

ASP
Settore della formazione Pedagogica

ABILITAZIONE
2006/2007

Lavoro di documentazione

USO DELLE METAFORE CONCETTUALI
NELL'INSEGNAMENTO/APPRENDIMENTO DEI
MODELLI IN CHIMICA

Maggio 2007

Angelo Bonomi

INDICE

1. INTRODUZIONE pag. 3
 2. LA METAFORA CONCETTUALE pag. 3
 3. LA METAFORA CONCETTUALE IN CHIMICA pag. 5
 4. USO DIDATTICO DELLA METAFORA CONCETTUALE IN CHIMICA pag. 9
 5. OBIETTIVI E PROGRAMMA SVOLTO pag. 9
 6. USO DELLE METAFORE NELL'INSEGNAMENTO DI CONCETTI pag. 10
 - 6.1. Limiti del modello a gusci e della regola dell'ottetto e loro superamento pag. 10
 - 6.2. Le basi della progettazione didattica sul legame chimico pag. 12
 - 6.3. Percorso didattico delle lezioni sul legame chimico pag. 14
 - 6.4. Questionario e test usati per le verifiche pag. 23
 - 6.5. Risultati ottenuti pag. 24
 - 6.6. Discussione dei risultati ottenuti pag. 29
 7. USA DELLE METAFORE PER PROCEDURE DI CALCOLO pag. 31
 - 7.1. Risultati ottenuti pag. 32
 - 7.2. Discussione dei risultati pag. 34
 8. CONCLUSIONI pag. 35
- REFERENZE pag. 37
- ALLEGATO 1 pag. 39
ALLEGATO 2 pag. 45
ALLEGATO 3 pag. 48
ALLEGATO 4 pag. 53
ALLEGATO 5 pag. 60

Questo rapporto è composto da 38 pagine, compreso le referenze, per un totale di circa 50000 caratteri e contiene 15 figure e 5 allegati.

Nessun fisico pensa con formule e la maggior parte delle idee fondamentali della scienza sono essenzialmente semplici e possono esprimersi con un linguaggio che tutti capiscono
Albert Einstein

1. INTRODUZIONE

In un recente test di chimica dato a una seconda classe di liceo non scientifica era stato chiesto di prevedere la nuova struttura di un nucleo atomico che aveva perso una particella composta da due protoni e due neutroni (particella alfa), in pratica descrivere un fenomeno di radioattività, argomento però che non era mai stato trattato con quella classe. Di fronte alla manifestazione di incertezza di un'allieva su questo punto ho spontaneamente consigliato di pensare a una cassetta di patate e carote come analogia del nucleo atomico al che l'allieva ha avuto un'espressione di immediata di chiarificazione della risposta da dare al quesito.

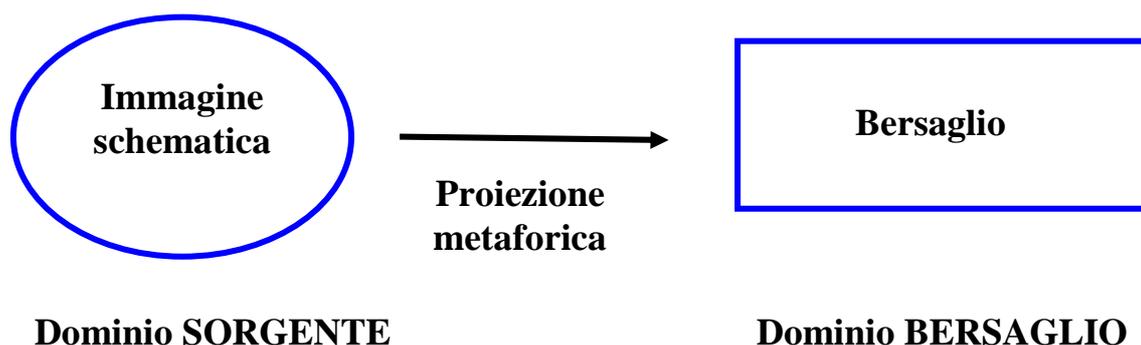
Questo fatto mi ha fatto molto riflettere da una parte sul ruolo che gli esempi concreti possono avere nell'apprendimento di modelli astratti che, per esattezza, non sono da considerare analogie ma piuttosto metafore, e d'altra parte sulla mia reazione spontanea di citare un esempio concreto e banale come una cassetta di patate e carote per il nucleo atomico il cui modello, con le sue particolari forze intranucleari e la struttura composita dei protoni e neutroni è molto complesso.

La lettura di un articolo di Fuchs, professore dell'Università di Scienze Applicate di Winterthur, sulla modellizzazione in fisica dei sistemi dinamici (*Fuchs 2006*) e del ruolo che le metafore possono avere nell'apprendimento mi hanno spinto ad approfondire l'argomento prendendo in considerazione una visione moderna del ruolo della metafora nei processi di comprensione e la loro possibile utilità nell'insegnamento di argomenti complessi basati su modelli astratti tipici della chimica.

2. LA METAFORA CONCETTUALE

Tradizionalmente la metafora nel linguaggio letterario è considerata un tropo ovvero una figura retorica che implica un trasferimento di significato per creare immagini di forte carica espressiva e per questo usata ad esempio in poesia. Nella linguistica cognitiva la metafora è definita come comprensione di un dominio concettuale in termini di un altro dominio concettuale e i processi di fondo di questa comprensione furono studiati negli anni 70 da Gorge Lakoff, professore di linguistica presso l'Università di California (Berkeley), le cui tesi fondamentali furono pubblicate in un libro scritto con Mark Johnson (*Lakoff, Johnson 1980*). Gorge Lakoff, a cui dobbiamo lo sviluppo del termine di metafora concettuale, ha pubblicato diversi libri

per sostenere le sue tesi riguardanti i concetti astratti che noi adoperiamo. Questi, per Lakoff, sono largamente metaforici, risultato del fatto che la mente è incorporata (*embodied mind*) nel nostro sistema neurofisiologico. Lakoff ha riassunto le sue tesi anche in sue interviste come quella effettuata nel 1999 in occasione della pubblicazione del suo libro “Philosophy in The Flesh” (*Brockman 1999*). Nello sviluppo delle sue tesi Lakoff ha preso in considerazione anche discipline tipicamente astratte come la matematica, sostenendo la sua origine da metafore concrete (*Lakoff, Nùñez 2000*). Le sue tesi radicali nel campo delle scienze cognitive hanno sollevato numerose controversie ma anche interesse per le ipotesi innovative su come avvengano nella realtà i processi cognitivi, ad esempio nel campo della conoscenza scientifica, e trarne alcune conseguenze in campo didattico. Riprendendo una definizione di Lakoff, l’essenza di una metafora è di comprendere e vivere un tipo di cosa in termini di un altro (*Lakoff, Johnson 1980*). Essa può essere considerata un processo in cui un’immagine schematica, sorgente, riesce, attraverso la proiezione metaforica, a far comprendere e vivere un’altra immagine detta bersaglio come illustrato dallo schema seguente:



Ad esempio per spiegare la struttura di un’organizzazione (bersaglio) si può ricorrere alla metafora della pianta (sorgente). Le immagini schematiche sono strutture ricorrenti dentro i nostri processi cognitivi che stabiliscono le forme di comprensione e ragionamento costituendo alcune se non addirittura tutte le strutture di base della comprensione umana (*Johnson 1997*). Infine è utile notare che la proiezione metaforica non corrisponde ad una analogia, questa esiste solo per uno stesso livello di astrazione e può quindi esistere tra varie immagini schematiche o vari concetti bersaglio ma non tra sorgente e bersaglio. Come possiamo vedere la metafora è ben lungi da poter essere considerata una semplice analogia approssimata, eventualmente erronea, di un particolare concetto o modello ma piuttosto un processo che permette la comprensione di concetti e modelli astratti. I domini sorgente si riferiscono in generale a immagini più concrete dei domini bersaglio e una proiezione metaforica verso bersagli particolarmente astratti può comportare il passaggio attraverso l’insieme di più domini sorgente ed anche serie di domini sorgente sempre meno concreti, questi processi inoltre possono avvenire anche allo stato inconscio. Si noti infine che il potere comunicativo di una metafora che ha raggiunto il bersaglio è tanto più forte quanto più l’immagine sorgente è concretamente differente dal bersaglio.

3. LA METAFORA CONCETTUALE IN CHIMICA

Non è difficile dimostrare la natura metaforica dei modelli utilizzati in chimica e alcuni autori hanno cominciato negli ultimi anni a interessarsi a questo argomento come Theodore L. Brown, professore emerito di chimica dell'Università dell'Illinois (Urbana), che ha scritto un libro (*Brown 2003*) in cui ha discusso, rifacendosi a Lakoff, gli aspetti metaforici della conoscenza di modelli quali il modello atomico e le strutture molecolari e biologiche e nel quale riporta anche alcune riflessioni riguardo l'insegnamento. Dello stesso autore è apparso un articolo sui fondamenti metaforici delle spiegazioni in chimica (*Brown 2003b*). L'utilizzazione di metafore concettuali per spiegare oggetti o fenomeni che non possono essere visualizzati direttamente non è solo tipico della chimica ma esiste anche in fisica, basti pensare alla fisica quantistica (*vedi Nota 1 a fine capitolo*) o anche alla biologia dove, certe descrizioni di strutture cellulari sono immaginate poiché invisibili al microscopio ottico, mentre il microscopio elettronico non dà in realtà la visione della struttura originale ma solo la struttura dello scheletro degli atomi di carbonio che restano. Sia in fisica come in chimica e in biologia in genere non si parla di metafore ma si chiamano queste rappresentazioni dei modelli esse sono in realtà metafore ed esiste una sottile differenza da questi "modelli" e quello che si intende come modello o paradigma nel senso kuhniano del termine utilizzato in epistemologia (*Kuhn 1970*). Infatti mentre le rappresentazioni metaforiche di un oggetto o un processo invisibile possono essere differenti e, anche in una certa misura, contraddittorie (vedi le ben conosciute rappresentazioni di una particella in meccanica quantistica come onda o corpuscolo), è l'insieme di queste rappresentazioni o metafore che può costituire il vero modello o paradigma in senso kuhniano che risulta superiore a modelli o paradigmi anteriori incapaci di spiegare ulteriori aspetti del fenomeno modellizzato.

In chimica è facile rendersi conto degli aspetti metaforici dei modelli usati prendendo in considerazione ad esempio le strutture delle molecole. Esse hanno fatto oggetto nell'evoluzione del pensiero chimico delle più variate rappresentazioni come ad esempio quelle della molecola dell'etilene riportate nella Fig. 1 e tratte da un lavoro storico sulla chimica (*Solov'ev, 1976*), e in cui, a parte la formula primitiva di Dalton, le altre sono rappresentazioni metaforiche corrette mentre quella di Butlerov del 1865 è del tutto simile a una di quelle utilizzate anche attualmente. Se ora prendiamo ad esempio le rappresentazioni attuali usate in chimica per la molecola del metano è facile vederne la natura metaforica osservando la Fig. 2 ottenuta riprendendo considerazioni dal libro del Prof Brown già citato (*Brown 2003*). In questa figura abbiamo rappresentato cinque delle più comuni rappresentazioni della molecola del metano che mostrano chiaramente le loro differenze. Ognuna di queste rappresentazioni è utile in effetti alla descrizione di particolari proprietà della molecola del metano che non possono essere rappresentate convenientemente in una sola figura. Possiamo così descrivere brevemente le caratteristiche delle varie metafore:

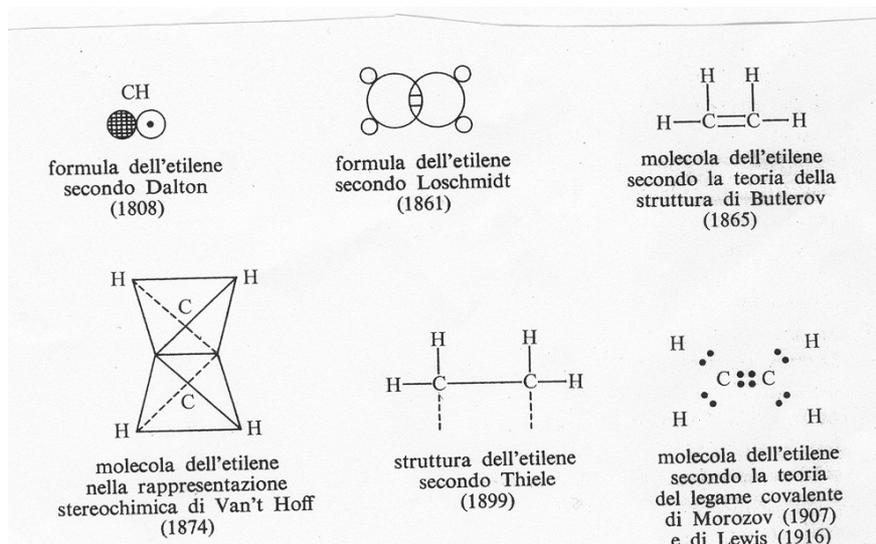


Fig. 1. Rappresentazioni storiche della molecola dell'etilene

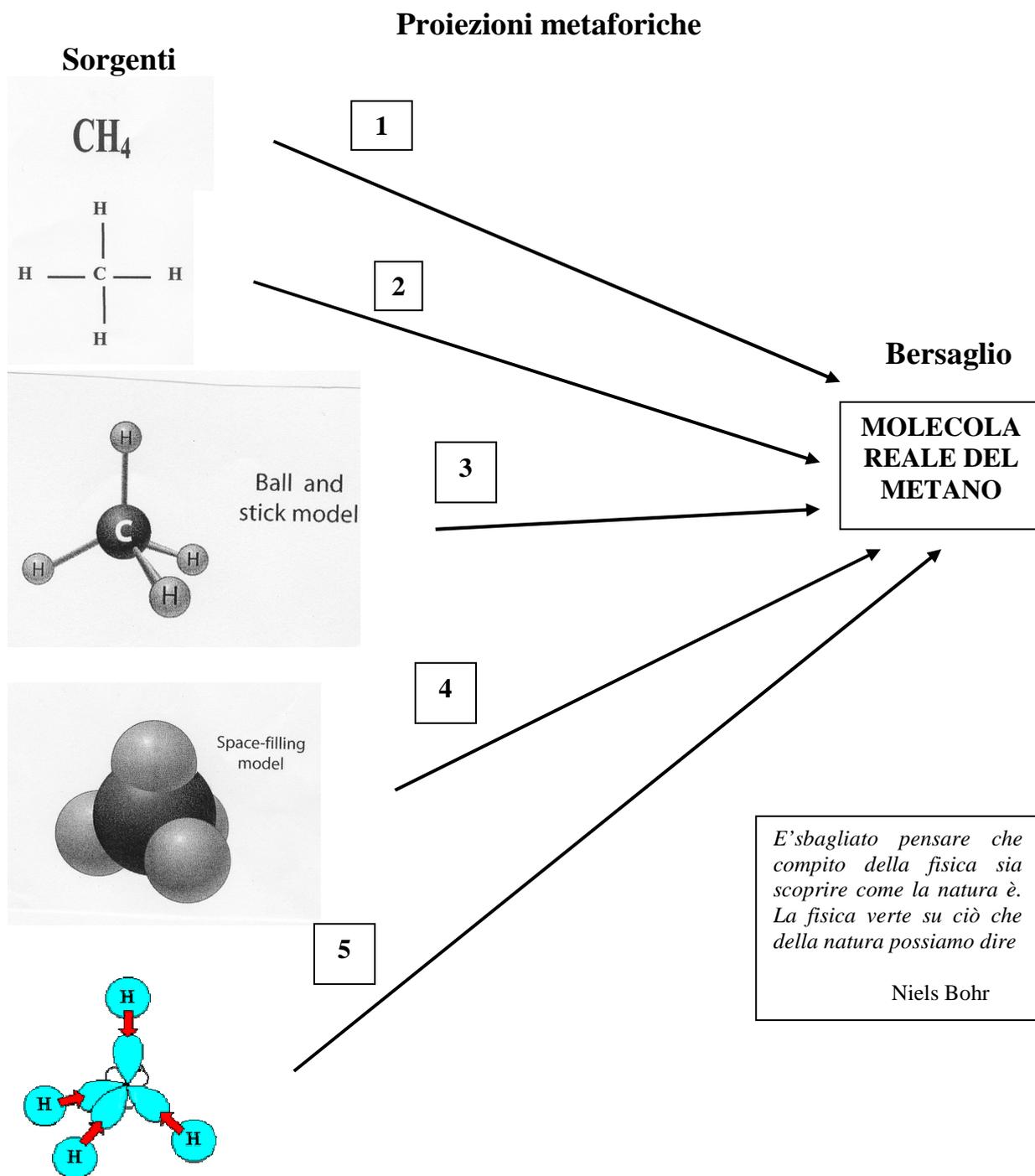


Fig. 2. Rappresentazioni metaforiche della molecola del metano

Sorgente 1. Rappresentazione lineare che indica semplicemente la natura e il numero degli atomi presenti nella molecola ed è utile ad esempio per i calcoli stechiometrici.

Sorgente 2. Rappresentazione piana e strutturale che indica topologicamente come sono posizionati i vari atomi della molecola.

Sorgente 3. Rappresentazione sterica che sottolinea la posizione dei vari atomi nello spazio e sottolinea soprattutto gli aspetti di distanza e posizione tra i nuclei atomici e utilizzabile per spiegare ad esempio tutti i tipi di isomeria

Sorgente 4. Rappresentazione sterica che sottolinea gli ingombri e forma della molecola

Sorgente 5. Rappresentazione sterica che indica gli orbitali atomici che concorrono a formare la molecola e usata per spiegare la formazione dei legami chimici e loro posizione nello spazio

L'insieme di queste rappresentazioni potrebbe essere considerato il modello, nel senso kuhniano, della molecola del metano e rappresenta quanto di meglio attualmente possiamo fare per raffigurarci questa molecola.

