

La chimica nei percorsi del LES

Silvana Saiello

Università degli Studi di Napoli Federico II, Comitato Scientifico del LES

Premesse

Il primo approccio con la Chimica, nell'attuale curriculum scolastico è al II anno della scuola secondaria inferiore. Gli studenti cominciano a fare la conoscenza delle proprietà dell'acqua scrivendone anche la formula H_2O , alla domanda sul significato di questa scrittura simbolica rispondono: "...**ci sono due atomi di idrogeno ed uno di ossigeno...**".

La risposta si considera, in genere, corretta e l'apprendimento della Chimica comincia il suo cammino nel Mistero, Mistero nel senso proprio del termine: qualcosa di cui è impossibile dare una spiegazione!

Con la Scuola dell'autonomia le cose non migliorano.

La Commissione Curricoli, ed in particolare la Divisione Didattica della Società Chimica Italiana, ha messo a punto un'articolata e argomentata proposta di "Sviluppo di un curriculum scientifico per la scuola dell'autonomia".

Alla fine del suo percorso scolastico l'allievo dovrebbe avere una preparazione disciplinare chimica mediamente superiore a quella di un laureato junior (Laurea di I livello) in ingegneria.

Durante i primi sette, otto anni di vita scolastica è previsto uno spazio curricolare specifico per la Chimica, nel quale domande come: "Che cosa sono questi atomi? Quali evidenze sperimentali hanno permesso di dire che esistono gli atomi?, Quale magia è stata messa in essere per vedere questi atomi?, Che cosa indichiamo con il simbolo H?, Che cosa indichiamo con il simbolo O?, Che cosa indichiamo con la simbologia H_2O ?, restano senza risposta.

La Commissione ritiene, infatti, che "alcuni concetti chiave della chimica non sono proponibili al livello della scuola media, o sono proponibili con estrema difficoltà; fra questi i concetti di sostanza pura, di elemento e di composto". Quindi solo nel segmento del biennio superiore secondario di fine obbligo sono previsti nuclei tematici che comprendano i concetti di elemento e composto (Modulo 3).

A mio avviso questi "concetti chiave" rappresentano invece un indispensabile vocabolario per iniziare qualunque discorso disciplinare.

E' innegabile che le risposte a quelle domande sono molto complesse, perché riguardano l'origine della formazione dei concetti scientifici e coinvolgono i tre livelli di descrizione scientifica della natura: il livello Microscopico, il livello Macroscopico, il livello Simbolico. (A.H.Johnston, Journal of Computer Assisted Learning, 1991,7,75, 701-703). A complicare le cose, per la Chimica, c'è l'ambiguità del significato del simbolo, diverso secondo il contesto del discorso: la scrittura Na rappresenta un atomo di sodio, ma anche un pezzo di sodio che pesa circa 23g.

Ma proprio per questo è necessario fare un grande sforzo per impedire la formazione di concezioni ambigue che da un lato allontanano l'interesse dell'individuo dalla disciplina, dall'altro creano preconcetti che, di fatto, impediscono il processo di apprendimento.

I percorsi LES possono essere un efficace strumento di sperimentazione e di verifica di validità didattica per verificare la possibilità di introdurre questi concetti precocemente nei percorsi scolastici.

Ricordando che anche la Commissione curricoli, in riferimento a contesti diversi della chimica, sostiene che è "necessaria una specie di *alfabetizzazione scientifica* che porti a conquistare, a possedere e a padroneggiare idee e concetti", la definizione di:

elemento, ossia sostanza che non può essere scissa in sostanze più semplici e che dopo l'ipotesi atomica di Dalton diventa sostanza formata da **atomi uguali** (livello macroscopico ↔ livello microscopico), rappresentabile con una formula (livello simbolico);

composto, ossia sostanza che si forma per reazione chimica di sintesi di due o più elementi, e che dopo l'ipotesi atomica diventa sostanza formata da atomi **diversi** (livello macroscopico ↔

livello microscopico), rappresentabile con una formula (livello simbolico), dovrebbe essere il territorio di costruzione della disciplina "Chimica" come lo sono le quattro operazioni per la disciplina "Matematica".

La trasformazione metodologica

Il principale obiettivo dell'insegnamento di una disciplina scientifica è, a mio avviso, quello di condurre i giovani su un percorso attraverso il quale scoprire i principi propri della disciplina e le loro connessioni logiche (R.M.Janiuk, *Journal of Chemical Education* 1993,10, **70**, 828-829). Quindi fino a quando i concetti fondamentali della Chimica resteranno simili ad "annunciazioni degli dei" che non riescono ad "essere mescolate col pensiero di ogni giorno" (M. Milner, 1957), sarà difficile condurre i giovani su un percorso di apprendimento reale dei contenuti disciplinari.

