

# La concentrazione di una sostanza in un sistema.

## Alcune considerazioni

Claudio Giomini

Dipartimento SBAI Università di Roma "La Sapienza", via del Castro Laurenziano, 7 - 00161 Roma  
claudio.giomini@uniroma1.it

### Riassunto

*Si discute se la concentrazione di una sostanza in un sistema sia da considerare una grandezza fisica o qualcos'altro. Si discute inoltre di quali siano i sistemi cui sia applicabile il concetto di concentrazione.*

### Abstract

*The point whether concentration is to be considered a physical quantity or something else is discussed, as well as the kind of systems to which the concept of concentration can be applied.*

An English translation of this paper is available on request to the author.

### Introduzione

Insieme con temperatura e pressione, siamo abituati a considerare la concentrazione di una sostanza come una grandezza intensiva basilare, da cui dipendono le proprietà del sistema di cui la sostanza fa parte. Talvolta gli studenti la confondono con la densità, e, nel caso di sistemi polifasici a più componenti, spesso hanno difficoltà a distinguere tra la concentrazione di un determinato componente in una singola fase e il suo contributo alla composizione globale del sistema. Il concetto di concentrazione è intuitivo, ma presenta aspetti non sempre ovvi e banali, alcuni dei quali vengono affrontati in questo articolo.

### Che cos'è la concentrazione?

Come è ben noto, la concentrazione di una sostanza in un sistema si può esprimere in varie modalità, spesso dimensionalmente diverse. Essa comunque ha sempre l'aspetto di un rapporto (o quoziente). Considerando il caso di maggior rilevanza, quello di un sistema omogeneo a più componenti (soluzione, non necessariamente allo stato liquido), in questo rapporto possono trovarsi a numeratore la massa, o il volume, o la quantità (numero di moli) del componente B considerato, e a denominatore la massa, o il volume, o la quantità di tutti i componenti dell'intera fase S, o talvolta le medesime grandezze riferite a tutti componenti della fase ad eccezione di quello considerato (B), o talaltra le stesse grandezze relative al componente A più abbondante nella fase stessa (spesso chiamato solvente), qualora lo si possa individuare senza equivoci. Non necessariamente alla grandezza presente a numeratore deve corrispondere la medesima grandezza a denominatore; qualora ciò accada, la concentrazione così espressa è un parametro adimensionale (compreso tra 0 ed 1) che prende il nome di frazione, seguito da una specificazione riguardante il tipo di grandezza presente nel quoziente considerato. E' questo il caso della frazione molare; in altri casi, di solito, si preferisce porre tale rapporto in forma percentuale (ad esempio, percentuale in massa, detta comunemente percentuale in peso). E' da tener presente che, pur trattandosi sempre di rapporti adimensionali (numeri puri), il loro valore di solito cambia passando dall'uno all'altro: si pensi ad esempio alle percentuali in volume ed in peso dei vari costituenti dell'aria.

Questa pluralità di grandezze che possono esser presenti in questi rapporti o quozienti, nonché la pluralità di "quid" cui il "quantum" della sostanza considerata può di volta in volta venir rapportato (intera fase, intera fase eccetto il componente considerato, componente più abbondante), genera un gran numero di modalità di espressione della concentrazione, ed un ancor maggior numero di unità di misura corrispondenti. Si tratta il più delle volte di entità dimensionalmente diverse, che tuttavia descrivono, in differenti maniere, una medesima caratteristica, o proprietà, di (una determinata sostanza in) un determinato sistema. La relativa semplicità con cui si può passare dall'una all'altra modalità di espressione, utilizzando le grandezze di volta in volta necessarie (masse molari, densità, etc.), conferma il fatto che esse si riferiscano in varie maniere ad un'unica entità. Pertanto, non è possibile considerare la concentrazione come un'unica grandezza fisica; essa è piuttosto una caratteristica, una proprietà, relativa ad una sostanza facente parte di un sistema in certe condizioni, la quale caratteristica, a seconda della convenienza, è descrivibile per mezzo di diverse grandezze fisiche. Una grandezza fisica (non fondamentale, o derivata) ha dimensioni univocamente espresse in termini di una sola combinazione di grandezze fondamentali. Mentre è possibile che due grandezze diverse possano avere le stesse dimensioni (ad esempio, energia e momento di una forza hanno ambedue le dimensioni  $ML^2T^{-2}$ , e non ha rilevanza la natura scalare della prima e quella vettoriale dell'altra [1]), appare arduo pensare che una stessa grandezza fisica (la concentrazione) possa avere diverse dimensioni.