Nota 1. La natura metaforica del sapere scientifico nella fisica quantistica è particolarmente evidente, in particolare nella cromodinamica quantistica il cui studio dei quark (particelle subnucleari che formano i protoni e neutroni del nucleo atomico) di fronte ad alcune loro proprietà che non possono essere messe in relazione con alcuna proprietà dei corpi macroscopici si è ricorso alla metafora del colore attribuendo a queste particelle il verde o il rosso o il blu.

4. USO DIDATTICO DELLA METAFORA CONCETTUALE IN CHIMICA

L'uso delle metafore concettuali nel campo dell'insegnamento delle scienze, e in particolare della chimica, non sembra particolarmente sviluppato. La stessa natura metaforica del sapere scientifico è, come abbiamo visto precedentemente, oggetto di studio da solo pochi anni. Tuttavia possiamo osservare che le metafore sono largamente usate nel campo della divulgazione scientifica, hanno un certo uso nelle spiegazioni orali mentre sono usate solo marginalmente nei testi per l'insegnamento delle scienze e in particolare della chimica. Riguardo agli aspetti didattici nel campo della fisica esistono alcuni lavori del Prof. Fuchs tra cui quello già citato (*Fuchs 2006*), che riporta in dettaglio nel quarto capitolo del suo articolo alcuni aspetti delle metafore concettuali, della loro importanza nella comprensione dei fenomeni e della conseguente modellizzazione dinamica di sistemi fisici. Dello stesso autore esiste anche un lavoro precedente dedicato specificatamente alle metafore (*Fuchs, 2005*).

Un certo uso delle metafore procedurali esiste nella letteratura didattica chimica in particolare per aiutare calcoli stechiometrici di una certa complessità (*Ault, 2001. 2006*) e (*Cook 2005*) mentre non si è trovato, pur tenendo conto della limitatezza delle indagini bibliografiche fatte, alcun studio sull'uso delle metafore nell'insegnamento di concetti complessi in chimica, anche se esiste un interessante studio sullo sviluppo del concetto di mole usando la metafora tra oggetti comuni (chiodi) e molecole (*Roletto, Regis, Albertazzi*) Infine un uso particolare delle metafore nella didattica della chimica è stato fatto da due professori del "Centre for Mathematics and Science Education" della Queensland University of Technology in Australia che hanno usato metafore immaginate da studenti per capire le loro difficoltà nell'apprendimento della chimica (*Thomas, McRobbie 1999*) e (*Thomas, McRobbie 2001*).

Occorre infine precisare che le idee di Lakoff sulle metafore concettuali non rappresentano un modello di apprendimento ma un modello della comprensione anche se naturalmente la comprensione fa necessariamente parte dell'apprendimento.

5. OBIETTIVI E PROGRAMMA SVOLTO

L'obiettivo principale del lavoro svolto riguarda la verifica dell'interesse nell'uso di metafore concettuali nell'insegnamento per aiutare gli allievi ad apprendere e assimilare i vari modelli astratti che sono alla base dell'insegnamento della chimica. Per raggiungere questi obiettivi sono stati presi in considerazione due tipi di approcci alle metafore: nel primo si è considerato l'uso delle metafore per introdurre concetti complessi legati alla spiegazione del legame chimico e le strutture elettroniche molecolari, mentre nel secondo si è considerato l'uso delle metafore di natura procedurale nell'uso per calcoli stechiometrici di una certa complessità. Il lavoro svolto e i risultati ottenuti sono riportati nei due capitoli seguenti.

6. USO DELLE METAFORE NELL'INSEGNAMENTO DI CONCETTI

Questa parte del lavoro riguarda l'uso di metafore per un obiettivo sotto certi punti di vista ambizioso di sostituire tipici argomenti dell'insegnamento della chimica come la struttura elettronica a gusci degli atomi e la regola dell'ottetto per la spiegazione del legame chimico con una visione più realistica tratta da elementi della meccanica quantistica da cui è derivato il concetto di orbitale, utilizzabile nella spiegazione di molecole semplici, ma che si può estendere, anche senza entrare nei dettagli, alle molecole più complesse e alla loro struttura.

6.1. Limiti del modello a gusci e della regola dell'ottetto e loro superamento

Il modello della struttura elettronica a gusci e la regola dell'ottetto nascono per opera di G.N. Lewis nel 1915 sull'onda della breve apparizione del modello di Bohr come ipotesi di spiegazione della struttura dell'atomo. La struttura elettronica proposta nel modello a gusci, oltre ad essere chiaramente irrealistica, è essa stessa piuttosto povera di significati fisici poiché propone semplicemente una disposizione degli elettroni in orbite circolari caratterizzate da una certa energia rifacendosi all'ormai abbandonato modello di Bohr. La regola dell'ottetto vuole dare un'interpretazione alla formazione dei legami chimici prendendo spunto dalla stabilità delle strutture elettroniche dei gas nobili, ma manca naturalmente di un'interpretazione fisica vera e propria del perché le strutture dei gas nobili sono stabili. Un'altra limitazione di questa regola risiede nel fatto che essa può spiegare direttamente un numero relativamente limitato di molecole mentre non può interpretare correttamente tutta una serie di altri legami come quelli della molecola Li_2 e C_2 o del CO (*vedi Nota 2 in fine capitolo*) o l'inesistenza della molecola Be_2 . Inoltre non è in grado di prevedere la formazione di legami con gli orbitali d la cui esistenza è molto importante per spiegare molecole biologiche come l'emoglobina o la clorofilla o l'azione di reattivi largamente usati in chimica come l'E.D.T.A. Per queste ragioni con l'avvento della meccanica quantistica verso la fine degli anni 20 questa regola dell'ottetto venne abbandonata come spiegazione fisica, se mai lo è stata, della formazione del legame chimico pur rimanendo invece come ottima metafora per interpretare meccanismi di reazione di tipo acido-base e per molti meccanismi di reazione in chimica organica.

L'idea alternativa di spiegazione del legame chimico e della sua conseguenza nel formare la struttura delle molecole è quella di introdurre il concetto di orbitale. Questo concetto, quando è introdotto nell'insegnamento secondario, è riferito in genere all'atomo dell'idrogeno e agli altri atomi polielettronici associandolo ai vari livelli energetici ma non è in generale mai esteso, come orbitale molecolare, alle molecole più semplici spiegando la sua azione essenziale nella formazione del legame chimico. In effetti gli orbitali molecolari esistono in due forme: una di tipo legante, in cui gli elettroni si trovano soprattutto tra i due nuclei atomici e una antilegante in cui gli elettroni si trovano soprattutto all'esterno della zona tra i due

nuclei. Nell'orbitale legante gli elettroni tra i due nuclei fanno da schermo alla forza di repulsione tra i nuclei e contribuiscono a trattenerli vicini per formare il legame chimico (*vedi Nota 3 fine paragrafo*). Nell'orbitale antilegante avviene invece il contrario e si favorisce la forza di repulsione tra i due nuclei. Gli elettroni di valenza disponibili per il legame si dispongono quindi negli orbitali molecolari leganti ed antileganti disponibili seguendo il ben noto Principio di esclusione di Pauli e la regola di Hund e la formazione di un legame avviene solo quando il numero di elettroni negli orbitali leganti supera quello negli orbitali antileganti creando una forza di attrazione che mantiene vicini i due nuclei. Si può quindi sulla base di questo introdurre il concetto di ordine di legame e la conseguente nuova interpretazione del concetto di valenza. Questa spiegazione fisica della formazione del legame chimico è molto più generale del concetto di compartecipazione degli elettroni e raggiungimento delle strutture a ottetto e vale per qualsiasi tipo di legame chimico, compresi quelli originati dagli orbitali d. Anche qui, nel caso di legami eteronucleari, bisogna introdurre il concetto di elettronegatività che crea uno spostamento degli elettroni verso l'atomo più elettronegativo generando una polarità nella molecola. In questo modello il legame ionico può essere visto come un caso limite del legame polare in cui la differenza di elettronegatività è così grande che gli elettroni trovano una situazione più stabile posizionandosi negli orbitali atomici invece che molecolari e generando ioni di carica opposta che per attrazione formano comunque un legame. Infine, poiché gli orbitali molecolari hanno una loro forma particolare, da questa scaturiscono le varie strutture delle molecole in cui la disposizione spaziale degli elettroni negli orbitali leganti mantengono le posizioni dei nuclei mentre la forma degli orbitali leganti ne determina la loro struttura.

La realizzazione dell'insegnamento di questa alternativa al modello a gusci e alla regola dell'ottetto necessita un importante lavoro di trasformazione di sapere scientifico in sapere didattico adatto al livello scolastico preso in considerazione. Come sorgente del sapere scientifico abbiamo usato due libri ben conosciuti nel campo della chimica fisica (*McQuarrie, Simon 2000*) e della meccanica quantistica molecolare (*Atkins, Friedman 2000*). Nel trasferimento dei vari concetti in sapere didattico sono stati utili anche alcuni libri divulgativi nel campo della meccanica quantistica in particolare il libro del Prof. Albert sulla relazione tra meccanica quantistica e senso comune (*Albert 2000*) come pure il libro del Prof. Licata sulla realtà virtuale della meccanica quantistica (*Licata 2003*).

Nota 2. Per spiegare la molecola del CO secondo la regola dell'ottetto è necessario introdurre un nuovo tipo di legame detto dativo che porta a una struttura $C \equiv O:$ in cui uno dei legami tra C e O è indicato con una freccia per giustificare l'apporto di due elettroni da O. Dal punto di vista dello stato di ossidazione O è considerato -2 mentre C è necessariamente +2 e la molecola potrebbe essere indicata da questo punto di vista come C=O (ammettendo una seconda valenza 2 per C invece che solo 4). Dal punto di vista degli orbitali molecolari l'ordine di legame che risulta è 1 e la molecola può essere indicata come C-O. Questo semplice esempio mostra come, in assenza di vere

e proprie interpretazioni fisiche del legame chimico questo possa portare a differenti rappresentazioni per uno stesso legame.

Nota 4. Dal punto di vista della meccanica quantistica l'effetto di legame tra due nuclei è puramente quantistico e non determinato dalle forze elettrostatiche, tuttavia, a livello didattico è utile usare la metafora delle forze elettrostatiche che è sicuramente più comprensibile e in grado di spiegare in larga parte i vari aspetti del legame chimico.

6.2. Le basi della progettazione didattica sul legame chimico

Nella progettazione didattica di lezioni sul legame chimico sulla base dei principi espressi nel precedente capitolo risulta fondamentale il concetto di orbitale sia nel suo aspetto di orbitale atomico che molecolare. Occorre quindi da una parte dare una definizione operativa sufficientemente dettagliata da poter essere usata per le spiegazioni previste e d'altra parte sufficientemente accessibile per gli allievi. Sovente nelle spiegazioni su cosa consiste un orbitale si parla di nuvola elettronica o più specificatamente di densità di carica elettronica. Questa visione dell'orbitale, che è stata tra l'altro quella stessa di Schrödinger al momento dell'elaborazione della sua equazione fondamentale per la meccanica quantistica, è stata criticata qualche anno dopo da Born per ragioni teoriche e sostituita con un'interpretazione probabilistica che è quella che ora è comunemente accettata. D'altra parte l'infondatezza della visione dell'orbitale come densità di carica elettronica è stata dimostrata anche sperimentalmente (Licata 2003) nell'esperienza della griglia a potenziale negativo (vedi Nota 4 fine capitolo). Bisogna comunque dire che la metafora dell'orbitale come nuvola di densità elettronica è tuttora usata, volendo evitare l'impiego del concetto di probabilità, poiché ha comunque una certa validità nella spiegazione di molti fenomeni. Nel lavoro di sviluppo del sapere didattico sull'orbitale si è alla fine scelto la soluzione di usare l'interpretazione probabilistica, che, se da una parte può apparire più complessa, è quella più aderente alla realtà ed evita che si introduca la visione dell'orbitale come una specie di oggetto reale delimitato nello spazio (vedi Nota 5 fine capitolo).

Un'altra scelta fondamentale di questa progettazione didattica è stata quella di prendere in considerazione l'equazione di Schrödinger per dare un'idea di come si è arrivati al concetto di orbitale. L'equazione di Schrödinger è un'equazione matematicamente molto complessa (tecnicamente è un'equazione differenziale a derivate parziali) che contiene un operatore matematico chiamato Hamiltoniano che a sua volta è strutturato in funzione del sistema fisico che si vuole descrivere con questa equazione. L'importanza fondamentale di questa equazione sta nel suo ruolo in meccanica quantistica, che è analogo a quello delle equazioni di Newton per la meccanica classica, e nel fatto che ne costituisce uno dei postulati fondamentali. L'equazione di Schrödinger, nella sua forma indipendente dal tempo, è poi fondamentale nel descrivere, attraverso le interazioni esistenti tra nuclei ed elettroni, gli atomi e le molecole e, anche se nella maggior parte dei casi è possibile avere solo

soluzioni approssimate, essa rimane comunque il riferimento fisico di eccellenza per questi studi. Esaminando vantaggi e inconvenienti sull'uso di questa equazione a livello didattico si è deciso di provare a insegnarla dandone una presentazione di natura metaforica spiegando a grandi linee cosa serve e come si usa. L'inconveniente negli allievi risiede naturalmente nell'inaccessibilità matematica ma anche nel fatto nuovo che questa equazione non ha come soluzioni dei valori numerici ma piuttosto delle funzioni matematiche accompagnate ognuna da valori precisi di energia. Si è ricorso allora alla possibilità di realizzare una proiezione metaforica tra le equazioni della meccanica classica, che gli allievi conoscono, e quella quantistica dando così un significato fisico alle interazioni tra nuclei ed elettroni, descritte dall'equazione di Schrödinger (bersaglio), e quelle ad esempio tra sole e pianeti descritte dalle equazioni che conoscono (sorgente). Questo significato fisico è importante poiché l'equazione di Schrödinger prevede la formazione di atomi e molecole sulla base dei nuclei e degli elettroni come metaforicamente le leggi della gravità e della meccanica prevedono la formazione del sistema solare. La grande differenza in effetti risiede nel fatto che mentre le equazioni della meccanica classica sono in grado di dare indicazioni precise di dove si può trovare un pianeta attorno al sole, in meccanica quantistica l'equazione di Schrödinger è in grado solo di fornirci la probabilità di trovare una particella come l'elettrone, nelle varie posizioni che ci sono nello spazio attorno al nucleo.

Nota 4. L'esperienza citata consiste nel lanciare un elettrone con una certa energia cinetica contro una griglia a potenziale negativo con un rivelatore situato dall'altra parte. A seconda dell'energia l'elettrone potrà passare o essere riflesso. Se la sua funzione d'onda rappresentasse una densità di carica il rivelatore dovrebbe segnalare la frazione di carica il che non avviene ma segnala esclusivamente la presenza o no dell'elettrone.

Nota 5. Accettando l'interpretazione probabilistica per l'orbitale significa nei fatti usare come sapere scientifico l'interpretazione ortodossa della meccanica quantistica, detta anche della Scuola di Copenhagen. Essa costituisce in effetti il miglior modello attualmente disponibile per interpretare le esperienze in questo campo e per questo comunemente insegnato a livello universitario.

6.3. Percorso didattico delle lezioni sul legame chimico

Le lezioni sul legame chimico sono state sviluppate nel quadro di un ciclo di lezioni riguardanti la struttura delle molecole destinata a una classe non scientifica di seconda liceo. Questa classe aveva già avuto lezioni sulla struttura elettronica degli atomi e del legame chimico con la regola dell'ottetto secondo il programma tradizionale. L'obiettivo del percorso era quello di arrivare a spiegare la struttura delle molecole usando una concezione più avanzata del legame chimico attraverso il comportamento quantistico degli elettroni. La spiegazione del legame chimico ha richiesto un totale di tre lezioni di due ore, la prima dedicata agli aspetti elementari della meccanica quantistica, la seconda sugli orbitali atomici e molecolari e la terza sulla formazione di molecole semplici biatomiche omonucleari ed eteronucleari. A questo punto in una quarta lezione è stato fatto un test basato su un questionario e una serie di domande ed esercizi su questi argomenti per avere un'idea del livello di comprensione raggiunto dagli allievi e della loro percezione sull'utilità delle metafore per comprendere i vari concetti esposti. Il percorso didattico è presentato schematicamente nelle Fig. 3 e 4 e descritto in dettaglio qui di seguito:

Differenza di comportamento tra corpi macroscopici e particelle

Questa introduzione è fondamentale per far comprendere vari concetti legati alla meccanica quantistica. Il comportamento di oggetti macroscopici è utilizzato come metafora per spiegare il comportamento di oggetti molto piccoli come nuclei o elettroni (particelle) presentandone allo stesso tempo le differenze. Nella Fig. 5 è riportata una rappresentazione usata che riguarda le differenze tra un treno o un pallone in movimento rispetto all'elettrone mentre nella Fig. 6 è riportata la differenza di comportamento tra pulci o elettroni confinati in una buca come rappresentazione dell'effetto tunnel e antitunnel. (*vedi Nota 6 fine paragrafo*)

Concetto di probabilità e sua misura

Tutti gli allievi hanno un concetto almeno qualitativo di probabilità. In questo caso è importante che comprendano che la probabilità può essere misurata e assumere dei particolari valori cosa che è presentata attraverso semplici esempi come il lancio di una moneta o dado.

Richiamo alle leggi della meccanica classica e dell'elettromagnetismo

Vengono richiamate equazioni semplici come quelle dell'energia cinetica e dell'energia potenziale come anche elementi molto semplici dell'elettromagnetismo (forze di attrazione tra cariche opposte e di repulsione tra cariche uguali e un'idea elementare del fenomeno della polarizzazione). Anche qui l'idea è di presentare equazioni che conoscono già per i corpi macroscopici e che si potrebbero utilizzare anche per nuclei ed elettroni che sono particelle fornite di massa e carica elettrica per quanto piccola ma che non è possibile farlo per la differenza di comportamento.

