
Dipartimento di Chimica Industriale “Toso Montanari”

Corso di Laurea Magistrale in

Chimica Industriale

Classe LM-71 - Scienze e Tecnologie della Chimica Industriale

Quantità di sostanza e numero di moli: progettazione di una sequenza didattica e di un test diagnostico

Tesi di laurea sperimentale

CANDIDATO

Francesco Tartoni

RELATORE

Chiar.mo Prof. Sergio Zappoli

CORRELATORI

Dott. Marco Neviani

Prof. Marco Ghirardi

Anno Accademico 2024-2025

Ringraziamenti

Il presente lavoro di tesi è stato possibile grazie alla preziosa e generosa collaborazione del prof. Marco Ghirardi (Liceo del Cossatese e Valle Strona, gruppo SENDS di Torino), della prof.ssa Elena Ghibaudi (Università di Torino, gruppo SENDS) e del dott. Nicolò Cimadamore (Università di Torino), i quali hanno messo a disposizione il loro materiale didattico e offerto consulenza e confronto in tutte le fasi del progetto.

Un ringraziamento particolarmente sentito è rivolto al prof. Luca Grillini (Istituto Tecnico “Tullio Buzzi”), il cui contributo è stato determinante per la realizzazione della sperimentazione e per l’analisi approfondita dei risultati emersi dal test diagnostico sviluppato nell’ambito di questo studio.

Il più profondo e sincero riconoscimento è infine dedicato al dott. Marco Neviani, che ha diretto e coordinato con estrema dedizione e disponibilità l’intero progetto di tesi, accompagnando ogni fase del lavoro, dalla formazione iniziale alla stesura conclusiva.

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1 RICERCA SULL'EDUCAZIONE CHIMICA	1
1.2 MISCONCEZIONI E TEORIE DEL CAMBIAMENTO CONCETTUALE	3
1.2.1 DEFINIZIONE E ORIGINE DEL MOVIMENTO DELLE MISCONCEZIONI.....	3
2. LA QUANTITÀ DI SOSTANZA	11
2.1 CHE COS'È LA QUANTITÀ DI SOSTANZA E COME SI MISURA	11
2.2 LA QUANTITÀ DI SOSTANZA NELLA DIDATTICA	13
2.3 LA TRASPOSIZIONE DIDATTICA.....	14
2.4 LE MISCONCEZIONI E DIFFICOLTÀ DI APPRENDIMENTO PIÙ DIFFUSE.....	16
3. PROPOSTA DI SEQUENZA DIDATTICA.....	18
3.1 GLI OBIETTIVI FORMATIVI DELLA SEQUENZA DIDATTICA	18
3.2 DESCRIZIONE DEI FOGLI DI LAVORO.....	20
3.3 CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	34
4. ELABORAZIONE E VALIDAZIONE DEL TEST	35
4.1 FOCUS E QUESITI DELLA RICERCA	35
4.2 METODOLOGIE DELLA RICERCA	35
4.3 METODOLOGIE DI RACCOLTA E ANALISI DEI DATI	38
4.4 ATTRIBUZIONE DEI PUNTEGGI	45
4.5 ANALISI STATISTICA DEI PUNTEGGI.....	46
4.6 VALUTAZIONE DELL'AFFIDABILITÀ CON ALPHA DI CRONBACH.....	50
4.7 CALCOLO DEGLI INDICI DI DISCRIMINAZIONE	54
4.8 ANALISI QUANTITATIVA DELLE DIFFICOLTÀ DI APPRENDIMENTO E DELLE MISCONCEZIONI.....	56
4.9 REVISIONE DEL TEST	60
5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	64
5.1 LIMITI DELLO STUDIO	64
5.2 CONTINUO DELLA SPERIMENTAZIONE.....	65
6. BIBLIOGRAFIA.....	66
APPENDICI	71
1) SEQUENZA PER STUDENTI	71
2) TEST	78
3) COLAB NOTEBOOK	86

1. Introduzione

1.1 Ricerca sull'educazione chimica

La ricerca sull'educazione chimica (Chemical Education Research, CER) è uno dei filoni di ricerca sulle didattiche disciplinari (Discipline Based Education Research, DBER)¹ ed esiste come campo di ricerca autonomo da circa un secolo, potendo considerare come data emblematica il 1924, anno in cui viene pubblicato il primo numero del Journal of Chemical Education.

La produzione scientifica dei primi decenni di questo settore, fino agli anni Sessanta, è stata definita come "personal empiricism", volendo indicare l'attitudine della comunità a raccogliere e discutere esperienze significative di insegnamento sulla base della propria personale esperienza, senza la guida di paradigmi teorici sull'apprendimento e argomentazioni basate sull'evidenza^{2,3}. Infatti, la maggior parte della letteratura sull'insegnamento della chimica all'inizio del XX secolo consisteva principalmente in articoli che riportavano opinioni di esperti e raccolte di esercizi di laboratorio; solo a partire dalla seconda metà del secolo iniziano a comparire delle ricerche sistematiche sull'insegnamento e l'apprendimento della chimica².

Sul finire degli anni Settanta, Kornhauser sostenne che "i metodi di insegnamento della chimica derivano dalla struttura, dalla logica e dai metodi della chimica stessa. Nessun'altra disciplina può sostituire la scienza chimica come base della metodologia dell'insegnamento della chimica"³. Il riconoscimento del legame intrinseco tra le didattiche disciplinari e le discipline stesse offre l'opportunità di adattare la didattica ai problemi specifici, traendo ispirazione da struttura, logica e metodi disciplinari, ma rischia d'altra parte di non riconoscere la natura multidisciplinare del settore, privandolo di fondamenti teorici propri di pari importanza come, ad esempio, le teorie dell'apprendimento.

Attualmente, invece, la CER viene considerata un ambito a sé stante: si tratta di una forma di ricerca disciplinare condotta sulla base di un rigoroso progetto di ricerca che genera prove e fornisce informazioni utili alla pratica¹. Questa forma di ricerca disciplinare tiene conto della storia unica dello sviluppo dei concetti chimici, del modo in cui viene costruita la conoscenza della chimica e delle competenze e degli strumenti specifici utilizzati nei laboratori di chimica¹. In altre parole, nonostante la conoscenza approfondita dei principi della chimica sia senz'altro un requisito fondamentale, essa non è sufficiente, in quanto è necessario anche comprendere i metodi e i principi dell'educazione scientifica, della psicologia dell'educazione e delle scienze

cognitive per poter adeguatamente condurre ricerca nel campo dell'insegnamento della chimica².

La CER, quindi, inizia a strutturarsi come scienza quando l'indagine sull'insegnamento e l'apprendimento della chimica assume i caratteri dell'indagine empirica e metodi qualitativi e quantitativi, mutuati da altre branche della scienza, vengono impiegati per costruire conoscenza basata sull'evidenza⁴.

L'oggetto di studio della CER è in generale l'apprendimento e l'insegnamento della chimica, ed ha subito un'evoluzione storica partendo dalla ricerca sul cosa insegnare (contenuti dei corsi) e sull'ordine in cui insegnarlo (struttura dei curricoli), ampliandosi sempre più alla promozione dell'apprendimento significativo, all'uso delle tecnologie dell'informazione per l'insegnamento, alla formazione dei docenti⁵.

Il campo della CER, per il proprio oggetto di studio, è fortemente multidisciplinare, dovendo integrare la conoscenza sulla disciplina di insegnamento (la chimica) con le scienze dell'educazione, la psicologia dell'apprendimento e le neuroscienze^{2,4,6}. La ricerca sull'educazione chimica nutre dai diversi campi di riferimento, le teorie, i paradigmi e i metodi di ricerca più consoni a sviluppare la conoscenza nel proprio ambito. L'avvicinarsi di diversi paradigmi di ricerca educativa generale ha così segnato anche l'evoluzione delle varie DBER in generale, e della CER in particolare.

Il primo lavoro empirico sullo sviluppo della comprensione infantile che si è diffuso nella letteratura sull'insegnamento della chimica è stato quello dello psicologo clinico svizzero Jean Piaget. Piaget osservò che i bambini pensano in modo molto diverso dagli adulti e descrisse il lento sviluppo della conoscenza e dell'intelligenza nel tempo, man mano che nuovi stimoli esterni (provenienti dai corsi di studio o semplicemente dall'esplorazione del mondo) vengono assimilati nelle conoscenze preesistenti del bambino. Più precisamente, Piaget sosteneva che i nuovi stimoli provocano una risposta basata sull'esperienza precedente dell'individuo e alterano anche la sua struttura di conoscenza, in un processo che ha chiamato "accomodamento".

L'abbandono progressivo della visione evolutiva di Piaget, avvenuto tra gli anni Settanta e l'inizio degli anni Ottanta, ha portato le DBER ad operare nel paradigma della "specificità di dominio", cioè a considerare i sistemi di conoscenze come specifici della disciplina indagata⁷, nel nostro caso la chimica.

Il paradigma della specificità di dominio ha portato allo sviluppo di un interesse per sistemi di conoscenze specifici, relativi a domini diversi dell'esperienza e del sapere. In particolare, la ristrutturazione globale prevista dalla teoria dello sviluppo stadiale piagetiana che era frutto

dello sviluppo delle capacità logiche del soggetto, viene sostituita da una ristrutturazione specifica che si manifesta, appunto, in un settore circoscritto, grazie alle nuove conoscenze ottenute dall'esperienza o per effetto dell'istruzione⁷.

1.2 Misconcezioni e teorie del cambiamento concettuale

1.2.1 Definizione e origine del movimento delle misconcezioni

Le misconcezioni sono oggetto di studio della Chemical Education Research a partire dagli anni Settanta^{2,8-10}, periodo in cui destava preoccupazione l'evidente mancanza di comprensione dei concetti scientifici da parte di studenti di scuola secondaria e universitari⁸, anche se è riconoscibile già prima di allora la presenza di questo tema, ad esempio nel lavoro di Karplus¹¹. La nascita del “*misconception movement*”² è avvenuta in un periodo in cui la ricerca in educazione chimica accoglieva come paradigmi di ricerca empirica gli sviluppi più recenti della ricerca educativa e psicologica sull'apprendimento. Il contributo di Piaget¹² e del cognitivismo¹³, così come le teorie pedagogiche di Ausubel, Bruner e Novak¹⁴, hanno contribuito a definire, tra gli anni Settanta e Ottanta, la visione sulle preconcezioni e misconcezioni degli studenti.

Con il termine misconcezioni si intendono le differenze qualitative tra i concetti (o reti di concetti) che gli studenti utilizzano per spiegare i fenomeni scientifici e quelli che utilizza la comunità degli scienziati esperti. Esse vengono anche chiamate concezioni alternative, concezioni naïf, concezioni intuitive, alternative framework, versioni scientifiche personali, costrutti personali^{15,16}. Nonostante il modo di intendere o modellizzare le misconcezioni non sia univocamente determinato, la comunità è concorde nel trattarlo come un problema di rappresentazione mentale della conoscenza⁹, e quindi possiamo intendere per misconcezione ogni rappresentazione mentale che porta a risposte, soluzioni, spiegazioni che si discostano da quella scientificamente considerata corretta di un fenomeno^{17,18}.

Le stesse misconcezioni sono riportate in letteratura in contesti e in periodi diversi, e sono quindi disponibili elenchi delle più diffuse misconcezioni per ogni argomento o nucleo tematico. Ne riportiamo alcune a titolo di esempio:

1. attribuire proprietà macroscopiche alle particelle microscopiche (essere caldo, fondere, avere un colore...)¹⁹
2. il ponte salino di una cella galvanica permette il passaggio di elettroni¹⁹
3. gli orbitali sono traiettorie degli elettroni¹⁸

4. i composti ionici esistono come coppie di ioni²⁰
5. le soluzioni acide non contengono ioni OH⁻²¹.

1.2.2 Natura e origini delle misconcezioni

La modellizzazione delle misconcezioni nella ricerca educativa e nella tradizione della CER è variata nel corso degli anni, ed oggi abbiamo a disposizione diversi modi di descrivere il fenomeno delle misconcezioni. Nei primi anni di ricerca sulle misconcezioni era comune trattarle come entità coerenti e stabili che potevano essere superate grazie a opportuni interventi educativi. Alcuni ricercatori hanno portato la propria attenzione sui costrutti organizzatori dei (mis)concetti piuttosto che sul loro contenuto semantico. La proposta di di Sessa invece considera la misconcezione come un coordinamento estemporaneo (non corretto) di unità più piccole di significato^{2,17}. Una delle caratteristiche delle misconcezioni che ha attratto l'attenzione dei ricercatori fin dall'inizio è la loro resistenza al cambiamento; in letteratura, infatti, viene spesso riportato che le misconcezioni si ritrovano apparentemente uguali anche dopo anni di istruzione²²⁻²⁵. Chi e colleghi²⁶ elencano le caratteristiche delle misconcezioni, alcune delle quali contestate da altri modelli:

1. robustezza: gli studenti le abbandonano con difficoltà;
2. coerenza: esse sono sistemi di idee che si manifestano coerentemente sotto diversi stimoli;
3. persistenza: a diversi livelli scolari le misconcezioni sono sempre simili;
4. omogeneità: le stesse misconcezioni sono condivise da tanti studenti;
5. ricapitolazione: le idee di scienziati del passato assomigliano alle misconcezioni degli studenti di oggi;
6. sistematicità: le misconcezioni sono strutturate come teorie.

Per le loro caratteristiche, le misconcezioni attirano l'attenzione dei ricercatori, in quanto questo genere di rappresentazioni mentali della conoscenza possono impedire l'apprendimento corretto della chimica^{11,27,28}. Per dirla con le parole di Nussbaum e Novik: "*unlearning of preconceptions might prove to be the most determinative single factor in the acquisition and retention of subject-matter knowledge*"²².

Le misconcezioni possono originarsi dall'interazione con il mondo fisico o culturale, cioè, possono svilupparsi per esperienza diretta con i fenomeni naturali o possono essere apprese culturalmente (attraverso la partecipazione al senso comune o grazie all'istruzione formale, non formale e informale). Per riferirsi in modo specifico alle concezioni che esistono prima di un intervento di istruzione viene generalmente utilizzato il termine "preconcezioni". Tra le

possibili origini delle misconcezioni in ambito scolastico annoveriamo: inadeguatezza del curriculum, trasmissione diretta dai docenti o dai libri di testo, inadeguatezza della didattica²⁹. Le teorie dell'apprendimento offrono spunti per comprendere come la didattica può promuovere o evitare lo sviluppo di misconcezioni; ad esempio, sono potenziali fonti di misconcezioni (1) l'uso didattico di analogie, (2) il sovraccarico della memoria di lavoro, (3) la non considerazione dello sviluppo cognitivo, (4) la poca cura del lessico utilizzato, (5) la non considerazione delle conoscenze pregresse.²⁹

1.2.3 Alcune particolarità della chimica

Alcuni autori^{9,30} sostengono che nel caso della chimica, a differenza di fisica, biologia e scienze della Terra, la maggior parte delle misconcezioni sia di origine scolastica (*school-made misconceptions*¹⁶, *didaskalogenic misconception*^{2,28}). Infatti, già Karplus¹¹ faceva notare che l'ambiente in cui cresciamo durante l'infanzia è relativamente inerte dal punto di vista chimico: la fenomenologia chimica è quindi generalmente poco esplorata prima dell'istruzione chimica formale e i concetti chimici, che sono obiettivi di apprendimento scolastico, troppo spesso sono percepiti distanti dalla realtà quotidiana di cui facciamo esperienza³¹.

Anche il laboratorio didattico, momento importante e caratterizzante per la didattica della chimica, è oggetto di ricerca didattica ed è da considerare per un discorso completo sulle misconcezioni. Nonostante sia spesso descritto come ambiente d'apprendimento ricco di potenzialità e generalmente poco sfruttato, il laboratorio didattico presenta, al pari degli altri ambienti di apprendimento, rischi per lo sviluppo di misconcezioni, e deve essere quindi progettato attraverso una mediazione didattica informata e intenzionale.

In letteratura CER il laboratorio è stato descritto (seguendo il paradigma cognitivista) come un'attività in grado di sovraccaricare la memoria di lavoro^{32,33}, sia per la ricchezza di stimoli presenti che per la richiesta di attivare e coordinare diversi campi del sapere (conoscenza dichiarativa e conoscenza procedurale). Se è vero che l'osservazione è carica di teoria, gli studenti possono trovarsi in difficoltà nel richiamare tutte le conoscenze necessarie per osservare e descrivere quei fenomeni, grandezze o variabili che per lo scienziato già esperto sono evidentemente oggetto di interesse¹⁴. Per questi motivi alcuni autori esprimono pareri scettici nei confronti di quelle metodologie didattiche *inquiry-based* che lasciano grande libertà di esplorazione e sperimentazione agli studenti¹⁰.

Un ulteriore elemento caratterizzante la chimica che va considerato nel discorso sulle misconcezioni è la presenza simultanea di tre livelli di pensiero (macroscopico, submicroscopico, simbolico) proposta da A. H. Johnstone¹³. Se nella proposta didattica non si

tiene conto della difficoltà delle persone non esperte di coordinare le proprie rappresentazioni (concetti) appartenenti a questi tre livelli, la probabilità di indurre misconcezioni è elevata^{16,34}. In letteratura vengono infatti riportate numerose misconcezioni che riguardano l'incapacità di distinguere proprietà appartenenti a questi tre livelli²⁸.

1.2.4 Le teorie del cambiamento concettuale

Quali sono i meccanismi della formazione e del cambiamento dei concetti, o concezioni? Quali condizioni favoriscono la ristrutturazione delle conoscenze? Queste domande hanno guidato un filone di ricerca educativa e psicologica fin dall'inizio degli anni Ottanta, con l'obiettivo di poter prevenire le misconcezioni di origine scolastica e saper modificare le preconcezioni⁷. La ricerca sul cambiamento concettuale (*Conceptual Change*) si situa nel paradigma socio-costruttivista³⁵, cioè considera la conoscenza (in questa sede, la conoscenza scientifica del mondo chimico) come costruita dal soggetto sulla base delle proprie esperienze nella realtà fisica e culturale. Sono stati sviluppati numerosi modelli di cambiamento concettuale^{36,37}, con caratteristiche anche molto diverse tra loro per quanto riguarda le assunzioni di base e le variabili considerate, ma tutti i modelli hanno alcuni elementi in comune:

1. la consapevolezza che la didattica tradizionale non è in grado di promuovere il cambiamento concettuale³⁸;
2. l'attivazione esplicita delle misconcezioni sfruttando i conflitti cognitivi⁹.

È chiara la radice piagetiana di questo filone di ricerca, che ha molto sviluppato quello che era descritto da Piaget come disequilibrio-accomodamento.

Le prime teorie del cambiamento concettuale si sviluppano a partire dall'analogia, già suggerita da Piaget, tra lo studente che apprende le scienze e lo scienziato ricercatore^{7,22,39}. Nell'ambito di questa analogia, sono stati mutuati alcuni elementi dalla filosofia della scienza per modellizzare il cambiamento concettuale della singola persona, ricalcando il cambiamento concettuale che le comunità scientifiche attraversano col progredire della ricerca. L'autore che ha maggiormente ispirato i ricercatori della CER è stato Thomas Kuhn, ricordato per il suo "*La struttura delle rivoluzioni scientifiche*" del 1962. Nussbaum e Novik²² hanno evidenziato alcune condizioni da controllare per favorire la ristrutturazione delle conoscenze: (1) attivare la preconcezione attraverso un *exposing event*; (2) creare un conflitto concettuale attraverso un *discrepant event*; (3) favorire l'accomodamento della concezione scientificamente accettata.

Il modello di cambiamento concettuale proposto da Posner e Strike^{40,41} è spesso indicato come il modello "classico"⁹. Il loro modello ha diversi aspetti in comune con quello di Nussbaum, ma essi introducono i concetti di *status di un concetto* e di *ecologia concettuale*, attraverso i quali

offrono una modellizzazione più completa delle rappresentazioni della conoscenza, della loro ristrutturazione e delle caratteristiche delle misconoscenze⁷. La *conceptual ecology* è l'insieme di tutte le rappresentazioni del soggetto, considerando non solo le conoscenze ma anche le "*fundamental assumptions about science and about knowledge*"^{40,41}. Sono considerati elementi fondamentali dell'ecologia concettuale le anomalie, le analogie, le metafore, le credenze epistemologiche e ontologiche sia implicite che esplicite, le conoscenze di altri campi del sapere. Le condizioni che permettono il cambiamento concettuale sono quattro: (1) insoddisfazione delle proprie concezioni attuali, (2) intelligibilità della nuova concezione da costruire, (3) plausibilità della nuova concezione, (4) utilità della nuova concezione. Il modello di Posner e colleghi conferisce importanza alla consapevolezza che ha lo studente delle proprie rappresentazioni e considera esplicitamente elementi della conoscenza che non sono solo quelle della disciplina di cui ci si vuole occupare. Questo modello considera i sistemi di concetti come entità coerenti che possono entrare in competizione tra loro, concezione che è stata messa in discussione da modelli più recenti.

Per cercare di superare alcune evidenze contraddittorie riguardo alle misconcezioni scientifiche, come ad esempio il fatto che alcune idee scorrette siano più facili da modificare rispetto ad altre che si presentano come fortemente resistenti, Chi e colleghi²⁶ hanno proposto di descrivere il cambiamento concettuale sulla base di categorie ontologiche. Gli autori portano come esempi paradigmatici alcuni concetti fisici che sono scientificamente descritti come processi, ma che vengono spesso concettualizzati dagli studenti come sostanze, ad esempio il calore, e sviluppano la propria proposta individuando tre principali categorie ontologiche nelle quali inserire le entità del mondo: sostanze, processi, stati mentali. Quando uno studente rappresenta un concetto in una categoria ontologica diversa rispetto alla comunità scientifica, allora il processo di cambiamento concettuale prevede che il concetto venga spostato di categoria, e questo processo difficoltoso rende ragione delle caratteristiche tipiche delle misconcezioni. Gli autori inoltre sostengono che questo modello può rendere conto della diversa profondità o intensità di cambiamento concettuale necessaria per modificare diverse concezioni: nei casi in cui è necessario uno spostamento di categoria il cambiamento concettuale è più ostico rispetto ai casi in cui è necessario spostarsi tra sottocategorie nella stessa categoria, ad esempio tra due diversi tipi di processi. Questo modello, che elabora l'idea di ecologia concettuale, spiega bene l'origine di alcuni tipi ricorrenti di misconcezioni, ed ha dimostrato validità nella ricerca sperimentale⁷.

Uno dei primi modelli di cambiamento concettuale che mette in discussione la natura coerente delle misconcezioni, cioè il loro essere strutturate come teorie, è quello proposto da A. A. di Sessa alla fine degli anni Ottanta. Viene proposto che le risposte scorrette degli studenti, a differenza della conoscenza degli esperti, possano non originarsi da strutture di concetti stabilmente connessi tra loro, ma dalla coordinazione di frammenti di conoscenza ("*knowledge in pieces*") stimolata dalla domanda o dalla situazione^{2,42}. L'accento è quindi posto sull'attivazione delle risorse presenti nell'ecologia concettuale. L'essenza dinamica e temporanea delle concezioni nel modello di di Sessa è difficilmente conciliabile con alcuni modi di indagine per la rivelazione delle misconoscenze, proprio per il fatto che in questo modello non necessariamente tutte le concezioni sono strutture stabili, e che il prompt stesso con cui si stimola una risposta causa il coordinamento di frammenti di conoscenza². È stato proposto di poter descrivere la stabilità delle concezioni e la dinamicità della coordinazione di frammenti come due estremi di uno spettro².

Numerosi autori hanno messo in evidenza lo sforzo deliberato che è necessario per la ristrutturazione delle proprie concezioni, ovvero per l'apprendimento concettuale^{14,43}. Poiché l'apprendimento è una responsabilità del singolo studente^{23,44}, esso deve essere sostenuto da opportuna motivazione. Il problema della motivazione all'apprendimento è centrale nel paradigma costruttivista: il soggetto che apprende è spinto al cambiamento delle proprie conoscenze dal contesto e dai propri desideri e aspettative⁴⁵; solo dagli anni Novanta, però, è stato riconosciuto il forte legame tra la sfera cognitiva e quella affettiva delle persone⁴⁶, e per questo si dà più attenzione, anche nella ricerca empirica, ad aspetti come la motivazione, l'interesse verso la materia, le emozioni³⁶. In quest'ottica sono stati proposti modelli di cambiamento concettuale "caldo", ossia che tengono esplicitamente in considerazione gli aspetti affettivi e motivazionali⁷. In particolare, Pintrinch e colleghi⁴⁶ hanno messo in evidenza alcuni difetti del modello classico di cambiamento concettuale nel descrivere le situazioni reali di apprendimento:

1. il ruolo della conoscenza pregressa è paradossale, in quanto è l'unico mezzo di intellegibilità e valutazione di nuovi stimoli, ma può ostacolare il cambiamento concettuale (questa ambivalenza è da far risalire al pensiero di G. Bachelard⁴⁷);
2. i modelli di cambiamento concettuale che si limitano a considerare solo gli aspetti cognitivi non descrivono adeguatamente ciò che succede in classe, dove le motivazioni personali e il contesto determinano l'attivazione delle risorse cognitive;

3. il concetto di ecologia concettuale è limitato, in quanto non può descrivere l'intenzionalità con cui è costruita la conoscenza;
4. l'analogia tra apprendimento e storia della scienza è limitata, in quanto la comunità di studenti non ha le stesse caratteristiche della comunità di scienziati;
5. i cambiamenti concettuali nella storia della scienza non sono descritti da tutti i filosofi come cambiamenti solamente razionali.

Per questo, suggeriscono di prendere in considerazione alcuni costrutti motivazionali, come orientamento all'obiettivo, senso di autoefficacia o percezione dei fattori che influenzano le prestazioni, e la loro interazione con la sfera cognitiva. A partire da queste critiche verso il *conceptual change* classico, si è arrivati a considerare non solo le informazioni costituenti i concetti, ma anche la consapevolezza e l'intenzionalità dell'apprendimento concettuale⁷.

Nel primo decennio del XXI secolo la ricerca psicologica ha prodotto evidenze empiriche del fatto che le preconcezioni in condizioni di deterioramento cognitivo o carico cognitivo elevato possano ripresentarsi e dare luogo a risposte non scientificamente corrette⁴⁸. Alcuni studiosi hanno quindi messo in discussione i modelli di cambiamento concettuale elencati finora, in quanto basati su due assunzioni: (1) il cambiamento concettuale coincide con la ristrutturazione delle reti di concetti e (2) le rappresentazioni che vengono ristrutturate cessano di esistere o di essere attivate. Vengono quindi proposti modelli che prevedono la coesistenza di concezioni anche contrastanti tra loro^{9,48}. La proposta di questi modelli di cambiamento concettuale è basata sulla ricerca psicologica, ma l'idea di coesistenza di concezioni è presente in letteratura fin dagli anni Novanta⁴⁹.

1.2.5 Perché studiare le misconcezioni

La ricerca sulle misconcezioni è inevitabile all'interno del paradigma socio-costruttivista dell'apprendimento; infatti, se è vero che ogni singola persona costruisce le rappresentazioni della propria conoscenza, allora la modellizzazione dei concetti e dei fenomeni che li riguardano è di fondamentale importanza, sia per la ricerca di base che per il miglioramento delle pratiche didattiche. Esplicitando i processi di formazione dei concetti e le condizioni per il loro cambiamento, quelli che in ottica comportamentista sono errori o azioni non adatte diventano indizi dai quali inferire le rappresentazioni della persona, assumendo il più possibile il suo punto di vista. Piaget stesso ha dichiarato di essersi concentrato nelle sue ricerche più sulle risposte sbagliate dei soggetti che studiava che su quelle corrette.

La ricerca sulle misconcezioni dà importanti indicazioni per la didattica⁵⁰, intesa come insegnamento per l'apprendimento²⁹. Come suggerisce Berti, "*le ricerche minuziose su svariate*

*concezioni presenti a diversi livelli scolari [sono] di estrema utilità per gli insegnanti. Conoscendo in anticipo le idee presumibilmente presenti nei loro allievi e facendo una verifica di massima con una discussione in classe, essi possono stabilire i percorsi e tempi più adatti per l'insegnamento o, più modestamente, rendersi conto delle difficoltà a cui i loro allievi vanno incontro"*³⁹. La convinzione che la ricerca sulle misconcezioni possa avere ricadute dirette sulla scuola è presente in letteratura CER fin dalla fine degli anni Settanta²², parallelamente alla raccolta di evidenze che molti studenti faticano nell'apprendimento significativo della chimica o sviluppano misconcezioni anche sugli argomenti di base^{30,42}. Proprio in questo filone si inserisce il lavoro che presentiamo in questa tesi. La letteratura infatti riporta molti studi sulle misconcezioni, ma poche proposte operative di trasposizione didattica che - tenendo conto dei quadri teorici esistenti - siano mirate a indurre un cambiamento concettuale che porti a risolvere le misconcezioni stesse. La progettazione di una sequenza didattica parte dalla ricognizione e dall'analisi delle misconcezioni riportate in letteratura, per ideare un percorso di apprendimento che tenga conto delle possibili preconcezioni da modificare e delle probabili misconcezioni da evitare.

2. La quantità di sostanza

2.1 Che cos'è la quantità di sostanza e come si misura

Una delle grandezze fondamentali del Sistema Internazionale è la quantità di sostanza, la cui unità di misura è la mole. L'una e l'altra sono di grande importanza per poter ragionare chimicamente⁵¹: tutti i chimici le utilizzano per parlare della materia e delle sue trasformazioni e sono insegnate nei corsi di chimica fin dalla scuola secondaria.

La quantità di sostanza - o quantità chimica - è una grandezza con la quale i chimici operano continuamente, ma della quale non sono sempre consapevoli⁵², preferendo piuttosto il concetto di mole. Questo fenomeno è in parte comprensibile storicamente, poiché il concetto di mole ha di gran lunga preceduto la formalizzazione della grandezza quantità di sostanza^{52,53}. Ciò nonostante, sono numerosi gli autori che suggeriscono di dare più attenzione al modo in cui la mole viene intesa e introdotta agli studenti, non trascurando l'importanza della grandezza quantità di sostanza, di cui la mole è unità di misura.