Sarebbe necessaria quindi una accurata revisione dei metodi propri della disciplina perché i concetti diventino dichiaratamente comprensibili e si possa individuare un territorio disciplinare di costruzione di "entità pubblicamente condivisibili, delle quali si possa parlare e discutere" (S. Papert, 1994).

I percorsi LES possono essere il luogo nel quale provare a trasformare la Chimica da quel contenitore di informazioni che fino ad oggi appare essere, in un territorio di formazione.

Si può immaginare di costruire idee e concetti, da un lato attraverso un vero e proprio gioco, metafora della realtà e dall'altro attraverso il racconto della storia della nascita idee.

La storia delle idee, della loro formazione, delle difficoltà incontrate, degli errori commessi e del loro superamento, hanno i loro omologhi nei percorsi mentali dell'apprendimento delle discipline scientifiche, il cui insegnamento, attraverso il discorso storico, diventa molto più semplice, logico e "naturale".

Il discorso storico per la chimica ha inoltre il vantaggio di poter essere proposto a vari livelli di difficoltà: nella scuola elementare si può affrontare, per esempio, il racconto dell'osservazione inconsapevole della reazione di combustione per mostrare l'esigenza e la difficoltà del suo utilizzo "consapevole" (produzione e conservazione del fuoco). Nella scuola media si può poi proseguire con la lunga storia della scoperta delle leggi fondamentali per mostrare come si può arrivare in maniera naturale all'ipotesi dell'esistenza degli atomi e alla definizione di una scala dei loro pesi relativi.

Il gioco di costruzione invece come attività metaforica può introdurre i bambini al vocabolario di base della disciplina. Un'efficace metafora della gestione della formula chimica è la gestione di un oggetto multicomponente (una collana formata da coralli di colore diverso) la cui composizione sia vincolata da alcune regole e la cui espressione simbolica scritta (formula) sia condivisa, diventando patrimonio culturale di un gruppo di persone (classe) e quindi personale.

Quando ciascun ragazzo incontrerà per la prima volta una formula chimica potrà "scoprire la familiarità nel non familiare" (M. Milner, 1957), ma risultando chiaro il significato di quel simbolismo, dovrà solo fare lo sforzo, non secondario, di collegare quel simbolismo ad una realtà microscopica che non è immediatamente visibile.

La riflessione sulla costituzione materiale dell'aria, sul processo di evaporazione, sul processo di dissoluzione, sul processo di formazione di cristalli dovrebbe favorire il convincimento che esiste una realtà microscopica descrivibile mediante specifici "modelli". Anche la riflessione su alcune particolari semplici reazioni chimiche come l'ossidazione dei metalli potrebbero essere un utile strumento per convincersi dell'esistenza di un mondo microscopico che si trasforma.

La formula di un braccialetto

La metafora può essere un utile strumento per presentare le leggi che regolano un sistema microscopico, attraverso la scoperta delle leggi che regolano un omologo sistema macroscopico, favorendo anche la comprensione del significato di "modello".

La metafora che presento riguarda un sistema i cui componenti (coralli di colore diverso) rappresentano atomi di elementi diversi "legati" tra di loro a formare piccole molecole/ formule di composti (braccialetti).

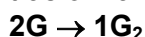
In questo caso la metafora riguarda sia il "legame" tra gli atomi/coralli, sia le relazioni quantitative tra le entità.

Il simbolismo utilizzato per descrivere la (molecola, formula)/braccialetto, trascura, in questa prima fase, sia i modi diversi di assemblare lo stesso numero e lo stesso tipo di coralli (isomeria), sia l'esistenza di sostanze diverse descritte dalla stessa formula (formula minima, formula di struttura), ossia il concetto di molecola e' sovrapposto al concetto di formula.

Abbiamo proposto con successo questo gioco a gruppi diversi di bambini di età compresa rispettivamente tra i 5 e gli 8 anni e tra i 9 e i 13 anni in un contesto puramente ludico, (Estate dei piccoli 2000, Città della Scienza, Napoli).

Il gioco ha inizio con la condivisione delle regole: il significato di scritte simboliche.