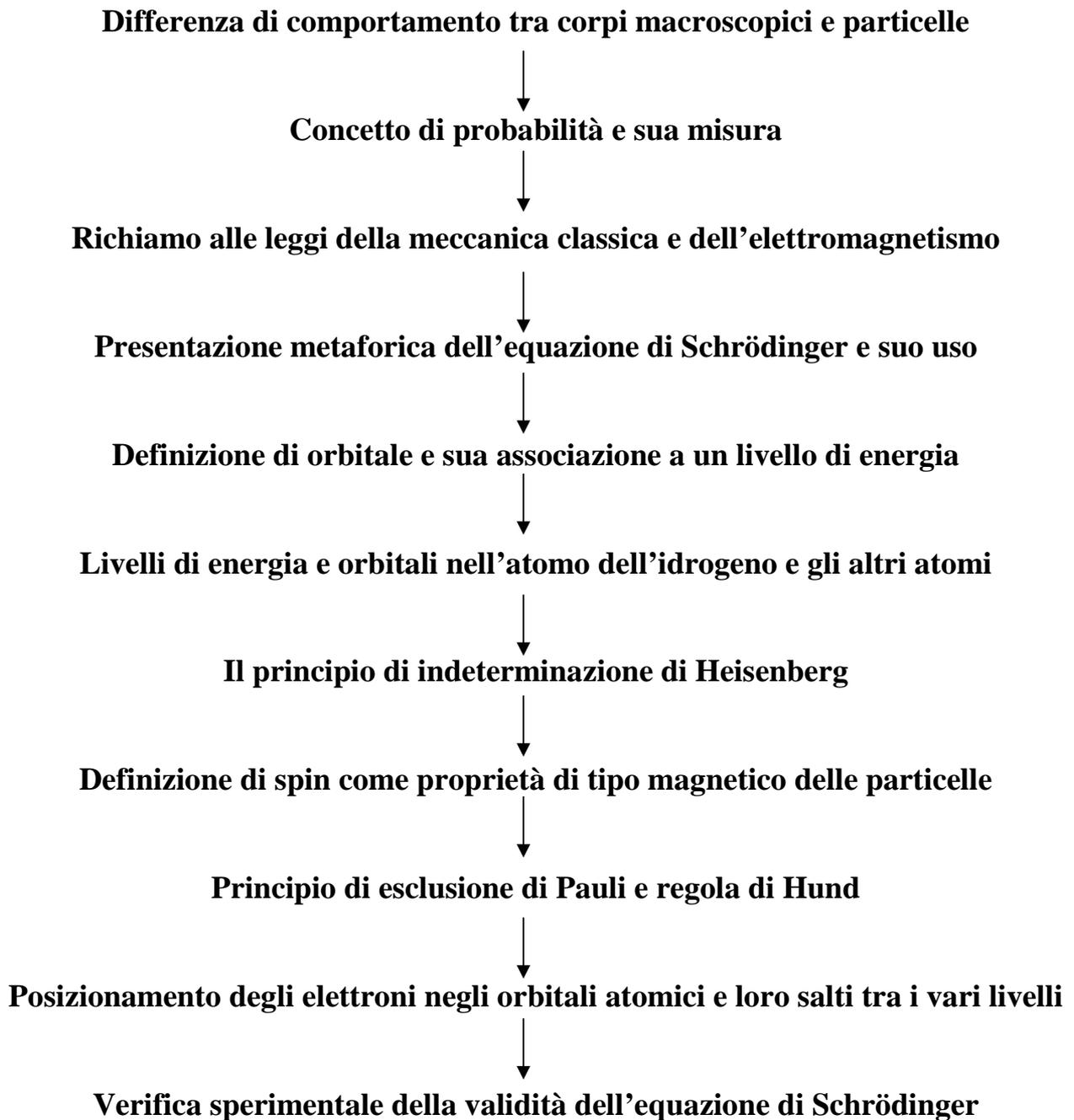


Fig. 3. Percorso didattico delle lezioni sul legame chimico (prima parte)

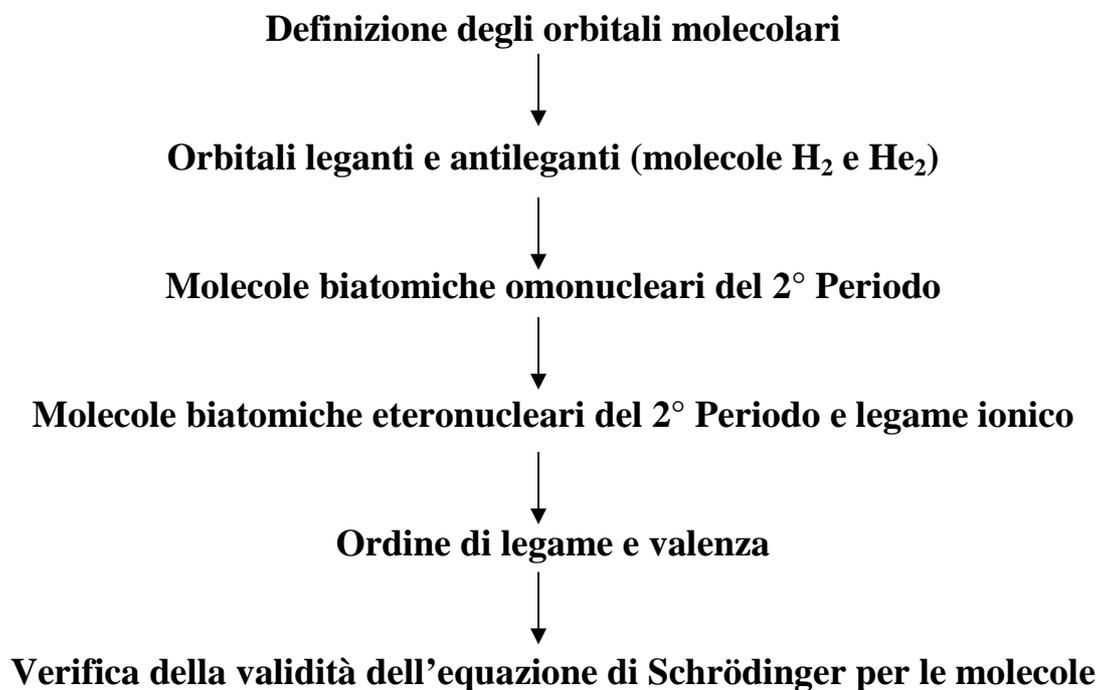


Fig. 4. Percorso didattico delle lezioni sul legame chimico (seconda parte)

DIFFERENZA TRA OGGETTI MACROSCOPICI E OGGETTI DI DIMENSIONI ATOMICHE

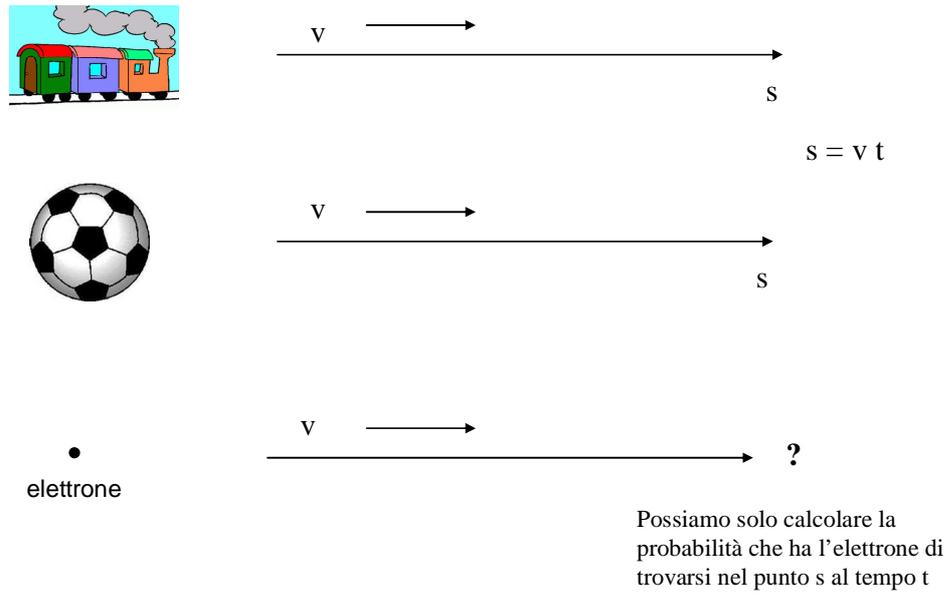


Fig. 5. Differenza tra oggetti macroscopici e particelle

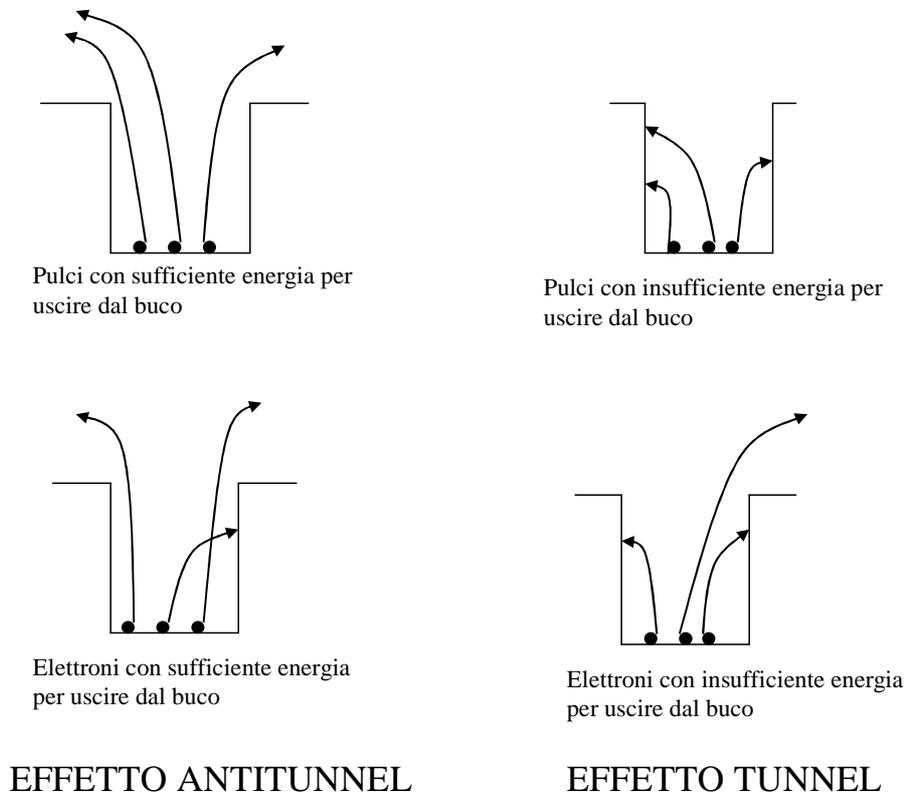


Fig. 6. Effetto tunnel e antitunnel

Presentazione metaforica dell'equazione di Schrödinger

In alternativa alle equazioni della meccanica classica per le particelle occorre usare un'equazione molto complessa, chiamata equazione di Schrödinger. Quando è applicata per trovare il comportamento dei nuclei e degli elettroni negli atomi e nelle molecole essa si presenta in questo modo:

$$\mathcal{H}\psi = E.\psi$$

Dove \mathcal{H} è un complesso operatore matematico chiamato hamiltoniano che agisce sulla funzione ψ , detta funzione d'onda, ed E è l'energia del sistema. Questa equazione possiede in genere varie soluzioni ognuna caratterizzata da una particolare funzione ψ a cui corrisponde un valore preciso di E . Per gli atomi e le molecole E rappresenta i valori possibili di energia che possiede l'elettrone mentre le ψ corrispondenti permettono di calcolare la probabilità di trovare l'elettrone, che ha il corrispondente valore di energia alle varie distanze dai nuclei. In altre parole E rappresenta un valore dell'energia della particella come si ha nelle equazioni della meccanica classica mentre la funzione ψ assume il ruolo di dare la posizione sostituendo però al valore preciso delle coordinate calcolabile in meccanica classica un valore probabilistico. Prendendo ora in considerazione una presentazione metaforica di questa equazione, non è possibile avere una metafora basata su una sorgente concreta e occorre quindi ricorrere alle conoscenze matematiche degli allievi che conoscono in generale il concetto di funzione $f(x)$ e anche implicitamente quello di operatore matematico come $x, \sqrt{\quad}, \log$, ecc. da cui si possono comprendere operatori anche più particolari come ad esempio "moltiplica $f(x)$ per a e poi aggiungi b " da cui comprendere metaforicamente come funziona un operatore complesso come l'hamiltoniano senza doverlo esplicitare. Il secondo passo è di comprendere la natura di ψ che è esprimibile rispetto a delle coordinate spaziali (x,y,z) che conoscono e da cui è possibile ricavare il valore della probabilità di trovare l'elettrone a una certa distanza dal nucleo. L'ultimo passo consiste nello spiegare che la soluzione dell'equazione non è un valore ma la forma della funzione ψ a cui è associato un valore di E , e infine che non esiste una sola soluzione ma un insieme di possibili soluzioni ψ_1, ψ_2, ψ_3 , ecc. ognuna associata con un valore E_1, E_2, E_3 , ecc. Questi ultimi costituiscono i livelli di energia permessi per gli elettroni a ognuno dei quali è associata una funzione ψ che ci dice quale è la probabilità di trovarli a una certa distanza dal nucleo.

Definizione di orbitale e sua associazione a un livello di energia

Una volta definito il funzionamento dell'equazione di Schrödinger, l'orbitale viene introdotto in questo modo: prendiamo in considerazione tutti i punti dello spazio che sono attorno al nucleo e in cui vi è una probabilità di trovare l'elettrone superiore o uguale, ad esempio, al 90%, e questo per una particolare funzione ψ con il suo il corrispondente livello di energia E , allora, l'insieme di questi punti costituisce la forma dell'orbitale. Nei casi più semplici esso è costituito da una sfera con al centro il nucleo ma in altri casi può assumere forme più complesse. Per far comprendere

meglio questo concetto si è ricorso alla metafora delle auto targate TI. Considerando metaforicamente Bellinzona come centro (nucleo), la probabilità di trovare un'auto targata TI è molto elevata entro i confini del Cantone (metafora dell'orbitale) mentre diventa sempre meno probabile quando ci si allontana dai confini. Inoltre, per sottolineare l'aspetto puramente matematico e non di oggetto dell'orbitale si può parlare dei suoi contorni come metaforicamente dei confini (esistenti ma immateriali) che ci sono sul Lago Maggiore o sul Lago di Lugano tra Italia e Svizzera. Infine, per giustificare il nome di funzione d'onda, data alla funzione si presenta, attraverso la Fig. 7, la variazione della probabilità di trovare l'elettrone ad esempio all'interno di un orbitale sferico s con livelli di energia crescenti che si presenta con creste e avvallamenti come in un'onda.

Livelli di energia e orbitali dell'atomo di idrogeno e gli altri atomi

A questo punto si può introdurre gli orbitali e i livelli di energia caratteristici dell'atomo di idrogeno e degli atomi superiori come risultato dell'applicazione dell'equazione di Schrödinger all'atomo costituito da un nucleo con un solo protone e da un solo elettrone per l'idrogeno, e da nuclei con più protoni e da più elettroni per gli altri atomi.

Principio di indeterminazione di Heisenberg

Questo principio fondamentale della meccanica quantistica non è introdotto nella sua forma tradizionale usando posizione e quantità di moto ma in forma qualitativa applicato a posizione ed energia dell'elettrone nell'atomo come illustrato nella Fig. 8.

Definizione di spin come proprietà di tipo magnetico delle particelle

Lo spin è introdotto come una proprietà del nucleo o dell'elettrone che non esiste per i corpi macroscopici anche se è in relazione con le loro proprietà magnetiche. Esso ha una direzione come l'ago di una bussola ma può assumere solo due direzioni opposte \uparrow o \downarrow , tuttavia si sottolinea che non è come un ago della bussola infatti la direzione di spin delle particelle può essere invertita con speciali campi magnetici ma occorre ruotarli di 360° mentre in una bussola basta ruotare il campo magnetico di 180° .

Principio di esclusione di Pauli e regola di Hund

A questo punto si è in grado di introdurre il principio di esclusione di Pauli e la regola di Hund e procedere con queste regole alla disposizione degli elettroni nello stato normale dell'atomo di idrogeno e negli altri atomi, sottolineando che se noi forniamo energia agli elettroni, eccitandoli secondo vari modi, essi possono assorbire solo l'energia per saltare verso qualcuno dei livelli più alti. Per i livelli energetici degli elettroni si è usato sovente la metafora dei piani di un edificio, anche se le altezze tra due piani non sono sempre le stesse.