Sebbene il nome "mole" sia stato proposto nel 1900 da Ostwald^{52,54}, la quantità di sostanza è una grandezza che accompagna la chimica moderna fin dai suoi albori nel XVIII secolo, ed ha la complessità tipica dei concetti che si sono evoluti storicamente insieme alla comunità che li utilizza. Essa si origina dal riconoscimento dei rapporti ponderali di combinazione nelle trasformazioni chimiche e dalla necessità di paragonare tra loro reazioni dello stesso tipo o reagenti con caratteristiche chimiche uguali⁵⁵. I chimici tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento riconoscono che, ad esempio, due acidi reagiscono con la stessa base in rapporti definiti e costanti, e che quindi esiste un rapporto definito tra le masse dei due acidi che possono reagire con la stessa quantità di base. Si parlava quindi di masse *equivalenti*, intendendo che sono in grado di reagire con la stessa quantità di sostanza del reagente preso come riferimento. Si fa notare esplicitamente che il concetto di equivalente, che ha lo scopo di stabilire rapporti quantitativi tra i reagenti fondati sul principio di equivalenza della capacità reattiva, precede l'affermarsi della teoria atomica-molecolare. Inoltre, esso è stato il presupposto per la determinazione dei pesi atomici, che sono stati determinati sperimentalmente basandosi su misure di massa e di volume di sostanze che reagiscono tra loro. Come sottolineano Turco e Cerruti (riferendosi alla definizione del 1971 del Sistema Internazionale), i chimici dell'Ottocento *"avevano misurato le quantità di sostanza delle più disparate sostanze facendo reagire le sostanze fra di loro, ed eseguendo così nel mondo materiale quell'operazione di corrispondenza biunivoca fra i componenti microscopici di sistemi macroscopici indicata dalla*

definizione di mole"⁵⁵. Quantificare la reattività delle sostanze è stato quindi fondamentale per l'affermarsi della teoria atomica, e la sua accettazione definitiva ha portato all'utilizzo delle moli al posto degli equivalenti⁵²: l'affermarsi della teoria atomica ha spostato l'attenzione dei chimici più sulle proporzioni tra numeri di particelle che sulle proporzioni tra masse o volumi⁵¹.

Nel 1971 la quantità di sostanza viene annoverata tra le sette grandezze fondamentali del Sistema Internazionale, insieme alla sua unità di misura: la mole. La definizione della mole del 1971 è composta di due parti:

"La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 kg di carbonio 12. Quando si impiega la mole, le entità elementari devono essere specificate e possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle o gruppi specificati di tali particelle"

La prima parte si riferisce a grandezze macroscopiche, prendendo come riferimento un campione di carbonio-12; la seconda parte invece si riferisce esplicitamente al mondo microscopico e richiede di specificare quale tipo di particella viene considerata. Ne deriva che, a differenza delle altre grandezze fisiche, nel caso della quantità di sostanza non è sufficiente specificare il valore numerico e l'unità di misura, ma si deve anche dichiarare a quale tipo di sostanza ci si riferisce^{55,56}. Il riferimento contestuale a due diversi livelli di realtà (il macroscopico e il microscopico) che si osserva in questa definizione di mole è uno degli aspetti caratterizzanti l'epistemologia chimica⁵⁵.

Nel 2018 la definizione di mole del Sistema Internazionale è stata modificata, suscitando un dibattito che può essere approfondito partendo dal contributo di Ghibaudi, Ghirardi e Regis⁵³, e che qui riportiamo brevemente per le sue conseguenze didattiche. La nuova definizione della mole recita:

"The mole, symbol mol, is the SI unit of amount of substance. One mole contains exactly $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementary entities. This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant, N_A , when expressed in the unit mol^{-1} and is called the Avogadro number. The amount of substance, symbol n , of a system is a measure of the number of specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles."

Le principali diversità messe in evidenza dagli autori sono:

- mancanza di riferimento esplicito a una massa;
- definizione del valore numerico della costante di Avogadro;
- concettualizzazione della mole come un'operazione di conteggio diretto.

Tra chimica e metrologia viene a crearsi un "conflitto epistemologico" riguardante la mole: nella definizione precedente era messa in evidenza l'azione del *contare pesando*, mentre in quella più recente sembra ci si riferisca a un'operazione di conteggio diretto, che non è in alcun caso possibile. La mole, quindi, cessa di essere una connessione tra il mondo macroscopico e quello microscopico, nonostante questo caratterizzi la sua evoluzione storica e sia un fondamento del sapere chimico.

Alla luce di questa analisi epistemologica, si nota immediatamente come il riconoscimento della grandezza quantità chimica non sia entrato nell'uso corrente dei chimici e dei docenti di chimica, che molto spesso si riferiscono al "numero di moli" anziché alla quantità di sostanza^{52,54,56}. Questo modo di esprimersi ha le proprie radici storiche nei concetti operativi di grammo-atomo e grammo-molecola, e sopravvive anche per la difficoltà di concettualizzare la grandezza quantità di sostanza se decontestualizzata dal problema di reattività chimica che le ha dato origine. Come fa notare Gorin⁵⁴, la quantità chimica non può essere compresa qualitativamente con l'aiuto dei sensi, come avviene per la massa o il volume, perché esprime una proporzione tra il numero di particelle di un campione (che può anche non essere una sostanza, ad esempio ioni in soluzione) e il numero di particelle del campione di riferimento.

2.2 La quantità di sostanza nella didattica

La stechiometria è considerata una parte imprescindibile della formazione chimica di base, ma da diversi decenni sono evidenziate difficoltà nel suo apprendimento e insegnamento^{52,54,57}.

Uno degli obiettivi formativi per la didattica di tutte le scienze naturali è la soluzione dei problemi in modo concettuale e non algoritmico. Ciò nonostante, anche nell'ambito della stechiometria, le ricerche continuano a rilevare una generale incapacità degli studenti a giustificare le soluzioni dei problemi e a operare il transfer delle conoscenze e delle abilità⁵⁷⁻⁵⁹. Il caso della stechiometria è di fondamentale importanza per la chimica, sia per ragioni evidenti di fondamento della disciplina, sia perché è stata evidenziata una correlazione positiva tra la preparazione in stechiometria alla scuola secondaria e il successo al primo anno di università nel corso di chimica⁶⁰. L'abilità a risolvere problemi in modo non algoritmico non può che derivare dallo sviluppo delle singole abilità richieste e dalla costruzione di una rappresentazione concettuale corretta. Proprio per questo l'analisi epistemologica offre preziosi strumenti per la didattica.

Essendo la stechiometria un argomento fondamentale per la chimica, essa è insegnata da sempre nei corsi di base, e le difficoltà di apprendimento sono state evidenziate nella letteratura della

ricerca in educazione chimica. Il pensiero di Piaget, che ha fortemente influenzato la ricerca in educazione chimica, spiega bene le difficoltà legate alla stechiometria: essa, trattando di grandezze che sono rapporti, comprende concetti formali⁶¹, che sono correttamente compresi solo dagli studenti che hanno raggiunto l'ultimo stadio di sviluppo cognitivo. Una delle difficoltà di apprendimento è quindi il ragionamento proporzionale, che è necessario per comprendere la stechiometria e risolvere problemi.

Un altro problema didattico specifico della stechiometria è la possibilità di contare pesando, ossia di operare un conteggio indiretto delle particelle. L'abilità di contare pesando non è originariamente legata alla quantità di sostanza, cioè alla quantificazione di una reattività, ma lo diventa con l'affermarsi della teoria particellare. La difficoltà di apprendimento del contare pesando si somma alla precedente, in quanto la definizione storica di mole prescinde dall'effettivo valore della costante di Avogadro, e si basa solo su ragionamenti di tipo proporzionale: in una reazione non importa il numero effettivo di particelle, ma importa la proporzione tra il numero di particelle delle diverse sostanze coinvolte. La combinazione di queste due difficoltà rende allettante ed efficace la trasposizione didattica della mole come un conteggio diretto di particelle, scelta che certamente evita una difficoltà tipica degli studenti⁶², ma che ha importanti conseguenze sulla loro epistemologia chimica^{54,56}. Per superare questa difficoltà, nota da tempo⁶³, sono state proposte diverse sequenze didattiche⁵⁶, basate sulla convinzione che il concetto di mole non possa essere ridotto né a una massa, né a un conteggio diretto di particelle, e che si debba quindi sviluppare il concetto di contare pesando.

Una difficoltà di apprendimento legata alle due precedenti (ragionamento proporzionale e contare pesando) è la possibilità di definire il sistema di masse atomiche o molecolari relative senza poter né pesare né contare le singole particelle. Questo snodo concettuale fondante della chimica moderna, avvenuto nella metà del XIX secolo, mette in difficoltà gli studenti di oggi.

2.3 La trasposizione didattica

L'analisi storica ed epistemologica delle conoscenze chimiche, nel nostro caso la quantità di sostanza e la stechiometria, e la conoscenza delle tipiche difficoltà di apprendimento degli studenti sono due elementi fondamentali per poter eseguire la trasposizione didattica, cioè quel processo di trasformazione delle conoscenze che è caratteristico della professionalità dei docenti. Il concetto di trasposizione didattica si basa sulla distinzione tra *sapere sapiente* e *sapere insegnato*, cioè sul riconoscimento che gli obiettivi di apprendimento che gli insegnanti

definiscono per gli allievi non sono mere semplificazioni del sapere accademico. Per dirlo con le parole di Ghibaudi, Roletto e Regis:

“In base a questo concetto si sostiene che il sapere chimico codificato e formalizzato (sapere sapiente o sapere esperto) non può essere trasmesso tal quale agli allievi, a causa per esempio delle numerose relazioni fra concetti. Per essere insegnato, il sapere chimico sapiente subisce un insieme di trasformazioni adattative che lo rendono accessibile agli allievi. Il “lavoro” mediante il quale un oggetto del sapere chimico esperto viene trasformato in oggetto di insegnamento prende il nome di trasposizione didattica.”⁶⁴

Secondo gli autori, le strategie educative che possono essere attuate per la costruzione di attività mentali ed esperienze grazie alle quali gli allievi possono acquisire in modo attivo concetti e modelli della disciplina sono la *storicizzazione* e la *problematizzazione* del *sapere sapiente*, processo che inverte la *depersonalizzazione* e la *decontestualizzazione* che questo subisce per essere validato dalla comunità scientifica. In particolare, l’insegnamento basato su situazioni-problema sfrutta tale espediente didattico per ripercorrere i problemi epistemologici che hanno accompagnato il reale progredire della ricerca, sfruttando lo strumento del “problema” come movente, mezzo e criterio per la verifica dell’apprendimento. A tale scopo, il problema presentato deve essere (1) stimolante e coinvolgente, e l’apprendimento cui esso mira deve essere (2) indispensabile alla risoluzione del problema e (3) percepito dagli allievi come perseguibile tramite le conoscenze in loro possesso.

In letteratura molti studi suggeriscono di insegnare la quantità di sostanza e la mole sulla base della definizione ufficiale, piuttosto che lavorare sulla trasposizione didattica dei concetti e delle abilità implicati⁵⁹. Ciò è coerente con la carenza di formazione dei docenti di chimica sulla storia della propria materia, che spesso causa ignoranza dell'origine ed evoluzione dei concetti sui quali operano la trasposizione didattica⁵².

Le trasposizioni didattiche che più spesso vengono realizzate nei libri di testo o nei corsi scolastici e universitari scelgono due strategie principali: concettualizzare la mole come un'operazione di conteggio diretto, oppure come una massa^{51,52}. L'operazione di conteggio diretto delle particelle si basa sulla conoscenza della costante di Avogadro, che in questa visione è trattata come un numero puro piuttosto che come una costante di proporzionalità, e si avvale sovente di analogie con concetti come la dozzina o il centinaio; a partire da questa conoscenza, e dalla conoscenza dell'equazione chimica, la soluzione dei quesiti stechiometrici a livello submicroscopico è facilmente accessibile agli studenti. La concettualizzazione della mole come una massa, cioè l'identificazione con la massa molare, invece si basa su un apprendimento

sostanzialmente algoritmico dell'equivalenza numerica tra massa atomica relativa e massa molare.

Ciò che accomuna questi due approcci è il fatto che la grandezza *quantità di sostanza* non viene nominata o concettualizzata, e quindi la mole non è identificata come una unità di misura. Più in generale, le difficoltà di apprendimento originano dal coordinamento del livello macroscopico e microscopico della chimica; infatti, la mole si pone a ponte di queste due dimensioni del pensiero chimico, permettendo di pesare una quantità macroscopica per contare entità microscopiche. Per questo motivo viene suggerito come prerequisito la solida conoscenza del modello particellare⁵¹.

2.4 Le misconcezioni e difficoltà di apprendimento più diffuse

In letteratura^{51,56,65} vengono riportate alcune misconcezioni e difficoltà di apprendimento tipiche e diffuse circa la quantità di sostanza e l'introduzione alla stechiometria. Riportiamo di seguito sia le concezioni alternative sia le difficoltà di apprendimento che riguardano gli studenti universitari e di scuola secondaria di secondo grado.

Concezioni alternative (da qui in avanti indicate con un codice formato da una “M” seguita dal relativo numero):

1. identificazione della mole con una massa;
2. identificazione della mole con un numero di particelle;
3. identificazione della mole con un volume;
4. concezione della mole come proprietà di una particella;
5. concezione della mole in riferimento alle molecole e non agli atomi;
6. identificazione della molarità con il “numero di moli”;
7. la proporzione tra il numero di particelle (in una reazione chimica) è identica alla proporzione tra le masse delle sostanze coinvolte.

Difficoltà di apprendimento (da qui in avanti indicate con un codice formato dalla sigla “DdA” seguita dal relativo numero):

1. difficoltà nel passare correttamente dal livello empirico al livello atomico/molecolare;
2. difficoltà nell'associare l'idea di quantità chimica al conteggio delle particelle (*questo non significa che la quantità chimica sia un numero di particelle*);
3. difficoltà nel giustificare come mai massa atomica o molecolare (u) sono numericamente coincidenti con la relativa massa molare (g/mol);

4. difficoltà nella distinzione tra pedici e coefficienti stechiometrici;
5. difficoltà nel considerare che atomi diversi hanno masse atomiche diverse;
6. difficoltà nella soluzione di esercizi quando i rapporti stechiometrici non sono 1:1.

La presenza e la ricorrenza di tali ostacoli nell'apprendimento della quantità di sostanza e della sua unità di misura si spiega sulla base dell'analisi dei precedenti paragrafi. Infatti, è riportato in letteratura^{51,56,65} che: 1) la quantità di sostanza è un concetto formale; inoltre, le persone che studiano 2) non possiedono adeguati prerequisiti di chimica e matematica e 3) tendono a risolvere i problemi in modo algoritmico; infine, le persone che insegnano 4) si servono di un utilizzo non ottimale di analogie.

Nell'ottica di uno studio delle concezioni, il punto di vista da noi scelto per l'analisi del problema didattico è quello, condiviso da alcuni studiosi^{51,65}, che la capacità di risolvere problemi ottenendo un risultato numericamente corretto non dà informazioni sulla comprensione dei concetti, in particolare per quanto riguarda la connessione tra gli aspetti macroscopici e quelli particellari e simbolici che sono coinvolti nella misura della quantità di sostanza.

L'obiettivo che ci si è posti nella progettazione della sequenza didattica è stato quello di evitare la formazione delle misconcezioni tipiche e di favorire il cambiamento concettuale se queste fossero già presenti. Nel capitolo successivo, è illustrato il processo di progettazione della sequenza, che parte dall'analisi delle misconcezioni e delle difficoltà di apprendimento riportate in letteratura e tenta di sviluppare situazioni di apprendimento che favoriscano l'apprendimento concettuale piuttosto che quello algoritmico.

3. Proposta di sequenza didattica

3.1 Gli obiettivi formativi della sequenza didattica

Alla luce dell'analisi riportata nel capitolo precedente - effettuata sulla base dei documenti ufficiali che accompagnano la nuova definizione di mole e della letteratura didattica – si riportano di seguito le idee basilari, o *obiettivi di apprendimento* (OdA), concernenti i fondamenti della stechiometria (da qui in avanti indicate con un codice, composto dalla sigla “OdA” seguita dal relativo numero):

1. la materia è discontinua ed è costituita da particelle (atomi, molecole, ...);
2. le trasformazioni chimiche implicano la trasformazione di alcune sostanze in altre e dunque la rottura e la formazione di legami tra atomi;
3. gli schemi di reazione contengono informazioni sulla diversa organizzazione degli atomi nelle particelle di reagenti e prodotti (pedici) e sui rapporti secondo cui si combinano tali particelle (coefficienti stechiometrici);
4. durante una qualsiasi trasformazione chimica che avviene in un sistema chiuso la massa si conserva;
5. gli schemi di reazione rappresentano la proporzione tra il numero delle particelle (atomi, molecole, ...) dei reagenti e dei prodotti e non la proporzione tra le rispettive masse;
6. non è possibile determinare la massa delle particelle (atomi, molecole, ...) direttamente con una bilancia;
7. in un dato sistema, la relazione matematica tra la massa delle particelle (atomi, molecole, ...) e la massa delle rispettive sostanze include il numero di particelle;
8. l'attribuzione di una massa convenzionale alle particelle (atomi, molecole, ...) è realizzabile utilizzando dati sperimentali riguardanti grandezze come la massa (Dalton);
9. il numero di particelle (atomi, molecole, ...) costituente un sistema *macroscopico*, per quanto piccolo lo si possa assumere, è enorme;
10. l'enorme numero di particelle che costituisce un qualsiasi sistema macroscopico ha richiesto l'introduzione della grandezza *quantità chimica*, intesa come numero (non necessariamente intero) di gruppi di particelle dello stesso tipo presenti in un sistema. In tal senso, la quantità chimica si ottiene (formalmente) dividendo il numero totale di particelle di un dato tipo (in un sistema) con il numero di particelle, scelto opportunamente, che definisce il gruppo base di riferimento (tale definizione chiarisce

come mai la quantità chimica non è né un numero di particelle né una massa come spesso si sente affermare);

11. una massa macroscopica (espressa in grammi) di una data sostanza che numericamente sia pari alla massa convenzionale (espressa in unità di massa atomica) delle relative particelle (atomi, molecole, ...) che la costituiscono corrisponde sempre allo stesso numero di particelle (N particelle) e ciò indipendentemente dalla specie chimica considerata;
12. il numero di particelle di cui al punto 10 (N particelle) è – in onore di Avogadro – numericamente coincidente con il valore della costante di Avogadro (N_A) che, dalla I.U.P.A.C. a partire dal 2018, è stato fissato a $6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
13. il numero di particelle che definisce il gruppo base di riferimento, di cui al punto 10, è pari al valore numerico della costante di Avogadro e costituisce un aspetto fondamentale dell'unità di misura della grandezza quantità chimica, cioè la mole (simbolo mol);
14. la conseguenza logica di quanto riportato nei punti precedenti è che il rapporto tra la massa e la corrispondente quantità chimica, ovvero la massa molare, è una costante specifica di ogni sostanza.

L'obiettivo della sequenza didattica, di seguito esposta e discussa, è proprio quello di consentire agli studenti che si impegneranno seriamente nello studio di giungere a padroneggiare ognuno dei punti sopra presentati (nello specifico di questa sequenza dal numero 5 al numero 14; i primi quattro costituiscono i requisiti necessari che, dunque, devono essere già stati affrontati dagli studenti prima di iniziare le attività qui discusse).

Durante la progettazione della sequenza didattica sono state strutturate delle mappe che racchiudessero i principali nodi concettuali dell'argomento in oggetto, con le relative difficoltà epistemologiche di apprendimento, evidenziando i passaggi-chiave che nella nostra ottica concorrono maggiormente alla costruzione di schemi concettuali privi delle misconoscenze più diffuse (**Figura 1**).

Nella ricerca della risposta al quesito alla base della stechiometria, chiunque abbia profondamente interiorizzato l'OdA3 si imbatte immediatamente nell'impossibilità operativa di procedere con la soluzione più logica, ovvero contare le particelle coinvolte nella reazione (percorso individuato dalle frecce rosse). Tuttavia, prima di giungere alla comprensione dell'utilità della *massa molare*, è necessario costruire altri concetti altamente correlati con tale strumento e tra di loro. Nonostante questa correlazione ostacoli notevolmente la linearizzazione degli obiettivi e concorra allo sviluppo delle concezioni alternative e difficoltà di

apprendimento sopracitate, la sequenza è stata progettata per affrontare separatamente i vari punti dell'elenco di Oda, focalizzando di volta in volta l'attenzione sugli strumenti utili al chimico (es. massa atomica relativa, quantità chimica, ...) e fornendone solo in un secondo momento la definizione ufficiale (massa di riferimento per le masse atomiche relative, costante di Avogadro, ...). Nell'ottica costruttivista che condividiamo con gli altri docenti coinvolti nella realizzazione della sequenza, questo approccio consente di raggiungere livelli più profondi di comprensione e limita lo sviluppo di concezioni alternative. In particolare, concordando con il prof. Marco Ghirardi, che una scelta didattica prioritaria sia quella di anteporre la comprensione dello strumento *quantità chimica* alla sua definizione attraverso il numero di Avogadro, la costruzione della sequenza ha avuto inizio dalla revisione di un prototipo di sequenza condiviso dallo stesso prof. Ghirardi.

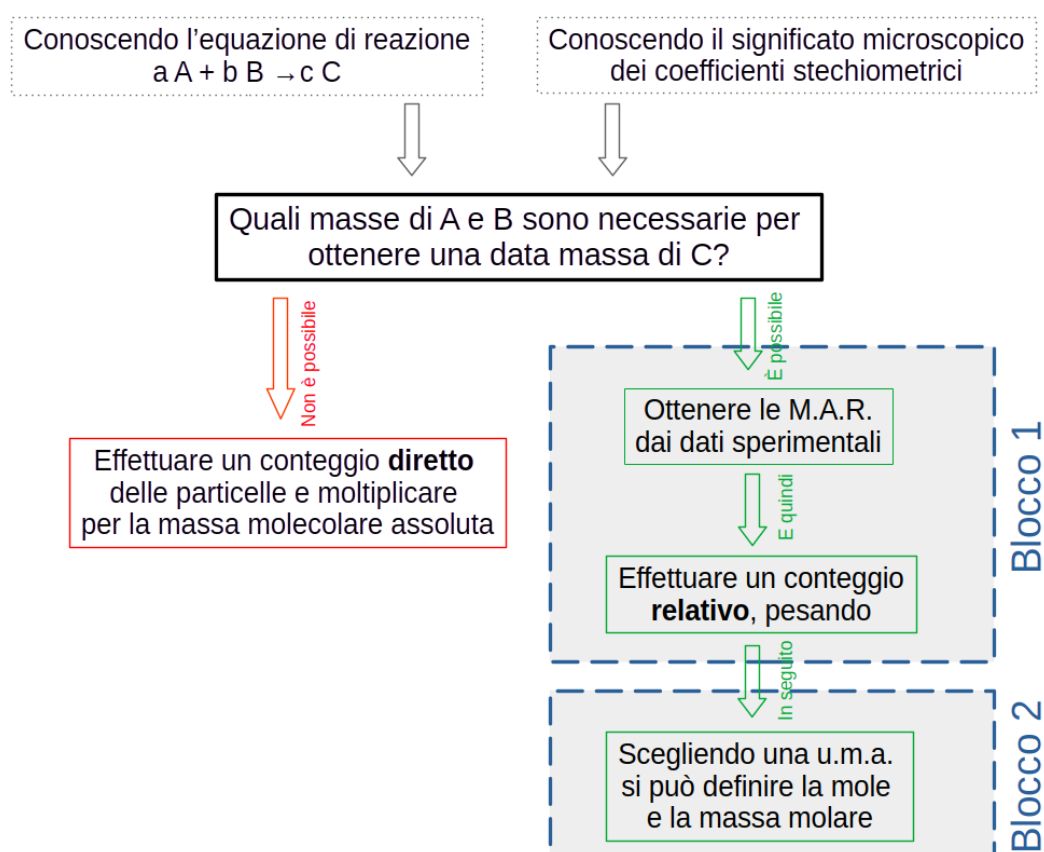


Figura 1. Schema concettuale della sequenza progettata, con evidenziati gli ostacoli epistemologici e gli espedienti didattici.

3.2 Descrizione dei fogli di lavoro

La sequenza è stata progettata per guidare gli studenti nella costruzione delle strutture concettuali necessarie ad affrontare e risolvere una prima categoria di problemi stechiometrici senza ricondurre l'esercizio ad un'applicazione di un algoritmo risolutivo non compreso in

profondità. A tale scopo, all'interno della sequenza sono state isolate ed affrontate consecutivamente le principali difficoltà di apprendimento sopracitate. Il risultato di questo tentativo di linearizzazione è la percepibile suddivisione della sequenza in due **Blocchi**, ciascuno composto da tre **Attività**, a loro volta suddivise in uno o più *fogli di lavoro* indicati con la sigla FOL e un numero progressivo, così costituiti:

- nel primo **Blocco** si presenta il problema che coinvolge gli studenti stimolandoli ad apprendere. Infatti, fin da subito, risulta chiaro che per poter rispondere al quesito presentato è necessario conoscere la massa di particelle sub-microscopiche. Questo li condurrà alla costruzione di un metodo per determinare le masse atomiche relative a una massa scelta come riferimento;
- nel secondo **Blocco** viene compresa la necessità di definire la grandezza *quantità chimica* come indicato nel decimo obiettivo di apprendimento, emerge l'utilità operativa della massa molare e vengono acquisiti tutti gli strumenti necessari a risolvere il problema posto ad inizio sequenza.

Pretest (prerequisiti e concezioni alternative)

Blocco 1

A1: FOL 1 Situazione-problema (mancanza di strumenti per risolverlo)

A2: FOL 2 Focus sul numero di particelle

FOL 3 Relazione tra massa del campione, massa di ogni particella e numero di particelle

A3: FOL 4 Calcolo della massa convenzionale di Cl scelto il riferimento

FOL 5 Determinazione di altre masse convenzionali (stechiometria 1:1)

FOL 5 bis Determinazione di altre masse convenzionali (stechiometria non 1:1)

Cambio massa scelta come riferimento, eventualmente definizione isotopi

Blocco 2

A4: FOL 6 Il numero **N** è enorme...

FOL 7 ...ma può essere usato come riferimento, quantificando in gruppi formati da **N** unità chimiche (e perché proprio **N**?)

A5: FOL 8 Riflessioni sulla massa di un campione contenente 1 mol di atomi di...

FOL 9 Massa molare

A6: FOL 10 Massa molare di sostanze composte

FOL 11 Situazione-problema iniziale (risolvibile con gli strumenti acquisiti)

Verifica apprendimenti e concezioni alternative

Figura 2. Schema riassuntivo della sequenza didattica progettata.

3.2.1 Blocco 1

Attività 1

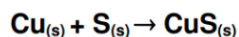
La stechiometria viene presentata agli studenti come la parte della disciplina chimica che si occupa dello studio dei rapporti quantitativi entro cui le sostanze reagiscono tra loro; infatti, consente sulla base di uno schema di reazione, ad esempio, di calcolare le masse di reagenti necessarie per ottenere una certa massa di prodotto. Questa tipologia di quesito stechiometrico è un traguardo tipico dei corsi introduttivi di chimica.

Considerata la concezione alternativa n. 7 (“considerare le masse di reagenti e prodotti proporzionali ai coefficienti stechiometrici”), si ritiene opportuno iniziare la sequenza ponendo un interrogativo che inneschi subito il conflitto cognitivo, come menzionato nel paragrafo 1.3.4, consentendo agli studenti di rendersi conto dell'infondatezza della M7. L'obiettivo del FOL 1 è, dunque, quello di portare gli studenti a ragionare sul fatto che atomi di elementi diversi hanno masse diverse. Questa conoscenza è uno dei prerequisiti della sequenza che proponiamo.

Il percorso con gli studenti inizia impegnandoli nella ricerca di una soluzione al primo quesito del FOL 1.

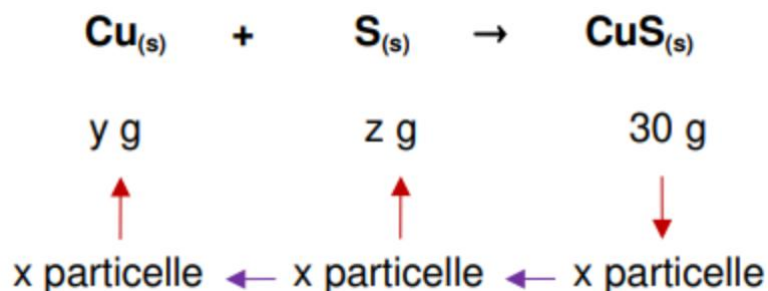
FOL 1

Considera il seguente schema di reazione:



1. Prova a determinare/indicare le masse di Cu e di S che, secondo te, sono necessarie per preparare 30 g di CuS. Giustifica il tuo procedimento.
2. Secondo te, è possibile misurare la massa di un singolo atomo con una bilancia? Argomenta la tua risposta.

È necessario condividere con gli studenti che lo schema di reazione ci consente di individuare la *proporzione tra il numero di particelle (molecole o unità formula)* e non quella tra le masse; quindi, per rispondere al quesito 1 del FOL 1, bisognerebbe sapere quante particelle di CuS ci sono nei relativi 30 g, fare una proporzione con i coefficienti stechiometrici per ottenere quanti atomi di Cu e di S sono necessari e infine conoscere le loro masse complessive per poterle determinare con una bilancia. La seguente rappresentazione schematizza la prima conclusione da condividere con gli studenti al termine della discussione collettiva:



Schema 1. Prototipo del processo di risoluzione del quesito proposta nel FOL 1.