In effetti, il *Gold book* della IUPAC [2] definisce la concentrazione come "gruppo di quattro grandezze fisiche specificanti la composizione di una miscela in relazione al volume della miscela (concentrazione in massa, in quantità

di sostanza, in volume, ed in numero)”. Tale definizione è in accordo con quanto detto poco sopra, ossia che la concentrazione, più che una singola grandezza fisica, è una proprietà, o caratteristica, specificante l’ammontare relativo di una sostanza in un dato sistema, e descrivibile da una pluralità di grandezze fisiche, dimensionalmente eguali o diverse, attinenti alla medesima proprietà. Grandezze comunque facilmente interconvertibili, a riprova della loro affinità. Anche se può apparire banale, si richiama l’attenzione sul fatto che non si tratta di esprimere la stessa grandezza con diverse unità di misura (ad es., l’energia espressa in joule o in kWh), ma di qualcosa di ben diverso: descrivere una medesima proprietà, o caratteristica, mediante grandezze fisiche diverse, che sono tali in quanto hanno dimensioni diverse. Questa pluralità di grandezze per descrivere una medesima entità fisica non è peculiare della concentrazione: una simile situazione esiste, ad esempio, in relazione alla velocità di reazione, che può essere infatti rappresentata da diversi rapporti di grandezze fisiche, di cui quella a denominatore è per lo più il tempo. Alcuni di questi rapporti sono massa/tempo, o volume/tempo, o quantità di sostanza/tempo, etc., dove, tra l’altro, le masse, i volumi, le quantità, possono riferirsi a sostanze scomparse oppure formatesi in connessione con la reazione considerata.

### Per quali sistemi si può parlare di concentrazione?

#### Definizioni e proposte

Il dizionario scientifico e tecnico McGraw-Hill [3] definisce così il termine concentrazione: “nelle soluzioni, la massa, il volume, o il numero di moli di soluto presenti in proporzione all’ammontare del solvente o della soluzione globalmente intesa”.

Lo Zingarelli [4], più semplicemente, dice: “quantità relativa di una sostanza in un miscuglio”.

La Treccani *online* [5] riporta: “quantità relativa di un soluto in una soluzione o di un componente in una miscela. *Omissis*. La concentrazione si suole esprimere in unità di massa o di volume di sostanza per unità di massa o di volume della miscela, oppure in percentuale (in massa o in volume)”.

Nel *Gold book* della IUPAC [2] si trova scritto, come già detto: “gruppo di quattro grandezze fisiche specificanti la composizione di una miscela in relazione al volume della miscela (concentrazione in massa, in quantità di sostanza, in volume, ed in numero)”.

Lo *Handbook of Chemistry and Physics* [6], al capitolo “Definizioni e formule”, dice: “l’ammontare di una sostanza, in peso, moli, o equivalenti, contenuto in un volume unitario”.

L’“Enciclopedia Internazionale di Chimica” [7] ha una voce per il termine concentrazione, dove però non si dà una definizione del termine, mentre si fanno interessanti considerazioni.

Una mia proposta per una definizione, necessariamente “lasca”, del termine concentrazione potrebbe essere “l’ammontare di una data sostanza rapportato all’ammontare di tutto o di parte del sistema in cui la sostanza è presente, eventualmente includendo anche la sostanza stessa, la quale può anche essere l’unica sostanza costituente il sistema”. Uso la parola “ammontare” (che non mi piace, ma non ho saputo trovar di meglio), e non “quantità” (che sarebbe migliore), perché “quantità (di sostanza)”, in questo contesto, è quella grandezza fondamentale di cui la mole è l’unità di misura. Gli ammontari *de quibus* possono essere dati in massa, in volume, in quantità di sostanza, o altre grandezze ancora, a seconda delle necessità.