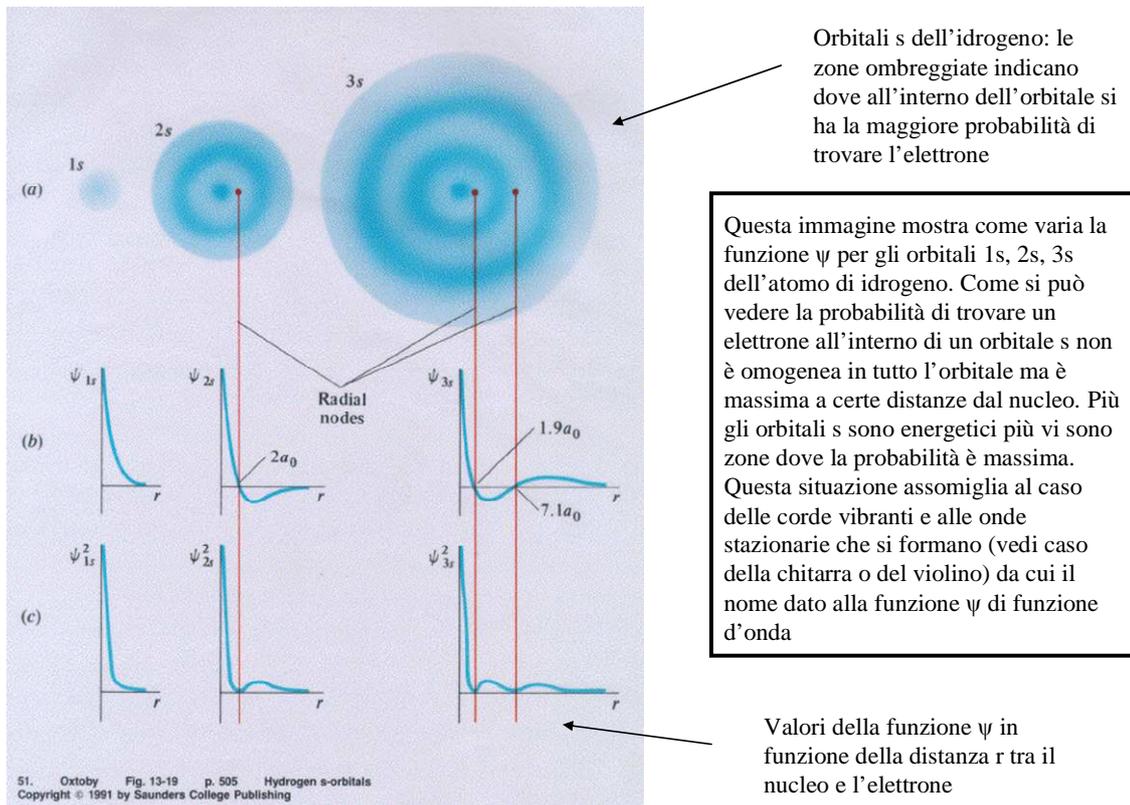
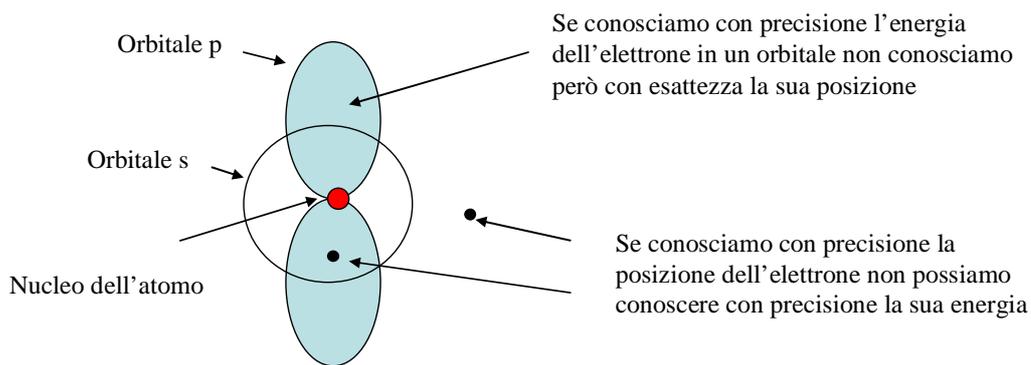


Fig. 7. Giustificazione del nome di “funzione d’onda” per ψ

IL PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE DI HEISENBERG



Il fatto che non possiamo conoscere contemporaneamente con precisione la posizione e l'energia di una particella, nel nostro caso un elettrone, è quanto stabilito dal cosiddetto PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE DI HEISENBERG

Fig. 8. Presentazione del principio di indeterminazione di Heisenberg

Verifica sperimentale della validità dell'equazione di Schrödinger

Si discute qui l'ottimo accordo dei valori dei livelli energetici calcolati con l'equazione di Schrödinger e quelli determinati attraverso misure spettroscopiche. Si spiega qui come la luce, i raggi UV, i raggi X, ecc. possano essere visti come un insieme numerosissimo di pacchetti di energia (fotoni) che vibrano con frequenze molto alte e che tanto più la frequenza è alta tanto più energia è contenuta nel pacchetto. Si spiega poi che se si eccitano gli elettroni questi saltano su a dei livelli più alti ma poi ritornano ai livelli normali dettati dal principio di Pauli e la regola di Hund rilasciando la differenza di energia tra i livelli sotto forma di fotoni. La frequenza di questi fotoni può essere misurata in un apparecchio chiamato spettroscopio e risalire quindi alle differenze di energia dei vari livelli. La metafora usata in questo caso richiama sempre l'edificio con un ascensore. La ricostruzione dei vari livelli di energia di un atomo è metaforicamente comparabile come il ricostruire il numero di piani e la loro distanza in un edificio misurando la durata dei movimenti degli ascensori. Questa spiegazione è stata poi anche confortata da esperienze di laboratorio sulla colorazione della fiamma Bunsen ottenuta con vari sali metallici.

Definizione degli orbitali molecolari

Nella definizione degli orbitali molecolari si sottolinea il fatto che l'equazione di Schrödinger si può applicare non solo agli atomi ma anche alle molecole, tenendo conto del fatto che esse sono costituite da almeno due nuclei e due o più elettroni. Risolvendo l'equazione avremo anche in questo caso varie funzioni ψ da cui ricavare vari tipi di orbitali e a cui corrispondono, come negli atomi, vari livelli energetici.

Orbitali leganti e antileganti

Si spiega qui che gli orbitali molecolari possono essere due tipi (orbitali leganti e antileganti) illustrando i risultati dell'applicazione dell'equazione a due semplici molecole H_2 (che esiste) e He_2 (che non si forma). Si spiega quindi la differenza tra i due tipi di orbitali: in quello legante gli elettroni hanno un'elevata probabilità di trovarsi tra i due nuclei creando forze elettrostatiche di attrazione che tengono vicini i nuclei mentre in quello antilegante gli elettroni sono all'esterno dei nuclei lasciandoli liberi di respingersi elettrostaticamente. Inoltre si spiega che se gli elettroni sono presenti sia in un orbitale legante o antilegante l'effetto repulsivo dell'orbitale antilegante annulla l'effetto attrattivo dell'orbitale legante e la molecola non si forma.

Molecole biatomiche omonucleari del 2° Periodo

Le molecole biatomiche omonucleari del 2° periodo della Tabella degli elementi sono le molecole più semplici da trattare dopo H_2 e He_2 . In questo caso gli orbitali atomici che entrano in gioco, detti orbitali di valenza, sono 8 formando 4 orbitali molecolari leganti e 4 antileganti i cui livelli energetici variano passando dal Li al Ne. Gli elettroni si dispongono negli orbitali molecolari secondo il principio di Pauli e la regola di Hund e la molecola si forma se il numero di elettroni negli orbitali leganti supera il numero di elettroni negli orbitali antileganti. In questo modo si è spiegata

l'esistenza della molecola Li_2 , la non esistenza della molecola Be_2 , l'esistenza delle molecole N_2 , O_2 , F_2 ma non della molecola Ne_2 .

Molecole biatomiche eteronucleari del 2° Periodo e legame ionico

Viene qui spiegato il caso della molecola HF e quindi introdotto il concetto di elettronegatività degli elementi che spiega il fatto che gli elettroni negli orbitali leganti tendono a spostarsi verso il nucleo dell'atomo più elettronegativa creando una polarità nella molecola. Se la differenza di elettronegatività è molto alta lo spostamento è così forte che in pratica gli elettroni vengono attratti negli orbitali atomici dell'atomo più elettronegativo mentre gli orbitali atomici dell'altro atomo perdono questi elettroni. I due atomi prendono allora delle cariche elettriche opposte diventando degli ioni, la forza di attrazione elettrostatica tra i due ioni genera un legame chiamato legame ionico come si può avere nel caso di LiF.

Ordine di legame e valenza

Viene qui introdotto il concetto di ordine di legame ($\frac{1}{2}$ della differenza tra il numero di elettroni negli orbitali leganti meno il numero negli orbitali antileganti) e il concetto di valenza derivato in questo modo e quindi la sua rappresentazione della molecola con dei trattini che indicano l'ordine di legame che esiste tra i due atomi.

Verifica della validità dell'equazione di Schrödinger per le molecole

Come negli atomi anche nelle molecole gli elettroni negli orbitali molecolari possono essere eccitati, saltare a livelli più elevati di energia e ritornare emettendo fotoni misurabili con uno spettroscopio. Anche qui i livelli di energia previsti attraverso l'equazione di Schrödinger corrispondono bene a quelli misurati. Un altro aspetto della validità dell'equazione è nella previsione della distanza tra due nuclei che corrisponde a quella che può essere misurata sperimentalmente usando ad esempio i raggi X.

Nota 6. Tipicamente la meccanica quantistica è introdotta a livello universitario a partire dai fenomeni storicamente inspiegabili con la fisica classica (corpo nero, effetto fotoelettrico, ecc.) oppure direttamente a partire dai suoi postulati. Ambedue gli approcci non sono naturalmente adatti al nostro caso, il primo si riferisce a fenomeni che interessano tipicamente la fisica mentre il secondo è inaccessibile matematicamente e concettualmente. Si è optato qui per una metafora basata su esempi di differenze tra i due comportamenti meccanici (corpi macroscopici e particelle) che sono collegate ad argomenti di meccanica quantistica che interessano la chimica cercando di far capire la nuova meccanica per differenza dalla meccanica classica che già conoscono. Questo approccio metaforico in cui si introducono anche differenze tra sorgente e bersaglio è tipico di molte proiezioni metaforiche che costruiscono nuovi concetti e Lakoff ad esempio spiega così la nascita del concetto di continuità della geometria (infiniti punti in un segmento) a partire da oggetti distinti tra i quali si eliminano i varchi (Lakoff, Nùñez 2000).

6.4. Questionari e test usati per le verifiche

Le verifiche fatte avevano un duplice obiettivo di valutare l'interesse delle metafore concettuali nell'insegnamento e il grado di comprensione raggiunto dagli allievi sugli argomenti svolti. Riguardo le metafore già alla fine della prima lezione si è proposto agli allievi di elaborare loro stessi alcune metafore sulla base di concetti e metafore usate nella lezione. Poiché il lavoro di immaginazione di nuove metafore richiede una buona dose di creatività, esso è stato proposto su base volontaria ed accettato da quattro allievi. Le loro metafore con i concetti corrispondenti sono riportate nell'Allegato 1. Alla fine del ciclo di lezioni è stato quindi elaborato un questionario riguardante le metafore e un test riguardante la comprensione dei concetti spiegati.

Questionario

Il questionario elaborato per le metafore è riportato nell'Allegato 2. Esso si compone di una prima parte che riguarda l'abilità degli allievi a riconoscere la miglior metafora per esprimere vari concetti. Una seconda parte riguardante un giudizio da parte degli allievi sull'utilità delle metafore usate nelle lezioni nella comprensione dei vari concetti e una terza parte riguardante un giudizio degli allievi sulla difficoltà nella comprensione dei concetti spiegati nelle lezioni. Vi era infine la possibilità alla fine del questionario di scrivere alcune osservazioni generali sulle lezioni. Per ogni concetto sono state elaborate tre metafore mai usate durante le lezioni, una poteva considerarsi corretta, un'altra meno corretta e la terza poco corretta. Il tempo dato per riempire il questionario è stato di 20 minuti circa.

Test

Il test comprendeva un totale di 6 quesiti e un tempo disponibile di circa 60 minuti ed è riportato nell'Allegato 3. Vi era un primo quesito su un semplice calcolo delle probabilità, un secondo quesito sulle ragioni dell'esistenza dell'effetto tunnel, un esercizio di tipo matematico metafora dell'equazione di Schrödinger, un esercizio su probabilità e orbitali molecolari e due esercizi rispettivamente sulla spiegazione della molecola C_2 e del CO con la teoria degli orbitali molecolari. Queste due molecole non erano mai state illustrate nelle lezioni date.

6.5. Risultati ottenuti

Prima di tutto riportiamo le metafore elaborate dagli allievi riportate nell'allegato alla fine della prima lezione su vari concetti come segue.

1. Le molecole, che costituiscono la materia, possono essere considerate degli "oggetti" contenenti un certo numero di atomi, eventualmente differenti e messi assieme in varie forme. Esse si possono paragonare a delle costruzioni di LEGO i cui mattoni costituiscono gli atomi. Provate a descrivere un altro valido paragone.
 - a. *Mattoni (atomi) per costruire una casa*
 - b. *Le molecole potrebbero essere costruzioni di geomag le cui barrette costituiscono gli atomi*
 - c. *Esse si possono paragonare a degli edifici i cui mattoni costituiscono gli atomi*
 - d. *Essi si possono paragonare a dei muri di pietra, le singole pietre costituiscono gli atomi*
 - e. *Una casa fatta di mattoni (anche in questo caso: mattoni coincide con atomi)*
 - f. *Una scatola di piselli e carote (piselli e carote costituiscono i differenti atomi)*

2. La probabilità può essere considerata una grandezza che può essere misurata attraverso la verifica di eventi. Ad esempio se si getta una moneta con una faccia con una croce e l'altra una testa, facendo un numero elevato di tiri la probabilità che esca testa o croce è in ambedue i casi del 50%. Nel caso di un dado con 6 facce analogamente la probabilità che esca una faccia prestabilita dopo un gran numero di tiri è di $1/6$. Trovate altri casi in cui è possibile misurare la probabilità.
 - a. *Tre bicchieri sono girati sul tavolo, in modo da non vedere il contenuto sotto uno di questi bicchieri c'è una pallina. La probabilità che indovini sotto quale bicchiere è posta la pallina è di $1/3$*
 - b. *Mi viene posta una domanda con quattro risposte possibili. Ho il 25% delle possibilità che la risposta che ho scelto sia giusta*
 - c. *In un sacchetto della tombola le possibilità che esca un dato numero sono $1/90$*
 - d. *In un mazzo di carte da scala quaranta, le possibilità di pescare un jolly sono $4/108 = 1/27$*
 - e. *Le possibilità di vincere all'Euromillion sono una su 76 milioni*
 - f. *La probabilità che estraendo a caso una carta da un mazzo di carte da scopa esca un asse è di $4/40 = 1/10$ o 10%*
 - g. *La possibilità che un figlio nasca maschio è del 50 % (dallo schema di combinazione dei cromosomi XX e XY)*

3. Se le pulci fossero come gli elettroni, per l'effetto tunnel, alcune di esse riuscirebbero a uscirne anche se nessuna ha l'energia per fare un salto sufficientemente alto. Trovate qualche altro esempio di effetto tunnel simile a quello delle pulci.

- a. *Se gli atleti fossero come gli elettroni e l'effetto tunnel la sbarra del salto in alto, se la sbarra è posta troppo in alto nessuno riuscirebbe a saltare sufficientemente ma se comincio ad abbassarla più atleti riuscirebbero a superarla*
 - b. *Se gli elettroni fossero come le bolle di sapone per l'effetto tunnel riuscirebbero ad andare per molto tempo verso l'alto, le altre scoppierebbero prima*
 - c. *E' come l'acqua che esce dal rubinetto, può capitare che qualche goccia fuoriesca dalla vaschetta dopo aver avuto un impatto con quest'ultima*
4. I livelli energetici dell'elettrone dell'atomo di idrogeno possono essere paragonati a l'energia potenziale di oggetti che si trovano a differenti piani di un edificio. Più sono in alto più energia hanno ma l'altezza dei piani fissa il valore dell'energia potenziale che hanno. Trovate un altro esempio simile per spiegare come sono questi livelli.
(nessuna metafora elaborata)
5. Parlare di orbitali atomici è come parlare di una zona di spazio in cui è molto probabile trovare un elettrone. La situazione è simile alla probabilità di trovare un'auto targata TI immaginando che Bellinzona sia come il nucleo atomico. Se uscite dal Ticino la probabilità di trovare un'auto targata TI diminuisce molto man mano che vi allontanate. Provate a trovare un altro caso simile in grado di simulare la situazione di un orbitale.
- a. *Gli orbitali potrebbero essere paragonati a un formicaio. Al suo interno è molto probabile trovare delle formiche, allontanandosi si disperdono*
 - b. *Più ci si allontana dalla Svizzera più diminuisce la probabilità di trovare uno svizzero*
6. Le misure spettroscopiche riescono a ricostruire i vari livelli energetici degli orbitali che ci sono attorno ad un atomo. Il problema è un po' come ricostruire l'altezza e il numero di piani di un alto edificio registrando il movimento degli ascensori e misurandone il tempo di salita o discesa. Provate a trovare un altro esempio simile.
- a. *E' come buttare uno stesso oggetto di massa conosciuta da differenti piani. Misurandone l'energia si può capire a che altezza si trovava*

Queste metafore sono poi state discusse in classe riguardo la loro validità per i concetti presi in considerazione.

Riguardo alle risposte del questionario quelle ottenute per la prima parte sono riassunte nella Fig. 9 dove è riportato il numero di allievi che hanno scelto una particolare metafora, più o meno corretta, secondo il concetto specificato.