Qualora si rivelasse necessario, l'insegnante può intervenire sottolineando che gli atomi di Cu sono diversi da quelli di S con l'intento di far avanzare la discussione verso la conclusione generale che le masse di Cu e S sono diverse e *potrebbero essere le più svariate* con l'unico vincolo che la loro somma sia 30 g. L'insegnante chiude la discussione sul primo interrogativo mostrando e commentando lo **Schema 1** che integra la proposizione OdA5.

Il problema, giunti a questo punto, è quello di riuscire ad attribuire a una data massa di una sostanza il relativo numero di particelle.

Viene allora chiesto di rispondere al secondo quesito del FOL 1, il quale ha l'obiettivo di evidenziare che gli atomi sono così piccoli che, ovviamente, non è possibile isolarne uno e determinarne la massa direttamente con una bilancia. L'insegnante chiude la discussione sul secondo interrogativo discutendo la proposizione OdA6. Conclusioni attese al termine dell'**Attività 1** (riprese dall'elenco degli OdA):

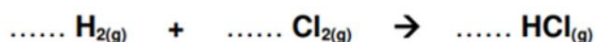
- **gli schemi di reazione rappresentano la proporzione tra il numero delle particelle (atomi, molecole, ...) dei reagenti e dei prodotti e non la proporzione tra le rispettive masse (OdA5);**
- **non è possibile determinare la massa delle particelle (atomi, molecole, ...) direttamente con una bilancia (OdA6).**

Attività 2

Nell'intento di aiutare gli studenti ad apprezzare come storicamente è stato risolto il problema della determinazione della massa degli atomi, riteniamo corretto iniziare proponendo il metodo introdotto da Dalton; tuttavia, considerato che egli partì – tra l'altro – dall'idea in contrasto con l'attuale rapporto stechiometrico che la molecola dell'acqua avesse formula HO riteniamo necessario rielaborare la sua proposta utilizzando un espediente didattico accettabile.

FOL 2

Considera il seguente schema di reazione (da **bilanciare**):



1. Rispondi ai seguenti quesiti.

Quanti atomi di H ci sono in una molecola di H_2 ?

Quanti atomi di Cl ci sono in una molecola di Cl_2 ?

2. In laboratorio si può verificare che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 70,9 g di gas dicloro. Calcola la massa di gas cloruro di idrogeno che si ottiene al termine della trasformazione chimica:

3. Rappresenta la trasformazione chimica a livello microscopico e poi svolgi la seguente consegna. Ipotizzando che in 2,02 g di gas diidrogeno (macro) ci siano x atomi di H e tenendo conto delle informazioni ricavabili dallo schema di reazione sopra riportato, quanti atomi di Cl ipotizzi che ci siano nei 70,9 g di gas dicloro (macro)?

Considerato, come è emerso dall'**Attività** precedente, che non è possibile misurare direttamente con una bilancia la massa di singoli atomi, è conveniente stabilire una massa convenzionale per un atomo preso come riferimento (Dalton prese come riferimento l'atomo di idrogeno) determinando le altre per confronto. Per portare gli studenti a questa consapevolezza riteniamo sia di fondamentale importanza evidenziare la relazione tra massa di un atomo (dunque una massa microscopica), numero di atomi e massa di un campione della relativa sostanza (cioè una massa macroscopica).

Il successivo FOL 3 consente agli studenti di affrontare il problema della relazione massa micro/numero di atomi/massa macro in previsione della necessità di determinare la massa degli atomi a partire da una massa convenzionale stabilita per un atomo preso come riferimento.

FOL 3

1. Conoscendo la massa di un singolo atomo di H e il numero di atomi di H presenti in un dato campione di gas diidrogeno puro, come faresti a calcolare la massa dell'intero campione?

2. Conoscendo la massa di un singolo atomo di Cl e il numero di atomi di Cl presenti in un dato campione di gas dicloro puro, come faresti a calcolare la massa dell'intero campione?

Dopo la discussione collettiva, è utile conformare i risultati delle produzioni individuali proponendo i seguenti simboli per esprimere la relazione tra le grandezze coinvolte (massa macroscopica del campione, massa del singolo atomo, numero di particelle contenute nel campione).

$$m_{STdiidrogeno} = m_H \times N_H \quad (1)$$

$$m_{STdicloro} = m_{Cl} \times N_{Cl} \quad (2)$$

Conclusioni attese al termine dell'Attività 2:

- in un dato sistema, la relazione matematica tra la massa delle particelle (atomi, molecole, ...) e la massa delle rispettive sostanze include il numero di particelle (OdA7).

Attività 3

Una volta che tutti gli studenti hanno compreso la necessità di quantificare la massa atomica, occorre costruire un metodo per determinarla. Da un punto di vista storico, dopo aver accettato l'idea dell'esistenza degli atomi, i chimici si trovarono di fronte al problema di determinare la massa di ogni singolo atomo, cioè la massa atomica.

Una delle strade percorse dai chimici (Cannizzaro) per determinare le masse atomiche fu quella di misurare la massa di volumi unitari (1 dm^3) di sostanze semplici gassose biatomiche a pressione e temperature prefissate e costanti. Tuttavia, questo approccio potrebbe apparire come una richiesta cognitiva al di sopra delle capacità di molti studenti. Infatti, nonostante alcuni di loro potrebbero aver già affrontato la legge di Avogadro, può risultare complesso comprendere come si può sfruttare la densità di determinati gas per lo scopo prefissato. Di conseguenza, viene presentato il FOL 4 per la costruzione di un metodo di determinazione delle masse atomiche relative che si sviluppa direttamente sulle conclusioni raggiunte con la discussione del terzo quesito del FOL 2.

FOL 4

Come già visto in precedenza, in laboratorio si può verificare che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 70,9 g di gas dicloro.

1. Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale pari a **1 u** (con il simbolo **u**, in chimica, si intende l'unità di misura chiamata unità di massa atomica), che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di Cl?

Gli studenti che hanno concettualizzato gli obiettivi di apprendimento dell'Attività precedente non dovrebbero avere difficoltà nel giungere al risultato atteso impostando una proporzione o semplicemente effettuando una divisione. Dopo aver chiesto loro di giustificare i ragionamenti fatti, altri si potrebbero convincere che questi metodi siano efficaci. Tuttavia, è necessario mostrare una dimostrazione formale che risulti applicabile in altri punti della sequenza.

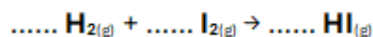
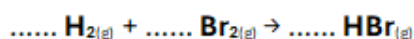
$$N_H = m_{STdiidrogeno} : m_H \quad (3)$$

$$N_{Cl} = m_{STdicloro} : m_{Cl} \quad (4)$$

$$m_{STdiidrogeno} : m_H = m_{STdicloro} : m_{Cl} \quad (5)$$

FOL 5

Considera i seguenti schemi di reazione da bilanciare:



1. Rappresenta le trasformazioni chimiche a livello microscopico e rispondi ai seguenti quesiti.

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di Br per formare una molecola di HBr?

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di I per formare una molecola di HI?

2. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 159,8 g di gas dibromo, rispondi ai seguenti quesiti.

Se in 2,02 g di gas diidrogeno sono contenuti **X** atomi di H, quanti atomi di Br sono contenuti in 159,8 g di gas dibromo?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di 1 **u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di Br?

3. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 253,8 g di gas diiodio, rispondi ai seguenti quesiti.

Se in 2,02 g di gas diidrogeno sono contenuti **X** atomi di H, quanti atomi di I sono contenuti in 253,8 g di gas diiodio?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di 1 **u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di I?

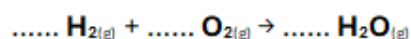
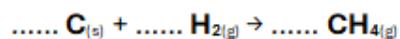
Dalle relazioni (1) e (2) si ricavano le equazioni (3) e (4) che possono essere eguagliate ottenendo la proporzione (5), dalla consueta risoluzione. A questo punto l'insegnante discute le proposizioni OdA7 e OdA8. Tuttavia, prima di concludere l'**Attività 3**, è necessario consolidare questo concetto. A tale scopo, è stato introdotto il FOL 5, che richiede di utilizzare una relazione analoga alla (5) per determinare le masse atomiche di altre due sostanze che reagiscono con il gas diidrogeno con stechiometria 1:1.

Per estendere l'abilità acquisita alle equazioni chimiche con rapporti di combinazione diversi si può presentare il FOL 5bis; tuttavia, questo richiederebbe un'adeguata padronanza del piano

formale quindi può essere applicato, a discrezione del docente, nelle classi in cui la relazione (5) è stata interiorizzata e sfruttata con successo per la risoluzione dei quesiti del FOL 5.

FOL 5 bis

Considera i seguenti schemi di reazione da bilanciare:



1. Rappresenta le trasformazioni chimiche a livello microscopico e rispondi ai seguenti quesiti.

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di C per formare una molecola di CH₄?

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di O per formare una molecola di H₂O?

2. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 6,00 g di carbonio, rispondi ai seguenti quesiti.

Se in 6,00 g di carbonio sono contenuti **X** atomi di C, quanti atomi di H sono contenuti in 2,02 g di gas diidrogeno?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di 1 **u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di C?

3. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 16,00 g di gas diossigeno, rispondi ai seguenti quesiti.

Se 16,00 g di gas diossigeno sono contenuti **X** atomi di O, quanti atomi di H sono contenuti in 2,02 g di gas diidrogeno?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di 1 **u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di O?

Conclusioni attese al termine dell'Attività 3:

- in un dato sistema, la relazione matematica tra la massa delle particelle (atomi, molecole, ...) e la massa delle rispettive sostanze include il numero di particelle (OdA7);
- l'attribuzione di una massa convenzionale alle particelle (atomi, molecole, ...) è realizzabile utilizzando dati sperimentali riguardanti la massa (Dalton) (OdA8).

Prima di passare al secondo **Blocco** ed affrontare altri ostacoli concettuali, è consigliato soffermarsi e rivelare che l'unità di riferimento per la massa atomica è cambiata negli anni e, ormai, sono almeno cinquant'anni che la IUPAC ha scelto di prendere come riferimento *un*

*dodicesimo della massa dell'isotopo ^{12}C (ovvero $m_{^{12}\text{C}} = 12 \text{ u}$). Questo non dovrebbe generare confusione visto che anche gli studenti hanno assunto la massa atomica dell'idrogeno come riferimento per pura comodità e avrebbero potuto scegliere qualsiasi altro riferimento, con l'unica conseguenza di ottenere un sistema di masse atomiche relative differenti ma altrettanto utili allo scopo. Qualora non fosse ancora stato affrontato l'argomento degli isotopi, sorgerà sicuramente la curiosità sul significato di quell'apice. A questo punto, l'insegnante sceglierà quanto approfondire l'argomento, senza timore che tali digressioni minino i progressi fatti con la sequenza: i due **Blocchi**, infatti, sono sufficientemente isolabili.*

3.2.2 Blocco 2

Attività 4

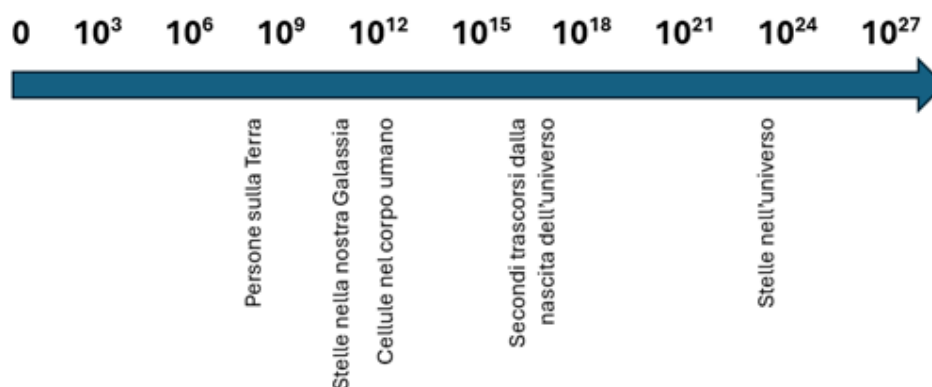
FOL 6

1. Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12 u, si può ricavare che la massa dell'atomo di H corrisponde a 1,01 u.

- a) Se ipotizziamo che in 1,00 g di sostanza diidrogeno ci siano **M** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **M** atomi di ^{12}C ?
- b) Se ipotizziamo che in 1,01 g di sostanza diidrogeno ci siano **N** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **N** atomi di ^{12}C ?
- c) Se ipotizziamo che in 2,02 g di sostanza diidrogeno ci siano **O** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **O** atomi di ^{12}C ?
- d) Se ipotizziamo che in 5,05 g di sostanza diidrogeno ci siano **P** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **P** atomi di ^{12}C ?

2. Quanto pensi sia grande il numero **M**? Inseriscilo nella scala sottostante.

(ATTENZIONE! La scala non rispetta le distanze numeriche effettive)



Nella seconda parte della sequenza si lavora unicamente con il sistema di riferimento scelto dalla IUPAC, pertanto, si devono specificare le masse atomiche convenzionali nel nuovo sistema e assicurarsi che queste non generino attrito con i valori precedentemente calcolati. Questo implicherebbe difficoltà nel progredire con la sequenza e, soprattutto, che le attività svolte nei FOL 4 e 5 siano state solo una ripetizione di un meccanismo risolutivo non compreso in profondità, piuttosto che l'applicazione di competenze e strutture concettuali costruite correttamente e appositamente per la risoluzione del problema.

Il quesito 1 del FOL 6 richiama proprio queste strutture per un'ulteriore verifica. Il quesito 2, invece, ha lo scopo di giungere in modo accattivante alla proposizione OdA9 e dunque alla necessità di definire una grandezza che aiuti il chimico a manipolare questo numero esorbitante. Prima di chiedere di rispondere al secondo quesito, è importante che l'insegnante faccia notare che la scala numerica rappresentata non rispetta le effettive distanze tra i numeri riportati. Nonostante, con ogni probabilità, gli studenti in questione non abbiano alcuna familiarità con i logaritmi, possono realizzare che *“la distanza tra 0 e 1 000 non è la stessa che c'è tra 1 000 e 1 000 000”* o, qualora fosse necessario, l'insegnante può illustrare il concetto utilizzando delle animazioni. Ciò aiuterebbe gli studenti a comprendere la reale entità del numero in questione.

FOL 7

1. Se provassimo a suddividere ciascuno dei campioni dell'esercizio precedente in gruppi formati da un numero di atomi pari a **N**, quanti gruppi potremmo formare?

Campione	m_{campione}	Numero atomi H	Numero di gruppi da N atomi
A	1,00 g	M	
B	1,01 g	N	
C	2,02 g	O	
D	5,05 g	P	

2. Spiega come si può calcolare il numero di gruppi da **N** atomi (~~n_{gruppi}~~) in cui si può suddividere un generico campione formato da **X** atomi.

3. Secondo te, perché è stato scelto il numero **N** e non uno qualsiasi degli altri (**M**, **O**, **P** o altri).

L'obiettivo dei primi due quesiti del FOL 7, oltre a costruire una struttura su cui ancorare i successivi apprendimenti riguardanti la *quantità di sostanza*, è quello di passare dalle operazioni concrete svolte per risolvere il primo quesito alla generalizzazione **(6)** richiesta dal secondo quesito. Dopo aver discusso le proposizioni OdA9 e OdA10, viene richiesto di discutere sul terzo quesito, con lo scopo di far comprendere l'importanza di scegliere un numero

di riferimento appropriato per la definizione del gruppo. Ovviamente, il vantaggio di tale scelta è quello menzionato nella proposizione OdA11 e che verrà approfondito nell'**Attività** successiva.

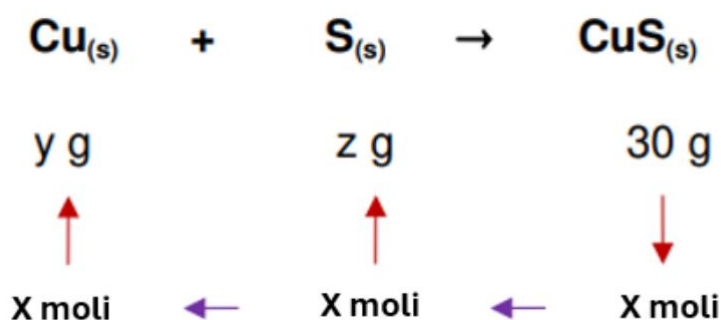
Per il momento, è sufficiente focalizzarsi sull'obiettivo di dare una definizione di *quantità chimica* efficace e libera da concezioni alternative, e rimandare la concettualizzazione di tale aspetto a un momento successivo, anche al fine di non sovraccaricare la memoria funzionale degli studenti.

$$n_{\text{gruppi}} = X : N \quad (6)$$

Terminata la discussione, si passa quindi a definire la **quantità chimica**, o **quantità di sostanza**, come la grandezza tipica dei chimici, individuata nel SI dal simbolo **n** e dall'unità di misura **mole** (simbolo **mol**). Il numero di particelle preso come riferimento dalla IUPAC nel 2018 per la definizione di questo gruppo di particelle è $6,02214076 \cdot 10^{23}$, detto numero di Avogadro; pertanto, il numero di riferimento – ovvero il denominatore dell'equazione (7) - coincide con la costante di Avogadro ($N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$). Ne consegue che un ipotetico campione che contiene esattamente $6,02214076 \cdot 10^{23}$ particelle di X ha una quantità chimica pari a:

$$n = X / N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} / 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1 \text{ mol} \quad (7)$$

Definito questo strumento come *utile al chimico* viene ricordata la sua utilità passando dallo **Schema 1** allo **Schema 2**.



Schema 2. Evoluzione del processo di risoluzione del quesito proposto nel FOL 1 costruito in precedenza (Schema 1).

Conclusioni attese al termine dell'**Attività 4**:

- il numero di particelle (atomi, molecole, ...) costituente un sistema macroscopico, per quanto piccolo lo si possa assumere, è enorme (OdA9);
- l'enorme numero di particelle che costituisce un qualsiasi sistema macroscopico ha richiesto l'introduzione della grandezza quantità chimica, intesa come numero (non necessariamente intero) di gruppi di particelle dello stesso tipo presenti in un

sistema. In tal senso, la quantità chimica si ottiene (formalmente) dividendo il numero totale di particelle di un dato tipo (in un sistema) con il numero di particelle, scelto opportunamente, che definisce il gruppo base di riferimento (tale definizione chiarisce come mai la quantità chimica non è né un numero di particelle né una massa come diversamente spesso si sente affermare) (OdA10);

- una massa macroscopica (espressa in grammi) di una data sostanza che numericamente sia pari alla massa convenzionale (espressa in unità di massa atomica) delle particelle (atomi, molecole, ...) che la costituiscono corrisponde sempre allo stesso numero di particelle (N particelle) e ciò indipendentemente dalla specie chimica considerata (OdA11) (approfondito in seguito);
- il numero di particelle identificato da N particelle è – in onore di Avogadro – numericamente coincidente con il valore della costante di Avogadro (N_A) che, dalla IUPAC a partire dal 2018, è stata fissata a $6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (OdA12);
- il numero di particelle che definisce il gruppo base di riferimento, di cui al punto precedente, è pari al valore numerico della costante di Avogadro e costituisce un aspetto fondamentale dell'unità di misura della grandezza quantità chimica, cioè la mole (simbolo mol) (OdA13).

Attività 5

FOL 8

Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12,00 u, si può ricavare che

- la massa dell'atomo di H corrisponde a 1,01 u
- la massa dell'atomo di S corrisponde a 32,07 u
- la massa dell'atomo di Cu corrisponde a 63,55 u.

1. Se in un campione di 1,01 g di gas diidrogeno sono contenuti N atomi di H ovvero **1 mol** di atomi di H, quale massa di sostanza Zolfo bisognerebbe prelevare per avere **1 mol** di atomi di S?

2. Se in un campione di 1,01 g di gas diidrogeno sono contenuti N atomi di H ovvero **1 mol** di atomi di H, quale massa di sostanza Rame bisognerebbe prelevare per avere **1 mol** di atomi di Cu?

Per riprendere e consolidare la relazione unitaria che sussiste tra la massa atomica in u e la massa di un campione contenente un numero di atomi pari al Numero di Avogadro, viene presentato il FOL 8. Se, in seguito alla discussione, risulta che qualche studente non ha

interiorizzato questo aspetto fondamentale della definizione di quantità chimica, si può raggiungere tale obiettivo con una riflessione che parte dalla relazione (5), ormai più volte sfruttata nell'arco della sequenza.

$$M = \frac{m}{n} \quad (8)$$

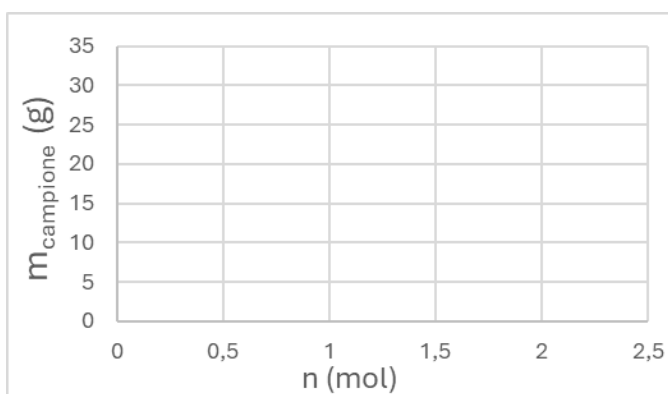
Compreso che un campione costituito da un numero di atomi pari al Numero di Avogadro ha una massa (in grammi) pari alla massa convenzionale assegnata a quell'atomo (in u), i processi cognitivi che il FOL 9 sfrutta per la definizione della massa molare risulteranno alla portata di tutti gli studenti. La discussione dovrebbe quindi condurre alla relazione (8), alla proposizione OdA14 e, infine, a sostituire lo **Schema 2** con la versione definitiva riportata in seguito (**Schema 3**).

FOL 9

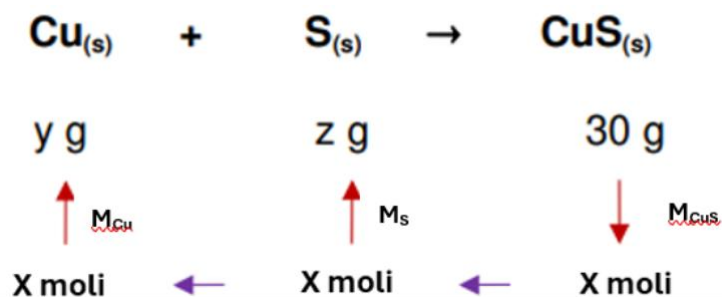
Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12,00 u, si può ricavare che la massa dell'atomo di O corrisponde a 16,00 u.

1. Quale massa di gas diossigeno devo prelevare per avere un campione formato da **N** atomi di O?
2. Quanti gruppi da **N** atomi di O si possono individuare in un campione di gas diossigeno che pesa 32,00 g?
3. Completa la seguente tabella e costruisci un grafico che riporta le grandezze indicate sugli assi.

$m_{\text{campioni}} \text{ (g)}$	$n \text{ (mol)}$
08,00	
16,00	
24,00	
32,00	



4. Che tipo di proporzionalità lega la quantità di sostanza in un campione alla sua massa?
5. Quanto vale il rapporto tra la massa di ciascun campione e la relativa quantità di sostanza? Come chiameresti tale grandezza?



Schema 3. Versione finale del processo di risoluzione del quesito proposto nel FOL 1.

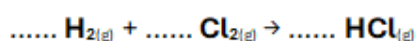
Conclusioni attese al termine dell'Attività 5:

- una massa macroscopica (espressa in grammi) di una data sostanza che numericamente sia pari alla massa convenzionale (espressa in unità di massa atomica) delle relative particelle (atomi, molecole, ...) che la costituiscono corrisponde sempre allo stesso numero di particelle (N particelle) e ciò indipendentemente dalla specie chimica considerata (OdA11);
- il rapporto tra la massa di un campione e la corrispondente quantità chimica, ovvero la massa molare, è una costante specifica di ogni sostanza (OdA14).

Attività 6

FOL 10

Considera il seguente schema di reazione (da bilanciare):



1. Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12,00 u, si può ricavare che la massa dell'atomo di H corrisponde a 1,01 u e quella dell'atomo di Cl vale 35,45 u.

Quanto pesa (in u), secondo te, una molecola di HCl?

Quanto pesa (in g) una mole di atomi di H?

Quanto pesa (in g) una mole di atomi di Cl?

2. Se una quantità di gas diidrogeno contenente una mole di atomi di H reagisce con una quantità di gas dicloro contenente una mole di atomi di Cl:

Qual è la quantità della sostanza HCl (in mol) che viene prodotta?

Qual è la massa della sostanza HCl (in g) che viene prodotta?

3. Quanto vale la massa molare della sostanza acido cloridrico (HCl)?

4. Ti aspettavi questo risultato? Motiva la tua risposta.

Adesso che è stato presentato lo **Schema 3**, per risolvere il problema presentato nel FOL 1 non

resta che acquisire un ultimo tassello del mosaico. Viene quindi presentato il FOL 10 che, oltre all'evidente obiettivo di guidare nella costruzione di un metodo di calcolo della massa molare di una sostanza, fornisce – con la discussione suscitata dal quarto quesito - un elemento per verificare se la proposizione OdA11 è stata interiorizzata o solo il frutto di un apprendimento mnemonico. Infine, viene presentato il FOL 11, che ripropone il problema del FOL 1 adesso risolvibile grazie agli strumenti e alle strutture concettuali costruite durante la sequenza.

3.3 Conclusioni e prospettive

Questa versione della sequenza didattica è parzialmente diversa dal prototipo originale proposto dal prof. Marco Ghirardi. Infatti, nel tentativo di frammentare ed isolare i processi cognitivi che la letteratura ritiene più complessi, sono stati modificati l'ordine e il contenuto di varie **Attività**, specialmente appartenenti al secondo **Blocco**. Al termine della progettazione, la sequenza risultante è stata discussa con l'autore originale e sottoposta ad altri docenti esperti per la validazione.

Sebbene la sequenza originale sia stata utilizzata in classe dall'autore stesso e valutata nella sua efficacia, la nostra proposta deve ancora essere sperimentata. L'intenzione dei realizzatori è quella di sottoporre questa sequenza a sperimentazione in più classi diverse, al fine di ottenere dati sperimentali per valutarne i pregi e i difetti. A tale scopo, è approccio comune valutare le conoscenze degli studenti con un test da effettuare prima e dopo la sequenza didattica (ed eventualmente anche dopo un ritardo di alcune settimane o mesi, per valutare la stabilità nel tempo dei cambiamenti osservati). Per questo motivo abbiamo proceduto alla scrittura e validazione di un test, che viene descritto nel capitolo successivo.

4. Elaborazione e validazione del test

4.1 Focus e quesiti della ricerca

Per verificare l'efficacia della sequenza costruita, nonché per confrontarne i risultati con quelli prodotti da sequenze didattiche strutturate diversamente, è stato progettato un test di valutazione sugli argomenti in essa trattati. Come riportato in letteratura^{66,67}, di fondamentale importanza è la definizione del *focus della ricerca*, che nel nostro caso è quello di valutare la profondità degli apprendimenti e quantificare la presenza di concezioni difformi negli studenti intervistati, al fine di avere un dato confrontabile con i risultati ottenuti applicando il test in contesti-classe differenti. Possiamo quindi riassumere i tre quesiti principali del test progettato nel seguente modo:

1. Gli studenti intervistati dispongono di una sufficiente padronanza dei prerequisiti necessari ad affrontare la sequenza?
2. Gli studenti intervistati hanno interiorizzato alcuni dei principi fondamentali della stechiometria trattati nella sequenza?
3. In che misura gli studenti intervistati mostrano di aver riscontrato difficoltà nell'apprendere o sviluppato concezioni alternative inerenti all'argomento trattato?

È stato realizzato, dunque, un test composto da venti item suddiviso in tre **Blocchi**, ognuno dei quali tenta di rispondere a uno dei *quesiti della ricerca*.

Questo strumento, per come è stato progettato, può essere applicato alla stessa classe prima (per valutare se la classe è cognitivamente pronta ad affrontare la sequenza e adottare conseguenti scelte didattiche) e dopo l'attuazione della sequenza precedentemente illustrata, in modo tale da ottenere una misura diretta di quanto questa riduca o prevenga la diffusione delle misconcezioni indagate; può, inoltre, essere utilizzato confrontando i risultati con quelli ottenuti da classi che hanno affrontato diversi percorsi didattici per determinare in che misura si possono attribuire tali risultati alle scelte metodologiche e didattiche della sequenza progettata. Per validare il test, esso è stato somministrato ad un vasto campione di studenti appartenenti al primo biennio di un istituto tecnico.

4.2 Metodologie della ricerca

Sulla base delle ricerche e riflessioni svolte in seno al gruppo di ricerca sono state selezionate le più importanti concezioni alternative e difficoltà di apprendimento riportate in letteratura, che riportiamo di seguito:

Banca dati	Data	Ricerca	Risultati
ERIC	31/03/2025	Stoichiometry misconceptions	9 risultati di cui 3 negli ultimi 5 anni ⁶⁶⁻⁶⁸
ERIC	09/04/2025	Chemical amount misconceptions	0 risultati negli ultimi 10 anni
		Amount of substance misconceptions	30 risultati negli ultimi 5 anni di cui 10 nel 2024, si riducono a uno se filtrati per descrittori “misconceptions” e “chemistry” ⁶⁹

Tabella 1. Risultati della ricerca sulla diffusione delle misconcezioni sui temi trattati negli ultimi 5 anni.