Ogni corallo giallo si indica con G, la scrittura 2G indica *2 coralli gialli separati*, 3G *tre coralli gialli separati*, e così via, ma "legando" insieme due coralli si ottiene un solo braccialetto. I bambini di entrambe le fasce di età restano molto stupiti da questa "magia" che trasforma **2 oggetti in 1 oggetto solo**. Quale scrittura simbolica si può utilizzare per descrivere **un** unico oggetto formato da *due coralli gialli legati* insieme? I bambini opportunamente condotti danno da soli la risposta **G₂**. Diventa così semplice proporre l'utilizzo di una scrittura simbolica per descrivere anche la trasformazione:



E' facile estendere questo gioco a più atomi/coralli differenti legati insieme a formare un'unica (Molecola, Formula)/Braccialetto.

Ad esempio la scrittura:



rappresenta la costruzione di una (Molecola, Formula)/Braccialetto formata da 2 atomi/coralli Rossi (R rappresenta un corallo Rosso) e 1 atomo/corallo Verde (V rappresenta un corallo Verde).

Tutti i bambini sono stati in grado di costruire un braccialetto di cui era nota la formula anche complessa (es. **R₄VG₂B₃**), mentre qualcuno dei più grandi ha riconosciuto autonomamente, l'analogia con la formula dell'acqua che già conosceva.

Questo tipo di attività metaforica permette di scoprire anche le leggi della stechiometria perché si può facilmente fare giocare i bambini, limitando il numero di coralli disponibili di un certo colore. Per esempio si può mostrare che se abbiamo un grande cesto pieno di Atomi/Coralli Rossi ma solo 5 Atomi/Coralli Verdi, possiamo fare solo 5 (Molecole, Formule)/Braccialetti con formula **R₂V**. Questa riflessione porta con grande semplicità al concetto di reagente limitante in una reazione chimica.

Questo tipo di metafora può essere portata avanti fino alla definizione di scala di pesi di un insieme di Atomi/Oggetti, relativamente al peso dell'Atomo/Oggetto più leggero, per poi estenderla fino al concetto di Mole.

Dal macroscopico al microscopico

Immaginare quello che accade in un mondo microscopico di cui vediamo unicamente il comportamento macroscopico è universalmente riconosciuta essere una delle maggiori difficoltà nel apprendimento della chimica. Proporre riflessioni sull'esistenza di questo mondo precocemente, anche se con le innegabili difficoltà, permetterà di cominciare a dare giustificazioni a fenomeni che sarebbero altrimenti misteriosi, stimolando curiosità e ragionamento

Un'utile strumento di riflessione sull'esistenza di un mondo microscopico, come detto precedentemente, sono il fenomeno dell'evaporazione, insieme al fenomeno della dissoluzione nell'acqua di solidi o di liquidi colorati. Questi processi possono essere analizzati in tutti i loro aspetti e possono essere sperimentati in una qualunque classe anche con materiali molto semplici da reperire

La necessaria relazione con l'aspetto macroscopico si può realizzare pesando il liquido (punto di vista macroscopico) prima dell'evaporazione e dopo (punto di vista microscopico), oppure mostrando che il peso della soluzione (aspetto macroscopico) è uguale alla somma dei pesi delle sostanze che la compongono (aspetto microscopico), dando spazio anche alla definizione di soluzione (sistema omogeneo formato da due o più sostanze), definizione che, da sola, spiega

molte caratteristiche di questi particolari sistemi sia dal punto di vista microscopico sia dal punto di vista microscopico.

Tra le attività LES è utile a questo scopo quella dal titolo "L'acqua e le acque"

Durante la realizzazione di questa attività facciamo assaggiare a bambini delle scuole elementari soluzioni acquose differenti. Quando abbiamo chiesto loro di disegnarne il sapore, quasi tutti i bambini hanno disegnato bicchieri con un liquido contenente piccoli oggetti dalle forme più strane, oggetti che ovviamente potevano solo immaginare, avevano però capito che sapori differenti corrispondevano a sistemi contenenti "cose" diverse: soluzioni diverse.

E' stato anche interessante notare che il loro riferimento di "sistema vuoto" era l'acqua del rubinetto (notoriamente una soluzione), infatti, disegnavano il sapore dell'acqua piovana (notoriamente acqua "pura") sempre come un sistema che contiene qualcosa e quando si rendevano conto che facendo evaporare tutta l'acqua, nel recipiente contenente l'acqua piovana non c'era residuo, rimanevano stupiti.

Questo atteggiamento mentale ci fa riflettere sul potere del senso comune, come preconcezione che condiziona fortemente le capacità di apprendimento.