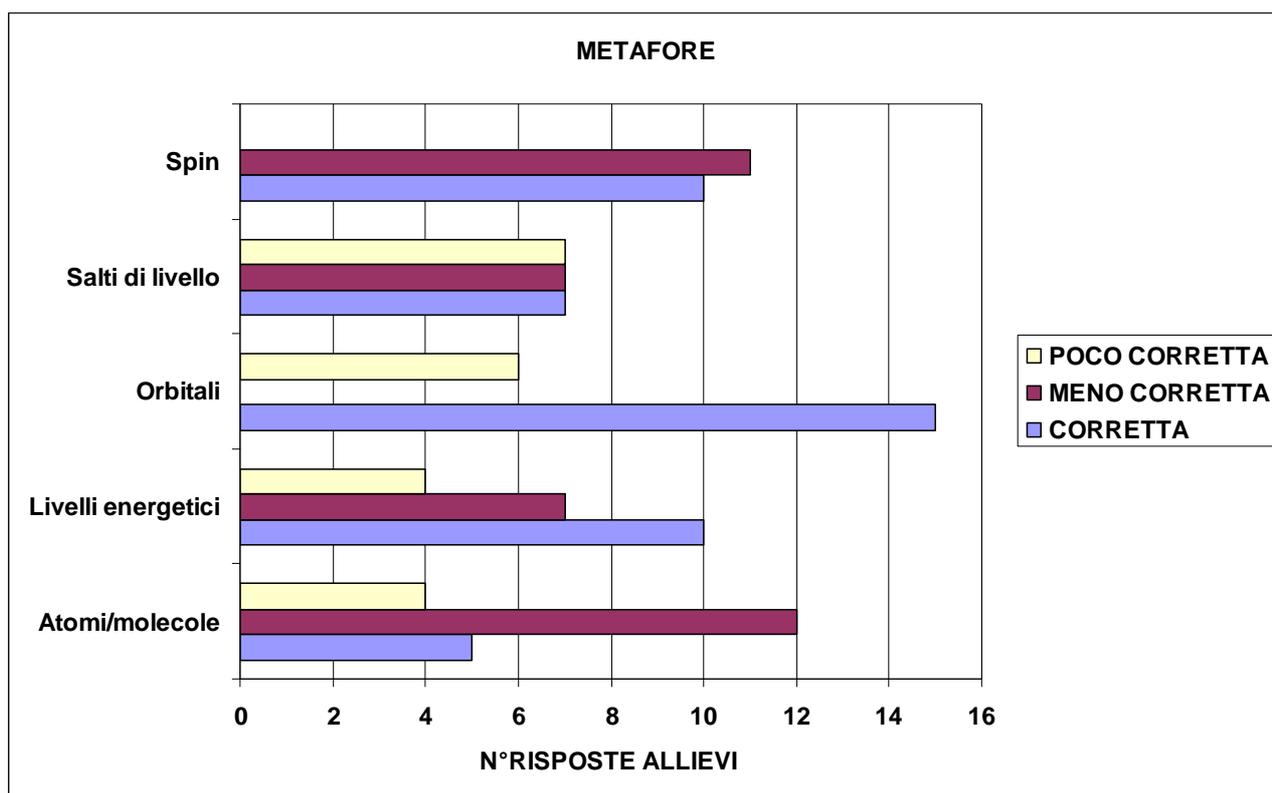


Fig. 9. Risposte degli allievi alle metafore proposte per i vari concetti

Per quanto riguarda la seconda parte sull'utilità delle metafore le risposte degli allievi per i vari concetti sono riassunte nella Fig. 10. Per la terza parte riguardante la difficoltà dei vari concetti le risposte sono riassunte nella Fig. 11.

Riportiamo infine qui di seguito le osservazioni fatte da alcuni allievi nel questionario sulle metafore e le lezioni:

- Il questionario è piuttosto ambiguo, in classe sarebbe più utile approfondire certi argomenti
- Fare esercizi di comprensione e qualche domanda per vedere se si ha capito
- Dovremmo fare più esercizi e più esempi su questi argomenti
- Migliorare le metafore

Infine per quello che riguarda i risultati del test è stata fatta una valutazione criteriale prendendo in considerazione i seguenti argomenti:

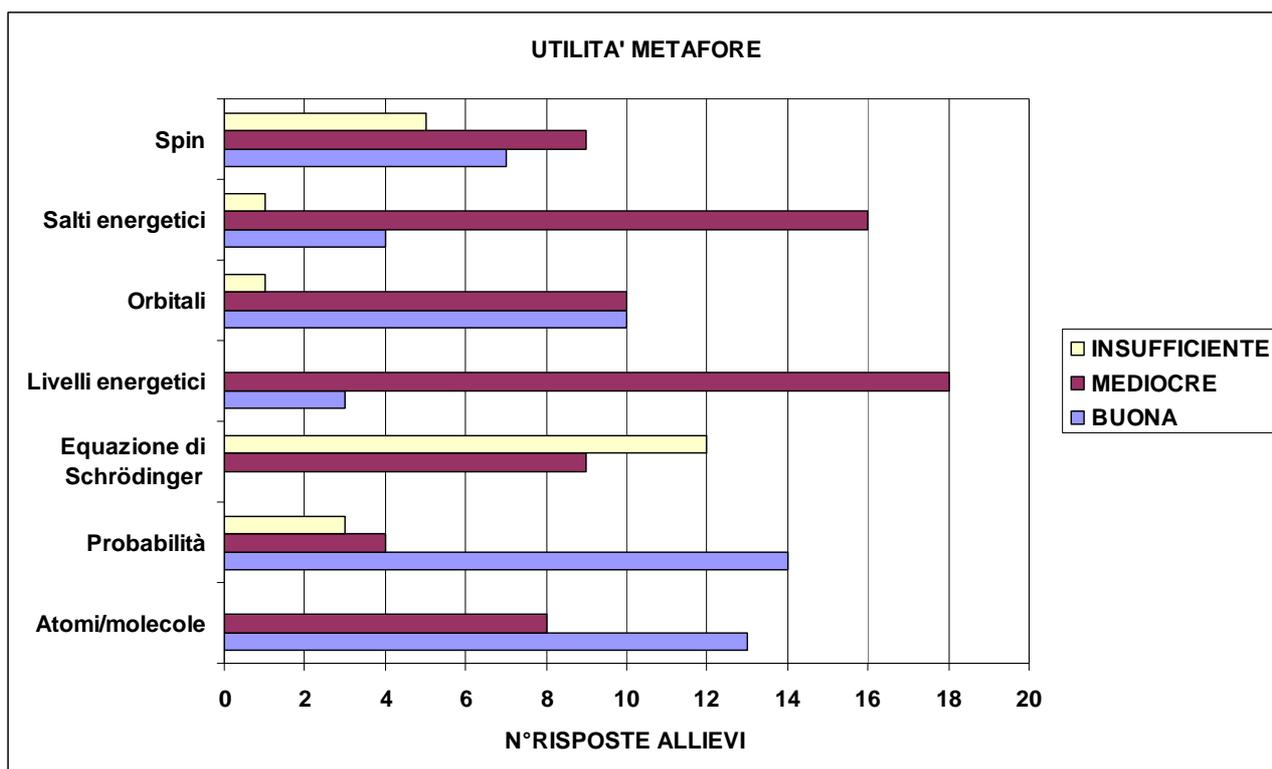


Fig. 10. Risposte degli allievi sull'utilità delle metafore

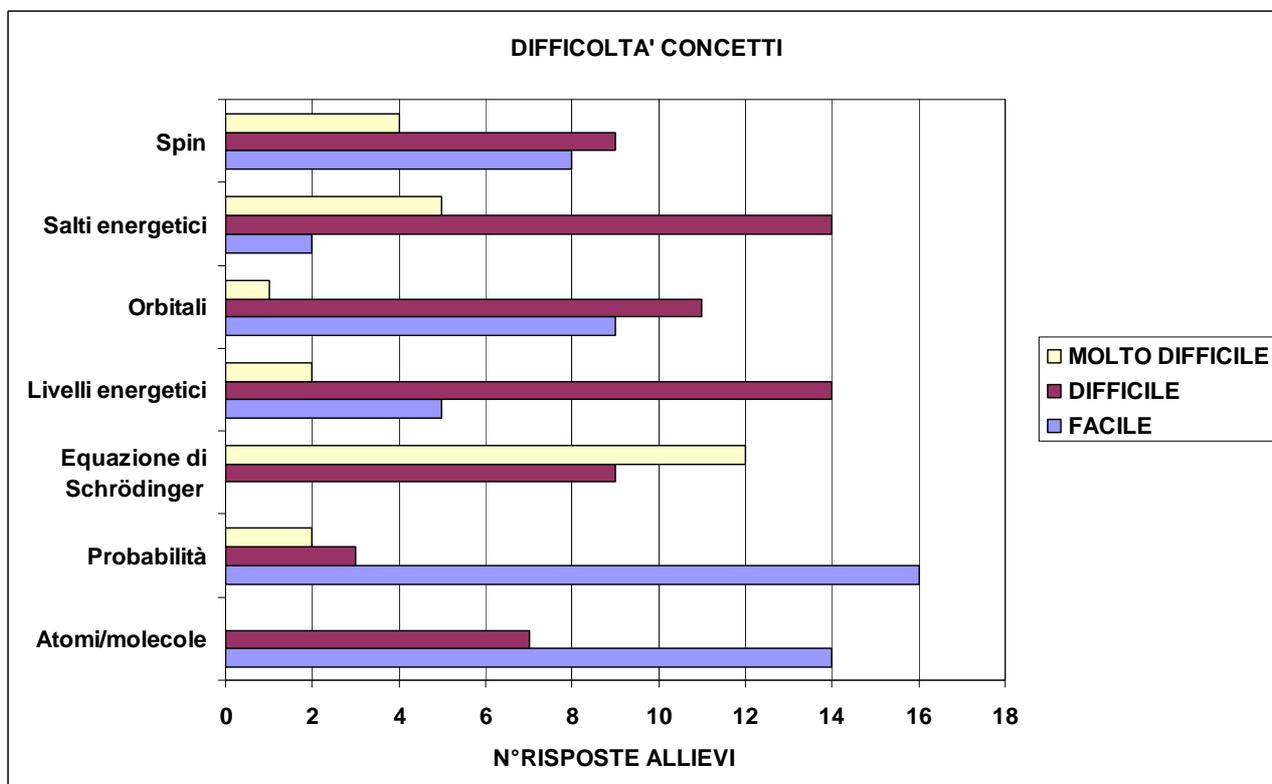


Fig. 11. Risposte degli allievi sulla difficoltà dei concetti

- Legame chimico
- Orbitale molecolare
- Equazione di Schrödinger
- Principio di Heisenberg (effetto tunnel)
- Probabilità

A seconda delle risposte al quesito il test sull'argomento è stato considerato superato, incerto, non superato. I risultati ottenuti dal test sono riportati nella Fig. 12.

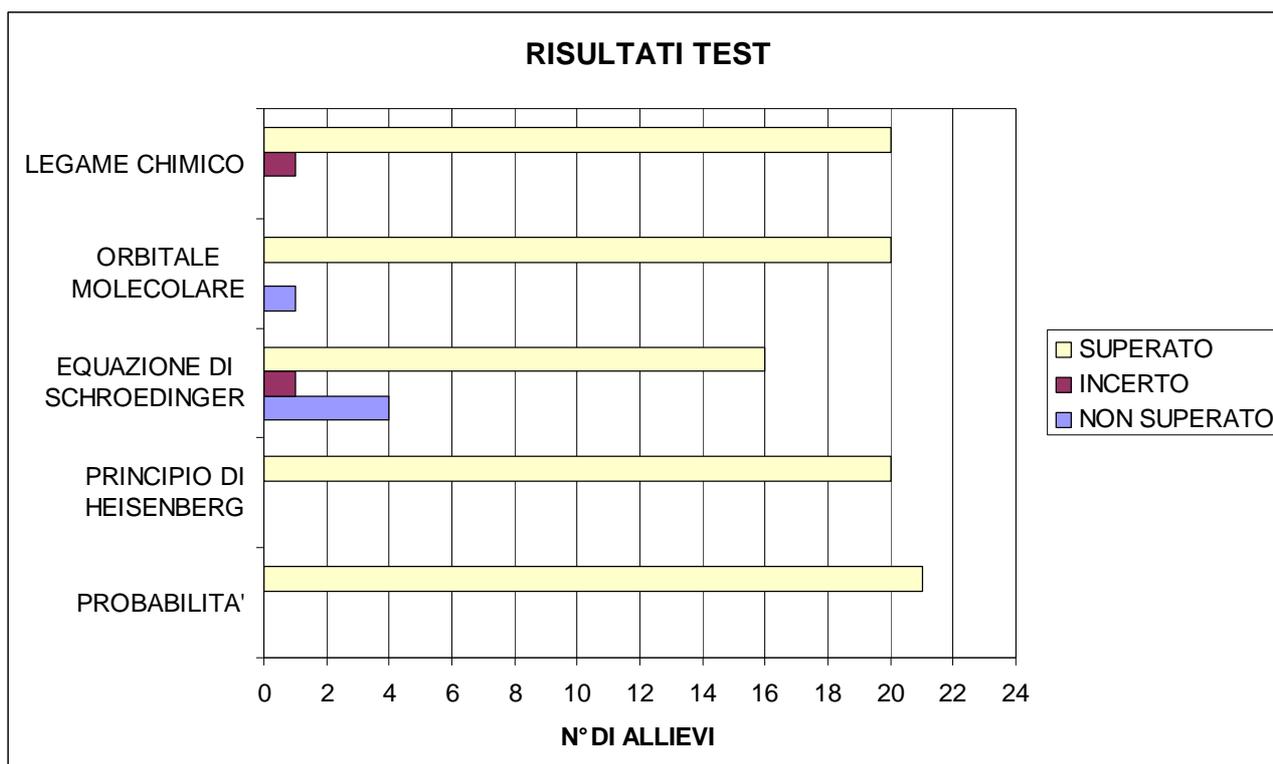


Fig. 12 Risultati della valutazione criteriale del test

6.6. Discussione dei risultati ottenuti

Si può discutere anzitutto le metafore elaborate dagli allievi per i vari concetti. In linea generale le metafore proposte sono corrette per quanto riguarda la probabilità dove si può sottolineare il notevole esempio g sulla combinazione dei cromosomi mentre sono in gran parte corrette quelle sugli atomi/molecole, orbitali e livelli energetici. Qualche difficoltà è stata invece notata per il caso dell'effetto tunnel. Occorre comunque notare che questo test è stato proposto subito dopo la prima lezione ed è quindi normale assistere a qualche incertezza.

Riguardo il riconoscimento delle metafore dalla Fig. 9 si può notare che il riconoscimento per gli orbitali e i livelli energetici è molto soddisfacente mentre meno positivo è quello sui salti di livello e spin. Sono un poco sorprendenti invece i risultati mediocri nel caso degli atomi e le molecole. La metafora della pila di blocchi è sicuramente una figura di discontinuità ma non presenta la varietà di forme che può avere la composizione di fiori. Sembrerebbe quindi che gli allievi comprendono bene la natura composita delle molecole ma non hanno chiaro le questioni strutturali (in effetti l'isomeria è un argomento che non era stato ancora trattato al momento del test).

Sui risultati dell'utilità delle metafore il giudizio medio generale si situa tra il buono e il mediocre come si può notare nella Fig. 10. Questi giudizi possono poi essere correlati con il livello di difficoltà incontrato dagli allievi per i vari argomenti riportato in Fig. 11. Alcuni argomenti come gli orbitali e gli atomi e molecole presentano un buon giudizio sull'uso delle metafore nonostante che gli orbitali siano considerati un argomento relativamente difficile. Il concetto di probabilità, che potrebbe essere considerato nella sua misura quantitativa di una certa difficoltà, è invece considerato abbastanza facile con metafore adeguate. Relativamente mediocri sono giudicate le metafore per i concetti come spin, salti energetici e livelli energetici che sono giudicati anche relativamente difficili. Infine l'equazione di Schrödinger è giudicata, come atteso, molto difficile nel concetto e insufficienti le metafore usate. In realtà per questa equazione non sono state usate metafore concrete e gli aspetti metaforici di natura matematica usati non sono stati presentati come vere e proprie metafore e potrebbero non essere quindi stati percepiti come metafore dagli allievi. In generale esiste una correlazione generale tra l'aumento della difficoltà del concetto e la diminuzione dell'utilità delle metafore percepita dagli allievi. Fa eccezione il concetto di orbitale che tra l'altro è quello che è stato più studiato per la presentazione metaforica. Questo potrebbe far pensare che il giudizio relativamente mediocre sull'utilità delle metafore dipenda piuttosto dal lavoro metaforico limitato che si è potuto fare su questi argomenti piuttosto che in un'inefficienza intrinseca del discorso metaforico. Riguardo infine le osservazioni degli allievi, esse sono molto pertinenti e da prendere seriamente in considerazione se si decidesse di condurre un futuro ciclo di queste lezioni. Una certa giustificazione per le lacune sollevate dagli

allievi va ricordata la natura esplorativa delle lezioni e la difficoltà di prevedere dove si trovano gli ostacoli più rilevanti nell'apprendimento.

Infine per quanto riguarda i risultati del test riportati nella Fig. 12 essi sono sorprendentemente buoni se paragonati ai risultati solo discreti sul riconoscimento e utilità delle metafore e le difficoltà di molti concetti segnalate dagli allievi anche se i quesiti posti sono stati relativamente facili. A parte qualche incertezza sull'esercizio riguardante l'equazione di Schrödinger, la grande maggioranza degli allievi ha superato i test dei vari argomenti tra cui al 100% quello sul calcolo di probabilità. Una certa sorpresa è il risultato molto positivo sulla scelta del principio di indeterminazione per spiegare l'effetto tunnel anche se questo potrebbe essere stato scelto per esclusione delle due altre possibili risposte.

Concludendo penso di poter affermare, considerando i limiti imposti di tempo e risorse per effettuare questo lavoro, che, se l'utilità di seguire un discorso metaforico nell'insegnamento di concetti complessi non sia rigorosamente dimostrata, l'interesse di condurre eventualmente ulteriori lavori esplorativi in questa direzione sia abbastanza evidente.

7. USO DELLE METAFORE PER PROCEDURE DI CALCOLO

Abbiamo già segnalato come l'uso di metafore nell'insegnamento in chimica di procedure per il calcolo stechiometrico sia riportato in letteratura. In questo lavoro abbiamo così ripreso una metafora usata da Addison Ault (Ault 2001, Ault 2006) e da Elisabeth e Robert Cook (Cook 2005) modificando la parte riguardante i calcoli sulla reazione chimica che nel nostro caso sono rappresentati da una fabbrica che riceve vagoni contenenti ognuno le moli di un particolare reattivo e che li trasforma in moli di prodotti ognuno dei quali caricato in uno specifico vagone che parte dalla fabbrica.