M1) identificazione della mole con una massa;

M2) identificazione della mole con un numero di particelle;

M5) concezione della mole in riferimento alle molecole e non agli atomi;

M5*) concezione della mole in riferimento agli atomi e non alle molecole;

M7) la proporzione tra il numero di particelle (in una reazione chimica) è identica alla proporzione tra le masse delle sostanze coinvolte;

DdA1) difficoltà nel passare correttamente dal livello empirico al livello atomico/molecolare;

DdA2) difficoltà nell’associare l’idea di quantità chimica al conteggio delle particelle (*questo non significa che la quantità chimica sia un numero di particelle*);

DdA3) difficoltà nel giustificare come mai massa atomica o molecolare (u) sono numericamente coincidenti con la relativa massa molare (g/mol);

DdA4) difficoltà nella distinzione tra pedici e coefficienti stechiometrici;

DdA5) difficoltà nel considerare che atomi diversi hanno masse atomiche diverse;

DdA6) difficoltà nella soluzione di esercizi con rapporti stechiometrici diversi da 1:1;

DdA7) difficoltà nel riconoscere la definizione di *mole* da una proprietà della *mole*.

Alcuni degli articoli consultati in preparazione all’elaborazione del test⁵⁸ concordano sull’importanza di avere diverse tipologie di item all’interno dello stesso test per valutare differenti aspetti:

- Le domande a risposta multipla risultano di rapida lettura e forniscono una prima stima della diffusione delle misconcezioni senza la necessità di una particolare elaborazione;
- Le “*two-tier question*” verificano l’abilità di *individuare* la motivazione corretta e, a seguito di un’elaborazione relativamente semplice, consentono di ottenere ulteriori informazioni su quanto le misconoscenze siano ben radicate;

- Le domande con motivazione aperta valutano la capacità di *produrre* una spiegazione individuale e, se ben poste, riescono a discernere gli apprendimenti significativi da quelli mnemonici.

Nella versione finale del test progettato sono contenute domande con una o più risposte corrette e di ogni tipologia sopracitata, proporzionalmente al carico cognitivo che esse richiedono all'intervistato. Questa decisione è stata effettuata con la consapevolezza che ciò avrebbe complicato l'elaborazione dei risultati, nonché nella speranza, da verificare tramite opportuni test di affidabilità, che non avrebbe limitato la quantità di informazioni estrapolabili dalle risposte degli intervistati e la loro attendibilità.

Item	Tipologia	Blocco	Tema
D1	Multipla	Pre, M	Pedici
D2	Multipla*	Pre	Trasformazioni chimiche
D3	Aperta	Pre	Bilanciamenti
D4	Multipla	OdA, M	Coefficienti stechiometrici
D5	Multipla	OdA	Unità di massa atomica
D6	Multipla	OdA	Unità di massa atomica
D7	Multipla	OdA, M	Relazione tra livelli micro-macro
D8	Multipla	OdA, M	Rapporti di combinazione
D9	Multipla	M	Moli e quantità chimica
D10	Multipla	M	Moli e quantità chimica
D11-D12	Two-tier	M	Quantità chimica in un campione
D13-D14	Two-tier	M	Quantità chimica in un campione
D15-D16	Two-tier*	M	Quantità chimica in un campione
D17-D18	Two-tier*	M	Quantità chimica in un campione
D19	Multipla	M	Massa Molare
D20	Aperta	M	Massa Molare
D21-D22	Two-tier	M	Proporzionalità nelle reazioni
D23-D24	Two-tier	M	Proporzionalità nelle reazioni
D25-D26	Two-tier	M	Proporzionalità nelle reazioni
D27	Multipla	M	Proporzionalità nelle reazioni

Tabella 2. Tipologia e tema dei venti item (*Domande con più di una risposta corretta).

Dopo aver realizzato il test e definito le modalità di analisi delle risposte, è stato selezionato un ampio campione di studenti per una prima sperimentazione. Oltre allo scopo già menzionato di effettuare un'acquisizione preliminare di risposte date da studenti che non hanno affrontato la sequenza progettata, questa somministrazione ha permesso di registrare numerosi dati sulla

diffusione delle misconoscenze e difficoltà di apprendimento indagate, sull'affidabilità e coerenza dello strumento realizzato e, sulla base di queste informazioni, è stato revisionato il test.

Per la modalità di acquisizione delle risposte è stato scelto e realizzato un Google Form, uno strumento che semplifica l'elaborazione dei dati a prescindere dalla vastità del campione intervistato e con cui gli studenti intervistati per i motivi sopracitati possiedono una certa familiarità. È tuttavia disponibile una versione stampabile del test tra le appendici in vista di una somministrazione futura in classi non abituate a questa modalità di verifica, per le quali essa comporterebbe un incremento del carico cognitivo e risulterebbe in un maggiore discostamento tra il punteggio osservato e il punteggio vero (correlate secondo il modello di Spearman).

4.3 Metodologie di raccolta e analisi dei dati

Per il primo tentativo di sperimentazione del test progettato, sono state selezionate sedici classi (undici prime e cinque seconde) dell'Istituto Tecnico Industriale "Tullio Buzzi" di Prato. Gli studenti intervistati (N=322) hanno affrontato la stechiometria con approcci diversi realizzati da sette diversi docenti e, in generale, differenti da quello progettato in questo studio; alcuni nelle settimane precedenti alla somministrazione del test (classi prime), altri l'anno precedente (classi seconde). Agli intervistati è stata fornita una tavola periodica ed è stato consentito l'utilizzo di una calcolatrice non programmabile.

Prima della consegna del link di accesso al Google Form è stato ricordato loro che il questionario era anonimo e privo di valutazione ai fini della loro carriera scolastica, che conteneva alcune domande con più di una risposta corretta (opportunamente evidenziate dalla domanda stessa) e che avrebbero avuto trenta minuti a disposizione per la consegna. Un numero relativamente basso di studenti (N=5) era impossibilitato a rispondere ai quesiti nella modalità prevista per mancanza di un dispositivo idoneo o delle credenziali istituzionali per accedere al servizio: le loro risposte sono state raccolte sulla versione stampabile del test e unite alle altre in un secondo momento.

I risultati della sperimentazione preliminare sono riportati di seguito. Per ogni domanda, sono state riportate le percentuali di risposta calcolate rispetto al totale di studenti intervistati (N=322). Le risposte evidenziate in verde corrispondono a quella considerata corretta mentre quelle evidenziate in rosso potrebbero implicare la presenza di una delle misconoscenze o

difficoltà di apprendimento elencate in precedenza. Inoltre, ogni item è accompagnato da un breve commento che ne sintetizza il ruolo all'interno del test.

D1) Nella seguente equazione chimica (non bilanciata) $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ a cosa corrispondono i numeri indicati?

- a. (4,3%) Servono solo per bilanciare la reazione
- b. (7,5%) Indicano che il rapporto di combinazione tra metano (CH) e ossigeno (O) è 4:2
- c. (88,2%) Indicano il numero di atomi da cui sono composte le molecole coinvolte nella reazione

Commento: Domanda inserita per valutare i prerequisiti e sollecitare la DdA4 (1-a e 1-b).

D2) Durante una trasformazione chimica, cosa succede alle particelle di cui sono costituite le sostanze coinvolte? (Seleziona tutte le affermazioni CORRETTE)

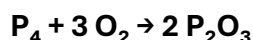
- a. (9,3%) Gli atomi dei reagenti si distruggono e gli atomi dei prodotti si creano
- b. (24,2%) Gli atomi dei reagenti si trasformano in atomi differenti
- c. (71,4%) Gli atomi dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove molecole
- d. (31,7%) Le molecole dei reagenti si distruggono e si formano le molecole dei prodotti
- e. (39,8%) Le molecole dei reagenti si trasformano in molecole differenti
- f. (63%) Le molecole dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove molecole

Commento: Domanda per valutare i prerequisiti. Ogni intervistato può selezionare più opzioni.

D3) Spiega, in sintesi, qual è lo scopo della procedura che esegui per bilanciare una equazione chimica.

Commento: Domanda aperta per valutare se l'apprendimento in oggetto è significativo o meccanico.

D4) Quante molecole di P_4 reagiscono con 3 molecole di O_2 nella seguente reazione?



- a. (71,7%) 1
- b. (13%) 2
- c. (7,5%) 3
- d. (7,8%) 4

Commento: Domanda per valutare i prerequisiti e sollecitare la DdA4 (4-d).

D5) La IUPAC definisce l'unità di misura per la misurazione delle masse atomiche come 1 u e dal 1960 attribuisce come riferimento tale valore a

- a. (16,8%) la massa dell'isotopo di idrogeno H-1
- b. (9,9%) un sedicesimo della massa dell'isotopo di ossigeno O-16
- c. (73,3%) un dodicesimo della massa dell'isotopo di carbonio C-12

Commento: Domanda per introdurre la successiva.

D6) Quali sarebbero le conseguenze se la IUPAC decidesse di cambiare il riferimento?

- a. (9,6%) Nessuna conseguenza, potremmo scegliere qualsiasi massa purché nell'ordine di grandezza atomico
- b. (53,1%) Dovremmo ricalcolare le masse atomiche relative di tutti gli elementi ma i rapporti di combinazioni in una qualsiasi reazione chimica rimarrebbero invariati
- c. (37,3%) Dovremmo ricalcolare le masse atomiche relative di tutti gli elementi e i rapporti di combinazione tra le varie sostanze per tutte le reazioni chimiche

Commento: OdA centrale del **Blocco 1** della sequenza didattica; sono prevedibili ampi miglioramenti in seguito all'attuazione della sequenza.

D7) Qual è la costante di proporzionalità che lega la massa macroscopica di un campione composto da tutti atomi uguali e la massa (in grammi) di ciascun atomo del campione?

- a. (15,8%) Il numero di moli degli atomi presenti nel campione
- b. (9,6%) La massa atomica relativa di tali atomi
- c. (68,3%) Il numero di Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23}$)
- d. (6,2%) Il numero di atomi che costituiscono il campione

Commento: OdA centrale del **Blocco 1**; sono prevedibili ampi miglioramenti in seguito all'attuazione della sequenza. Inoltre, la risposta 7-a fa sospettare la presenza della DdA1.

D8) Qual è il rapporto di combinazione tra le masse di Na e Cl in un campione di NaCl?

- a. (57,1%) 1:1
- b. (18%) 1:1,5
- c. (6,5%) 1:2
- d. (18,3%) Dipende dal campione

Commento: La risposta 8-a implica la presenza della M7.

D9) Qual è la definizione di mole?

- a. (4,3%) È un campione di sostanza che ha massa pari alla massa molecolare.
- b. (43,2%) È l'unità di misura della quantità di sostanza.
- c. (47,8%) È un campione di sostanza che contiene un numero di particelle pari al numero di Avogadro.
- d. (4,7%) È un campione di sostanza con massa pari alla costante di Avogadro.

Commento: L'item, ritenuto inadeguato in fase di validazione, è stato eliminato durante la revisione del test (riportata nel paragrafo 4.9). L'intenzione iniziale era di quantificare la DdA1 tramite la risposta 9-a e la DdA7 tramite le risposte 9-a/c.

D10) Qual è l'unità di misura della quantità di sostanza?

- a. (4,7%) grammi (g)
- b. (89,9%) moli (mol)
- c. (1,2%) è un numero puro
- d. (4,3%) mol^{-1}

Commento: Le opzioni 10-a e 10-c rivelano, rispettivamente, la presenza della M1 e M2.

D11) Si hanno due campioni, uno di H_2 e uno di O_2 , entrambi di massa 1 g. Cosa possiamo dire sul numero di particelle contenute nei due campioni?

a) Il numero di particelle contenute nei due campioni è lo stesso.	a) perché il numero di particelle dipende solo dalla massa	6,5%
	b) perché non conosciamo la massa molare	1,9%
	c) perché la massa molare di H è minore di quella di O	1,2%
b) Il numero di particelle contenute nei due campioni è ignoto.	a) perché il numero di particelle dipende solo dalla massa	4,0%
	b) perché non conosciamo la massa molare	4,3%
	c) perché la massa molare di H è minore di quella di O	2,5%
c) Il campione di H_2 contiene più particelle dell'altro.	a) perché il numero di particelle dipende solo dalla massa	3,7%
	b) perché non conosciamo la massa molare	3,1%
	c) perché la massa molare di H è minore di quella di O	46,0%
d) Il campione di O_2 contiene più particelle dell'altro.	a) perché il numero di particelle dipende solo dalla massa	1,2%
	b) perché non conosciamo la massa molare	0,6%
	c) perché la massa molare di H è minore di quella di O	24,8%

Commento: La risposta 11-a fa sospettare la presenza della DdA5 e della M7. Tale ipotesi viene confermata dalla risposta 12-a.

D13) Si hanno due campioni, uno di H_2 e uno di O_2 , che contengono la stessa quantità di sostanza. Cosa possiamo dire sulla massa dei due campioni?

a) La massa dei due campioni è la stessa.	a) perché la massa è direttamente proporzionale alla quantità di sostanza	4,7%
	b) perché sostanze diverse hanno diverse masse molari	3,7%
	c) perché la massa dipende anche dal numero di particelle	3,1%
b) La massa dei due campioni è certamente diversa.	a) perché la massa è direttamente proporzionale alla quantità di sostanza	12,7%
	b) perché sostanze diverse hanno diverse masse molari	58,7%
	c) perché la massa dipende anche dal numero di particelle	4,0%
c) Non ci sono abbastanza informazioni per rispondere	a) perché la massa è direttamente proporzionale alla quantità di sostanza	2,8%
	b) perché sostanze diverse hanno diverse masse molari	6,5%
	c) perché la massa dipende anche dal numero di particelle	3,7%

Commento: L'opzione 13-a implica la presenza della DdA5 (confermata dalla risposta 14-a). Inoltre, chi risponde correttamente alla D13 ma sbaglia D11, D15 o D17 potrebbe possedere la DdA1.

D15) Si hanno due campioni, uno di H_2 e uno di O_2 , che contengono la stessa quantità di sostanza. Cosa possiamo dire sul numero di particelle contenute nei due campioni? (Seleziona tutte le affermazioni CORRETTE)

- (62,4%) Il numero di atomi dei due campioni è lo stesso.
- (27,6%) Il campione di H_2 contiene più atomi.
- (17,1%) Il campione di O_2 contiene più molecole.
- (68,9%) Il numero di molecole dei due campioni è lo stesso.
- (11,8%) Non ci sono abbastanza informazioni per rispondere.

D16) Motiva la risposta precedente.

- a. (63,7%) perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di particelle
- b. (22,7%) perché la massa atomica di H è minore di quella di O
- c. (13,7%) perché il numero di particelle dipende anche dalla massa

15 a + 15 d	16 a	32,9%	Corretto, sa motivare
15 a + 15 d	16 b	4,0%	Corretto, non sa motivare
15 a + 15 d	16 c	4,0%	Corretto, non sa motivare
15 a	16 a	4,7%	Parz. corretto, sa motivare. Possibile M5*
15 d	16 a	3,1%	Parz. corretto, sa motivare. Possibile M5
15 b + 15 d	16 a	9,9%	Mix di risp. corrette e scorrette. DdA2 e possibile M5.
15 b + 15 d	16 b	4,3%	Mix di risp. corrette e scorrette. DdA2 e possibile M1 e M5.

La tabella riporta solo le coppie di risposte con N>9 (N_%>3%).

Commento: La domanda sollecita DdA2, M1, M5 e M5*.

D17) Si hanno due campioni, uno di O₂ e uno di O₃, che contengono la stessa quantità di sostanza. Cosa possiamo dire sul numero di particelle contenute nei due campioni? (Seleziona tutte le affermazioni CORRETTE)

- a. (26,7%) Il numero di atomi dei due campioni è lo stesso.
- b. (70,8%) Il campione di O₃ contiene più atomi.
- c. (20,5%) Il campione di O₂ contiene più molecole.
- d. (51,2%) Il numero di molecole dei due campioni è lo stesso.
- e. (8,7%) Non ci sono abbastanza informazioni per rispondere.

D18) Motiva la risposta precedente.

- a. (23,9%) perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di atomi
- b. (37,3%) perché la massa molare di O₂ è minore di quella di O₃
- c. (38,8%) perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di particelle

17 b + 17 d	18 a	8,4%	Corretta, non sa motivare
17 b + 17 d	18 b	10,2%	Corretta, non sa motivare
17 b + 17 d	18 c	14,9%	Corretta, sa motivare
17 b	18 b	9,3%	Parz. corretta, non sa motivare
17 b	18 c	5,0%	Parz. corretta, sa motivare
17 a + 17 b	18 c	4,3%	DdA2
17 a + 17 d	18 a	5,3%	DdA2
17 a + 17 d	18 c	4,0%	DdA2
17 b + 17 c	18 b	5,6%	DdA2 e probabile M1

La tabella riporta solo le coppie di risposte con N>9 (N_%>3%).

Commento: La domanda sollecita DdA2, M1 e M5*.

D19) La massa atomica relativa del rame è 63,54 u. Quanto vale la massa molare dell'atomo di rame?

- a. (89,1%) 63,54 g/mol
- b. (6,5%) 63,54 u
- c. (4,3%) 63,54 g

Commento: Domanda per introdurre la successiva.

D20) Motiva la risposta precedente.

Commento: L'analisi qualitativa è più complessa ma l'item risulta necessario perché è l'unico che sollecita M4 e DdA3, oltre alle DdA1 e DdA7.

D21) Data l'equazione chimica $A + 3B \rightarrow 2C$, qual è la quantità di sostanza di B che reagisce con 2 mol di A?

a) 1 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1	3,4%
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3	1,6%
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	4,3%
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale	0,9%
b) 2 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1	2,2%
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3	2,5%
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	4,0%
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale	1,6%
c) 3 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1	0,6%
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3	5,6%
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	6,5%
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale	0,6%
d) 6 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1	2,2%
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3	5,0%
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	58,4%
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale	0,6%

Commento: Qualsiasi risposta errata a questa domanda potrebbe significare una presenza della DdA6.

D23) Nella reazione $A + 3B \rightarrow 2C$, 1 mole di A reagisce con 4 g di B. Quale massa di B reagirà con 2 mol di A?

a) 4 g	a) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	1,9%
	b) perché il rapporto ponderale tra le masse delle sostanze A e B è 1:3	1,2%
	c) perché la massa e la quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna sostanza	1,9%
b) 6 g	a) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	6,2%
	b) perché il rapporto ponderale tra le masse delle sostanze A e B è 1:3	7,1%

	c) perché la massa e la quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna sostanza	2,8%
c) 8 g	a) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	17,4%
	b) perché il rapporto ponderale tra le masse delle sostanze A e B è 1:3	4,3%
	c) perché la massa e la quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna sostanza	27,6%
d) Non si può rispondere senza conoscere le masse molari delle sostanze A e B	a) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3	3,1%
	b) perché il rapporto ponderale tra le masse delle sostanze A e B è 1:3	2,2%
	c) perché la massa e la quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna sostanza	24,2%

Commento: Qualsiasi risposta errata a questa domanda potrebbe significare una presenza della DdA6; inoltre, la combinazione di risposte 23-b + 24-a/b fa sospettare la presenza della M1.

D25) Nella reazione $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, quale massa di ossigeno reagirà con 2 g di H_2 ?

a) 2 g	a) Perché hanno lo stesso pedice	1,9%
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1	7,5%
	c) Perché la massa atomica relativa di O è 16	1,6%
b) 1 g	a) Perché hanno lo stesso pedice	1,2%
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1	25,5%
	c) Perché la massa atomica relativa di O è 16	0,9%
c) 16 g	a) Perché hanno lo stesso pedice	3,1%
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1	27,6%
	c) Perché la massa atomica relativa di O è 16	15,5%
d) 32 g	a) Perché hanno lo stesso pedice	0,3%
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1	4,7%
	c) Perché la massa atomica relativa di O è 16	10,2%

Commento: Le risposte 25-b e 25-d sollecitano, rispettivamente, la M7 e la DdA6.

D27) Nella reazione $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$, quale massa di Cl_2 reagisce con 2 g di H_2 ?

- (10,2%) 1 g
- (46,6%) 70 g
- (30,1%) 2 g
- (13%) 35 g

Commento: La risposta 27-c fa sospettare la presenza della M7; inoltre, chi risponde correttamente alla D27 ma sbaglia D25 potrebbe possedere la DdA6.

Per un'ulteriore analisi delle risposte registrate sono state realizzate delle stringhe di codice in linguaggio di programmazione *Python* tramite l'utilizzo di Google Colab; ciò ha semplificato e velocizzato notevolmente l'elaborazione dei dati raccolti. Il file CSV risultante dal Google

Form, una volta salvato nella stessa cartella del Drive in cui risiede il Colab Notebook, è stato modificato e riconvertito in file CSV, facilmente esportabile in una cartella di lavoro Excel. I dati esposti e commentati da qui in avanti provengono dalla combinazione delle informazioni ricavate da questa cartella di lavoro e dal Colab Notebook, anch'esso in appendice per semplificarne un eventuale utilizzo futuro.

4.4 Attribuzione dei punteggi

L'analisi statistica dei risultati complessivi di ogni studente ha richiesto la definizione di un meccanismo di attribuzione dei punteggi, che non si è rivelato semplice a causa della disomogeneità nella tipologia di item. Ad eccezione delle due domande aperte (la cui attribuzione di un punteggio oggettivo richiede ulteriori considerazioni sulla loro funzione all'interno del test), risultano undici item a risposta multipla e sette di tipo “two-tier”, tra i quali tre possiedono più di una opzione corretta tra quelle a disposizione. Pertanto, un primo principio di assegnazione dei punteggi proposto è stato quello di attribuire:

- un punteggio che varia da “-1” a “+1” agli item a risposta multipla, assegnando valori positivi alle risposte corrette, valori negativi alle risposte che possono implicare la presenza di una misconcezione o difficoltà di apprendimento indagata e valori neutri alle altre risposte;
- un punteggio che varia da “-2” a “+2” alle “two-tier question”, seguendo la regola precedente e assegnando valori estremi (+2 e -2) solo nel caso in cui l'informazione ricavata dalla prima domanda sia confermata dalla risposta alla seconda domanda (per chiarire il concetto è riportato l'esempio della D13).

D13) Si hanno due campioni, uno di H_2 e uno di O_2 , che contengono la stessa quantità di sostanza. Cosa possiamo dire sulla massa dei due campioni?

a) La massa dei due campioni è la stessa.	a) perché la massa è direttamente proporzionale alla quantità di sostanza	4,7%	-2
	b) perché sostanze diverse hanno diverse masse molari	3,7%	-1
	c) perché la massa dipende anche dal numero di particelle	3,1%	-1
b) La massa dei due campioni è certamente diversa.	a) perché la massa è direttamente proporzionale alla quantità di sostanza	12,7%	+1
	b) perché sostanze diverse hanno diverse masse molari	58,7%	+2
	c) perché la massa dipende anche dal numero di particelle	4,0%	+1
c) Non ci sono abbastanza informazioni per rispondere	a) perché la massa è direttamente proporzionale alla quantità di sostanza	2,8%	0
	b) perché sostanze diverse hanno diverse masse molari	6,5%	0
	c) perché la massa dipende anche dal numero di particelle	3,7%	0

Item	Range di Punteggi
D1	+1/-1
D2	+2/+1/0
D4	+1/0/-1
D5	+1/0
D6	+1/0
D7	+1/0/-1
D8	+1/0/-1
D9	+1/-1
D10	+1/0/-1
D11	+2/+1/0/-1/-2
D13	+2/+1/0/-1/-2
D15	+2/+1/0/-1/-2
D17	+2/+1/0/-1/-2
D19	+1/0
D21	+2/+1/-1
D23	+2/+1/-1/-2
D25	+2/+1/0/-1
D27	+1/0/-1

Tabella 3. Risultati dell'attribuzione di punteggi non dicotomici.

Tuttavia, non tutti gli item possiedono almeno un'opzione che supponga la presenza di una concezione difforme (in particolare, le domande dei primi due **Blocchi** del test hanno lo scopo di verificare i prerequisiti e alcuni degli OdA della sequenza); per di più, nel test sono contenuti item per i quali non è stata trovata un'opzione di risposta sbagliata ma non legata ad una specifica misconoscenza indagata. Infine, per gli item con più di un'opzione corretta è stato scelto di ritenere corretta e attribuire un punteggio positivo anche alla risposta parzialmente corretta (ovvero, in cui non sono state selezionate tutte le opzioni corrette) purché non ottenuta combinando risposte corrette e risposte sbagliate. Pertanto, anche gli intervalli in cui variano i punteggi delle singole domande rispecchiano la disomogeneità del test e sono stati riportati nella **Tabella 3**.

Per verificare se questa disomogeneità comporta una perdita dell'affidabilità delle informazioni ricavate dal test, è stata effettuata in parallelo la stessa analisi statistica sui punteggi ottenuti col metodo illustrato (da qui in avanti *Punteggi Non Dicotomici*) e sui punteggi ottenuti assegnando ad ogni item (ad eccezione delle domande aperte) “0” per una qualsiasi risposta sbagliata e “1” per la risposta corretta (da qui in avanti *Punteggi Dicotomici*). Con questo metodo di attribuzione dei punteggi, si

perde qualsiasi informazione sulla diffusione delle misconcezioni e delle DdA indagate e sulla capacità di individuare una motivazione valida alla risposta selezionata.

4.5 Analisi statistica dei punteggi

Tramite il Colab Notebook in appendice, sono stati attribuiti a tutti gli studenti intervistati i punteggi conseguiti (sia per valutazione *Dicotomica* che *Non Dicotomica*) e nella **Tabella 4** sono state riportate la media e la deviazione standard tra i punteggi:

- dell'intero campione;
- di tutti gli studenti appartenenti alle classi prime;
- di tutti gli studenti appartenenti alle classi seconde;

		N	Punteggi Non Dicotomici		Punteggi Dicotomici	
			MEDIA	DEV. STD.	MEDIA	DEV. STD.
Totale		322	9.00	5.90	9.92	2.82
Anno	Prima	228	8.40	6.17	9.68	2.97
	Seconda	94	10.45	4.94	10.50	2.33
Classi	1Q (A)	19	8.21	6.43	9.63	2.89
	1F (A)	25	6.17	4.93	8.75	2.40
	1P (A)	20	8.95	6.18	9.70	3.18
	1E (A)	19	11.16	4.89	11.16	2.43
	1N (B)	17	11.91	5.26	11.18	2.30
	1T (C)	25	7.29	5.84	9.17	3.16
	1R (C)	20	7.33	5.79	9.39	3.15
	1D (D)	22	5.50	5.87	8.23	2.74
	1O (E)	19	8.61	6.89	10.00	3.22
	1L (F)	20	6.75	6.25	8.80	2.71
	1S (G)	22	10.96	6.88	10.73	3.31
	2F (A)	20	10.05	6.89	10.35	3.01
	2P (A)	21	12.33	3.31	11.14	1.65
	2R (C)	18	10.17	4.19	10.61	2.09
	2O (E)	18	10.61	3.94	10.56	2.38
	2S (E)	17	8.71	5.31	9.71	2.31
Docenti	A1	83	8.48	5.81	9.74	2.82
	A2	41	11.22	5.42	10.76	2.42
	B1	17	11.91	5.26	11.18	2.30
	C1	45	7.31	5.75	9.26	3.12
	C2	18	10.17	4.19	10.61	2.09
	D1	22	5.50	5.87	8.23	2.74
	E1	19	8.61	6.89	10.00	3.22
	E2	35	9.69	4.69	10.14	2.35
	F1	20	6.75	6.25	8.80	2.71
	G1	22	10.96	6.88	10.73	3.31

Tabella 4. Valori medi e dispersioni dei punteggi conseguiti dagli intervistati, raggruppati in base alle categorie elencate.

- di tutti gli studenti appartenenti alla stessa classe, per tutte le classi investigate (righe evidenziate in verde e celeste);
- di tutti gli studenti di classe prima che hanno lo stesso docente, per ciascuno dei sette docenti delle classi prime (righe evidenziate in arancione);
- di tutti gli studenti di classe seconda che hanno lo stesso docente, per ciascuno dei tre docenti delle classi seconde (righe evidenziate in fucsia).

La prima considerazione che si può effettuare è che gli studenti delle classi seconde hanno totalizzato punteggi mediamente più alti e meno dispersi dei compagni appartenenti alle classi prime. Per approfondire il confronto tra le varianze entro i blocchi (classi, docenti) e tra i blocchi sono state calcolate la media, la deviazione standard e la varianza:

- delle undici medie dei punteggi di ogni classe prima (righe evidenziate in verde);
- delle cinque medie dei punteggi di ogni classe seconda (righe evidenziate in celeste);
- delle sette medie calcolate coi punteggi degli studenti di classe prima aventi lo stesso docente (righe evidenziate in arancione);
- delle tre medie calcolate coi punteggi degli studenti di classe seconda aventi lo stesso docente (righe evidenziate in fucsia).

Da questi dati, riportati nella **Tabella 5**, si può osservare che:

- la media dei punteggi medi delle varie classi [es. 8,44] e la media dei punteggi degli studenti aventi lo stesso docente [es. 8,50] sono molto simili alla media dei punteggi di tutti gli studenti appartenenti allo stesso anno [es. 8,40], sia per gli studenti di prima che per quelli di seconda; la somiglianza tra le medie menzionate si accentua lievemente osservando i *punteggi Dicotomici*;
- la dispersione delle medie dei punteggi delle varie classi prime è maggiore della dispersione dei punteggi di tutti gli studenti appartenenti ad una qualsiasi classe prima (osservando la colonna di *punteggi Non Dicotomici*, si nota che la varianza nel primo caso [0,213] è 7,83 volte la varianza del secondo [0,027]); la dispersione delle medie dei punteggi delle varie classi seconde segue con minore enfasi la stessa tendenza delle classi prime (riferendosi sempre ai *punteggi Non Dicotomici*, la varianza delle medie dei punteggi delle varie classi [0,327] corrisponde a 6,15 volte la varianza dei punteggi di tutti gli studenti appartenenti ad una qualsiasi classe seconda [0,053]);
- la dispersione delle medie calcolate coi punteggi di studenti aventi lo stesso docente è maggiore della dispersione dei punteggi di tutti gli studenti appartenenti ad una qualsiasi classe di quello stesso anno (osservando la stessa colonna, le relative varianze [0,380 e

0,392] corrispondono rispettivamente a 14,0 e 7,4 volte le varianze calcolate sui punteggi di tutti gli studenti appartenenti a una qualsiasi classe prima e seconda [0,027 e 0,053]);

- valori medi e dispersioni dei risultati variano significativamente in base al metodo di attribuzione dei punteggi se considerati in valore assoluto ma le considerazioni effettuate ai punti precedenti risultano vere e consistenti per entrambi i metodi.

