici e faunistici e alla continuità di distribuzione e di facies degli strati trasgressivi posti al di sopra della discontinuità. Gli stessi autori hanno inoltre messo in evidenza che la sequenza non ha uno specifico significato temporale, poiché i suoi limiti non coincidono con linee tempo.

• Successivamente KRUMBEIN & SLOSS (1951), SLOSS (1963) e KRUMBEIN & SLOSS (1963) modificarono la definizione di sequenza, descrivendola come un'unità litostratigrafica di rango superiore al gruppo anche al supergruppo, tracciabile attraverso estese regioni e delimitata da discontinuità a scala interregionale.

Unità a limiti inconformi

- Corpo roccioso
- delimitato alla base e alla sommità da superfici di discontinuità specificatamente designate, significative e dimostrabili, aventi preferibilmente estensione regionale o interregionale. I criteri diagnostici utilizzati per stabilire e riconoscere queste unità stratigrafiche sono le due discontinuità che le delimitano.

Discontinuità

- Una discontinuità è una superficie tra due corpi rocciosi che rappresenta un'interruzione (lacuna) significativa nella successione stratigrafica.

a. Discordanza angolare.

- Una discontinuità in corrispondenza della quale i piani di stratificazione delle unità sottostanti e soprastanti formano un angolo gli uni rispetto agli altri, indicando deformazione tettonica prima dell'erosione oppure un onlap molto marcato.

b. Disconformità.

- Una discontinuità in corrispondenza della quale i piani di stratificazione delle unità sottostanti e sovrastanti sono essenzialmente paralleli. Generalmente questo parallelismo apparente è limitato ad aree ristrette, mentre a scala regionale è generalmente presente un certo grado di discordanza (troncatura erosiva dell'unità sottostante o onlap in quella sovrastante).

c. Diastema.

- Una breve interruzione nella sedimentazione con poca o senza erosione prima della ripresa della sedimentazione. Questi brevi arresti nella sedimentazione hanno generalmente un'estensione laterale limitata e non rappresentano elementi appropriati sui quali basare unità a limiti inconformi.

d. Paraconformità.

- Discontinuità tra successioni geometricamente concordanti.