Lo schema della metafora è presentato in dettaglio con le varie regole procedurali nell'Allegato 4. La metafora, chiamata Paese della Stechiometria, comprende una città dei reattivi e una città dei prodotti. Nella città dei reattivi vi sono i magazzini dei reattivi divisi secondo il loro stato di aggregazione (solido, liquido, gas) o soluzione. Ogni reattivo è caratterizzato da una particolare etichettatura che ne stabilisce la natura e la quantità nelle varie possibili unità di misura. Nel caso delle soluzioni, oltre la natura del soluto e la quantità è stabilita anche la concentrazione. I magazzini sono collegati a una via, detta via della Mole, dove i vari reattivi vengono caricati per il trasporto alla stazione di carico ma per far questo essi devono essere espressi quantitativamente in moli. Uno specifico albero procedurale, riportato nell'allegato indica le varie tappe di trasformazione per calcolare il numero di moli di un reattivo a partire da qualsiasi unità di misura quantitativa. Una volta caricati i reattivi etichettati come numero di moli essi vengono trasportati per il carico sui vagoni. Questo carico sui vagoni deve rispettare le regole di rapporto molare della reazione presa in considerazione (nell'esempio la reazione tra H_2 e O_2 per dare H_2O) e che sono esplicitate attraverso calcoli su tabella i cui esempi sono anch'essi riportati nell'Allegato 4. La stessa tabella serve poi anche per il calcolo delle moli dei prodotti che si formano. Se uno o più reattivi non possono essere caricati completamente secondo le regole stabilite, essi rimangono sul piazzale (reattivi in eccesso). I vagoni dei prodotti di reazione vengono avviati alla città dei prodotti, scaricati, e le moli dei prodotti vengono avviati, sempre sulla via della Mole, verso i magazzini. Le quantità in moli dei vari prodotti vengono trasformate nelle unità di misura volute attraverso un albero procedurale inverso del precedente. Nel caso delle soluzioni, come riportato nell'Allegato 4, si è costruito un albero procedurale a parte che calcola le moli dei soluti reattivi a partire da tre tipi di concentrazione: g/di soluto per 100 g di soluzione, g di soluto per litro di soluzione e molarità della soluzione. Se il calcolo delle quantità di reattivi in soluzione è relativamente semplice, il calcolo delle quantità di soluzione finale è più complesso poiché la soluzione finale può variare in quantità in funzione di molti aspetti della reazione tra cui anche la formazione di solvente (Es. H_2O) nella reazione e deve subire un calcolo a parte che non è esplicitabile con un semplice albero procedurale. Per questo tipo di calcolo si è quindi approntato un albero procedurale per il calcolo dei reattivi ma non si è esplicitato tutte le varianti possibili di calcolo delle quantità di soluzione finale che deve essere trattato necessariamente caso per caso.

Questo metodo di calcolo stechiometrico è stato proposto in una classe di prima liceo, dopo aver introdotto il calcolo stechiometrico semplice con le sostanze espresse in grammi. Si sono poi proposti in parallelo esempi di problemi più complessi in cui veniva insegnato sia questo metodo sia il metodo usuale attraverso le definizioni e concetti utilizzati in vari modi per la soluzione dei problemi. Alla fine di questa parte del ciclo di lezioni è stato proposto un test di stechiometria anonimo per verificare il livello di comprensione del calcolo, l'uso della metafora e l'opinione che gli allievi avevano di questa. Il Test, riportato nell'Allegato 5 comprendeva due esercizi di stechiometria: il primo di calcolo di prodotti di reazione a partire dai reattivi e il secondo con un calcolo inverso a partire dai prodotti di reazione per il calcolo delle quantità di reattivi. Questo secondo problema conteneva anche un semplice calcolo riguardante le soluzioni. A seguito degli esercizi vi era un questionario per stabilire:

1. Se l'allievo aveva utilizzato la metafora per risolvere gli esercizi
2. Se riteneva utile la metafora per i calcoli stechiometrici
3. Come giudicava la metafora (interessante, macchinosa, infantile)

Il test aveva una durata di 45 minuti e gli allievi avevano la possibilità di consultare la nota in cui era stata presentata la metafora.

7. 1. Risultati ottenuti

I risultati ottenuti per gli esercizi sono riportati nella Fig. 13. e sono stati valutati su una base criteriale in cui: superato indica che l'allievo ha risolto correttamente i due esercizi, incerto indica che l'allievo ha solo parzialmente risolto correttamente i due esercizi o ne ha risolto correttamente uno solo, non superato indica che l'allievo non ha risolto correttamente i due esercizi. Su un totale di 19 allievi presenti al test si può vedere dalla Fig. 13 che cinque allievi hanno superato i test dell'esercizio, sette allievi si sono mostrati incerti e sette allievi non lo hanno superato. Nella Fig. 14 sono invece riportati i risultati sull'uso della metafora correlati con i risultati degli esercizi dati. Si può riscontrare che l'uso della metafora da parte degli allievi è piuttosto limitato essendo stato fatto solo da cinque allievi e che non esiste una vera e propria correlazione tra l'uso della metafora e i risultati degli esercizi. Infine nella Fig. 15 abbiamo riportato i giudizi degli allievi sulla metafora da cui si può vedere che la maggioranza degli allievi non la usa ma la considerano utile in parte mentre molti di essi la trovano piuttosto macchinosa.

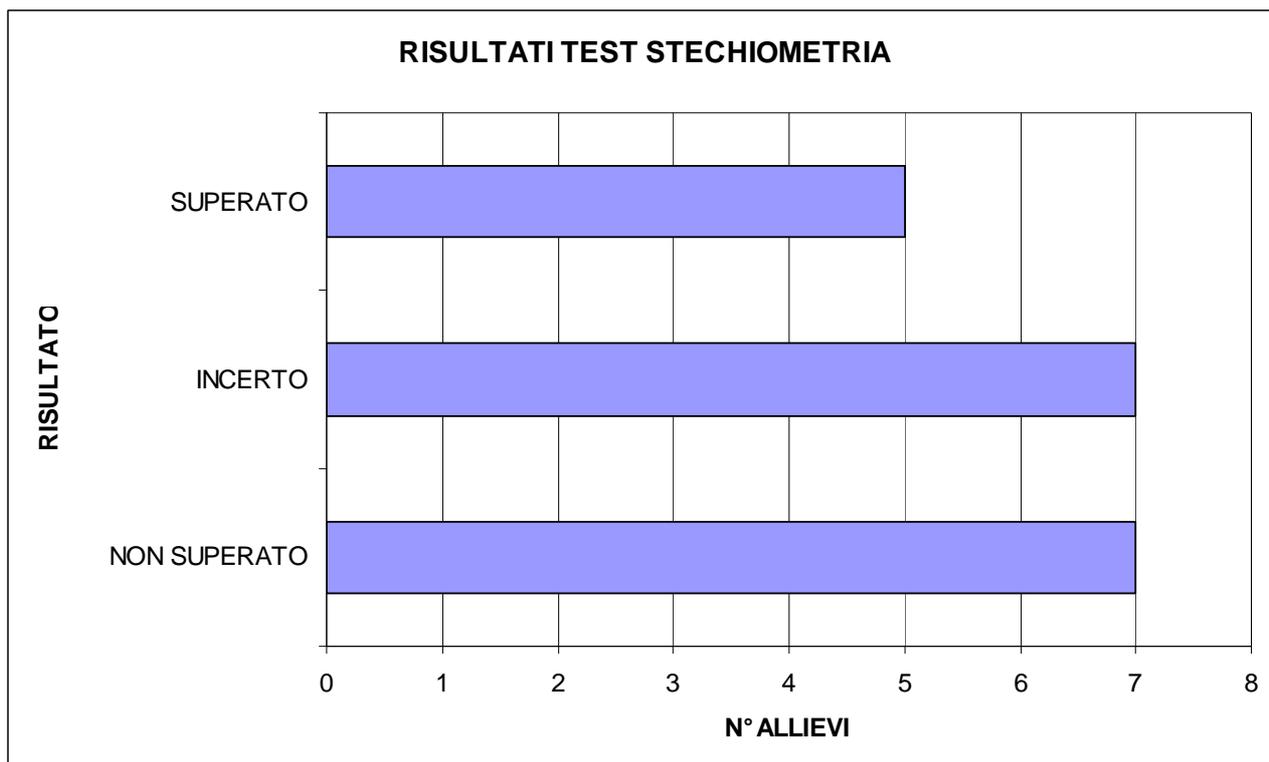


Fig. 13. Risultati degli esercizi di stechiometria

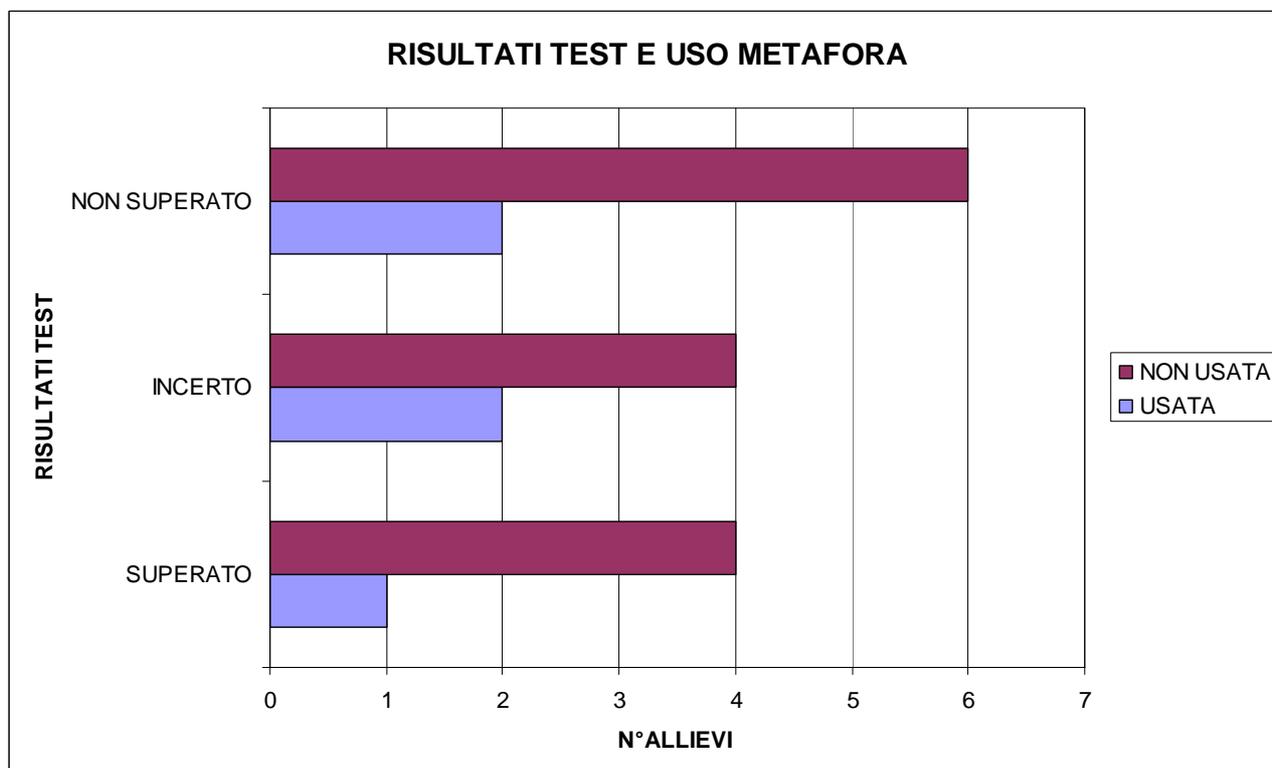


Fig. 14. Risultati sull'uso della metafora correlati con i risultati degli esercizi

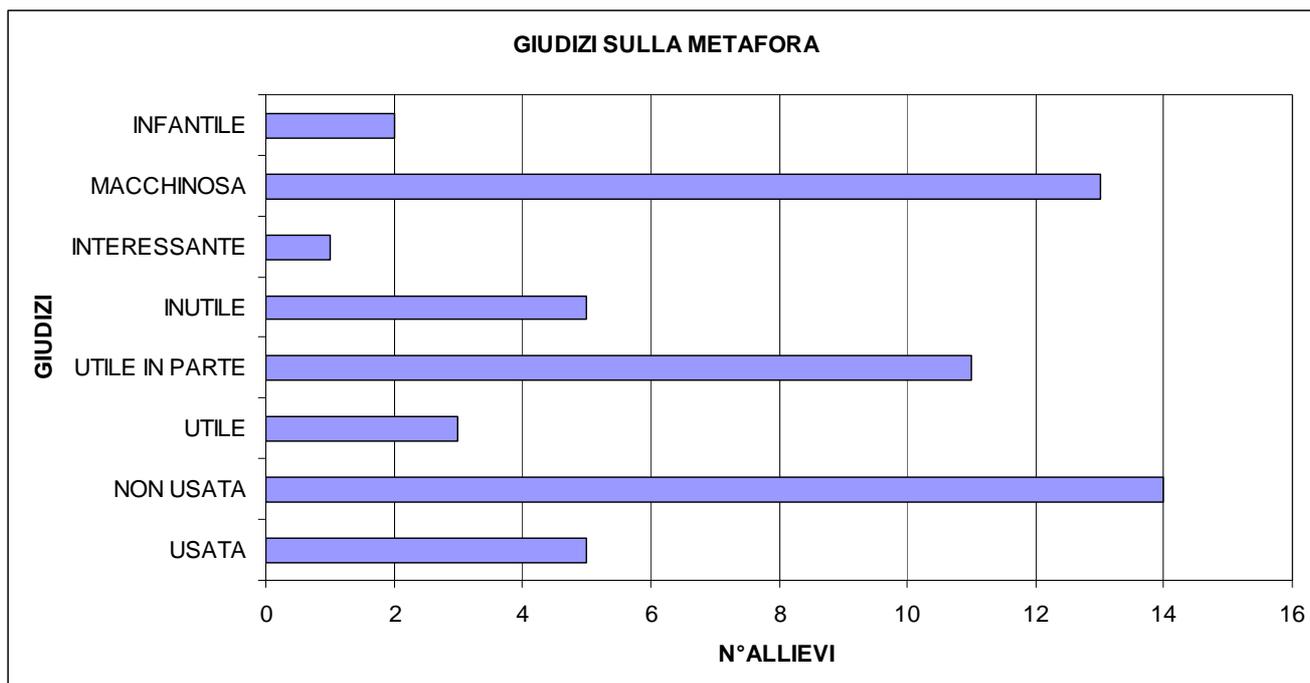


Fig. 15. Giudizi degli allievi sulla metafora

7.2. Discussione dei risultati

Una prima osservazione riguarda i risultati degli esercizi che, dal punto di vista del superamento, sono relativamente modesti. Bisogna comunque osservare che la preparazione di questo argomento non era considerata al momento del test ancora terminata e che anzi i risultati del test servivano giustamente a programmare le ultime fasi di spiegazione. Nel complesso non sembra che l'approccio metaforico sia di grande utilità come indica bene la Fig. 14 che correla l'uso della metafora con i risultati del test. Questo fatto è confermato anche in altre prime classi di liceo dove l'insegnamento dell'uso della tabella di calcolo per la reazione, analoga, a quella usata nella metafora, ha avuto, come appare dai test fatti, un uso alquanto limitato rispetto alle procedure dirette ed è stata chiaramente rifiutata dagli allievi con i migliori risultati. Interessante invece il giudizio di utilità parziale abbastanza diffuso che appare nella Fig. 15. Una discussione con gli allievi sui risultati del test ha confermato che, se la metafora nel suo insieme appare macchinosa, i percorsi di calcolo per trasformare le quantità di sostanza nelle varie unità di misura in moli e viceversa sono ritenuti utili per memorizzare queste procedure. Questo fatto è abbastanza coerente con gli studi sulle metafore concettuali in cui un "percorso" è una tipica metafora di un calcolo come tra l'altro la stessa parola "procedura" lo rivela. In altre parole la metafora risulta utile quando può rappresentare un lungo percorso di calcolo prefissato ma non nell'utilizzo di una rete di concetti, come nei calcoli sulla reazione, dove un sapere strategico è molto più efficace per la soluzione dei problemi.

8. CONCLUSIONI

Occorre prima di tutto prendere in considerazione la natura esplorativa del lavoro e quindi la sua limitatezza sia sulla parte dell'indagine bibliografica che si è potuta fare che sull'estensione del campione statistico di allievi che si è potuto avere a disposizione. Lo studio è comunque in grado di dare alcune indicazioni che, al di là di poter essere considerate delle rigorose dimostrazioni, hanno comunque una loro validità.

Sul piano dell'uso delle metafore nel campo dell'insegnamento di procedure come nel calcolo stechiometrico, l'utilità delle metafore sembra più limitata al campo di procedure rappresentabili con alberi di percorsi ben stabiliti dove l'allievo può memorizzare meglio l'insieme del metodo e scegliere il percorso che ritiene corretto (esempio: trasformazione delle varie quantità di sostanza misurate con varie unità di misura in moli o viceversa). Sembra invece meno interessante per procedure più complesse, difficilmente rappresentabili come alberi di percorsi, dove un certo sapere strategico è necessario e sviluppabile soprattutto attraverso esempi di problemi (esempio: calcoli stechiometrici sulla reazione soprattutto quando fanno intervenire sostanze in soluzione).

Per quanto riguarda invece l'uso delle metafore nella comprensione di concetti i risultati sembrano positivi. Anche se è difficile dimostrare rigorosamente con questo studio esplorativo il livello reale di comprensione raggiunto dagli allievi, i risultati mediamente positivi dei test indicano che queste metodologie possono avere sviluppi utili e che quindi meriterebbero ulteriori approfondimenti e lavoro di preparazione sui concetti più difficili, come la comprensione dell'equazione di Schrödinger e la sua utilizzazione nella spiegazione dei fenomeni quantistici.