			Punteggi Non Dicotomici			Punteggi Dicotomici		
		GdL	MEDIA	DEV. STD.	VAR	MEDIA	DEV. STD.	VAR
Totale		321	9.00	5.90	0.031	9.92	2.82	0.009
Anno	Studenti di prima	227	8.40	6.17	0.027	9.68	2.97	0.013
	Studenti di seconda	93	10.45	4.94	0.053	10.50	2.33	0.025
Classi	Medie classi prime	10	8.44	2.13	0.213	9.70	0.987	0.099
	Medie classi seconde	4	10.37	1.31	0.327	10.47	0.519	0.130
Docenti	Medie studenti di prima con stesso docente	6	8.50	2.28	0.380	9.71	1.04	0.174
	Medie studenti di seconda con stesso docente	2	10.36	0.784	0.392	10.50	0.321	0.160

Tabella 5. Medie e dispersioni dei valori medi presenti nella Tabella 4.

Dall'analisi effettuata si evincono due spunti di riflessione, uno sull'effetto della suddivisione in base al docente o alla classe e uno sulla differenza tra i metodi di assegnazione dei punteggi. In primo luogo, seppure la disomogeneità del campionamento (l'assegnazione classe-docente è riportata nella **Tabella 4**) non consenta di trarre conclusioni incontestabili, è evidente che:

- appartenere ad una classe diversa genera un'ulteriore dispersione rispetto a quella presente all'interno della classe stessa, e questo avviene in misura lievemente maggiore per le classi prime rispetto alle classi seconde;
- avere un docente diverso genera un'ulteriore dispersione rispetto a quella presente tra gli studenti di tale docente, e questo avviene in misura nettamente maggiore per le classi prime rispetto alle classi seconde.

Emerge, dunque, che si possono attribuire - almeno in parte - al docente o alla sequenza che egli ha adottato in una specifica classe una parte della variabilità dei risultati ottenuti dagli studenti. Si osserva inoltre che tale fenomeno si accentua nelle classi prime. Questo può essere causato dal minore tempo di latenza tra l'attuazione della sequenza e la somministrazione del

test o dalla continua rielaborazione concettuale che gli studenti devono fronteggiare, perlopiù individualmente, durante il secondo anno di studi. Questo giustificherebbe anche la maggiore rilevanza dell'*effetto del docente* rispetto all'*effetto della classe* [1,78 volte maggiore nelle classi prime e 1,20 volte maggiore nelle classi seconde]. Quando il test verrà somministrato a un campione di studenti, appartenenti a classi diverse, che hanno affrontato la sequenza progettata in questo studio, sarà interessante confrontare l'entità delle conseguenze della sequenza rispetto agli effetti quantificati in questa ricerca.

Per quanto riguarda la seconda riflessione, sembra che l'entità degli *effetti* finora menzionati non differisca significativamente in base alla modalità di attribuzione dei punteggi. Infatti, anche se valori medi e dispersioni dei punteggi *Dicotomici* e *Non Dicotomici* siano visibilmente differenti in valore assoluto, si è notato che i parametri "*effetto del docente*" ed "*effetto della classe*" sopra menzionati hanno un'entità comparabile. Pertanto, si può stabilire che i due criteri, seppur conferendo al test la funzione di misurare dati diversi e complementari, condividano una coerenza tale da far corrispondere i risultati.

4.6 Valutazione dell'affidabilità con alpha di Cronbach

Al fine di appurare l'affidabilità del test nel rispondere ai vari quesiti che esso si pone, è stato scelto di calcolare l'Alpha di Cronbach, un indicatore statistico che valuta la coerenza e l'unidimensionalità degli item restituendo un valore numerico compreso tra 0 e 1, indice dell'attendibilità (*reliability*) del set di domande. Nel nostro caso, l'unidimensionalità è rappresentata, a seconda del criterio di assegnazione dei punteggi, dalla capacità degli item di sovrapporsi per somma diretta e concorrere coerentemente alla definizione del punteggio totale; sia che esso valuti l'abilità di rispondere correttamente (*punteggi Dicotomici*), sia che valuti l'insieme delle capacità di rispondere correttamente e motivare la risposta e l'assenza di misconcezioni (*punteggi Dicotomici*). Applicando la seguente formula

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum_K VAR(x_i)}{VAR_{tot}} \right) \quad (9)$$

in cui K corrisponde al numero di item, $VAR(x_i)$ è la varianza degli score dell'i-esimo item e VAR_{tot} la varianza dei punteggi di ogni studente, tali indici sono stati calcolati e riportati nella **Tabella 6**, sia per l'intero set di item (ad esclusione delle due domande aperte) sia per dei parziali raggruppamenti. In particolare, ci siamo focalizzati sul **Blocco 2** (D4-D8) contenente le domande che valutano alcuni degli obiettivi della sequenza, sul **Blocco 3** (D9-D27) relativo alle misconcezioni e, come spesso viene effettuato in letteratura (*split-half reliability*), su una

suddivisione casuale degli item in due **Mezzi Test** (**A** contenente le domande D1, D5, D6, D9, D10, D11, D17, D21 e D25; **B** contenente le restanti). Per il **Blocco 1** del test, ovvero quello deputato alla verifica dei prerequisiti, non è stata effettuata l'analisi descritta a causa del ridotto numero di item.

		Punteggi Non Dicotomici			Punteggi Dicotomici		
	K	$\sum_K VAR(x_i)$	VAR _{tot}	$\alpha_{Cronbach}$	$\sum_K VAR(x_i)$	VAR _{tot}	$\alpha_{Cronbach}$
Intero test	18	15.47	35.33	0.595	3.459	7.944	0.598
Blocco 2	5	1.645	2.063	0.253	0.856	1.121	0.296
Blocco 3	11	13.14	25.11	0.524	2.346	4.359	0.508
Mezzo test A	9	8.325	12.17	0.355	1.863	2.697	0.348
Mezzo test B	9	7.161	11.10	0.399	1.596	2.567	0.426

Tabella 6. Indici di affidabilità dell'intero test e dei gruppi di item selezionati (split-half reliability).

Per prima cosa, si osserva che gli indicatori calcolati sull'intero test non raggiungono i valori ottimali ma rappresentano un buon punto di partenza per una versione sperimentale dello strumento desiderato: analizzando questi primi risultati sono state tratte delle linee guida da seguire per una efficace revisione del test. Inoltre, la somiglianza tra i valori degli Alpha di Cronbach calcolati con i due diversi criteri di assegnazione dei punteggi dimostra che il test – per come è stato progettato – non perde affidabilità nel fornire le informazioni che i soli *punteggi Dicotomici* non sono in grado di misurare.

Nell'ottica in cui è stata realizzata la sequenza, la comprensione degli obiettivi di apprendimento risulta propedeutica al contenimento della diffusione di misconcezioni e difficoltà di apprendimento; pertanto, ci aspettiamo che non emerga una rilevante discrepanza tra gli indicatori parziali e l'Alpha complessivo, bensì una lieve diminuzione passando dai **Blocchi** all'intero test a causa dell'unione di item con finalità diversa. Tuttavia, come si nota dalla **Tabella 6**, nel nostro caso si verifica il fenomeno opposto. Questo conferma l'unidimensionalità delle domande appartenenti alle diverse sezioni del test e la possibilità di utilizzare lo strumento progettato per rispondere ai vari quesiti che esso si pone, ma rivela anche che gli item appartenenti allo stesso **Blocco** sono meno coerenti di quanto dovrebbero e una loro revisione porterebbe a migliorare l'intero test. Per quanto riguarda il **Blocco 2**, è possibile che la mancanza di coerenza nei dati raccolti non sia causata dai contenuti e dalla forma degli item che lo compongono, bensì dall'inadeguatezza del campione investigato a rispondere a domande specifiche sui concetti fondanti della sequenza progettata in questo studio, concetti che spesso vengono sottostimati nelle sequenze “tradizionali”. Per quanto riguarda il **Blocco 3**,

è possibile che tale risultato sia una conseguenza della scelta fatta all'inizio della costruzione del test nel tentativo di eludere l'enorme difficoltà incontrata nella formulazione di item in grado di *condurre ad una specifica risposta sbagliata TUTTI e I SOLI studenti affetti dalla misconcezione indagata*.

A tale scopo, le misconoscenze sono state considerate come “*concezioni sbagliate - più o meno radicate negli studenti investigati - che si manifestano portandoli a selezionare una determinata risposta, diversa da quella che avrebbero selezionato in presenza di uno schema cognitivo ben costruito*”. Ovviamente, nel piano reale, le modalità che esse hanno di manifestarsi non sono così facilmente prevedibili e possono dipendere da numerosi aspetti, tra cui la formulazione della domanda e la percezione che ne ha lo studente al momento stesso della somministrazione del test (oltre ai motivi già illustrati nel paragrafo 1.2.4). Tuttavia, abbiamo ritenuto che contando i soli casi (e verificando studente per studente) in cui la stessa misconoscenza viene a manifestarsi ogni volta che questa si trova nello schema cognitivo utile per rispondere alla domanda si otterrà una sottostima della diffusione di questa concezione difforme, evitando quindi di conteggiare come tale anche quelle situazioni di confusione che portano gli studenti intervistati a selezionare – con un grado di convinzione variabile – la stessa risposta a cui condurrebbe la misconcezione indagata.

Per di più, attribuendo punteggi negativi a determinate risposte e sommando i punteggi conseguiti per ogni domanda non si misura il grado di diffusione di una specifica concezione alternativa ma la presenza dell'insieme delle misconoscenze indagate e, pertanto, si perdono importanti informazioni su quanto ciascuna di esse sia effettivamente diffusa e radicata; i valori di Alpha di Cronbach riportati nella **Tabella 6** dimostrano e quantificano la diminuzione dell'attendibilità delle informazioni ricavabili da un'attribuzione *Non Dicotomica* dei punteggi, nonché il limite dello strumento stesso.

Dalla **Equazione (9)** si nota che ciò che fa discostare l'indicatore di Cronbach dai valori ottimali, nonché prossimi a 1, sono una elevata varianza dei punteggi ottenuti da tutti gli intervistati in ogni singolo item e una ridotta varianza dei punteggi ottenuti da ogni studente sull'intero test. Infatti, si può facilmente ricavare che il valore di $\alpha_{\text{Cronbach}} = 1$ si ottiene per

$$\frac{VAR_{tot}}{K} = \sum_K VAR(x_i) \quad (10)$$

Osservando i dati riportati in **Tabella 6**, per avvicinarsi alla condizione appena descritta occorrerebbe massimizzare il primo termine dell'**Equazione (10)** e minimizzare il secondo. Confrontando il primo termine calcolato per le varie suddivisioni del test effettuate, emerge che

il **Blocco 2** ha un valore di $\frac{VAR_{tot}}{K}$ notevolmente ridotto per i motivi già spiegati e ci aspettiamo ampi miglioramenti dalla sperimentazione in classi che hanno affrontato la sequenza progettata. Per valutare il secondo termine, sono state esplicitate nella **Tabella 7** i contributi di ogni item.

	Punteggi Non Dicotomici		Punteggi Dicotomici
Item	Range di Punteggi	$VAR(x_i)$	$VAR(x_i)$
D1	+1/-1	0.418	0.104
D2	+2/+1/0	0.281	0.152
D4	+1/0/-1	0.387	0.203
D5	+1/0	0.196	0.196
D6	+1/0	0.250	0.250
D7	+1/0/-1	0.212	0.058
D8	+1/0/-1	0.600	0.148
D9	+1/-1	0.984	0.246
D10	+1/0/-1	0.254	0.092
D11	+2/+1/0/-1/-2	1.521	0.250
D13	+2/+1/0/-1/-2	1.382	0.186
D15	+2/+1/0/-1/-2	1.241	0.250
D17	+2/+1/0/-1/-2	1.137	0.250
D19	+1/0	0.097	0.097
D21	+2/+1/-1	1.935	0.225
D23	+2/+1/-1/-2	2.220	0.251
D25	+2/+1/0/-1	1.629	0.249
D27	+1/0/-1	0.742	0.250

Tabella 7. Varianze nei punteggi ottenuti dai vari intervistati per ciascun item.

A prima vista, risulta evidente che gli item del **Blocco 3**, in particolare quelli di tipologia “*two-tier*”, sono caratterizzati da una maggiore varianza nei punteggi dei singoli studenti e che questa tendenza si accentui osservando i *punteggi Non Dicotomici*, ma ciò è comprensibile vista la maggiore ampiezza dell’intervallo di punteggi. Ciò non significa che un test composto unicamente da domande Dicotomiche risponderebbe in maniera più efficiente ai quesiti della ricerca. Si noti, infatti, che la D19 ha una varianza molto contenuta ma ciò è dovuto al fatto che l’80,1% degli intervistati riesce ad individuare la risposta corretta; tuttavia, dall’analisi qualitativa della domanda D20 (che tratteremo per sommi capi nel paragrafo 4.8), emerge che nella maggior parte dei casi la risposta alla D19 è frutto di un apprendimento puramente mnemonico e privo di significato. Inoltre, abbiamo già constatato che la scelta effettuata per l’attribuzione dei punteggi consente di ricavare maggiori informazioni senza rinunciare all’attendibilità del test. Infine, analizzando nello specifico le domande “*two-tier*” si nota che gli item con varianza maggiore sono D23, D21 e D25, ovvero gli unici a non avere opzioni di

risposta tali da coprire tutti i punteggi compresi nell'intervallo [-2,+2], seguiti da D11, D13 e, infine, da D15 e D17, ovvero le domande con più di un'opzione corretta; questo sembra indicare che avere domande con più di un'opzione corretta, almeno nel caso analizzato in cui vengono considerate corrette anche le risposte parzialmente corrette, non generi una perdita di affidabilità del set di item.

In conclusione, il calcolo dell'indicatore di affidabilità ha mostrato risultati positivi ma anche la possibilità di migliorare alcuni aspetti, secondo queste linee guida:

- gli item di tipologia “two-tier” e un sistema ponderato di attribuzione di punteggi, anche *Non Dicotomici*, forniscono più informazioni senza ridurre l'affidabilità del test;
- una maggiore omogeneità nella tipologia di item e nell'intervallo di punteggi (avere quindi almeno una risposta sbagliata ma non indotta dalla presenza di una misconcezione per ogni domanda atta a sondarne una) potrebbe portare a un'ottimizzazione del valore di Alpha;
- da questa analisi non emerge una significativa differenza dovuta al numero di opzioni corrette, ma forse a causa delle scelte effettuate in fase di attribuzione dei punteggi (la questione necessiterebbe di essere indagata ulteriormente, a seguito di un'opportuna documentazione).

4.7 Calcolo degli indici di discriminazione

Un'ulteriore analisi sistematica delle domande, finalizzata ad un'efficace revisione dello strumento, è stata effettuata calcolando e confrontando gli indici di discriminazione di ciascun item, ad esclusione di D3 e D20 per i motivi già menzionati nel paragrafo 4.4. L'indice di discriminazione è un parametro statistico che, dopo aver attribuito ad ogni item un punteggio di tipo dicotomico e aver ordinato il campione in base al punteggio conseguito, viene calcolato per ogni item confrontando il numero di intervistati appartenenti al primo terzo del campione così ordinato che hanno risposto correttamente (N_{top}) con il numero di intervistati appartenenti all'ultimo terzo che hanno risposto correttamente (N_{bottom}) e rapportando tale differenza con il numero di intervistati appartenenti a ogni terzo in cui è stato suddiviso il campione ($N=107$).

$$d = \frac{N_{top} - N_{bottom}}{N} \quad (11)$$

Item	N _{bottom}	N _{top}	d
D1	84	103	0.178
D2	8	36	0.262
D4	51	98	0.439
D5	58	95	0.346
D6	43	81	0.355
D7	4	10	0.056
D8	11	41	0.280
D9	49	48	-0.009
D10	86	105	0.178
D11	21	88	0.626
D13	54	103	0.458
D15	36	69	0.308
D17	37	76	0.365
D19	81	105	0.224
D21	33	100	0.626
D23	29	76	0.439
D25	26	77	0.477
D27	25	78	0.495

Tabella 8. Indici di discriminazione dei vari item.

Dalla **Tabella 8**, è chiaro che le “*two-tier question*” e, più in generale, gli item del **Blocco 3** hanno una maggiore efficienza nel discriminare gli studenti complessivamente più preparati dagli altri. Ciò conferma la convinzione condivisa dai progettatori della sequenza riguardo l’importanza della comprensione degli Oda selezionati come strumento di contrasto alla diffusione di misconcezioni.

Le domande con indice di discriminazione più basso ($d < 0.3$) possono essere raccolte in due categorie. La prima è composta dagli item D1, D10 e D19, per i quali l’indice di discriminazione risulta basso perché molti studenti, di entrambe le categorie, riescono a rispondere correttamente; queste domande falliscono nel discriminare poiché la risposta corretta è alla portata di tutti (D1) o può essere data anche senza un apprendimento significativo (D10 e D19). Alla seconda categoria appartengono D2, D7, D8 e D9, item per i quali l’indice di discriminazione risulta basso perché

pochi studenti di entrambe le categorie riescono a rispondere correttamente; nello specifico:

- nel caso della D2, questo indica una scarsa padronanza di alcuni prerequisiti diffusa in tutto il campione investigato;
- nel caso della D9, il valore negativo può essere una conseguenza dell’errore nella formulazione della domanda sottolineato anche dai docenti che hanno validato il contenuto del test;
- le altre due domande valutano la comprensione dei temi centrali del primo **Blocco** della sequenza progettata, pertanto è auspicabile osservare un miglioramento dell’indice di discriminazione quando il test verrà somministrato in classi che hanno partecipato alla sequenza.

4.8 Analisi quantitativa delle difficoltà di apprendimento e delle misconcezioni

Come abbiamo illustrato nei capitoli precedenti, il test nella sua interezza perde attendibilità quando viene utilizzato per quantificare la diffusione di misconcezioni e quanto esse sono radicate negli studenti intervistati. Per eludere tale limite è stato necessario un diverso tipo di analisi. Per ogni difficoltà di apprendimento e misconoscenza indagata sono stati contati gli studenti che mostrano di esserne affetti da almeno uno dei vari item che consentono di sondarla, per poi contare coloro che confermano di possedere tale concezione difforme rispondendo erroneamente ai vari item contemporaneamente. In questo modo, non solo si ottengono le informazioni necessarie a rispondere al terzo quesito della ricerca, ma è possibile stimare l'efficacia con cui ciascun item raggiunge tale scopo.

La **DdA1**, ovvero la “**difficoltà nel passare correttamente dal livello empirico al livello atomico/molecolare**”, può manifestarsi in tre modi: quando un intervistato seleziona l'opzione “a)” in risposta all'item D9 (da qui in avanti D9-a), quando un intervistato seleziona l'opzione D7-a oppure quando un intervistato risponde correttamente all'item D13 ma erroneamente ad almeno uno degli item D11, D15 e D17. Nei primi due casi il numero di intervistati, rispetto al totale ($N=322$), che seleziona una delle opzioni indicate ($N_{D9-a}=14$ e $N_{D7-a}=51$) o entrambe ($N=3$) è relativamente basso. Al contrario, degli $N=243$ studenti intervistati che rispondono correttamente alla D13, $N=191$ ne sbagliano almeno uno degli altri item menzionati, $N=96$ ne sbagliano almeno due e $N=18$ li sbagliano tutti e tre. Questa disomogeneità dei risultati ottenuti dai vari item dimostra che la DdA1, essendo un concetto alla base della comprensione di numerosi aspetti della chimica dalla notevole complessità, può manifestarsi in vari modi e la sua diffusione risulta, pertanto, difficile da quantificare.

La **DdA2**, ovvero la “**difficoltà nell'associare l'idea di quantità chimica al conteggio delle particelle**”, viene sollecitata dai due item di tipologia “*two-tier*” nei quali è possibile selezionare risposte poiché tra le opzioni ne è presente più di una corretta. Alla domanda D15 $N=154$ selezionano almeno una tra le opzioni 15-b/c/e, di cui $N=80$ motivando con almeno una tra le opzioni 16-b/c; alla domanda D17 $N=155$ selezionano almeno una tra le opzioni 17-a/c/e. La DdA2 risulta, quindi, molto diffusa ($N_{D15}=80$ e $N_{D17}=155$). La validità dei due item selezionati per sollecitarla è confermata dall'elevata percentuale (51,9%) di studenti che, dopo aver selezionato una delle opzioni 15-b/c/e, confermano il possesso della DdA tramite la

risposta data alla D16 e dai risultati in buona parte comuni ai due item (il 58,8% di coloro che dimostrano di avere la DdA2 tramite l'item D15 lo conferma nella risposta della D17).

La **DdA3**, ovvero la **“difficoltà nel giustificare come mai massa atomica o molecolare (u) sono numericamente coincidenti con la relativa massa molare (g/mol)”**, viene indagata solo dalla D20, la cui analisi qualitativa ha portato a raggruppare 268 delle 322 risposte in 14 categorie, di cui ne riportiamo solo alcune nella **Tabella 9**.

Categoria	N
Un carattere qualsiasi poiché la risposta è obbligatoria	10
“Non lo so”	12
“Perché la massa molare è uguale alla massa atomica”	27
“Perché $1 \text{ u} = 1 \text{ g/mol}$ ”	9
“Perché massa atomica e massa molare hanno lo stesso valore numerico”	12
“Perché massa atomica e massa molare hanno lo stesso valore numerico ma diversa unità di misura”	47
“Perché l'unità di misura della massa molare è g/mol”	99
“C'è scritto sulla tavola periodica”	7

Tabella 9. Parziali risultati della categorizzazione delle risposte all'item D20.

Nonostante la grande varietà di risposte, solo N=10 studenti hanno fornito una motivazione soddisfacente. Pertanto, la DdA3 è sicuramente molto diffusa; tuttavia, per ricavare ulteriori informazioni da questo strumento occorrerebbe effettuare una classificazione delle domande più rigorosa in seguito ad un'appropriata documentazione.

La **DdA4**, ovvero la **“difficoltà nella distinzione tra pedici e coefficienti stechiometrici”**, viene sollecitata da tre item:

- D1-a/b N=48 (di cui N=16 in comune con D4-d e N=3 in comune con D25-a);
- D4-d N=25 (di cui N=4 in comune con D25-a);
- D25-a N=38 (di cui N=6 confermati dalla D26-a).

Gli item D1 e D4 sembrano condividere risultati simili, mentre la domanda D25 viene probabilmente sbagliata anche da studenti con altre difficoltà, oltre a quella in oggetto, in quanto essa richiede un simultaneo utilizzo di più schemi concettuali complessi.

La **DdA5**, ovvero la **“difficoltà nel considerare che atomi diversi hanno masse atomiche diverse”**, viene sollecitata da due item di tipologia “two-tier”. Alla domanda D11 N=31 selezionano la risposta D11-a e il 67,7% di questi confermano di possedere tale difficoltà di apprendimento motivando la risposta con la D12-a; mentre, degli N=37 intervistati che selezionano la D13-a, il 40,5% giustifica la propria scelta con la risposta D14-a. Pertanto, la

DdA5 risulta non largamente diffusa, ma molto radicata dove presente; infatti, le due risposte D11-a e D13-a presentano N=10 studenti in comune, di cui N=5 confermati sia da D12-a che da D14-a.

La **DdA6**, ovvero la “**difficoltà nella soluzione di esercizi con rapporti stechiometrici diversi da 1:1**”, viene sollecitata da tre condizioni:

- D21-a/b/c (N=109, di cui N=13 in comune con D25-d);
- D25-d (N=49);
- D27 corretta ma D25 sbagliata (N=56), di cui N=15 in comune con D21-a/b/c, N=39 in comune con D25-d e N=9 in comune con entrambe).

L’item D21 probabilmente fallisce nel quantificare la diffusione della DdA6 poiché la sua assenza non garantisce la capacità di rispondere correttamente all’item; esso riporta infatti risultati di maggior rilievo ma poco coerenti con gli altri item. Le altre due condizioni sembrano essere più efficienti: il 79,6% di coloro che selezionano l’opzione D25-d confermano l’incapacità di risolvere esercizi con rapporti stechiometrici diversi da 1:1 rispondendo correttamente alla D27, ma sbagliando la D25.

La **DdA7**, ovvero la “**difficoltà nel riconoscere la definizione di *mole* da una proprietà della *mole***”, viene sollecitata solo dalla risposta 9-a/c (N=168). Purtroppo, a causa della non corretta formulazione della domanda D9, non si possono trarre informazioni sull’effettiva diffusione di questa DdA.

Passiamo ora alle misconcezioni. La presenza della **M1**, ovvero l’“**identificazione della mole con una massa**”, viene evidenziata in maniera più o meno evidente da varie condizioni sparse all’interno del test:

- L’intervistato seleziona l’opzione D10-a (N=15, di cui N=5 in comune con D23-b);
- L’intervistato seleziona l’opzione D23-b (N=52, di cui N=43 confermate da 24-a/b);
- L’intervistato seleziona almeno l’opzione D15-b (N=89, di cui N=27 confermati da D16-b);
- L’intervistato seleziona almeno la D17-c ma non la D17-d (N=53, di cui N=29 confermati da D18-b).

Dalla D10, a differenza delle altre domande, sembra che la M1 non sia molto diffusa. Ciò può essere una conseguenza della facilità nel rispondere correttamente a tale domanda grazie ad un apprendimento di tipo mnemonico e superficiale. L’effettiva diffusione della concezione alternativa di “confondere la quantità di sostanza con una massa” è evidente dai risultati degli

item D15 e D17. Questo ci ricorda quanto è difficile far emergere una concezione difforme, ma conferma anche l'efficacia della pluralità di domande. Ad esempio, il 48,3% dei 29 studenti evidenziati dalla D17-c+D18-b sono gli stessi evidenziati dalla D23-b+D24-a/b.

La **M2**, ovvero l'“**identificazione della mole con un numero di particelle**”, viene sollecitata unicamente dalla risposta 10-c (N=4). Come si evince dall'analisi della M1, alla D10 è possibile rispondere correttamente anche in assenza di un apprendimento significativo; pertanto, tali risultati potrebbero non rispecchiare la reale diffusione della misconcezione indagata.

La **M5**, ovvero la “**concezione della mole in riferimento alle molecole e non agli atomi**”, è presente negli intervistati che selezionano l'opzione 15-d (più eventuali altre opzioni) ma non l'opzione 15-a (N=78) ma, non avendo un sistema di più item che confermano tale ipotesi, l'analisi manca di robustezza.

La **M5***, ovvero la “**concezione della mole in riferimento agli atomi e non alle molecole**”, è stata aggiunta durante la costruzione del test per determinare se fosse diffusa (ed eventualmente quantificarne l'entità) la concezione opposta alla **M5**. Sono state realizzati appositamente per questo proposito gli item D15 e D17, volutamente di tipologia “*two-tier*” e con più alternative corrette tra le risposte. Coloro che selezionano l'opzione 15-a (più eventuali altre opzioni) ma non l'opzione 15-d (N=57) potrebbero essere stati condotti ad effettuare tale scelta dalla **M5***. Stessa cosa si può dire di chi seleziona almeno una delle opzioni 17-a/c (N=32) e poi motiva tale scelta selezionando la 18-a (N=12). I due item hanno N=4 studenti in comune. Ancora una volta, oltre a ricavare informazioni sulla diffusione della misconoscenza, la complessa tipologia di item ci consente, con un'analisi ben costruita e riportata nel Colab Notebook in appenice, di verificare l'efficacia degli item prodotti.

Infine, la **M7**, ovvero la convinzione che “**la proporzione tra il numero di particelle (in una reazione chimica) è identica alla proporzione tra le masse delle sostanze coinvolte**”, viene sollecitata da cinque item:

- D8-a (N=184);
- D11-a (N=31, di cui N=21 confermate da D12-a);
- D23-b confermata dalla D24-a/b (N=43);
- D25-b (N=89);
- D27-c (N=97).

Nessuno degli studenti intervistati manifesta la **M7** in tutte le domande, N=5 studenti la manifestano tramite gli item D8, D23+D24, D25 e D27, N=43 studenti la manifestano negli item D8, D25 e D27. Questo ci ricorda che le misconoscenze possono non essere idee consolidate che determinano univocamente le scelte degli studenti indagati; tuttavia, resta preoccupante il dato che N=241 manifestano la **M7** in almeno uno degli item menzionati.

4.9 Revisione del test

A partire dalle linee guida emerse dai dati raccolti durante la sperimentazione del test e tenendo in considerazione gli obiettivi e il focus della ricerca, siamo giunti alle conclusioni di seguito riportate.

- Le domande D1, D2 e D3 valutano i prerequisiti: sono utili in un pre-test per valutare se gli studenti sono pronti ad affrontare la sequenza progettata e possono rivelare se la partecipazione alla sequenza permette di riorganizzare e consolidare i concetti già acquisiti.
- Le domande D4, D5, D6, D7 e D8 valutano gli obiettivi di apprendimento centrali del primo **Blocco** della sequenza: sono utili per confrontare la profondità dell'apprendimento degli studenti intervistati con quella degli studenti che in futuro parteciperanno attivamente alla sequenza progettata. L'item D8, attualmente a risposta multipla, potrebbe essere convertito in una domanda “two-tier” con l'integrazione della D8.5 riportata in seguito.