Abbiamo proposto lo stesso esperimento per i ragazzi della scuola media inferiore e superiore per poter introdurre il concetto di concentrazione e di solubilità. Osservando che volumi uguali di soluzioni diverse, portate a secco (evapora tutta l'acqua) si nota che le quantità di residuo hanno pesi diversi.

La comprensione del significato della grandezza "Concentrazione di una soluzione" e della grandezza "Solubilità di una sostanza nell'acqua" e la gestione di queste grandezze quando avvengono alcune trasformazioni (evaporazione, diluizione per aggiunta di acqua ecc...) sono un indispensabile punto di partenza per comprendere perché la chimica compare in tutte le attività quotidiane.

Un altro importante concetto utile per interpretare i fenomeni chimici è quello di acido e di base. Purtroppo le definizioni di acido e base in cui si parla di ioni portano a grandissimi preconcetti: quasi tutti i ragazzi che provengono dalle scuole superiori attuali si stupiscono quando scoprono che gli acidi sono sostanze formate da molecole e molto difficile sradicare questa loro convinzione. Ciononostante per la comprensione delle fenomenologie che coinvolgono questa classe di sostanze è sufficiente la definizione di acido confrontabile a quella data nel 1936 dall'allievo di Svante Arrhenius, R. Abegg nel suo "Elementi sulla teoria della dissociazione elettrolitica":

- gli acidi cambiano il colore degli indicatori (rosso, il tornasole e il metilarancio, scolorano la soluzione rosa di fenoltaleina e quella gialla di nitrofenolo)
- agiscono come solventi di molti metalli, del marmo¹
- hanno sapore acido
- fanno scomparire tutte le proprietà delle basi
- le basi cambiano il colore degli indicatori in senso contrario a quello degli acidi
- fanno scomparire le proprietà degli acidi

La discussione sul diverso effetto catalizzante degli acidi e delle basi su specifiche reazioni richiede conoscenze di chimica organica che esulano, a mio avviso, dalle competenze che un ragazzo deve avere all'uscita della scuola.

Credo invece molto importante e caratterizzante l'ambito disciplinare la conoscenza e la capacità di gestire le trasformazioni chimiche dal punto di vista quantitativo.

La reazione chimica bilanciata e le informazioni che contiene

Una delle grandi difficoltà di apprendimento della chimica è connessa con la incapacità di vedere quale miriade di preziose informazioni sono contenute in una reazione chimica bilanciata, questo è il motivo che mi spinge a presentare una proposta di possibile metodologia di insegnamento di questo delicato concetto.

¹ È utile fare notare che, in effetti, quello che accade non sono processi di solubilizzazione ma vere e proprie reazioni chimiche

Una formula (minima) chimica è una scrittura che ci informa sul **tipo** di atomi presente in un composto e sul **rapporto numerico** tra tali atomi in quel composto.

La formula **NaCl** ci informa, ad esempio, sul fatto che, se abbiamo a disposizione una certa quantità di materia formata unicamente da una sostanza che ha questa formula, qualunque porzione di sostanza consideriamo siamo sicuri che in essa il rapporto tra il numero di particelle di **Na** e quelle di **Cl** è **1/1**. Ciò ha come conseguenza che, conoscendo il peso di una singola particella di Na e di una singola particella di Cl è possibile conoscere il rapporto tra la quantità in peso di particelle di Na e la quantità in peso di particelle di Cl in una qualsiasi porzione di questa sostanza.

Più sinteticamente affermeremo che è possibile conoscere il rapporto tra la quantità di Na e la quantità di Cl nella sostanza che chiamiamo NaCl.

La reazione chimica è la trasformazione di alcune sostanze descritte da certe formule (reagenti) in altre sostanze descritte da formule diverse (prodotti), con il vincolo che gli atomi che sono presenti nei reagenti devono essere uguali, in numero e tipo a quelli presenti nei prodotti.

Durante tale trasformazione dunque nessun elemento può aumentare o diminuire il suo numero atomi, poiché in caso contrario sarebbe possibile *creare un elemento dal nulla o distruggerlo nel nulla*.

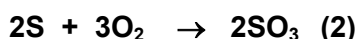
Possiamo in altre parole affermare che una reazione chimica avviene in modo tale che il numero di atomi di ciascun elemento che partecipa alla reazione rimane inalterato.

Ad esempio possiamo immaginare di trasformare la sostanza Al(OH)_3 in Al_2O_3 e H_2O .

Si vede subito che per formare una formula Al_2O_3 sono necessarie due formule Al(OH)_3 . D'altra parte due formule Al(OH)_3 permettono la formazione di tre formule H_2O .