In questa conclusione vorrei infine dare una giustificazione alla scelta di argomenti come la meccanica quantistica per la spiegazione del legame chimico e quindi la formazione delle molecole al livello di allievi di una seconda liceo in alternativa al tradizionale modello a gusci e regola dell'ottetto. Questa mia scelta viene da considerazioni che appartengono alla mia lunga esperienza nella ricerca e soprattutto sul processo in cui i risultati della ricerca scientifica sono utilizzati nello sviluppo di tecnologie con il loro impatto economico, sociale ed ambientale. A mio avviso un insegnamento liceale della chimica dovrebbe tener conto dell'evoluzione di questo rapporto tra chimica e società per trarne alcuni benefici. La chimica subisce da oltre venti anni una trasformazione di paradigma da scienza che si è sempre occupata di insiemi di grandi numeri di molecole e delle reazioni chimiche conseguenti mentre ora è in grado di prendere in considerazione piccoli numeri di molecole o addirittura la singola molecola e procederle alla sua manipolazione con grandi riflessi tecnologici che si manifestano nel campo delle nanotecnologie e delle biotecnologie. In questo contesto il concetto di molecola prende una posizione centrale nella chimica a scapito di concetti più tradizionali come quello di mole. L'insegnamento

del concetto di molecola come “oggetto” manipolabile presenta alcune difficoltà legate al fatto della piccolezza e invisibilità di questo “oggetto” e soprattutto al fatto che obbedisce a leggi differenti da quelle degli oggetti macroscopici che sono quelle della meccanica quantistica, da cui l’interesse di sviluppare saperi didattici che sono in grado di tener conto di questo fatto. L’attività umana viene sempre più a dipendere da tecnologie basate su questi fenomeni microscopici e quindi il loro insegnamento a livello liceale è a mio avviso giustificabile come vero proprio fatto culturale utile al raggiungimento della maturità.

REFERENZE

Albert D.Z. (2000) *Meccanica quantistica e senso comune*, Adelphi

Atkins P.W. (2000) Friedman R.S. *Meccanica quantistica molecolare*, Zanichelli

Ault A. (2001) *How to say how much: amounts and stoichiometry*, JChemEd.wisc.edu, 78, 10, October 2001, pp. 1347-1349

Ault A. (2006) *Mole City: a stoichiometry analogy*, JChemEd.wisc.edu, 83, 11, November 2006, pp. 1587

Brockman J. (1999) *Philosophy in the Flesh*, Edge Public Forum disponibile nel sito: www.edge.org/3rd_culture/lakoff

Brown T. (2003) *Making Truth, Metaphor in Science*, The University of Illinois Press

Brown T. (2003b) *The Metaphorical Foundations of Chemical Explanation*, Annals of the New York Academy of Science, 988, 2003, pp. 209-216

Cook E. Cook R.L. (2005) *Cross-proportions: A conceptual method for developing quantitative problem solving skills*, JChemEd.wisc.edu, 82, 8, August 2005, pp. 1187-1189

Fuchs H.U. (2005) *Metaphern machen Physik*, Vortrag im Kolloquium des Departements T, ZHW, April 2005

Fuchs H.U. (2006) *System Dynamics Modeling in Fluids, Electricity, Heat and Motion*, Conference on Modeling in Physics and Physics Education, AMSTEL, Institute of the University of Amsterdam, August 20-25, 2006.

Johnson M. (1987) *The Body in the Mind. The Bodily Basis of Meaning, Imagination and Reason*, University of Chicago Press, Chicago

Kuhn T.S. (1970) *The structure of scientific revolutions*, The University of Chicago Press (Edizione italiana: *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, 1995)

Lakoff G. and Johnson M. (1980) *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press, Chicago (Edizione italiana: *Metafora e vita quotidiana*, R.C.S. Libri, 1998)

Lakoff G. Nùñez R. (2000) *Where Mathematics comes from*, Basic Books, New York

Licata I. (2003) *Osservando la Sfinge, la realtà virtuale della fisica quantistica*, Di Renzo

McQuarrie D.A. Simon J.D. (2000) *Chimica Fisica, un approccio molecolare*, Zanichelli

Roletto E. Regis A. Albertazzi P.G. *Costruire il concetto di mole*, Documento di lavoro.

Solov'ev J. I. (1976) *L'evoluzione del pensiero chimico*, Mondadori

Thomas G.P. and McRobbie C.J. (1999) *Using metaphor to probe students' conception of chemistry learning*, International journal of science education, vol. 21, n°6, 1999, pp. 667-685

Thomas G.P. and McRobbie C.J. (2001) *Using a metaphor for learning to improve students' metacognition in the chemistry classroom*, Journal of Research in Science Teaching, Vol. 38, 2, pp. 222-259

ALLEGATO 1

Metafore elaborate dagli allievi

METAFORE

1. Le molecole, che costituiscono la materia, possono essere considerate degli "oggetti" contenenti un certo numero di atomi, eventualmente differenti e messi assieme in varie forme. Esse si possono paragonare a delle costruzioni di LEGO i cui mattoni costituiscono gli atomi. Provate a descrivere un altro valido paragone.

- mattoni (atomi) per costruire una casa

- Le molecole potrebbero essere costruzioni di geomag, le cui perline costituiscono gli atomi.

- Esse si possono paragonare agli edifici, i cui mattoni costituiscono gli atomi.

- Esse si possono paragonare a dei muri in pietra, le singole pietre sarebbero gli atomi

Una casa fatta di mattoni (anche in questo caso: mattoni \equiv atomi)

Una scatola di piselli e carote (piselli e carote costituiscono i differenti atomi)

2. La probabilità può essere considerata una grandezza che può essere misurata attraverso la verifica di eventi. Ad esempio se si getta una moneta con una faccia con una croce e l'altra una testa, facendo un numero elevato di tiri la probabilità che esca testa o croce è in ambedue i casi del 50%. Nel caso di un dado con 6 facce analogamente la probabilità che esca una faccia prestabilita dopo un gran numero di tiri è di $1/6$. Trovate altri casi in cui è possibile misurare la probabilità.

- In un sacchetto con 90 della tombola, la probabilità che esca un dato n° sono $\frac{1}{90}$

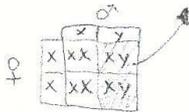
- In un mazzo di carte da scopa 40, la possibilità di pescare un jolly sono $\frac{4}{108} = \frac{1}{27}$

- tre bicchieri sono girati sul tavolo, in modo da non vedere il contenuto. Sotto uno di questi bicchieri c'è una pallina.
La probabilità che l'indovini sotto quale bicchiere è posta la pallina è di $1/3$

- Ti viene posta una domanda con quattro risposte possibili. Ho il 25% delle possibilità che la risposta che ho scelto sia giusta.

La probabilità che estraendo a caso una carta da un mazzo di carte da scopa esca un asso è di $\frac{4}{40} \rightarrow \frac{1}{10} \rightarrow 10\%$

La probabilità che un figlio nasca maschio è del 50%



Le possibilità di vincere all'EuroMillions sono una su 76 milioni.

3. Se le pulci fossero come gli elettroni, per l'effetto tunnel, alcune di esse riuscirebbero a uscirne anche se nessuna ha l'energia per fare un salto sufficientemente alto. Trovate qualche altro esempio di effetto tunnel simile a quello delle pulci.

- Se gli atleti fossero come degli elettroni e l'effetto tunnel la sbarra del salto in alto, se la sbarra è posta troppo in alto nessuno riuscirebbe a saltare sufficientemente in alto se cominciò ad abbassarla più atleti riuscirebbero a superarla.

- Se gli elettroni fossero come le bolle di sapone, per l'effetto tunnel alcune bolle riuscirebbero ad andare per molto tempo verso il vetro, e altre scoppierebbero prima.

È come l'acqua che esce da un rubinetto: può capitare che qualche goccia fuoriesca dalla vaschetta dopo aver avuto un impatto con quest'ultima.

5. Parlare di orbitali atomici è come parlare di una zona di spazio in cui è molto probabile trovare un elettrone. La situazione è simile alla probabilità di trovare un'auto targata TI immaginando che Bellinzona sia come il nucleo atomico. Se uscite dal Ticino la probabilità di trovare un'auto targata TI diminuisce molto man mano che vi allontanate. Provate a trovare un altro caso simile in grado di simulare la situazione di un orbitale.

- Gli orbitali potrebbero essere paragonati a un frumento \Rightarrow al suo interno è molto probabile trovare delle frumite, allontanandosi si disperdono.

Più ci si allontana dalla Svizzera più diminuisce la probabilità di trovare uno svizzero.

6. Le misure spettroscopiche riescono a ricostruire i vari livelli energetici degli orbitali che ci sono attorno ad un atomo. Il problema è un po' come ricostruire l'altezza e il numero di piani di un alto edificio registrando il movimento degli ascensori e misurandone il tempo di salita o discesa. Provate a trovare un altro esempio simile.

È come buttare uno stesso oggetto di massa
conosciuta da differenti
piani: misurandone l'energia si può capire a che
altezza e a quale piano si trovava

ALLEGATO 2

Questionario sulle metafore

QUESTIONARIO

METAFORE CONCETTUALI

Indicare con una crocetta quale delle metafore seguenti ti sembra la più appropriata per comprendere il concetto esposto:

ATOMI/MOLECOLE (gli atomi formano le molecole)

1. Pila (molecola) di blocchi (atomi) impilati per fare una colonna []
2. Composizione di fiori (atomi) di vario tipo in un vaso (molecola) []
3. Tavolozze (molecole) di colori (atomi) miscelati tra di loro []

LIVELLI ENERGETICI (degli elettroni negli atomi e nelle molecole)

1. Appigli che usa un'alpinista per scalare una roccia []
2. Strada a tornanti che sale una montagna []
3. Campi di bivacco di alpinisti usati per scalare un'alta montagna []

ORBITALI (negli atomi e nelle molecole)

1. Pecore (elettroni) che pascolano in un recinto (orbitale) chiuso []
2. Persone che parlano dialetto ticinese (elettroni) che abitano nel Canton Ticino (orbitale) []
3. Folla di persone (elettroni) che lascia un locale []

SALTI DI LIVELLO (degli elettroni tra i vari orbitali dei vari livelli energetici)

1. Percorsi (salti) di aeroplani (elettroni) che vanno tra gli aeroporti di varie città (livelli) []
2. Treno (elettrone) che percorre (salto) una ferrovia fermandosi a varie stazioni (livelli) []
3. Salti casuali di una pulce (elettrone) su un tavolo []

SPIN (proprietà che hanno le particelle come i nuclei atomici o gli elettroni)

1. Ago del contachilometri []
2. Ago di una bussola []
3. Direzioni che si possono percorrere in una via a senso alternato []

UTILITA' DELLE METAFORE

Indicare con una crocetta il giudizio sull'utilità delle metafore presentate nelle lezioni per comprendere i vari concetti:

CONCETTI	BUONA	MEDIOCRE	INSUFFICIENTE
Atomo/molecola			
Probabilità			
Equazione di Schrödinger			
Livelli energetici			
Orbitali			
Salti energetici			
Spin			

DIFFICOLTA' NELLA COMPrensIONE DEI VARI CONCETTI

Indicare con una crocetta il giudizio sulla difficoltà incontrata a capire i vari concetti spiegati nelle lezioni:

CONCETTI	FACILE	DIFFICILE	MOLTO DIFFICILE
Atomo/molecola			
Probabilità			
Equazione di Schrödinger			
Livelli energetici			
Orbitali			
Salti energetici			
Spin			

OSSERVAZIONI :

ALLEGATO 3

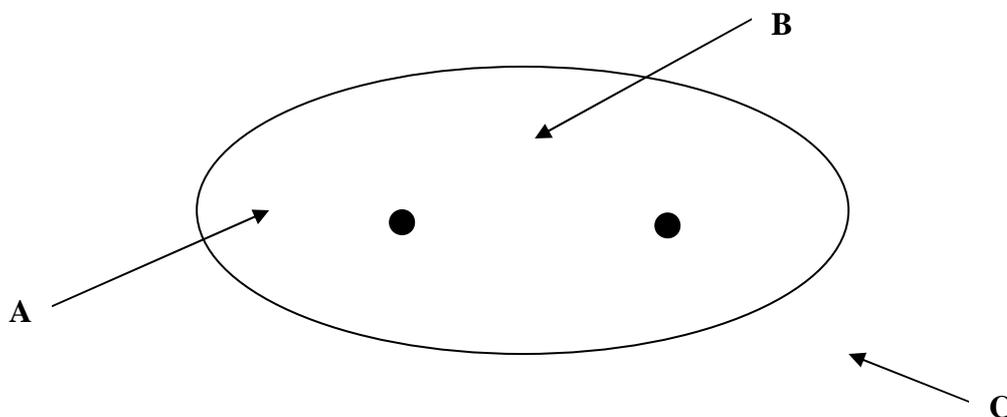
Test su orbitali e legame chimico

1. Abbiamo un'urna contenente 50 palline colorate: 25 sono rosse, 10 verdi e 15 gialle. Se estraiamo una pallina quale sarà la probabilità di estrarre una pallina rossa, oppure verde, oppure gialla ?

2. L'effetto tunnel è un particolare effetto in meccanica quantistica in cui se abbiamo numerosi elettroni confinati in una "buca" tutti con un'energia insufficiente per poterne saltare fuori, alcuni di questi si possono comunque trovarsi fuori. Segnare con una crocetta la spiegazione che vi sembra migliore delle tre seguenti:
 - a. Per caso qualche elettrone acquista un'energia più elevata e quindi può saltare fuori dalla buca []
 - b. Poiché conosciamo bene l'energia di questi elettroni non possiamo conoscere altrettanto bene dove si trovano e quindi qualcuno può trovarsi fuori la "buca" []
 - c. Non c'è una vera spiegazione, si tratta di un comportamento degli elettroni che è stato osservato []

3. Inventate un semplice operatore matematico che agisce su una funzione $f(x)$. Utilizzatelo per scrivere un'equazione che assomiglia, anche se lontanamente, a quella di Schrödinger in cui vi è il termine di energia E . Date tre valori numerici positivi a scelta alla funzione $f(x)$ e calcolate il valore di E corrispondente a questi tre valori scelti.

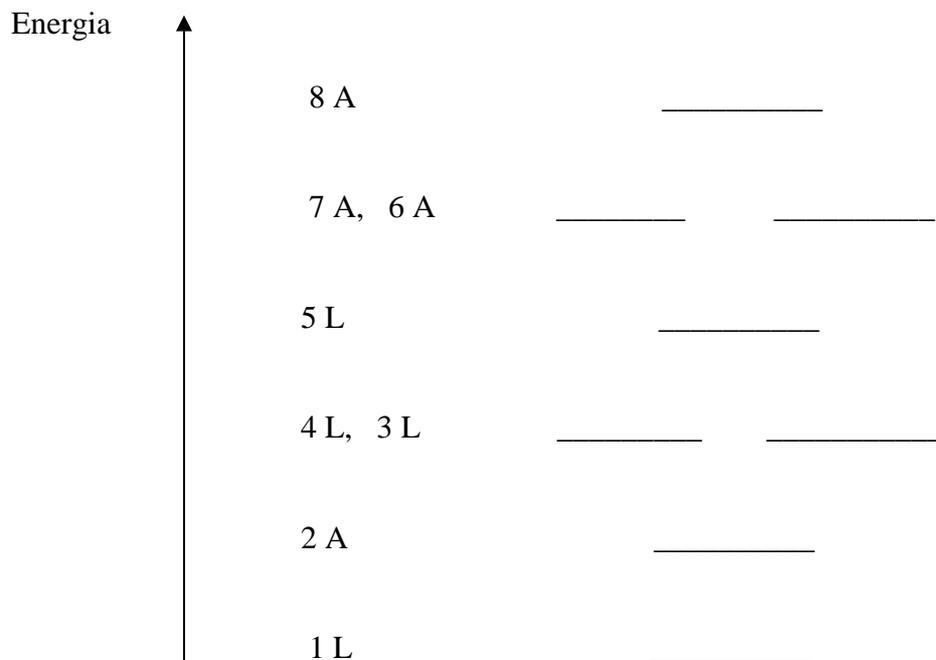
4. La molecola dell'idrogeno H_2 è caratterizzata da un orbitale molecolare legante che ha la forma di un uovo come disegnato sotto e dove i due cerchi neri rappresentano i due nuclei :



Considerate le tre posizioni indicate con le frecce e le lettere A, B e C e caratterizzatele con il grado di probabilità di trovare un elettrone proprio in quel punto indicandolo con una crocetta nella tabella seguente

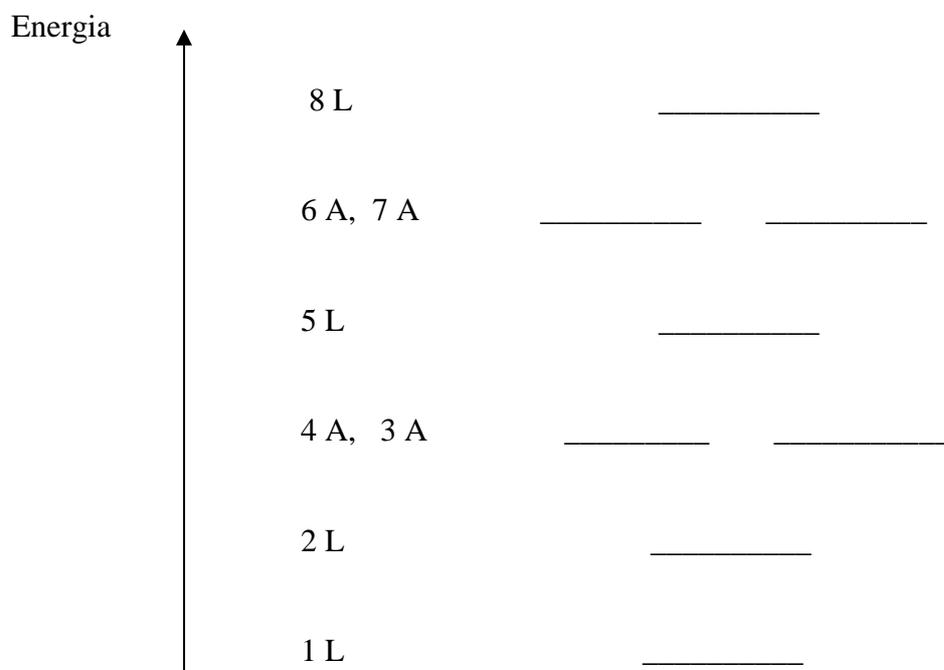
Punto	Molto probabile	Probabile	Poco probabile	Probabilità nulla
A				
B				
C				