D8) Qual è il rapporto di combinazione tra le masse di Na e Cl in un campione di NaCl?

a) 1:1	a) Perché per ogni ione Na^+ c'è uno ione Cl^-
	b) Perché le masse atomiche dei due elementi sono differenti
	c) Perché ogni campione può contenere un rapporto variabile di ioni Na^+ e Cl^-
b) 1:1,5	a) Perché per ogni ione Na^+ c'è uno ione Cl^-
	b) Perché le masse atomiche dei due elementi sono differenti
	c) Perché ogni campione può contenere un rapporto variabile di ioni Na^+ e Cl^-
c) 1:2	a) Perché per ogni ione Na^+ c'è uno ione Cl^-
	b) Perché le masse atomiche dei due elementi sono differenti
	c) Perché ogni campione può contenere un rapporto variabile di ioni Na^+ e Cl^-
d) Dipende dal campione	a) Perché per ogni ione Na^+ c'è uno ione Cl^-
	b) Perché le masse atomiche dei due elementi sono differenti
	c) Perché ogni campione può contenere un rapporto variabile di ioni Na^+ e Cl^-

Commento: La risposta 8-a implica la presenza della M7, che viene confermata dalla 8.5-a.

- L'item D9 dovrebbe essere eliminato dal test perché mal formulato: la risposta corretta è la 9-c (47%) e, anche se venisse modificato in “**Che cos'è la mole?**”, non ci sono motivi per aspettarsi che la percentuale di risposte 9-c diminuisca in favore della 9-a; inoltre, perderebbe la capacità di misurare la diffusione della DdA7. Per di più, l'analisi riportata nel capitolo precedente dimostra che non è efficiente nel sondare la DdA1 in quanto poco consistente con gli altri item che la valutano. L'indice di discriminazione prossimo a zero indica che il grado di preparazione non influisce sulla capacità di rispondere correttamente; inoltre, possiede un'elevata varianza e di conseguenza influenza negativamente l'affidabilità dell'intero test.
- La domanda D10 non supporta una eventuale modalità “*two-tier*”.
- Gli item D11, D13, D15 e D17 rispettano le tre linee guida del paragrafo precedente, ma la domanda D18 potrebbe essere integrata con un'opzione che possa essere selezionata, in alternativa a quella corretta, dagli studenti che non presentando la DdA2 o la M5*.

D18) Motiva la risposta precedente.

- a. perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di atomi
 - b. perché la massa molare di O_2 è minore di quella di O_3
 - c. perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di particelle
 - d. perché non si conosce la composizione dei due campioni
- D19 e D20 sono gli unici item che permettono di valutare il grado di diffusione della DdA3.
- Qualsiasi risposta non corretta agli item D21 e D23 è implicitamente dettata dalla presenza della DdA6; tuttavia, è possibile integrare la domanda D22 con delle opzioni che confermino la presenza della DdA6 ed effettuare una revisione delle informazioni ricavabili dalle varie coppie di risposte.

D21) Data l'equazione chimica $A + 3B \rightarrow 2C$ qual è la quantità di sostanza di B che reagisce con 2 mol di A?

a) 1 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale
b) 2 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale
c) 3 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale
d) 6 mol	a) perché il coefficiente stechiometrico di A è 1
	b) perché il coefficiente stechiometrico di B è 3
	c) perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3
	d) perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale

Commento: Le risposte 21-a (confermata dalla 22-a), 21-b (confermata dalla 22-d) o 21-c (confermata dalla 22-b) fanno sospettare la presenza della DdA6.

- La D25 può essere integrata con un'opzione che non implichi la presenza di una delle misconcezioni indagate.

D25) Nella reazione $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$, quale massa di ossigeno reagirà con 2 g di H_2 ?

a) 2 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1
	c) Perché la massa molecolare relativa di O_2 è 32
b) 1 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1
	c) Perché la massa molecolare relativa di O_2 è 32
c) 16 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1
	c) Perché la massa molecolare relativa di O_2 è 32
d) 32 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1
	c) Perché la massa molecolare relativa di O_2 è 32
e) 8 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 2:1
	c) Perché la massa molecolare relativa di O_2 è 32

Commento: L'opzione 25-a (confermata dalla 26-a) fa sospettare la presenza della DdA4 e della M7; la risposta 25-b (confermata dalla 26-b) suggerisce la presenza della M7; la risposta 25-d (confermata dalla 26-c) potrebbe significare che è presente la DdA6.

- L'item D27, attualmente a risposta multipla, potrebbe essere convertito in una domanda "two-tier" con l'integrazione della D27.5 riportata in seguito.

D27) Nella reazione $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$, quale massa di Cl_2 reagisce con 2 g di H_2 ?

a) 1 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 1:1
	c) Perché la massa atomica relativa di Cl è 35
b) 70 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 1:1
	c) Perché la massa atomica relativa di Cl è 35
c) 2 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 1:1
	c) Perché la massa atomica relativa di Cl è 35
d) 35 g	a) Perché hanno lo stesso pedice
	b) Perché il rapporto stechiometrico è 1:1
	c) Perché la massa atomica relativa di Cl è 35

Commento: La risposta 27-c (confermata dalla 27.5-b) fa sospettare la presenza della M7; inoltre, chi risponde correttamente alla D27 ma sbaglia D25 potrebbe possedere la DdA6.

5. Conclusioni e prospettive

L'obiettivo di questo lavoro sperimentale è stato progettare una sequenza didattica e un test diagnostico per l'introduzione alla stechiometria nel primo biennio della scuola secondaria di secondo grado. Questa tipologia di ricerca didattica è nuova nel laboratorio ospite. Il lavoro è partito da una sequenza didattica progettata dal prof. Marco Ghirardi e già in fase di sperimentazione preliminare. È stato effettuato uno studio della letteratura circa i problemi epistemologici riguardanti la quantità chimica, o quantità di sostanza, e le conseguenti difficoltà didattiche, seguendo quindi un approccio storico-epistemologico alla didattica. Particolare attenzione è stata dedicata al fenomeno delle misconcezioni e alla ricerca in letteratura delle misconcezioni più comuni riguardanti la quantità chimica e la stechiometria.

L'analisi ha portato a proporre una ristrutturazione della sequenza didattica iniziale, producendo una sequenza articolata in due blocchi: nel primo blocco si affronta il problema della determinazione delle masse atomiche relative, mentre nel secondo blocco viene compresa la necessità di definire la grandezza quantità chimica e si introduce la massa molare. Sono stati meglio specificati le conoscenze e le abilità prerequisite e gli obiettivi di apprendimento. La sequenza didattica si compone di 11 fogli di lavoro.

È stato progettato e realizzato *ex novo* un test diagnostico per la verifica dei prerequisiti e degli apprendimenti, al fine di poter procedere a una sperimentazione della sequenza didattica. La validità di costrutto del test è stata verificata sottoponendolo al giudizio di docenti esperti. Il test è stato somministrato a un campione di 322 studenti del primo biennio di un istituto tecnico industriale, e si è proceduto all'analisi dei risultati: indice di discriminazione dei vari item, indice di affidabilità (alpha di Cronbach), analisi della varianza dei punteggi, quantificazione della diffusione di misconcezioni e difficoltà di apprendimento ricercate. Il processo di analisi ha portato alla formulazione di linee guida per la revisione del test diagnostico.

5.1 Limiti dello studio

Questo lavoro sperimentale si caratterizza per essere il primo nel proprio genere che viene effettuato nel laboratorio ospite, e si inserisce nel tema di ricerca più ampio che riguarda le misconcezioni in didattica della chimica.

Limiti di tempo non hanno permesso la sperimentazione della sequenza didattica in classe, così come la validazione di contenuto del test prima della sua somministrazione con conseguenze sulla qualità della validazione del test.

Il test è stato somministrato a classi prime e seconde di un istituto tecnico industriale, nonostante il campione di studenti sia elevato ($N=322$) non può essere considerato rappresentativo della popolazione generale di studenti italiani, a causa della disomogeneità di popolazione tra tipologie diverse di scuole secondarie di secondo grado.

La proposta di sequenza didattica parte dall'organizzazione concettuale del sapere sapiente al fine di proporre una trasposizione didattica efficace, privilegiando l'aspetto concettuale dell'apprendimento, tanto nelle attività proposte nei fogli di lavoro quanto nella valutazione che si intende effettuare con il test diagnostico. Sono quindi lasciati da parte in questa sede tutti gli aspetti legati alle pratiche didattiche che permettono di realizzare in contesto la sequenza di problemi qui proposta.

5.2 Continuo della sperimentazione

L'analisi del test somministrato al campione scelto ha portato all'elaborazione di linee-guida per la rielaborazione del test stesso. Sarà quindi necessario procedere alla riscrittura del test e alla sua validazione di costrutto. È auspicabile inoltre correggere la stringa di codice contenuto nel Google Colab in appendice, in modo da ottenere le informazioni raccolte dal nuovo strumento con facilità.

È necessario procedere alla sperimentazione della sequenza in classe, sottoponendo il test diagnostico prima e dopo la realizzazione della sequenza per valutare gli apprendimenti, ed eventualmente in un terzo momento a distanza di tempo per valutare la stabilità dei cambiamenti registrati. A tal fine è auspicabile coinvolgere un campione ampio e diversificato, considerando il limite della formazione iniziale necessaria per i docenti che si rendono disponibili ad effettuare la sperimentazione.

Sempre ai fini della sperimentazione, può essere valutata l'opportunità di realizzare registrazioni audio o video durante la sperimentazione, per poter trovare evidenze dei conflitti concettuali e dei cambiamenti concettuali che la sequenza qui proposta intende indurre negli studenti che la affrontano. In questo modo è possibile integrare i dati del test diagnostico, completando la descrizione del processo di apprendimento-insegnamento. Ciò permetterebbe inoltre di valutare quali elementi dell'approccio didattico del docente favoriscono o sfavoriscono l'efficacia delle attività.

6. Bibliografia

- (1) Teo, T. W.; Goh, M. T.; Yeo, L. W. Chemistry Education Research Trends: 2004–2013. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2014**, *15* (4), 470–487. <https://doi.org/10.1039/C4RP00104D>.
- (2) Cooper, M. M.; Stowe, R. L. Chemistry Education Research—From Personal Empiricism to Evidence, Theory, and Informed Practice. *Chem. Rev.* **2018**, *118* (12), 6053–6087. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00020>.
- (3) Kornhauser, A. Trends in Research in Chemical Education. *Eur. J. Sci. Educ.* **1979**, *1* (1), 21–50. <https://doi.org/10.1080/0140528790010104>.
- (4) Herrington, D. G.; Sweeder, R. D.; Daubenmire, P. L.; Bauer, C. F.; Bretz, S. L.; Bunce, D. M.; Carmel, J. H.; Cole, R.; DeKorver, B. K.; Kelly, R. M.; Lewis, S. E.; Oliver-Hoyo, M.; Ryan, S. A. C.; Stains, M.; Towns, M. H.; Yeziarski, E. J. Supporting the Growth and Impact of the Chemistry-Education-Research Community. *J. Chem. Educ.* **2019**, *96* (3), 393–397. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00823>.
- (5) Irwanto, I.; Afrizal, A.; Lukman, I. R. Research Trends in Chemistry Education: A Bibliometric Review (1895–2022). *AIP Conf. Proc.* **2024**, *2982* (1), 040030. <https://doi.org/10.1063/5.0182936>.
- (6) Yildirim, T. Trends in PhD Theses in Turkish Chemistry Education (1999–2019). *Eurasian J. Educ. Res.* **2020**, *20* (89), 1–40. <https://doi.org/10.14689/ejer.2020.89.10>.
- (7) Mason, L. *Psicologia dell'apprendimento e dell'istruzione*, Terza edizione.; Manuali; Il mulino: Bologna, 2019.
- (8) Driver, R. Students' Conceptions and the Learning of Science. *Int. J. Sci. Educ.* **1989**, *11* (5), 481–490. <https://doi.org/10.1080/0950069890110501>.
- (9) Potvin, P.; Malenfant-Robichaud, G.; Cormier, C.; Masson, S. Coexistence of Misconceptions and Scientific Conceptions in Chemistry Professors: A Mental Chronometry and fMRI Study. *Front. Educ.* **2020**, *5*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.542458>.
- (10) Matthews, M. R. Thomas Kuhn and Science Education. *Sci. Educ.* **2022**. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00408-1>.
- (11) Karplus, R. Chemical Phenomena in Elementary School Science. *J. Chem. Educ.* **1966**, *43* (5), 267. <https://doi.org/10.1021/ed043p267>.
- (12) Herron, J. D. Piaget for Chemists. Explaining What “Good” Students Cannot Understand. *J. Chem. Educ.* **1975**, *52* (3), 146. <https://doi.org/10.1021/ed052p146>.
- (13) Johnstone, A. H. The Development of Chemistry Teaching: A Changing Response to Changing Demand. *J. Chem. Educ.* **1993**, *70* (9), 701. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>.
- (14) Novak, J. D. Application of Advances in Learning Theory and Philosophy of Science to the Improvement of Chemistry Teaching. *J. Chem. Educ.* **1984**, *61* (7), 607. <https://doi.org/10.1021/ed061p607>.

- (15) Eylon, B.-S.; Linn, M. C. Learning and Instruction: An Examination of Four Research Perspectives in Science Education. *Rev. Educ. Res.* **1988**, *58* (3), 251–301. <https://doi.org/10.3102/00346543058003251>.
- (16) Barke; Hazari; Yitbarek. *Misconceptions in Chemistry*; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-70989-3>.
- (17) Mondal; Chakraborty. *Misconceptions in Chemistry*; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-70989-3>.
- (18) Sunyono, S.; Tania, L.; Saputra, A.; Saputra, A. A LEARNING EXERCISE USING SIMPLE AND REAL-TIME VISUALIZATION TOOL TO COUNTER MISCONCEPTIONS ABOUT ORBITALS AND QUANTUM NUMBERS. *J. Balt. Sci. Educ.* **2016**, *15* (4), Continuous. <https://doi.org/10.33225/jbse/16.15.452>.
- (19) Mulford, D. R.; Robinson, W. R. An Inventory for Alternate Conceptions among First-Semester General Chemistry Students. *J. Chem. Educ.* **2002**, *79* (6), 739. <https://doi.org/10.1021/ed079p739>.
- (20) Ryan, S.; Herrington, D. G. Sticky Ions: A Student-Centered Activity Using Magnetic Models to Explore the Dissolving of Ionic Compounds. *J. Chem. Educ.* **2014**, *91* (6), 860–863. <https://doi.org/10.1021/ed300607a>.
- (21) Ozcan, O.; Bayrakceken, S.; Oktay, O.; Canpolat, N. Implementation of Peer Instruction Method on Teaching of Acids and Bases to 12th Grade Students: An Action Research. *Sci. Insights Educ. Front.* **2024**, *23* (1), 3637–3673. <https://doi.org/10.15354/sief.24.or590>.
- (22) Nussbaum, J.; Novick, S. Alternative Frameworks, Conceptual Conflict and Accommodation: Toward a Principled Teaching Strategy. *Instr. Sci.* **1982**, *11* (3), 183–200. <https://doi.org/10.1007/BF00414279>.
- (23) Osborne, R. J.; Wittrock, M. C. Learning Science: A Generative Process. *Sci. Educ.* **1983**, *67* (4), 489–508. <https://doi.org/10.1002/sce.3730670406>.
- (24) Yalçinkaya, E.; Boz, Y. The Effect of Case-Based Instruction on 10th Grade Students' Understanding of Gas Concepts. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2015**, *16* (1), 104–120. <https://doi.org/10.1039/C4RP00156G>.
- (25) Tsaparlis, G.; Pappa, E. T.; Byers, B. Teaching and Learning Chemical Bonding: Research-Based Evidence for Misconceptions and Conceptual Difficulties Experienced by Students in Upper Secondary Schools and the Effect of an Enriched Text. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2018**, *19* (4), 1253–1269. <https://doi.org/10.1039/C8RP00035B>.
- (26) Chi, M. T. H.; Slotta, J. D.; De Leeuw, N. From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts. *Learn. Instr.* **1994**, *4* (1), 27–43. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90017-5).
- (27) Boz, Y. Turkish Prospective Chemistry Teachers' Alternative Conceptions about Acids and Bases. *Sch. Sci. Math.* **2009**, *109* (4), 212–222. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb18259.x>.

- (28) Stojanovska, M. I.; Soptrajanov, B. T.; Petrusevski, V. M. Addressing Misconceptions about the Particulate Nature of Matter among Secondary-School and High-School Students in the Republic of Macedonia. *Creat. Educ.* **2012**, 3 (5), 619–631. <https://doi.org/10.4236/ce.2012.35091>.
- (29) Guerra-Reyes, F.; Guerra-Dávila, E.; Naranjo-Toro, M.; Basantes-Andrade, A.; Guevara-Betancourt, S. Misconceptions in the Learning of Natural Sciences: A Systematic Review. *Educ. Sci.* **2024**, 14 (5), 497. <https://doi.org/10.3390/educsci14050497>.
- (30) Taber, K. S. Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Rerearch. *Chem Educ Res Pr.* **2001**, 2 (2), 123–158. <https://doi.org/10.1039/B1RP90014E>.
- (31) Srisawasdi, N.; Panjaburee, P. Implementation of Game-Transformed Inquiry-Based Learning to Promote the Understanding of and Motivation to Learn Chemistry. *J. Sci. Educ. Technol.* **2019**, 28 (2), 152–164. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9754-0>.
- (32) Johnstone, A. H. Why Is Science Difficult to Learn? Things Are Seldom What They Seem. *J. Comput. Assist. Learn.* **1991**, 7 (2), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>.
- (33) Johnstone, A. H. Chemistry Teaching - Science or Alchemy? 1996 Brasted Lecture. *J. Chem. Educ.* **1997**, 74 (3), 262. <https://doi.org/10.1021/ed074p262>.
- (34) Johnstone, A. H. Teaching of Chemistry - Logical or Psychological? *Chem Educ Res Pr.* **2000**, 1 (1), 9–15. <https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>.
- (35) Üce, M.; Ceyhan, İ. Misconception in Chemistry Education and Practices to Eliminate Them: Literature Analysis. *J. Educ. Train. Stud.* **2019**, 7 (3), 202. <https://doi.org/10.11114/jets.v7i3.3990>.
- (36) Duit, R.; Treagust, D. F. Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, 25 (6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>.
- (37) Dole, J. A.; Sinatra, G. M. Reconceptualizing Change in the Cognitive Construction of Knowledge. *Educ. Psychol.* **1998**, 33 (2–3), 109–128. <https://doi.org/10.1080/00461520.1998.9653294>.
- (38) Sendur, G.; Toprak, M. The Role of Conceptual Change Texts to Improve Students' Understanding of Alkenes. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2013**, 14 (4), 431–449. <https://doi.org/10.1039/C3RP00019B>.
- (39) Berti, A. E. Cambiamento concettuale e insegnamento. *Scuola E Città* **2002**, 102, 19–38.
- (40) Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W.; Gertzog, W. A. Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Sci. Educ.* **1982**, 66 (2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>.
- (41) Strike, K. A.; Posner, G. J. Conceptual Change and Science Teaching. *Eur. J. Sci. Educ.* **1982**, 4 (3), 231–240. <https://doi.org/10.1080/0140528820040302>.
- (42) Sozibilir, M. Turkish Chemistry Undergraduate Students' Misunderstandings of Gibbs Free Energy. *Univ Chem Educ* **2002**, 6, 73–83.

- (43) Herron, J. D. Piaget in the Classroom. Guidelines for Applications. *J. Chem. Educ.* **1978**, *55* (3), 165. <https://doi.org/10.1021/ed055p165>.
- (44) Tiberghien, A. Learning and Teaching: Differentiation and Relation. *Res. Sci. Educ.* **1997**, *27* (3), 359–382. <https://doi.org/10.1007/BF02461759>.
- (45) Bunce, D. M. Does Piaget Still Have Anything to Say to Chemists? *J. Chem. Educ.* **2001**, *78* (8), 1107. <https://doi.org/10.1021/ed078p1107.2>.
- (46) Pintrich, P. R.; Marx, R. W.; Boyle, R. A. Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Rev. Educ. Res.* **1993**, *63* (2), 167–199. <https://doi.org/10.3102/00346543063002167>.
- (47) Bachelard, G. *La formation de l'esprit scientifique*; 1938.
- (48) Shtulman, A.; Valcarcel, J. Scientific Knowledge Suppresses but Does Not Supplant Earlier Intuitions. *Cognition* **2012**, *124* (2), 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.04.005>.
- (49) Mortimer, E. F. Conceptual Change or Conceptual Profile Change? *Sci. Educ.* **1995**, *4* (3), 267–285. <https://doi.org/10.1007/BF00486624>.
- (50) Kelly, R. M.; Barrera, J. H.; Mohamed, S. C. An Analysis of Undergraduate General Chemistry Students' Misconceptions of the Submicroscopic Level of Precipitation Reactions. *J. Chem. Educ.* **2010**, *87* (1), 113–118. <https://doi.org/10.1021/ed800011a>.
- (51) Furió, C.; Azcona, R.; Guisasola, J. THE LEARNING AND TEACHING OF THE CONCEPTS 'AMOUNT OF SUBSTANCE' AND 'MOLE': A REVIEW OF THE LITERATURE. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2002**, *3* (3), 277–292. <https://doi.org/10.1039/B2RP90023H>.
- (52) Furió, C.; Azcona, R.; Guisasola, J.; Ratcliffe, M. Difficulties in Teaching the Concepts of "amount of Substance" and "Mole." *Int. J. Sci. Educ.* **2000**. <https://doi.org/10.1080/095006900750036262>.
- (53) Ghibaudi, E.; Ghirardi, M.; Regis, A. Are There Distinct Views of Chemistry behind the Old and the New Definition of Mole? *Found. Chem.* **2024**. <https://doi.org/10.1007/s10698-024-09515-z>.
- (54) Gorin, G. Mole and Chemical Amount: A Discussion of the Fundamental Measurements of Chemistry. *J. Chem. Educ.* **1994**, *71* (2), 114. <https://doi.org/10.1021/ed071p114>.
- (55) Turco, F.; Cerruti, L. Osservazioni Sulla Quantità Di Sostanza e Sulla Mole I. *Chim. Nella Scuola* **2002**, *4*.
- (56) Roletto; Regis; Albertazzi. Costruire Il Concetto Di Mole: Un Approccio Empirico a Un Concetto Formale. *Chim. Nella Scuola* **2003**, *XXV* (5), 148–156.
- (57) Cervellati, R.; Montuschi, A.; Perugini, D.; Grimellini-Tomasini, N.; Balandi, B. P. Investigation of Secondary School Students' Understanding of the Mole Concept in Italy. *J. Chem. Educ.* **1982**, *59* (10), 852. <https://doi.org/10.1021/ed059p852>.
- (58) Cracolice, M. S.; Deming, J. C.; Ehlert, B. Concept Learning versus Problem Solving: A Cognitive Difference. *J. Chem. Educ.* **2008**, *85* (6), 873. <https://doi.org/10.1021/ed085p873>.

- (59) Fang, S.; Hart, C.; Clarke, D. Identifying the Critical Components for a Conceptual Understanding of the Mole in Secondary Science Classrooms. *J. Res. Sci. Teach.* **2016**, *53* (2), 181–214. <https://doi.org/10.1002/tea.21298>.
- (60) Caushi, K.; Torres, D.; Abrams, B. Examining Educational Debts in Student Preparation for General Chemistry. *J. Chem. Educ.* **2024**, *101* (4), 1425–1434. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01073>.
- (61) Goodstein, M. P.; Howe, A. C. Application of Piagetian Theory to Introductory Chemistry Instruction. *J. Chem. Educ.* **1978**, *55* (3), 171. <https://doi.org/10.1021/ed055p171>.
- (62) Bent, H. A. Should the Mole Concept Be X-Rated? *J. Chem. Educ.* **1985**, *62* (1), 59. <https://doi.org/10.1021/ed062p59>.
- (63) McMinn, D. Coffee, Coins, and Limiting Reagents. *J. Chem. Educ.* **1984**, *61* (7), 591. <https://doi.org/10.1021/ed061p591.1>.
- (64) Ghibaudi, E.; Roletto, E.; Regis, A. DIDATTICA DELLA CHIMICA E TRASPOSIZIONE DIDATTICA Parte prima – I fondamenti teorici di una prassi. *Perspect. Sci.* **2016**, *10*, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.03.010>.
- (65) Kind, V. Beyond Appearances: Students' Misconceptions about Basic Chemical Ideas. **2004**.
- (66) Jammeh, A. L. J.; Karegeya, C.; Ladage, S. MISCONCEPTIONS ON BASIC STOICHIOMETRY AMONG THE SELECTED ELEVENTH-GRADE STUDENTS IN THE URBAN REGIONS OF THE GAMBIA. *J. Balt. Sci. Educ.* **2023**, *22* (2), 254–268. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.254>.
- (67) Mamombe, C.; Mathabathe, K. C.; Gaigher, E. Teachers' and Learners' Perceptions of Stoichiometry Using POGIL: A Case Study in South Africa. *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.* **2021**, *17* (9), em2003. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11140>.
- (68) Cai, S. Harry Potter Themed Digital Escape Room for Addressing Misconceptions in Stoichiometry. *J. Chem. Educ.* **2022**, *99* (7), 2747–2753. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00178>.
- (69) Reina, M.; This, H.; Reina, A. Improving the Understanding of Chemistry by Using the Right Words: Why Is Talking about Compounds so Messy? *J. Chem. Educ.* **2024**, *101* (1), 39–48. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00557>.

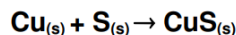
Appendici

1) Sequenza per studenti

Nome: _____ Cognome: _____ Classe: _____ Data: _____

FOL 1

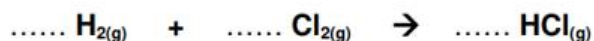
Considera il seguente schema di reazione:



1. Prova a determinare/indicare le masse di Cu e di S che, secondo te, sono necessarie per preparare 30 g di CuS. Giustifica il tuo procedimento.
2. Secondo te, è possibile misurare la massa di un singolo atomo con una bilancia? Argomenta la tua risposta.

FOL 2

Considera il seguente schema di reazione (da **bilanciare**):



1. Rispondi ai seguenti quesiti.

Quanti atomi di H ci sono in una molecola di H_2 ?

Quanti atomi di Cl ci sono in una molecola di Cl_2 ?

2. In laboratorio si può verificare che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 70,9 g di gas dicloro. Calcola la massa di gas cloruro di idrogeno che si ottiene al termine della trasformazione chimica:
3. Rappresenta la trasformazione chimica a livello microscopico e poi svolgi la seguente consegna. Ipotizzando che in 2,02 g di gas diidrogeno (macro) ci siano x atomi di H e tenendo conto delle informazioni ricavabili dallo schema di reazione sopra riportato, quanti atomi di Cl ipotizzi che ci siano nei 70,9 g di gas dicloro (macro)?

FOL 3

1. Conoscendo la massa di un singolo atomo di H e il numero di atomi di H presenti in un dato campione di gas diidrogeno puro, come faresti a calcolare la massa dell'intero campione?
2. Conoscendo la massa di un singolo atomo di Cl e il numero di atomi di Cl presenti in un dato campione di gas dicloro puro, come faresti a calcolare la massa dell'intero campione?

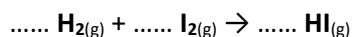
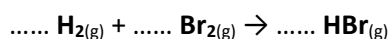
FOL 4

Come già visto in precedenza, in laboratorio si può verificare che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 70,9 g di gas dicloro.

1. Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale pari a **1 u** (con il simbolo **u**, in chimica, si intende l'unità di misura chiamata unità di massa atomica), che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di Cl?

FOL 5

Considera i seguenti schemi di reazione da bilanciare:



1. Rappresenta le trasformazioni chimiche a livello microscopico e rispondi ai seguenti quesiti.

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di Br per formare una molecola di HBr?

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di I per formare una molecola di HI?

2. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 159,8 g di gas dibromo, rispondi ai seguenti quesiti.

Se in 2,02 g di gas diidrogeno sono contenuti **X** atomi di H, quanti atomi di Br sono contenuti in 159,8 g di gas dibromo?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di **1 u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di Br?

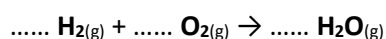
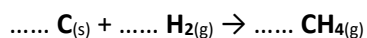
3. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 253,8 g di gas diiodio, rispondi ai seguenti quesiti.

Se in 2,02 g di gas diidrogeno sono contenuti **X** atomi di H, quanti atomi di I sono contenuti in 253,8 g di gas diiodio?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di **1 u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di I?

FOL 5 bis

Considera i seguenti schemi di reazione da bilanciare:



1. Rappresenta le trasformazioni chimiche a livello microscopico e rispondi ai seguenti quesiti.

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di C per formare una molecola di CH₄?

Quanti atomi di H devono combinarsi con un atomo di O per formare una molecola di H₂O?

2. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 6,00 g di carbonio, rispondi ai seguenti quesiti.

Se in 6,00 g di carbonio sono contenuti **X** atomi di C, quanti atomi di H sono contenuti in 2,02 g di gas diidrogeno?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di 1 **u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di C?

3. Sapendo da dati empirici che 2,02 g di gas diidrogeno reagiscono completamente con 16,00 g di gas diossigeno, rispondi ai seguenti quesiti.

Se 16,00 g di gas diossigeno sono contenuti **X** atomi di O, quanti atomi di H sono contenuti in 2,02 g di gas diidrogeno?

Ipotizzando di assegnare all'atomo di H una massa convenzionale di 1 **u**, che valore dovrebbe assumere (in **u**) la massa dell'atomo di O?

FOL 6

1. Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12 u, si può ricavare che la massa dell'atomo di H corrisponde a 1,01 u.

a) Se ipotizziamo che in 1,00 g di sostanza diidrogeno ci siano **M** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **M** atomi di ^{12}C ?