Consideriamo un'altra reazione chimica, la formazione della formula SO_3 a partire da formule S e formule O_2 . Poiché l'ossigeno è disponibile solo come formule O_2 non è possibile ottenere una unica formula SO_3 ma è necessario che si trasformino tre formule O_2 per ottenere così 2 formule SO_3 . A questo punto notiamo che per ottenere due formule SO_3 sono necessarie 2 formule S in modo che il numero di atomi di ciascun elemento nelle sostanze che si trasformano (**reagenti**) sia uguale al numero di atomi dello stesso elemento nelle sostanze che si ottengono (**prodotti**).

In maniera sintetica possiamo riassumere quello che abbiamo appena detto in quella che si chiama una reazione chimica bilanciata ossia:



Tali scritture ci danno:

1-Informazioni qualitative:

1.1-esistono delle condizioni in cui l'idrossido di alluminio Al(OH)_3 (*reagente*) può trasformarsi in ossido di alluminio Al_2O_3 e acqua (*prodotti*), oppure esistono delle condizioni in cui lo zolfo S e l'ossigeno O_2 (*reagenti*) si trasformano in anidride solforica SO_3 (*prodotti*),

1.2-le quantità di prodotti che si ottengono da queste reazioni sono vincolate dalle quantità dei reagenti che si trasformano.

2-Informazioni quantitative:

2.1.1-il rapporto tra il numero di formule di idrossido che **si trasformano (reagiscono completamente)** e il numero di formule di ossido che **si producono** è **2/1**

2.1.2-il rapporto tra il numero di formule di idrossido che **reagiscono completamente** e il numero di formule di acqua che **si producono** è **2/3**

2.1.3-**indipendentemente** dalla quantità di idrossido che **ha reagito**, il rapporto tra il numero di formule di ossido e di acqua che **si ottengono** è **1/3**.

2.2.1- il rapporto tra il numero di formule di zolfo che **si trasformano (reagiscono completamente)** e il numero di formule di anidride che **si producono** è **1/1**.

2.2.2- il rapporto tra il numero di formule di ossigeno che **si trasformano (reagiscono completamente)** e il numero di formule di anidride che **si producono** è **3/2**

2.2.3- il rapporto tra il numero di formule di zolfo e il numero di formule di ossigeno che **si trasformano (reagiscono completamente)** è **2/3**.

E' necessario tenere presente, a questo punto, quanto abbiamo detto prima a proposito delle informazioni sulle quantità in peso per una formula chimica.

Tutte le informazioni relative ai rapporti esistenti tra **particolari** numeri di atomi e tra **particolari** numeri di formule possono essere trasformati facilmente in rapporti tra **particolari** quantità in peso di sostanze costituite da quegli atomi e da quelle formule se sono noti i pesi degli atomi e quindi delle formule.

Sottolineiamo "**particolari**", in quanto la particolarità è quella di essere vincolati dai rapporti imposti dalla formula oppure dalla reazione chimica bilanciata.

Per lo stesso motivo sottolineato che "**reagiscono**" e che si "**ottengono**", perché deve essere chiaro che quei rapporti si riferiscono alle quantità che si consumano completamente e non a quelle che mettiamo a reagire, infatti, solo quelle che si trasformano completamente sono vincolate dai coefficienti stechiometrici ossia dai coefficienti che compaiono nella scrittura simbolica che è la reazione chimica bilanciata.

Proposta di percorsi disciplinari lunghi

I concetti della chimica potrebbero essere svolti, all'interno delle attività scolastiche, come un lungo percorso con un unico filo conduttore utilizzando innanzitutto lo strumento del gioco di costruzione e di scoperta poi lo strumento del racconto storico. Con il procedere del percorso, potranno essere poi applicati in maniera quantitativa a sistemi sempre più complessi raggiungendo nell'arco degli anni livelli di rigore, anche formale, sempre maggiore.

Scuola elementare:

- Il percorso storico: l'osservazione inconsapevole ma controllata e ripetibile.
- Il fuoco e la combustione: osservazioni qualitative e semiquantitative (la materia scompare davvero oppure si trasforma in qualcosa che non possiamo osservare?).
- Evaporazione, dissoluzione, soluzione satura, dal punto di vista qualitativo: si mostra il comportamento all'evaporazione di diverse, "acque", per mettere in evidenza che esse non sono una sostanza pura, ma "soluzioni", che contengono tutte una stessa sostanza, simile all'acqua piovana. Questa sostanza è l'Acqua.
- Come si possono separare i costituenti di un sistema eterogeneo, perché non si possono separare con la stessa procedura i componenti la soluzione
- Elementi e Composti: formula di un oggetto multicomponente a composizione vincolata come metafora e quindi prima familiarizzazione con quel linguaggio simbolico che è la formula chimica.