5. Se si applica l'equazione di Schrödinger alla molecola del carbonio C_2 si ottengono, trascurando gli orbitali atomici del livello 1s un totale di 8 orbitali molecolari indicati con il numero progressivo da 1 a 8 e di cui quattro sono leganti (indicati con la lettera L) e quattro antileganti (indicati con la lettera A). Gli orbitali si situano secondo i livelli di energia seguenti:



- Calcolare il numero di elettroni disponibili per questi orbitali molecolari e sistemarli secondo il Principio di Esclusione di Pauli e la Regola di Hund
- Calcolare l'ordine di legame che ne risulta:
- Prevedere se questa molecola si può formare SI [] NO []
- Nel caso che si possa formare disegnare la sua struttura :

6. Se si applica l'equazione di Schrödinger alla molecola eteronucleare CO formata da un atomo di carbonio C e un atomo di ossigeno O si ottengono, trascurando gli orbitali atomici del livello 1s di C e O, un totale di 8 orbitali molecolari indicati con il numero progressivo da 1 a 8 di cui quattro sono leganti (indicati con la lettera L) e quattro antileganti (indicati con la lettera A). Gli orbitali si situano secondo i livelli di energia seguenti:



- Calcolare il numero di elettroni disponibili per questi orbitali molecolari e sistemarli secondo il Principio di Esclusione di Pauli e la Regola di Hund
- Calcolare l'ordine di legame che ne risulta:
- Prevedere se questa molecola si può formare SI [] NO []
- Nel caso che si possa formare disegnare la sua struttura :
- Nel caso che si possa formare l'ossigeno O risulta molto più elettronegativo del carbonio C e la molecola che si formerebbe sarebbe polare. Dove si troverebbero le cariche negative:

Vicino all'atomo di C []

Vicino all'atomo di O []

e quelle positive :

Vicino all'atomo di C []

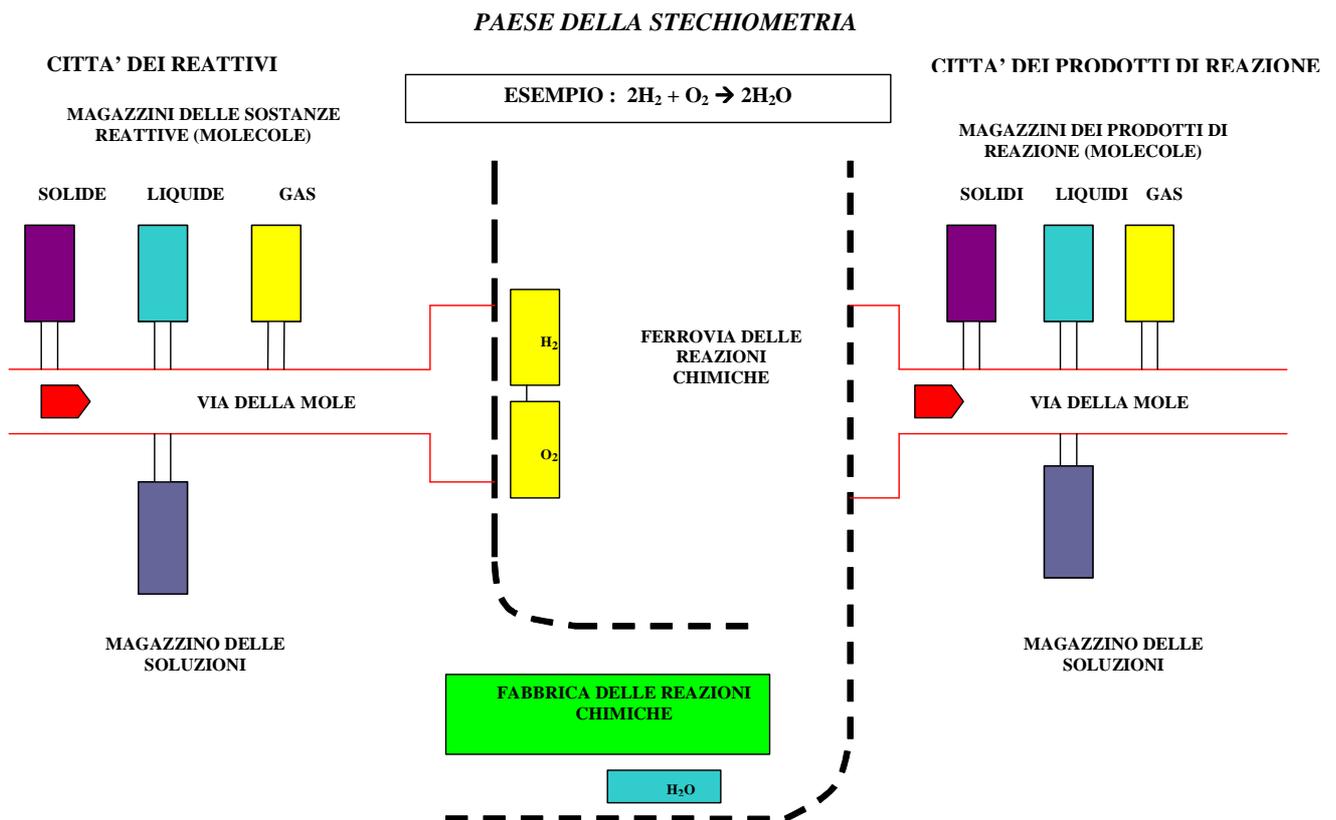
Vicino all'atomo di O []

ALLEGATO 4

Presentazione della metafora per il calcolo stechiometrico

PROCEDURE PER I CALCOLI STECHIOMETRICI

METAFORA DEL PAESE DELLA STECHIOMETRIA



ETICHETTATURA DELLE SOSTANZE

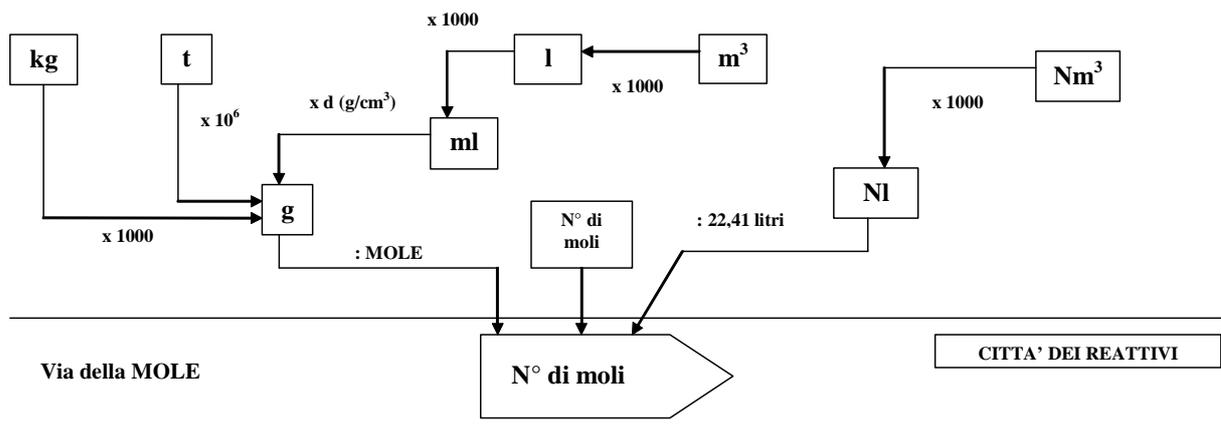
Natura: formula della molecola della sostanza e della sua massa molecolare espressa in grammi (MOLE)

Quantità: Solidi \rightarrow g, kg, t

Liquidi \rightarrow m³, l, ml + densità d (g/cm³)

Gas \rightarrow Nm³, NI (N per indicare s.t.p.)

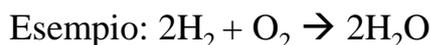
REGOLE PER IL TRASPORTO AL TRENO PER OGNI TIPO DI SOSTANZA (MOLECOLA)



REGOLE PER IL TRASPORTO FERROVIARIO

Regola per la formazione dei treni

I treni dei reattivi e dei prodotti di reazione sono formati da una serie di vagoni. Ogni vagone è destinato a un solo tipo di molecola della reazione e carica il numero necessario di moli per la reazione:



Il *treno dei reattivi* sarà composto da due vagoni: uno per O_2 e uno per H_2 . Il *treno dei prodotti* di reazione sarà formato da un vagone per H_2O .

Regola per il carico dei treni

I treni dei reattivi sono caricati con il numero di moli esattamente necessario per la reazione. I treni dei prodotti sono caricati con il numero di moli esattamente corrispondente a quello ricavabile dai reattivi attraverso la reazione

REGOLE PER IL CALCOLO DEL CARICO DEI TRENI

Il carico dei treni deve rispettare il rapporto molare tra le varie componenti della reazione. In particolare le moli caricate dei vari reattivi devono rispettare il loro rapporto molare, mentre le moli dei prodotti devono rispettare il rapporto molare con i vari reattivi.

Può succedere di avere l'arrivo per carico due quantitativi di moli per due reattivi che non necessariamente sono in rapporto molare in questo caso parte di uno o più reattivi non possono essere caricati completamente e resteranno sul piazzale.

Per il calcolo delle quantità di moli in relazione con i rapporti molari della reazione è utile utilizzare una tabella che riporta nelle colonne le moli dei reattivi e dei prodotti e composta di tre righe: la prima per le moli iniziali dei reattivi per il carico (le moli dei prodotti sono all'inizio zero), la seconda calcola la variazione del numero di moli per i reattivi (valori negativi) e per i prodotti (valori positivi) tenendo conto dei rapporti molari, la terza riporta il numero di moli finali ottenute per addizione del numero di moli iniziali e della loro variazione. Le moli finali dei prodotti non sono quindi mai nulle mentre è possibile che rimangano moli di reattivi (reattivi in eccesso)

TABELLA CARICO/SCARICO TRENI



MOLI	REATTIVI		PRODOTTI
REAZIONE	2H_2	O_2	$2\text{H}_2\text{O}$
N° moli iniziali	6	3	0
Variazione N° di moli per la reazione	-6	-3	+6
N° moli finali	0	0	6

TABELLA CARICO/SCARICO TRENI



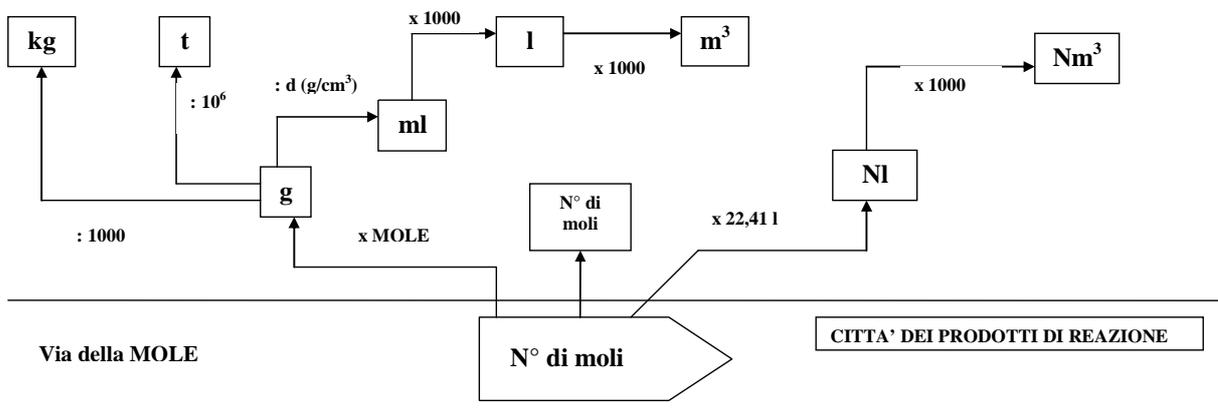
MOLI	REATTIVI		PRODOTTI
REAZIONE	2H_2	O_2	$2\text{H}_2\text{O}$
N° moli iniziali	4	5	0
Variazione N° di moli per la reazione	-4	-2	+4
N° moli finali	0	3	4

TABELLA CARICO/SCARICO TRENI

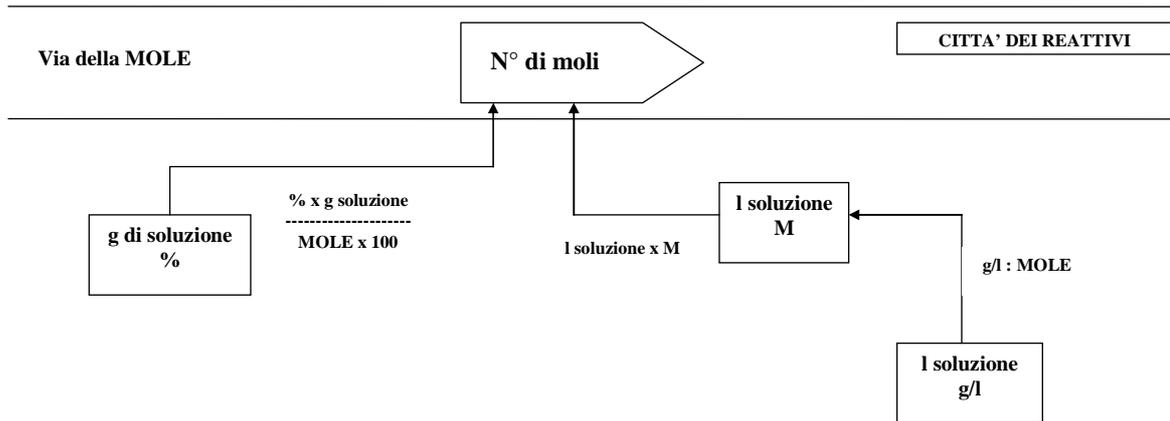
REAZIONE : $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (calcolo dai prodotti)

MOLI	REATTIVI		PRODOTTI
REAZIONE	2H_2	O_2	$2\text{H}_2\text{O}$
N° moli iniziali	8	4	0
Variazione N° di moli per la reazione	-8	-4	+8
N° moli finali	0	0	8

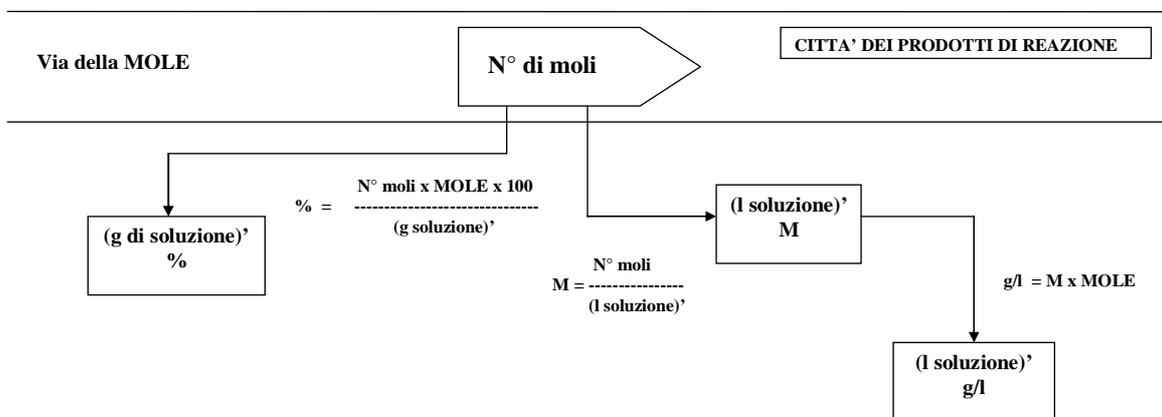
REGOLE PER L'IMMAGAZZINAMENTO PER OGNI TIPO DI PRODOTTO DI REAZIONE (MOLECOLA)



REGOLE PER IL TRASPORTO AL TRENO PER OGNI TIPO DI SOLUTO (MOLECOLA)



REGOLE PER L'IMMAGAZZINAMENTO PER OGNI TIPO DI PRODOTTO DI REAZIONE (MOLECOLA) IN SOLUZIONE



ATTENZIONE : La quantità di soluzione finale (in grammi, litri, ecc.) può essere differente da quella iniziale !

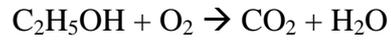
ALLEGATO 5

Test e questionario di stechiometria

TEST DI STECHIOMETRIA

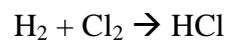
Risolvi i seguenti esercizi:

1. Abbiamo 50 ml di alcool etilico C_2H_5OH con densità $0,98 \text{ g/cm}^3$ che vogliamo bruciare completamente con ossigeno O_2 secondo la reazione (da equilibrare):



Vogliamo sapere quanti litri di ossigeno O_2 misurati a condizioni standard (0°C e 1 atm di pressione) dobbiamo usare

2. Dobbiamo preparare 1,5 litri di una soluzione di HCl contenente 35 g di HCl per 100 g di soluzione e che ha una densità di $1,17 \text{ g/cm}^3$. L'acido cloridrico HCl necessario è preparato con una reazione tra idrogeno H_2 e cloro Cl_2 (da equilibrare):



Quale volume in litri misurati in condizioni standard (0°C e 1atm di pressione) di Cl_2 e H_2 dovremo usare ?

A. Per questi esercizi e anche per altri che hai svolto hai usato la metafora detta del “Paese “ che è schematicamente allegata a questo test o hai preferito fare i calcoli direttamente sulla base delle formule e definizioni che conosci:

Ho usato la metafora [] Non ho usato la metafora []

B. Ritieni che la metafora citata possa essere utile per te per risolvere gli esercizi di stechiometria:

Si è utile [] No non è utile [] E' utile solo in parte []

C. Come giudichi in generale questa metafora:

Interessante per fare i calcoli stechiometrici []

Troppo macchinosa per usarla per i calcoli stechiometrici []

Troppo infantile []

PAESE DELLA STECHIOMETRIA