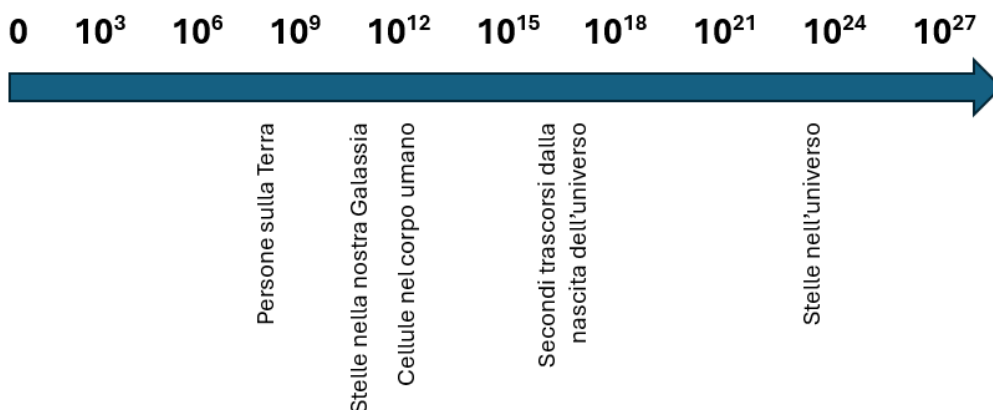
b) Se ipotizziamo che in 1,01 g di sostanza diidrogeno ci siano **N** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **N** atomi di ^{12}C ?

c) Se ipotizziamo che in 2,02 g di sostanza diidrogeno ci siano **O** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **O** atomi di ^{12}C ?

d) Se ipotizziamo che in 5,05 g di sostanza diidrogeno ci siano **P** atomi di H, quale massa di sostanza carbonio-12 bisognerebbe prelevare per avere **P** atomi di ^{12}C ?

2. Quanto pensi sia grande il numero **M**? Inseriscilo nella scala sottostante.

(ATTENZIONE! La scala non rispetta le distanze numeriche effettive)



FOL 7

1. Se provassimo a suddividere ciascuno dei campioni di sostanza diidrogeno dell'esercizio precedente in gruppi formati da un numero di atomi pari a **N**, quanti gruppi potremmo formare?

Campione	m_{campione}	Numero atomi H	Numero di gruppi da N atomi
A	1,00 g	M	
B	1,01 g	N	
C	2,02 g	O	
D	5,05 g	P	

2. Spiega come si può calcolare il numero di gruppi da **N** atomi (n_{gruppi}) in cui si può suddividere un generico campione formato da **X** atomi.

3. Secondo te, perché è stato scelto il numero **N** e non uno qualsiasi degli altri (**M**, **O**, **P** o altri).

FOL 8

Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12,00 u, si può ricavare che

- la massa dell'atomo di H corrisponde a 1,01 u
- la massa dell'atomo di S corrisponde a 32,07 u
- la massa dell'atomo di Cu corrisponde a 63,55 u.

1. Se in un campione di 1,01 g di gas diidrogeno sono contenuti **N** atomi di H ovvero **1 mol** di atomi di H, quale massa di sostanza Zolfo bisognerebbe prelevare per avere **1 mol** di atomi di S?

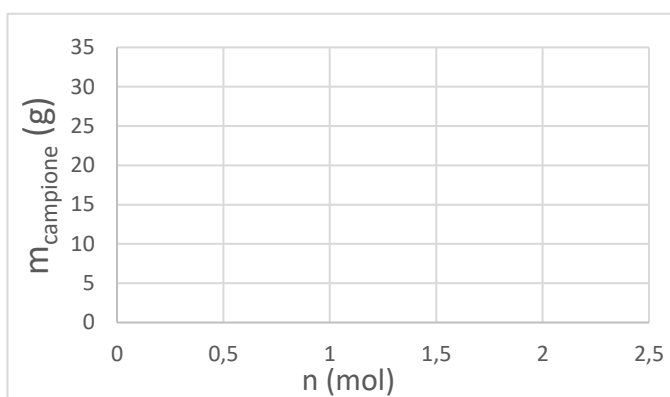
2. Se in un campione di 1,01 g di gas diidrogeno sono contenuti **N** atomi di H ovvero **1 mol** di atomi di H, quale massa di sostanza Rame bisognerebbe prelevare per avere **1 mol** di atomi di Cu?

FOL 9

Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12,00 u, si può ricavare che la massa dell'atomo di O corrisponde a 16,00 u.

1. Quale massa di gas diossigeno devo prelevare per avere un campione formato da **N** atomi di O?
2. Quanti gruppi da **N** atomi di O si possono individuare in un campione di gas diossigeno che pesa 32,00 g?
3. Completa la seguente tabella e costruisci un grafico che riporta le grandezze indicate sugli assi.

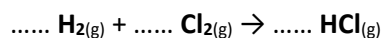
$m_{\text{campioni}} \text{ (g)}$	$n \text{ (mol)}$
08,00	
16,00	
24,00	
32,00	



4. Che tipo di proporzionalità lega la quantità di sostanza in un campione alla sua massa?
5. Quanto vale il rapporto tra la massa di ciascun campione e la relativa quantità di sostanza?
Come chiameresti tale grandezza?

FOL 10

Considera il seguente schema di reazione (da bilanciare):



1. Assegnando all'atomo di ^{12}C la massa convenzionale di 12,00 u, si può ricavare che la massa dell'atomo di H corrisponde a 1,01 u e quella dell'atomo di Cl vale 35,45 u.

Quanto pesa (in u) una molecola di HCl?

Quanto pesa (in g) una mole di atomi di H?

Quanto pesa (in g) una mole di atomi di Cl?

2. Se una quantità di gas diidrogeno contenente una mole di atomi di H reagisce con una quantità di gas dicloro contenente una mole di atomi di Cl:

Quante moli di molecole di HCl vengono prodotte?

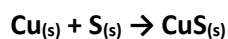
Quanti grammi di HCl vengono prodotti?

3. Quanto vale la massa molare della sostanza acido cloridrico (HCl)?

4. Ti aspettavi questo risultato? Motiva la tua risposta.

FOL 11

Considera il seguente schema di reazione:



Determina le masse di Cu e di S che sono necessarie per preparare 30 g di CuS.

2) Test

Versione digitale (Google Form):

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSftHCN413Tg3Cy4y4RdDhtN-xDQydhiIZQa3MkifdVH5II_LQ/viewform?usp=header

Versione stampabile:

6'-TEST Stechiometria

Il test è anonimo e privo di valutazione. Si invita tutti gli studenti ad affrontarlo con il necessario impegno.

* Indica una domanda obbligatoria

1. Classe *

Contrassegna solo un ovale.

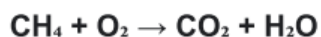
- ☐ Prima
- ☐ Seconda

2. Sezione *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ L
- ☐ S
- ☐ Q
- ☐ F
- ☐ P
- ☐ E
- ☐ N
- ☐ T
- ☐ R
- ☐ D
- ☐ O

3. Nella seguente equazione chimica (non bilanciata) *



a cosa corrispondono i numeri indicati?

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Servono solo per bilanciare la reazione
- ☐ Indicano che il rapporto di combinazione tra metano (CH) e ossigeno (O) è 4:2
- ☐ Indicano il numero di atomi da cui sono composte le molecole coinvolte nella reazione

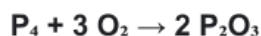
4. Durante una trasformazione chimica, cosa succede alle particelle di cui sono costituite le sostanze coinvolte? (Seleziona tutte le affermazioni **CORRETTE**) *

Seleziona tutte le voci applicabili.

- ☐ Gli atomi dei reagenti si distruggono e gli atomi dei prodotti si creano
- ☐ Gli atomi dei reagenti si trasformano in atomi differenti
- ☐ Gli atomi dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove molecole
- ☐ Le molecole dei reagenti si distruggono e si formano le molecole dei prodotti
- ☐ Le molecole dei reagenti si trasformano in molecole differenti
- ☐ Le molecole dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove molecole

5. Spiega, in sintesi, qual è lo scopo della procedura che esegui per bilanciare una equazione chimica. *

6. Quante molecole di P_4 reagiscono con 3 molecole di O_2 nella seguente reazione? *



Contrassegna solo un ovale.

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

7. La IUPAC definisce l'unità di misura per la misurazione delle masse atomiche come 1 u e dal 1960 attribuisce come riferimento tale valore a *

Contrassegna solo un ovale.

☐ la massa dell'isotopo di idrogeno H-1

☐ un sedicesimo della massa dell'isotopo di ossigeno O-16

☐ un dodicesimo della massa dell'isotopo di carbonio C-12

8. Quali sarebbero le conseguenze se la IUPAC decidesse di cambiare il riferimento? *

Contrassegna solo un ovale.

☐ Nessuna conseguenza, potremmo scegliere qualsiasi massa purché nell'ordine di grandezza atomico

☐ Dovremmo ricalcolare le masse atomiche relative di tutti gli elementi ma i rapporti di combinazioni in una qualsiasi reazione chimica rimarrebbero invariati

☐ Dovremmo ricalcolare le masse atomiche relative di tutti gli elementi e i rapporti di combinazione tra le varie sostanze per tutte le reazioni chimiche

9. Qual è la costante di proporzionalità che lega la massa macroscopica di un campione composto da tutti atomi uguali e la massa (in grammi) di ciascun atomo del campione? *

Contrassegna solo un ovale.

☐ Il numero di moli degli atomi presenti nel campione

☐ La massa atomica relativa di tali atomi

☐ Il numero di Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23}$)

☐ Il numero di atomi che costituiscono il campione

10. Qual è il rapporto di combinazione tra le masse di Na e Cl in un campione di NaCl? *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ 1:1
☐ 1:1,5
☐ 1:2
☐ Dipende dal campione

11. Qual è la definizione di mole? *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ È un campione di sostanza che ha massa pari alla massa molecolare.
☐ È l'unità di misura della quantità di sostanza.
☐ È un campione di sostanza che contiene un numero di particelle pari al numero di Avogadro.
☐ È un campione di sostanza con massa pari alla costante di Avogadro.

12. Qual è l'unità di misura della quantità di sostanza? *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ grammi (g)
☐ moli (mol)
☐ è un numero puro
☐ mol^{-1}

13. Si hanno due campioni, uno di H_2 e uno di O_2 , entrambi di massa 1 g. Cosa possiamo dire sul numero di particelle contenute nei due campioni? *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Il numero di particelle contenute nei due campioni è lo stesso.
☐ Il numero di particelle contenute nei due campioni è ignoto.
☐ Il campione di H_2 contiene più particelle dell'altro.
☐ Il campione di O_2 contiene più particelle dell'altro.

14. Motiva la risposta precedente. *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ perché il numero di particelle dipende solo dalla massa
- ☐ perché non conosciamo la massa molare
- ☐ perché la massa molare di H è minore di quella di O

15. Si hanno due campioni, uno di H_2 e uno di O_2 , che contengono la stessa quantità di sostanza. Cosa possiamo dire sulla massa dei due campioni? *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ La massa dei due campioni è la stessa.
- ☐ La massa dei due campioni è certamente diversa.
- ☐ Non ci sono abbastanza informazioni per rispondere.

16. Motiva la risposta precedente. *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ perché la massa è direttamente proporzionale alla quantità di sostanza
- ☐ perché sostanze diverse hanno diverse masse molari
- ☐ perché la massa dipende anche dal numero di particelle

17. Si hanno due campioni, uno di H_2 e uno di O_2 , che contengono la stessa quantità di sostanza. Cosa possiamo dire sul numero di particelle contenute nei due campioni? (Seleziona tutte le affermazioni **CORRETTE**) *

Seleziona tutte le voci applicabili.

- ☐ Il numero di atomi dei due campioni è lo stesso.
- ☐ Il campione di H_2 contiene più atomi.
- ☐ Il campione di O_2 contiene più molecole.
- ☐ Il numero di molecole dei due campioni è lo stesso.
- ☐ Non ci sono abbastanza informazioni per rispondere.

18. Motiva la risposta precedente. *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di particelle
- ☐ perché la massa atomica di H è minore di quella di O
- ☐ perché il numero di particelle dipende anche dalla massa

19. Si hanno due campioni, uno di O_2 e uno di O_3 , che contengono la stessa quantità * di sostanza. Cosa possiamo dire sul numero di particelle contenute nei due campioni? (Seleziona tutte le affermazioni **CORRETTE**)

Seleziona tutte le voci applicabili.

- ☐ Il numero di atomi dei due campioni è lo stesso.
- ☐ Il campione di O_3 contiene più atomi.
- ☐ Il campione di O_2 contiene più molecole.
- ☐ Il numero di molecole dei due campioni è lo stesso.
- ☐ Non ci sono abbastanza informazioni per rispondere.

20. Motiva la risposta precedente. *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di atomi
- ☐ perché la massa molare di O_2 è minore di quella di O_3
- ☐ perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di particelle

21. La massa atomica relativa del rame è 63,54 u. Quanto vale la massa molare dell'atomo di rame? *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ 63,54 g/mol
- ☐ 63,54 u
- ☐ 63,54 g

22. Motiva la risposta precedente. *

23. Data l'equazione chimica

*



qual è la quantità di sostanza di B che reagisce con 2 mol di A?

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ 1 mol
- ☐ 2 mol
- ☐ 3 mol
- ☐ 6 mol

24. Motiva la risposta precedente. *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ perché il coefficiente stechiometrico di A è 1
- ☐ perché il coefficiente stechiometrico di B è 3
- ☐ perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3
- ☐ perché in una reazione il numero di moli che reagiscono è sempre uguale

25. Nella reazione

*



1 mole di A reagisce con 4 g di B. Quale massa di B reagirà con 2 mol di A?

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ 4 g
- ☐ 6 g
- ☐ 8 g
- ☐ Non si può rispondere senza conoscere le masse molari delle sostanze A e B

26. Motiva la risposta precedente. *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ perché il rapporto stechiometrico tra le moli di A e B è 1:3
- ☐ perché il rapporto ponderale tra le masse di A e B è 1:3
- ☐ perché la massa e la quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna sostanza

27. Nella reazione *
- $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$**
- quale massa di ossigeno reagirà con 2 g di H_2 ?

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ 2 g
- ☐ 1 g
- ☐ 16 g
- ☐ 32 g

28. Motiva la risposta precedente *

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Perché hanno lo stesso pedice
- ☐ Perché il rapporto stechiometrico è 2:1
- ☐ Perché la massa atomica relativa di O è 16

29. Nella reazione *
- $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$**
- quale massa di Cl_2 reagisce con 2 g di H_2 ?

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ 1 g
- ☐ 70 g
- ☐ 2 g
- ☐ 35 g

3) Colab Notebook

Dal Google Form riportato nell'appendice precedente è possibile salvare i risultati della sperimentazione del test in un formato “.csv”. Se tale file viene rinominato “Risultati_Test” e collocato nella cartella “Il mio Drive”, è sufficiente copiare il seguente testo su un compilatore di linguaggio python (*Jupyter, Google Colab, ...*) ed eseguire la cella per ottenere la maggior parte dei dati menzionati in questo studio. Vengono inoltre creati nella stessa cartella due file in formato “.csv” rinominati “Punteggi_Non_Dicotomici” e “Punteggi_Dicotomici”, facilmente esportabili in un foglio di calcolo dal quale è possibile ricavare le restanti informazioni statistiche trattate nel capitolo 4. Nel copiare e incollare il seguente testo, si suggerisce di prestare particolare attenzione a non modificare le indentazioni e i passaggi alla riga successiva.

```
import pandas as pd
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
df=pd.read_csv("drive/MyDrive/Risultati_Test.csv")
for i in range(0,len(df["Indirizzo email"]),1):
    df.loc[i, "Indirizzo
email"]=df["Classe"][i]+df["Sezione"][i]+"_"+str(i+1)
lista=["Informazioni cronologiche", "Codice
Studente", "Punteggio", "Classe", "Sezione", "D1", "D2", "D3", "D4", "D5", "D6",
"D7", "D8", "D9", "D10", "D11", "D12", "D13", "D14", "D15", "D16", "D17", "D18", "D
19", "D20", "D21", "D22", "D23", "D24", "D25", "D26", "D27"]
df.columns=lista
df.drop(["Informazioni
cronologiche", "Punteggio", "Classe", "Sezione"],axis=1,inplace=True)
df.to_csv('drive/MyDrive/Risultati_Test_Vers2.csv', index=False)

df=pd.read_csv("drive/MyDrive/Risultati_Test_Vers2.csv")
print("\n\n\n_____Inizio_____ \n\n\n")

print("Analisi della DdA1:")
print("\nD9-a: ",df["D1"][df["D9"]=="È un campione di sostanza che ha
massa pari alla massa molecolare."].count())
print("\nD7-a: ",df["D1"][df["D7"]=="Il numero di moli degli atomi
presenti nel campione"].count())
print("\nD7-a e D9-a: ",df["D1"][(df["D7"]=="Il numero di moli degli
atomi presenti nel campione") & (df["D9"]=="È un campione di sostanza che
ha massa pari alla massa molecolare.")] .count())
print("\nD13-ok ma D11-err: ",df["D1"][(df["D13"]=="La massa dei due
campioni è certamente diversa.") & (df["D11"]!="Il campione di H2 contiene
più particelle dell'altro.")] .count())
```

```

print("\nD13-ok ma D15-err: ",df["D1"][(df["D13"]=="La massa dei due
campioni è certamente diversa.")&((df["D15"]!="Il numero di atomi dei
due campioni è lo stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di atomi dei due
campioni è lo stesso., Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso."))].count())
print("\nD13-ok ma D17-err: ",df["D1"][(df["D13"]=="La massa dei due
campioni è certamente diversa.")&((df["D17"]!="Il campione di O3
contiene più atomi.")&(df["D17"]!="Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso.")&(df["D17"]!="Il campione di O3 contiene più
atomi., Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso."))].count())
print("\nD13-ok ma D15-err e D17-err: ",df["D1"][(df["D13"]=="La massa
dei due campioni è certamente diversa.")&((df["D15"]!="Il numero di
atomi dei due campioni è lo stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di
molecole dei due campioni è lo stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di
atomi dei due campioni è lo stesso., Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso."))&((df["D13"]=="La massa dei due campioni è
certamente diversa.")&((df["D17"]!="Il campione di O3 contiene più
atomi.")&(df["D17"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D17"]!="Il campione di O3 contiene più atomi., Il numero
di molecole dei due campioni è lo stesso.")))).count())
print("\nD7-a e D13-ok ma D15-err e D17-err: ",df["D1"][(df["D7"]=="Il
numero di moli degli atomi presenti nel campione")&((df["D13"]=="La
massa dei due campioni è certamente diversa.")&((df["D15"]!="Il numero
di atomi dei due campioni è lo stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di
molecole dei due campioni è lo stesso."))&((df["D13"]=="La massa dei
due campioni è certamente diversa.")&((df["D17"]!="Il campione di O3
contiene più atomi.")&(df["D17"]!="Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso.")))).count())
print("\nD9-a e D13-ok ma D15-err e D17-err: ",df["D1"][(df["D9"]=="È
un campione di sostanza che ha massa pari alla massa
molecolare.")&((df["D13"]=="La massa dei due campioni è certamente
diversa.")&((df["D15"]!="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso."))&((df["D13"]=="La massa dei due campioni è certamente
diversa.")&((df["D17"]!="Il campione di O3 contiene più
atomi.")&(df["D17"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")))).count())
print("\nD7-a e D9-a e D13-ok ma D15-err e D17-err:
",df["D1"][(df["D7"]=="Il numero di moli degli atomi presenti nel
campione")&(df["D9"]=="È un campione di sostanza che ha massa pari alla
massa molecolare.")&((df["D13"]=="La massa dei due campioni è
certamente diversa.")&((df["D15"]!="Il numero di atomi dei due campioni
è lo stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso."))&((df["D13"]=="La massa dei due campioni è certamente
diversa.")&((df["D17"]!="Il campione di O3 contiene più

```

```

atomi.")&(df["D17"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso."))].count())

print("\n\nAnalisi della DdA2:")
print("\nD15-b/c/e: ",df["D1"][(df["D15"]!="Il numero di atomi dei due
campioni è lo stesso., Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso.")].count())
print("\nD15-b/c/e+D16-b/c: ",df["D1"][(df["D15"]!="Il numero di atomi
dei due campioni è lo stesso., Il numero di molecole dei due campioni è
lo stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D15"]!="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D16"]!="perché la quantità di sostanza è direttamente
proporzionale al numero di particelle")].count())
print("\nD17-a/c/e: ",df["D1"][(df["D17"]!="Il campione di O3 contiene
più atomi., Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D17"]!="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")&(df["D17"]!="Il campione di O3 contiene più atomi.")].count())

print("\n\nAnalisi della DdA4:")
print("\nD1-a/b: ",df["D1"][(df["D1"]=="Servono solo per bilanciare la
reazione") | (df["D1"]=="Indicano che il rapporto di combinazione tra
metano (CH) e ossigeno (O) è 4:2")].count())
print("\nD4-d: ",df["D1"][df["D4"]==4].count())
print("\nD25-a: ",df["D1"][df["D25"]=="2 g"].count())
print("\nD25-a+D26-a: ",df["D1"][(df["D25"]=="2 g")&(df["D26"]=="Perché
hanno lo stesso pedice")].count())
print("\nD1-a/b e D4-d: ",df["D1"][(df["D1"]=="Servono solo per
bilanciare la reazione") | (df["D1"]=="Indicano che il rapporto di
combinazione tra metano (CH) e ossigeno (O) è 4:2")&(df["D25"]=="2
g")].count())
print("\nD4-d e D25-a: ",df["D1"][(df["D4"]==4)&(df["D25"]=="2
g")].count())
print("\nD1-a/b e D4-d e D25-a: ",df["D1"][(df["D1"]=="Servono solo
per bilanciare la reazione") | (df["D1"]=="Indicano che il rapporto di
combinazione tra metano (CH) e ossigeno (O) è 4:2") & (df["D4"]==4) &
(df["D25"]=="2 g")].count())

print("\n\nAnalisi della DdA5:")
print("\nD11-a: ",df["D1"][df["D11"]=="Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso."].count())
print("\nD11-a+D12-a: ",df["D1"][(df["D11"]=="Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso.")&(df["D12"]=="perché il numero
di particelle dipende solo dalla massa")].count())
print("\nD13-a: ",df["D1"][df["D13"]=="La massa dei due campioni è la
stessa."].count())

```

```

print("\nD13-a+D14-a: ",df["D1"][(df["D13"]=="La massa dei due campioni
è la stessa.")&(df["D14"]=="perché la massa è direttamente
proporzionale alla quantità di sostanza")].count())
print("\nD11-a+D12-a e D13-a+D14-a: ",df["D1"][(df["D11"]=="Il numero
di particelle contenute nei due campioni è lo
stesso.")&(df["D12"]=="perché il numero di particelle dipende solo
dalla massa")&(df["D13"]=="La massa dei due campioni è la
stessa.")&(df["D14"]=="perché la massa è direttamente proporzionale
alla quantità di sostanza")].count())

print("\n\nAnalisi della DdA6:")
print("\nD21-a/b/c: ",df["D1"][df["D21"]!="6 mol"].count())
print("\nD25-d: ",df["D1"][df["D25"]=="32 g"].count())
print("\nD27-ok ma D25-err: ",df["D1"][(df["D27"]=="70
g")&(df["D25"]!="16 g")].count())
print("\nD21-a/b/c e D25-d: ",df["D1"][(df["D21"]!="6
mol")&(df["D25"]=="32 g")].count())
print("\nD21-a/b/c e D25-d e D27-ok ma D25-err:
",df["D1"][(df["D21"]!="6 mol")&(df["D25"]=="32 g")&((df["D27"]=="70
g")&(df["D25"]!="16 g"))].count())
print("\nD21-a/b/c e D27-ok ma D25-err: ",df["D1"][(df["D21"]!="6
mol")&((df["D27"]=="70 g")&(df["D25"]!="16 g"))].count())
print("\nD25-d e D27-ok ma D25-err: ",df["D1"][(df["D27"]=="70
g")&(df["D25"]!="16 g")&(df["D25"]=="32 g")].count())

print("\n\nAnalisi della DdA7:")
print("\nD9-a: ",df["D1"][df["D9"]=="È un campione di sostanza che ha
massa pari alla massa molecolare."].count())
print("\nD9-c: ",df["D1"][df["D9"]=="È un campione di sostanza che
contiene un numero di particelle pari al numero di Avogadro."].count())

print("\n\nAnalisi della M1:")
print("\nD10-a: ",df["D1"][df["D10"]=="grammi (g)"].count())
print("\nD23-b: ",df["D1"][(df["D23"]=="6 g")].count())
print("\nD23-b+D24-a/b: ",df["D1"][(df["D23"]=="6
g")&(df["D24"]!="perché la massa e la quantità di sostanza sono
direttamente proporzionali per ciascuna sostanza")].count())
print("\nD10-a e D23-b: ",df["D1"][(df["D10"]=="grammi
(g)")&(df["D23"]=="6 g")].count())
print("\nD10-a e D23-b+D24-a/b: ",df["D1"][(df["D10"]=="grammi
(g)")&(df["D23"]=="6 g")&(df["D24"]!="perché la massa e la quantità di
sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna
sostanza")].count())
print("\nD15-b: ",df["D1"][df["D15"]=="Il campione di H2 contiene più
atomi."].count())
print("\nD15-b+D16-b: ",df["D1"][(df["D15"]=="Il campione di H2 contiene
più atomi.")&(df["D16"]=="perché la massa atomica di H è minore di
quella di O")].count())

```

```

print("\nD15-almeno la b: ",df["D1"][df["D15"].str.contains("Il
campione di H2 contiene più atomi.")].count())
print("\nD15-almeno la b+D16-b: ",df["D1"][(df["D15"].str.contains("Il
campione di H2 contiene più atomi."))&(df["D16"]=="perché la massa
atomica di H è minore di quella di O")].count())
print("\nD17-almeno la c ma non la a:
",df["D1"][(df["D17"].str.contains("Il campione di O2 contiene più
molecole."))&(df["D17"].apply(lambda x: "Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso." not in x))].count())
print("\nD17-almeno la c ma non la a + D18-b:
",df["D1"][(df["D17"].str.contains("Il campione di O2 contiene più
molecole."))&(df["D17"].apply(lambda x: "Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso." not in x))&(df["D18"]=="perché la massa molare
di O2 è minore di quella di O3")].count())

print("\n\nAnalisi della M2:")
print("\nD10-c: ",df["D1"][df["D10"]=="è un numero puro"].count())

print("\n\nAnalisi della M5 e della M5*:")
print("\nD15-almeno la d ma non la a:
",df["D1"][(df["D15"].apply(lambda x: "Il numero di atomi dei due
campioni è lo stesso." not in x))&(df["D15"].str.contains("Il numero di
molecole dei due campioni è lo stesso.))].count())
print("\nD15-almeno la a ma non la d:
",df["D1"][(df["D15"].apply(lambda x: "Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso." not in x))&(df["D15"].str.contains("Il numero di
atomi dei due campioni è lo stesso.))].count())
print("\nD17-b e D17-d: ",df["D1"][df["D17"]=="Il campione di O3
contiene più atomi., Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso."].count())
print("\nD17-b: ",df["D1"][df["D17"]=="Il campione di O3 contiene più
atomi."].count())
print("\nD17-d: ",df["D1"][df["D17"]=="Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso."].count())
print("\nD17-a/c/ac+D18-a: ",df["D1"][((df["D17"].str.contains("Il
numero di atomi dei due campioni è lo
stesso.))|(df["D17"].str.contains("Il campione di O2 contiene più
molecole.))&(df["D18"]=="perché la quantità di sostanza è
direttamente proporzionale al numero di atomi")].count())
print("\nD15-almeno la a ma non la d e D17-a/c/ac+D18-a:
",df["D1"][((df["D15"].apply(lambda x: "Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso." not in x))&(df["D15"].str.contains("Il numero di
atomi dei due campioni è lo stesso.))&((df["D17"]=="Il numero di
atomi dei due campioni è lo stesso.)|(df["D17"]=="Il campione di O2
contiene più molecole.))|(df["D17"]=="Il numero di atomi dei due
campioni è lo stesso., Il campione di O2 contiene più
molecole.))&(df["D18"]=="perché la quantità di sostanza è direttamente
proporzionale al numero di atomi")].count())

```

```

print("\nD17-mix di a/c e b/d/e:
",df["D1"][(df["D17"].str.contains("Il campione di O3 contiene più
atomi."))|(df["D17"].str.contains("Il numero di molecole dei due
campioni è lo stesso.))&((df["D17"].str.contains("Il numero di atomi
dei due campioni è lo stesso.))|(df["D17"].str.contains("Il campione
di O2 contiene più molecole.))|(df["D17"].str.contains("Non ci sono
abbastanza informazioni per rispondere.)))).count()])

print("\n\nAnalisi della M7:")
print("\nD8-a: ",df["D1"][df["D8"]=="1:1"].count())
print("\nD11-a: ",df["D1"][df["D11"]=="Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso.].count())
print("\nD11-a+D12-a: ",df["D1"][(df["D11"]=="Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso.")&(df["D12"]=="perché il numero
di particelle dipende solo dalla massa")]).count())
print("\nD25-b: ",df["D1"][df["D25"]=="1 g"].count())
print("\nD27-c: ",df["D1"][df["D27"]=="2 g"].count())
print("\nD23-b+D24-a/b: ",df["D1"][(df["D23"]=="6
g")&(df["D24"]!="perché la massa e la quantità di sostanza sono
direttamente proporzionali per ciascuna sostanza")]).count())
print("\nD8-a e D25-b e D23-b+D24-a/b:
",df["D1"][(df["D8"]=="1:1")&(df["D25"]=="1 g")&(df["D23"]=="6
g")&(df["D24"]!="perché la massa e la quantità di sostanza sono
direttamente proporzionali per ciascuna sostanza")]).count())
print("\nD8-a e D27-c e D23-b+D24-a/b:
",df["D1"][(df["D8"]=="1:1")&(df["D27"]=="2 g")&(df["D23"]=="6
g")&(df["D24"]!="perché la massa e la quantità di sostanza sono
direttamente proporzionali per ciascuna sostanza")]).count())
print("\nD25-b e D27-c e D23-b+D24-a/b: ",df["D1"][(df["D25"]=="1
g")&(df["D27"]=="2 g")&(df["D23"]=="6 g")&(df["D24"]!="perché la massa
e la quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna
sostanza")]).count())
print("\nD8-a o D25-b o D27-c o D23-b+D24-a/b:
",df["D1"][(df["D8"]=="1:1")|((df["D23"]=="6 g")&(df["D24"]!="perché la
massa e la quantità di sostanza sono direttamente proporzionale per
ciascuna sostanza"))|(df["D27"]=="2 g")|(df["D25"]=="1 g")]).count())

def alfa_intero(df):
    N=len(df["D1"])
    medie=df.mean()
    lista=["D1","D2","D4","D5","D6","D7","D8","D9","D10","D11","D13","D15
","D17","D19","D21","D23","D25","D27","Somma"]
    dev=[]
    var=[]
    for i in range(0,19,1):
        a=0
        for j in range(0,len(df["Somma"]),1):
            a=a+((df.loc[j,lista[i]]-medie[i])**2