Scuola media inferiore

- La lavorazione e l'essiccazione dell'argilla come esempio di reazione chimica.
- Elementi e composti: le miniere
- Determinazione della solubilità con semplici pesate: l'importanza del rapporto e il suo utilizzo nel caso di sistemi omogenei.
- La scala dei pesi di oggetti visibili relativi al peso di un oggetto molto più piccolo ma sempre visibile (metafora per la scala dei pesi atomici).
- Come è possibile conoscere il numero di oggetti conoscendo il loro peso relativo e il peso reale di un solo oggetto (metafora per il concetto di mole).
- Le soluzioni e il concetto di concentrazione
- Metodi per separare i costituenti di una soluzione
- La cristallizzazione di sostanze pure

Scuola superiore

- Come è possibile trasformare gli elementi in composti e viceversa
- Elementi e composti: le leggi fondamentali della chimica
- Dalla legge delle proporzioni definite all'ipotesi atomica.
- Il contributo degli studi sui gas.

- Scala dei pesi atomici relativi dalla conoscenza delle formule chimiche.
- Il concetto di mole.
- La reazione chimica bilanciata.
- Il rapporto molare, molecolare e il rapporto tra le formule.
- Come il sistema chimico utilizza le quantità e la conseguente necessità di bilanciare una reazione.
- Il concetto di reazione completa e reazione di equilibrio dal punto di vista dei numeri della reazione.
- L'esigenza di un'ulteriore informazione nel caso della reazione di equilibrio.
- I rapporti stechiometrici nel caso di reazioni di equilibrio.

Vorrei ricordare alcuni degli argomenti di cui non ho parlato e che invece rappresentano un nucleo caratterizzante questa disciplina: la configurazione elettronica degli elementi, il sistema periodico, il legame chimico, la geometria delle molecole, i legami intermolecolari. Non è possibile parlare di questi argomenti nella scuola senza raccontare "storielline" come dice Carlo Fiorentini (CIDI, Firenze), perché per affrontare questi argomenti sono necessarie "conoscenze fisiche che mancano a tutti gli studenti della scuola secondaria superiore con l'eccezione del liceo scientifico e degli indirizzi sperimentali dove la fisica viene affrontata nell'arco di 3 o più anni. Ma generalmente anche in questi casi più felici la chimica viene insegnata al 3° o al 4° anno quando lo sviluppo delle conoscenze fisiche è, se va bene, a metà del cammino".

Conclusioni

Se guardiamo il mondo che ci circonda e tutti i fenomeni che vi avvengono, non c'è dubbio che la maggior parte delle trasformazioni sono trasformazioni chimiche, la vita è un insieme di trasformazioni chimiche complesse che hanno delle regole chimiche ma hanno anche altre regole, ad esempio biologiche. Le regole chimiche sono quelle che riguardano i possibili prodotti di un processo, le biologiche riguardano il contesto nel quale il processo avviene.

Non è possibile separare, non è possibile trovare una linea di confine.

Una reazione chimica che dal punto di vista termodinamico si calcola sia spontanea (le regole della chimica) non sempre avviene quando i reagenti sono messi a contatto tra loro, perché le particelle che possono trasformarsi sono troppo poche, è necessario aumentare questo numero di particelle (le regole della fisica) perché la reazione avvenga in maniera quantitativamente apprezzabile.

Non è possibile separare, non è possibile trovare una linea di confine.

Ciononostante le discipline mantengono la loro caratterizzazione ed è proprio quello che abbiamo cercato di fare nei percorsi LES: sviluppare l'integrazione disciplinare tenendo conto però della necessità di sviluppare percorsi anche all'interno della disciplina, perché se è vero che non si può trovare la linea di confine in natura, la linea di confine esiste in particolare per quanto riguarda le specifiche competenze disciplinari. E' indispensabile avere questa consapevolezza per poter costruire percorsi di apprendimento che integrando più discipline, ne rispettano le priorità concettuali e le preconcoscenze in modo che coloro che devono apprendere non riconoscano le discontinuità ma coloro che devono insegnare possano invece progettare l'offerta formativa ciascuno nello specifico ambito disciplinare di competenza.