```

```

        var.append(a/(N-1))
        dev.append(var[i]**0.5)
    somme_var=sum(var)-var[18]
    alfa=18*(1-somme_var/var[18])/17
    dev_float = [float(d) for d in dev]
    var_float = [float(v) for v in var]
    print("\n\nIntero test:")
    print("\nSTD item: ", dev_float)
    print("\nVAR item: ", var_float)
    print("\nalfa = ", alfa)
    return(df)

def alfa_b2(df):
    df_temp=df
    N=len(df["D1"])
    df=df.drop(["D1", "D2", "D9", "D10", "D11", "D13", "D15", "D17", "D19", "D21",
"D23", "D25", "D27"],axis=1)
    df["Somma"]=df["D4"]+df["D5"]+df["D6"]+df["D7"]+df["D8"]
    medie=df.mean()
    lista=["D4", "D5", "D6", "D7", "D8", "Somma"]
    dev=[]
    var=[]
    for i in range(0,6,1):
        a=0
        for j in range(0,len(df["Somma"]),1):
            a=a+((df.loc[j,lista[i]]-medie[i])**2)
        var.append(a/(N-1))
        dev.append(var[i]**0.5)
    somme_var=sum(var)-var[5]
    alfa=5*(1-somme_var/var[5])/4
    dev_float = [float(d) for d in dev]
    var_float = [float(v) for v in var]
    print("\n\nItem del secondo blocco:")
    print("\nSTD item: ", dev_float)
    print("\nVAR item: ", var_float)
    print("\nalfa = ", alfa)
    df=df_temp
    return(df)

def alfa_b3(df):
    df_temp=df
    N=len(df["D1"])
    df=df.drop(["D1", "D2", "D4", "D5", "D6", "D7", "D8"],axis=1)
    df["Somma"]=df["D9"]+df["D10"]+df["D11"]+df["D13"]+df["D15"]+df["D17"]
]+df["D19"]+df["D21"]+df["D23"]+df["D25"]+df["D27"]
    medie=df.mean()
    lista=["D9", "D10", "D11", "D13", "D15", "D17", "D19", "D21", "D23", "D25", "D27", "Somma"]

```

```

dev=[]
var=[]
for i in range(0,12,1):
    a=0
    for j in range(0,len(df["Somma"]),1):
        a=a+((df.loc[j,lista[i]]-medie[i])**2)
    var.append(a/(N-1))
    dev.append(var[i]**0.5)
somme_var=sum(var)-var[11]
alfa=11*(1-somme_var/var[11])/10
dev_float = [float(d) for d in dev]
var_float = [float(v) for v in var]
print("\n\nItem del terzo blocco:")
print("\nSTD item: ", dev_float)
print("\nVAR item: ", var_float)
print("\nalfa = ", alfa)
df=df_temp
return(df)

def alfa_mta(df):
    df_temp=df
    N=len(df["D1"])
    df=df.drop(["D6","D7","D9","D10","D13","D17","D19","D23","D25"],axis=
1)
    df["Somma"]=df["D1"]+df["D2"]+df["D11"]+df["D4"]+df["D15"]+df["D5"]+d
f["D8"]+df["D21"]+df["D27"]
    medie=df.mean()
    lista=["D1","D2","D4","D5","D8","D11","D15","D21","D27","Somma"]
    dev=[]
    var=[]
    for i in range(0,10,1):
        a=0
        for j in range(0,len(df["Somma"]),1):
            a=a+((df.loc[j,lista[i]]-medie[i])**2)
        var.append(a/(N-1))
        dev.append(var[i]**0.5)
    somme_var=sum(var)-var[9]
    alfa=9*(1-somme_var/var[9])/8
    dev_float = [float(d) for d in dev]
    var_float = [float(v) for v in var]
    print("\n\nMetà degli item (A):")
    print("\nSTD item: ", dev_float)
    print("\nVAR item: ", var_float)
    print("\nalfa = ", alfa)
    df=df_temp
    return(df)

def alfa_mtb(df):

```



```

df_temp=df
N=len(df["D1"])
df=df.drop(["D1","D2","D4","D5","D8","D11","D15","D21","D27"],axis=1)
df["Somma"]=df["D9"]+df["D10"]+df["D6"]+df["D13"]+df["D7"]+df["D17"]+
df["D19"]+df["D23"]+df["D25"]
medie=df.mean()
lista=["D6","D7","D9","D10","D13","D17","D19","D23","D25","Somma"]
dev=[]
var=[]
for i in range(0,10,1):
    a=0
    for j in range(0,len(df["Somma"]),1):
        a=a+((df.loc[j,lista[i]]-medie[i])**2)
    var.append(a/(N-1))
    dev.append(var[i]**0.5)
somme_var=sum(var)-var[9]
alfa=9*(1-somme_var/var[9])/8
dev_float = [float(d) for d in dev]
var_float = [float(v) for v in var]
print("\n\nMetà degli item (B):")
print("\nSTD item: ", dev_float)
print("\nVAR item: ", var_float)
print("\nalfa= ",alfa)
df=df_temp
return(df)

def indici(df):
    N=len(df["D1"])
    N3=int(len(df["D1"])/3)
    df["Somma"]=df["D1"]+df["D2"]+df["D4"]+df["D5"]+df["D6"]+df["D7"]+df["D8"]+df["D9"]+df["D10"]+df["D11"]+df["D13"]+df["D15"]+df["D17"]+df["D19"]+df["D21"]+df["D23"]+df["D25"]+df["D27"]
    df_ordinato=df.sort_values(by="Somma",ascending=False)
    punteggi_TOP=[]
    punteggi_BOTTOM=[]
    d=[]
    lista=["D1","D2","D4","D5","D6","D7","D8","D9","D10","D11","D13","D15","D17","D19","D21","D23","D25","D27"]
    for i in range(0,18,1):
        punteggi_BOTTOM.append(int(df_ordinato[lista[i]][(N-N3):N].sum()))
        punteggi_TOP.append(int(df_ordinato[lista[i]][0:N3].sum()))
        d.append((punteggi_TOP[i]-punteggi_BOTTOM[i])/N3)
    print("\n\nIndici di discriminazione vari item:")
    print("\nItem: ",lista)
    print("\nPunteggi TOP: ",punteggi_TOP)
    print("\nPunteggio BOTTOM: ",punteggi_BOTTOM)
    print("\nIndici: ",d)
    return(df)

```

```

def punteggi_dico(df):
    for i in range(0,len(df["D1"]),1):
        df.loc[i, "D1"]=df["D1"][i].replace("Indicano il numero di atomi da
cui sono composte le molecole coinvolte nella reazione","1")
        df.loc[i, "D1"]=df["D1"][i].replace("Servono solo per bilanciare la
reazione","0")
        df.loc[i, "D1"]=df["D1"][i].replace("Indicano che il rapporto di
combinazione tra metano (CH) e ossigeno (O) è 4:2","0")
    df["D1"]=df["D1"].astype(int)

    for i in range(0,len(df["D2"]),1):
        if(df["D2"][i]=="Gli atomi dei reagenti si ricombinano tra di loro
per formare nuove molecole, Le molecole dei reagenti si distruggono e
si formano le molecole dei prodotti, Le molecole dei reagenti si
trasformano in molecole differenti"):
            df.loc[i, "D2"]="1"
        elif((df["D2"][i]=="Gli atomi dei reagenti si ricombinano tra di
loro per formare nuove molecole, Le molecole dei reagenti si
distruggono e si formano le molecole dei prodotti")|(df["D2"][i]=="Gli
atomi dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove
molecole, Le molecole dei reagenti si trasformano in molecole
differenti")|(df["D2"][i]=="Le molecole dei reagenti si distruggono e
si formano le molecole dei prodotti, Le molecole dei reagenti si
trasformano in molecole differenti")|(df["D2"][i]=="Gli atomi dei
reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove
molecole")|(df["D2"][i]=="Le molecole dei reagenti si distruggono e si
formano le molecole dei prodotti")|(df["D2"][i]=="Le molecole dei
reagenti si trasformano in molecole differenti"))):
            df.loc[i, "D2"]="1"
        else:
            df.loc[i, "D2"]="0"
    df["D2"]=df["D2"].astype(int)

    df["D4"]=df["D4"].astype(int)
    for i in range(0,len(df["D4"]),1):
        if(df["D4"][i]==1):
            df.loc[i, "D4"]=1
        elif(df["D4"][i]==0):
            df.loc[i, "D4"]=0
        else:
            df.loc[i, "D4"]=0
    df["D4"]=df["D4"].astype(int)

    for i in range(0,len(df["D5"]),1):
        df.loc[i, "D5"]=df["D5"][i].replace("la massa dell'isotopo di
idrogeno H-1","0")

```

```

df.loc[i, "D5"]=df["D5"][i].replace("un sedicesimo della massa
dell'isotopo di ossigeno O-16","0")
df.loc[i, "D5"]=df["D5"][i].replace("un dodicesimo della massa
dell'isotopo di carbonio C-12","1")
df["D5"]=df["D5"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D6"]),1):
    df.loc[i, "D6"]=df["D6"][i].replace("Nessuna conseguenza, potremmo
scegliere qualsiasi massa purché nell'ordine di grandezza atomico","0")
    df.loc[i, "D6"]=df["D6"][i].replace("Dovremmo ricalcolare le masse
atomiche relative di tutti gli elementi ma i rapporti di combinazioni
in una qualsiasi reazione chimica rimarrebbero invariati","1")
    df.loc[i, "D6"]=df["D6"][i].replace("Dovremmo ricalcolare le masse
atomiche relative di tutti gli elementi e i rapporti di combinazione
tra le varie sostanze per tutte le reazioni chimiche","0")
    df["D6"]=df["D6"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D7"]),1):
    df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("Il numero di moli degli atomi
presenti nel campione","0")
    df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("La massa atomica relativa di
tali atomi","0")
    df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("Il numero di Avogadro (6,022 *
10^23)","0")
    df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("Il numero di atomi che
costituiscono il campione","1")
    df["D7"]=df["D7"].astype(int)

df["D8"]=df["D8"].astype(str)
for i in range(0,len(df["D8"]),1):
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("1:1,5","1")
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("1:1","0")
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("1:2","0")
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("Dipende dal campione","0")
    df["D8"]=df["D8"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D9"]),1):
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È un campione di sostanza che
ha massa pari alla massa molecolare.","0")
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È l'unità di misura della
quantità di sostanza.","1")
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È un campione di sostanza che
contiene un numero di particelle pari al numero di Avogadro.","0")
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È un campione di sostanza con
massa pari alla costante di Avogadro.","0")
    df["D9"]=df["D9"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D10"]),1):

```

```

df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("grammi (g)", "0")
df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("moli (mol)", "1")
df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("è un numero puro", "0")
df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("mol(-1)", "0")
df["D10"]=df["D10"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D11"]), 1):
    if(df["D11"][i]=="Il campione di H2 contiene più particelle
dell'altro."):
        if(df["D12"][i]=="perché la massa molare di H è minore di quella
di O"):
            df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il campione di H2
contiene più particelle dell'altro.", "1")
        else:
            df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il campione di H2
contiene più particelle dell'altro.", "1")
            if(df["D11"][i]=="Il numero di particelle contenute nei due
campioni è lo stesso."):
                if(df["D12"][i]=="perché il numero di particelle dipende solo
dalla massa"):
                    df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso.", "0")
                else:
                    df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso.", "0")
                    df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il numero di particelle
contenute nei due campioni è ignoto.", "0")
                    df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il campione di O2 contiene
più particelle dell'altro.", "0")
            df["D11"]=df["D11"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D13"]), 1):
    if(df["D13"][i]=="La massa dei due campioni è certamente
diversa."):
        if(df["D14"][i]=="perché sostanze diverse hanno diverse masse
molari"):
            df.loc[i, "D13"]="1"
        else:
            df.loc[i, "D13"]="1"
    elif(df["D13"][i]=="La massa dei due campioni è la stessa."):
        if(df["D14"][i]=="perché la massa è direttamente proporzionale
alla quantità di sostanza"):
            df.loc[i, "D13"]="0"
        else:
            df.loc[i, "D13"]="0"
    else:
        df.loc[i, "D13"]="0"
df["D13"]=df["D13"].astype(int)

```

```

for i in range(0, len(df["D15"]), 1):
    if((df["D15"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso.")|(df["D15"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso., Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")|(df["D15"][i]=="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.)):
        if(df["D16"][i]=="perché la quantità di sostanza è direttamente
proporzionale al numero di particelle"):
            df.loc[i, "D15"]="1"
        else:
            df.loc[i, "D15"]="1"
    elif((df["D15"][i]=="Il campione di H2 contiene più
atomi.")|(df["D15"][i]=="Il campione di H2 contiene più atomi., Il
campione di O2 contiene più molecole.")|(df["D15"][i]=="Il campione di
O2 contiene più molecole.)):
        if(df["D16"][i]=="perché la massa atomica di H è minore di quella
di O"):
            df.loc[i, "D15"]="0"
        else:
            df.loc[i, "D15"]="0"
    else:
        df.loc[i, "D15"]="0"
df["D15"]=df["D15"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D17"]), 1):
    if((df["D17"][i]=="Il campione di O3 contiene più
atomi.")|(df["D17"][i]=="Il campione di O3 contiene più atomi., Il
numero di molecole dei due campioni è lo stesso.")|(df["D17"][i]=="Il
numero di molecole dei due campioni è lo stesso.)):
        if(df["D18"][i]=="perché la quantità di sostanza è direttamente
proporzionale al numero di particelle"):
            df.loc[i, "D17"]="1"
        else:
            df.loc[i, "D17"]="1"
    elif((df["D17"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso.")|(df["D17"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso., Il campione di O2 contiene più molecole.")|(df["D17"][i]=="Il
campione di O2 contiene più molecole.)):
        if(df["D18"][i]=="perché la quantità di sostanza è direttamente
proporzionale al numero di particelle"):
            df.loc[i, "D17"]="0"
        else:
            df.loc[i, "D17"]="0"
    else:
        df.loc[i, "D17"]="0"
df["D17"]=df["D17"].astype(int)

```

```

for i in range(0,len(df["D19"]),1):
    df.loc[i, "D19"]=df["D19"][i].replace("63,54 g/mol","1")
    df.loc[i, "D19"]=df["D19"][i].replace("63,54 u","0")
    df.loc[i, "D19"]=df["D19"][i].replace("63,54 g","0")
df["D19"]=df["D19"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D21"]),1):
    if(df["D21"][i]=="6 mol"):
        if(df["D22"][i]=="perché il rapporto stechiometrico tra le moli
delle sostanze A e B è 1:3"):
            df.loc[i, "D21"]=df["D21"][i].replace("6 mol","1")
        else:
            df.loc[i, "D21"]=df["D21"][i].replace("6 mol","1")
    else:
        df.loc[i, "D21"]="0"
df["D21"]=df["D21"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D23"]),1):
    if(df["D23"][i]=="8 g"):
        if(df["D24"][i]=="perché la massa e la quantità di sostanza sono
direttamente proporzionali per ciascuna sostanza"):
            df.loc[i, "D23"]="1"
        else:
            df.loc[i, "D23"]="1"
    elif((df["D23"][i]=="6 g") & (df["D24"][i]!="perché la massa e la
quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna
sostanza")):
        df.loc[i, "D23"]="0"
    else:
        df.loc[i, "D23"]="0"
df["D23"]=df["D23"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D25"]),1):
    if(df["D25"][i]=="16 g"):
        if(df["D26"][i]=="Perché il rapporto stechiometrico è 2:1"):
            df.loc[i, "D25"]="1"
        else:
            df.loc[i, "D25"]="1"
    elif(df["D25"][i]=="2 g"):
        df.loc[i, "D25"]="0"
    else:
        df.loc[i, "D25"]="0"
df["D25"]=df["D25"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D27"]),1):
    df.loc[i, "D27"]=df["D27"][i].replace("1 g","0")
    df.loc[i, "D27"]=df["D27"][i].replace("70 g","1")
    df.loc[i, "D27"]=df["D27"][i].replace("2 g","0")

```

```

df.loc[i, "D27"] = df.loc[i, "D27"].replace("35 g", "0")
df["D27"] = df["D27"].astype(int)

df["Somma"] = df["D1"] + df["D2"] + df["D4"] + df["D5"] + df["D6"] + df["D7"] + df["D8"] + df["D9"] + df["D10"] + df["D11"] + df["D13"] + df["D15"] + df["D17"] + df["D19"] + df["D21"] + df["D23"] + df["D25"] + df["D27"]
df = df.drop(["D3", "D12", "D14", "D16", "D18", "D20", "D22", "D24", "D26"], axis=1)
df.to_csv('drive/MyDrive/Punteggi_Dicotomici.csv', index=False)
df = df.drop(["Codice Studente"], axis=1)

alfa_intero(df)
df = pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Dicotomici.csv")
df = df.drop(["Codice Studente"], axis=1)
alfa_b2(df)
df = pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Dicotomici.csv")
df = df.drop(["Codice Studente"], axis=1)
alfa_b3(df)
df = pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Dicotomici.csv")
df = df.drop(["Codice Studente"], axis=1)
alfa_mta(df)
df = pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Dicotomici.csv")
df = df.drop(["Codice Studente"], axis=1)
alfa_mtb(df)
df = pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Dicotomici.csv")
df = df.drop(["Codice Studente"], axis=1)
indici(df)
return(df)

def punteggi_nondico(df):
    for i in range(0, len(df["D1"]), 1):
        df.loc[i, "D1"] = df["D1"][i].replace("Indicano il numero di atomi da cui sono composte le molecole coinvolte nella reazione", "1")
        df.loc[i, "D1"] = df["D1"][i].replace("Servono solo per bilanciare la reazione", "-1")
        df.loc[i, "D1"] = df["D1"][i].replace("Indicano che il rapporto di combinazione tra metano (CH) e ossigeno (O) è 4:2", "-1")
        df["D1"] = df["D1"].astype(int)

    for i in range(0, len(df["D2"]), 1):
        if(df["D2"][i] == "Gli atomi dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove molecole, Le molecole dei reagenti si distruggono e si formano le molecole dei prodotti, Le molecole dei reagenti si trasformano in molecole differenti"):
            df.loc[i, "D2"] = "2"
        elif((df["D2"][i] == "Gli atomi dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove molecole, Le molecole dei reagenti si distruggono e si formano le molecole dei prodotti") | (df["D2"][i] == "Gli

```

```

atomi dei reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove
molecole, Le molecole dei reagenti si trasformano in molecole
differenti")|(df["D2"][i]=="Le molecole dei reagenti si distruggono e
si formano le molecole dei prodotti, Le molecole dei reagenti si
trasformano in molecole differenti")|(df["D2"][i]=="Gli atomi dei
reagenti si ricombinano tra di loro per formare nuove
molecole")|(df["D2"][i]=="Le molecole dei reagenti si distruggono e si
formano le molecole dei prodotti")|(df["D2"][i]=="Le molecole dei
reagenti si trasformano in molecole differenti")):
    df.loc[i, "D2"]="1"
else:
    df.loc[i, "D2"]="0"
df["D2"]=df["D2"].astype(int)

df["D4"]=df["D4"].astype(int)
for i in range(0,len(df["D4"]),1):
    if(df["D4"][i]==1):
        df.loc[i, "D4"]=1
    elif(df["D4"][i]==4):
        df.loc[i, "D4"]=-1
    else:
        df.loc[i, "D4"]=0
df["D4"]=df["D4"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D5"]),1):
    df.loc[i, "D5"]=df["D5"][i].replace("la massa dell'isotopo di
idrogeno H-1","0")
    df.loc[i, "D5"]=df["D5"][i].replace("un sedicesimo della massa
dell'isotopo di ossigeno O-16","0")
    df.loc[i, "D5"]=df["D5"][i].replace("un dodicesimo della massa
dell'isotopo di carbonio C-12","1")
df["D5"]=df["D5"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D6"]),1):
    df.loc[i, "D6"]=df["D6"][i].replace("Nessuna conseguenza, potremmo
scegliere qualsiasi massa purché nell'ordine di grandezza atomico","0")
    df.loc[i, "D6"]=df["D6"][i].replace("Dovremmo ricalcolare le masse
atomiche relative di tutti gli elementi ma i rapporti di combinazioni
in una qualsiasi reazione chimica rimarrebbero invariati","1")
    df.loc[i, "D6"]=df["D6"][i].replace("Dovremmo ricalcolare le masse
atomiche relative di tutti gli elementi e i rapporti di combinazione
tra le varie sostanze per tutte le reazioni chimiche","0")
df["D6"]=df["D6"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D7"]),1):
    df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("Il numero di moli degli atomi
presenti nel campione","-1")

```



```

df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("La massa atomica relativa di
tali atomi", "0")
df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("Il numero di Avogadro (6,022 *
10^23)", "0")
df.loc[i, "D7"]=df["D7"][i].replace("Il numero di atomi che
costituiscono il campione", "1")
df["D7"]=df["D7"].astype(int)

df["D8"]=df["D8"].astype(str)
for i in range(0, len(df["D8"]), 1):
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("1:1,5", "1")
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("1:1", "-1")
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("1:2", "0")
    df.loc[i, "D8"]=df["D8"][i].replace("Dipende dal campione", "0")
df["D8"]=df["D8"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D9"]), 1):
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È un campione di sostanza che
ha massa pari alla massa molecolare.", "-1")
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È l'unità di misura della
quantità di sostanza.", "1")
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È un campione di sostanza che
contiene un numero di particelle pari al numero di Avogadro.", "-1")
    df.loc[i, "D9"]=df["D9"][i].replace("È un campione di sostanza con
massa pari alla costante di Avogadro.", "-1")
df["D9"]=df["D9"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D10"]), 1):
    df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("grammi (g)", "-1")
    df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("moli (mol)", "1")
    df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("è un numero puro", "-1")
    df.loc[i, "D10"]=df["D10"][i].replace("mol^(-1)", "0")
df["D10"]=df["D10"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D11"]), 1):
    if(df["D11"][i]=="Il campione di H2 contiene più particelle
dell'altro."):
        if(df["D12"][i]=="perché la massa molare di H è minore di quella
di O"):
            df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il campione di H2
contiene più particelle dell'altro.", "2")
        else:
            df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il campione di H2
contiene più particelle dell'altro.", "1")
    if(df["D11"][i]=="Il numero di particelle contenute nei due
campioni è lo stesso."):
        if(df["D12"][i]=="perché il numero di particelle dipende solo
dalla massa"):

```

```

        df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso.", "-2")
    else:
        df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il numero di particelle
contenute nei due campioni è lo stesso.", "-1")
        df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il numero di particelle
contenute nei due campioni è ignoto.", "0")
        df.loc[i, "D11"]=df["D11"][i].replace("Il campione di O2 contiene
più particelle dell'altro.", "0")
    df["D11"]=df["D11"].astype(int)

    for i in range(0, len(df["D13"]), 1):
        if(df["D13"][i]=="La massa dei due campioni è certamente
diversa."):
            if(df["D14"][i]=="perché sostanze diverse hanno diverse masse
molari"):
                df.loc[i, "D13"]="2"
            else:
                df.loc[i, "D13"]="1"
        elif(df["D13"][i]=="La massa dei due campioni è la stessa."):
            if(df["D14"][i]=="perché la massa è direttamente proporzionale
alla quantità di sostanza"):
                df.loc[i, "D13"]="2"
            else:
                df.loc[i, "D13"]="1"
        else:
            df.loc[i, "D13"]="0"
    df["D13"]=df["D13"].astype(int)

    for i in range(0, len(df["D15"]), 1):
        if((df["D15"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso.")|(df["D15"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo
stesso., Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")|(df["D15"][i]=="Il numero di molecole dei due campioni è lo
stesso.")):
            if(df["D16"][i]=="perché la quantità di sostanza è direttamente
proporzionale al numero di particelle"):
                df.loc[i, "D15"]="2"
            else:
                df.loc[i, "D15"]="1"
        elif((df["D15"][i]=="Il campione di H2 contiene più
atomi.")|(df["D15"][i]=="Il campione di H2 contiene più atomi., Il
campione di O2 contiene più molecole.")|(df["D15"][i]=="Il campione di
O2 contiene più molecole.")):
            if(df["D16"][i]=="perché la massa atomica di H è minore di quella
di O"):
                df.loc[i, "D15"]="2"
            else:

```

```

        df.loc[i, "D15"]="-1"
    else:
        df.loc[i, "D15"]="0"
df["D15"]=df["D15"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D17"]), 1):
    if((df["D17"][i]=="Il campione di O3 contiene più atomi.")|(df["D17"][i]=="Il campione di O3 contiene più atomi., Il numero di molecole dei due campioni è lo stesso.")|(df["D17"][i]=="Il numero di molecole dei due campioni è lo stesso.")):
        if(df["D18"][i]=="perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di particelle"):
            df.loc[i, "D17"]="2"
        else:
            df.loc[i, "D17"]="1"
    elif((df["D17"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo stesso.")|(df["D17"][i]=="Il numero di atomi dei due campioni è lo stesso., Il campione di O2 contiene più molecole.")|(df["D17"][i]=="Il campione di O2 contiene più molecole.")):
        if(df["D18"][i]=="perché la quantità di sostanza è direttamente proporzionale al numero di particelle"):
            df.loc[i, "D17"]="-1"
        else:
            df.loc[i, "D17"]="-2"
    else:
        df.loc[i, "D17"]="0"
df["D17"]=df["D17"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D19"]), 1):
    df.loc[i, "D19"]=df["D19"][i].replace("63,54 g/mol", "1")
    df.loc[i, "D19"]=df["D19"][i].replace("63,54 u", "0")
    df.loc[i, "D19"]=df["D19"][i].replace("63,54 g", "0")
df["D19"]=df["D19"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D21"]), 1):
    if(df["D21"][i]=="6 mol"):
        if(df["D22"][i]=="perché il rapporto stechiometrico tra le moli delle sostanze A e B è 1:3"):
            df.loc[i, "D21"]=df["D21"][i].replace("6 mol", "2")
        else:
            df.loc[i, "D21"]=df["D21"][i].replace("6 mol", "1")
    else:
        df.loc[i, "D21"]="-1"
df["D21"]=df["D21"].astype(int)

for i in range(0, len(df["D23"]), 1):
    if(df["D23"][i]=="8 g"):

```

```

        if(df["D24"][i]=="perché la massa e la quantità di sostanza sono
direttamente proporzionali per ciascuna sostanza"):
            df.loc[i,"D23"]="2"
        else:
            df.loc[i,"D23"]="1"
        elif((df["D23"][i]=="6 g") & (df["D24"][i]!="perché la massa e la
quantità di sostanza sono direttamente proporzionali per ciascuna
sostanza")):
            df.loc[i,"D23"]="-2"
        else:
            df.loc[i,"D23"]="-1"
df["D23"]=df["D23"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D25"]),1):
    if(df["D25"][i]=="16 g"):
        if(df["D26"][i]=="Perché il rapporto stechiometrico è 2:1"):
            df.loc[i,"D25"]="2"
        else:
            df.loc[i,"D25"]="1"
    elif(df["D25"][i]=="2 g"):
        df.loc[i,"D25"]="0"
    else:
        df.loc[i,"D25"]="-1"
df["D25"]=df["D25"].astype(int)

for i in range(0,len(df["D27"]),1):
    df.loc[i,"D27"]=df["D27"][i].replace("1 g","0")
    df.loc[i,"D27"]=df["D27"][i].replace("70 g","1")
    df.loc[i,"D27"]=df["D27"][i].replace("2 g","-1")
    df.loc[i,"D27"]=df["D27"][i].replace("35 g","0")
df["D27"]=df["D27"].astype(int)

df["Somma"]=df["D1"]+df["D2"]+df["D4"]+df["D5"]+df["D6"]+df["D7"]+df["D8"]+df["D9"]+df["D10"]+df["D11"]+df["D13"]+df["D15"]+df["D17"]+df["D19"]+df["D21"]+df["D23"]+df["D25"]+df["D27"]
df.drop(["D3","D12","D14","D16","D18","D20","D22","D24","D26"],axis=1,inplace=True)
df.to_csv('drive/MyDrive/Punteggi_Non_Dicotomici.csv', index=False)
df.drop(["Codice Studente"],axis=1,inplace=True)

alfa_intero(df)
df=pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Non_Dicotomici.csv")
df.drop(["Codice Studente"],axis=1,inplace=True)
alfa_b2(df)
df=pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Non_Dicotomici.csv")
df.drop(["Codice Studente"],axis=1,inplace=True)
alfa_b3(df)
df=pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Non_Dicotomici.csv")

```

```

df.drop(["Codice Studente"],axis=1,inplace=True)
alfa_mta(df)
df=pd.read_csv("drive/MyDrive/Punteggi_Non_Dicotomici.csv")
df.drop(["Codice Studente"],axis=1,inplace=True)
alfa_mtb(df)
return(df)

print("\n\n\nPunteggi Dicotomici:")
punteggi_dico(df)

print("\n\n\nPunteggi Non Dicotomici:")
df=pd.read_csv("drive/MyDrive/Risultati_Test_Vers2.csv")
punteggi_nondico(df)
print("\n\n\n_____Fine_____\\n\\n\\n")

```