#### Commenti e discussione

La definizione [3] si riferisce unicamente a soluzioni, cioè a sistemi omogenei (monofasici) a più di un componente. La [4] e la [5] includono anche sistemi eterogenei (polifasici). Anche la [2] e la [6] sembrano includere i sistemi polifasici. Esse però limitano il termine concentrazione unicamente a situazioni in cui l’ammontare (massa, volume, quantità) della sostanza considerata è rapportato al volume dell’intero sistema. Escludono pertanto quelle in cui tale ammontare sia rapportato ad una massa, o ad una quantità (ossia, numero di moli), presente in tale sistema o in parti di esso; la [2] anche ad un volume che non sia quello dell’intero sistema. In particolare, la [2] non qualifica come concentrazioni i rapporti adimensionali, cui dà il nome di “frazioni”. Si tratta evidentemente di una questione di terminologia, in quanto sia le frazioni, sia quelle che la IUPAC definisce concentrazioni, ambedue specificano la composizione del sistema. Le restrizioni della IUPAC possono tuttavia creare situazioni di ambiguità: secondo le definizioni IUPAC, il rapporto tra il volume della sostanza considerata ed il volume dell’intera fase è allo stesso tempo una “concentrazione in volume” ed una “frazione volumetrica” (che noi chiameremmo, rapportandola ad una scala da 0 a 100, col nome di percentuale in volume). La limitazione di cui alle definizioni IUPAC e *Handbook* è invece assente nelle definizioni [3] [4] [5]; anzi, la [5] entra in maggior dettaglio al riguardo, pur tralasciando la possibilità che l’ammontare della sostanza considerata e/o quello del sistema cui la sostanza si rapporta possano essere espressi come quantità (di sostanza), ossia come numero di moli. Unicamente nella [2] si fa invece esplicita menzione del fatto che la concentrazione non sia un’unica grandezza fisica, ma un gruppo di grandezze. Tale idea si ritrova adombrata, meno esplicitamente, anche nella [7], dove si menziona “l’importanza che ha la scelta delle grandezze fisiche mediante le quali esprimere il concetto di concentrazione”.

E’ significativo il fatto che, in edizioni dello *Handbook* più recenti della [6], ad es. la 74<sup>a</sup> del 93/94 [8], o la 86<sup>a</sup> del 2005/06 [9], “concentrazione” non sia più presente tra i termini di cui si dà la definizione, mentre, almeno nella [9], si dà, ad es., quella di frazione molare. Comunque, in ambedue le edizioni, nell’elenco delle grandezze attinenti alla chimica generale della sezione “Simboli e terminologia”, si menzionano “*mass fraction, volume fraction, mole*

## La concentrazione di una sostanza in un sistema

(or amount) fraction, mass concentration (or mass density), amount concentration, molality”, come grandezze distinte, con dimensioni distinte.

La definizione “lasca” da me precedentemente proposta può applicarsi anche a sistemi eterogenei, e consente di esprimere sia il *quantum* della sostanza considerata, sia quello di tutto il resto cui esso è rapportato, sia come massa, volume, quantità, o altro, secondo convenienza. Essa inoltre lascia libertà nella scelta del *quid* (intero sistema, o parte di esso) cui rapportare il *quantum* della sostanza considerata. E lascia inoltre aperta la possibilità che si possa parlare di concentrazione anche per sistemi ad un solo componente. In effetti, si può parlare di concentrazione anche per sistemi monofasici ad un solo componente, come già rilevato anche in [7]. Ad es., per sostanze pure allo stato gassoso, l’equazione di stato del gas ideale può scriversi nella forma  $p = (n/V)RT = cRT$ , dove  $c$  è appunto la concentrazione del gas definita come quantità (di sostanza) su volume, cui usualmente si dà il nome di molarità quando venga espressa in mol/L. Se per tali sistemi monofasici ad un solo componente la concentrazione fosse espressa come “quantità della sostanza considerata / massa del sistema di cui la sostanza fa parte”, il suo valore sarebbe l’inverso della massa molare. Si precisa che il termine “componente”, impiegato in questo articolo, non va confuso con il “componente indipendente” di cui si parla in termodinamica, ad es. in relazione alla regola delle fasi. In effetti, un sistema costituito unicamente da acqua pura allo stato liquido è un sistema monofasico ad un solo componente indipendente, ma le specie chimiche in esso presenti, ossia i suoi componenti *tout court*, prescindendo dal poterli considerare indipendenti o meno, sono almeno tre, e cioè  $H_2O$ ,  $H_3O^+$ ,  $OH^-$ , oltre alle varie associazioni dovute ai legami a idrogeno. E per ciascuno di essi si può parlare di concentrazione (ad es., concentrazione dello ione idrossido nell’acqua pura). E’ forse superfluo ricordare che, sia per sostanze pure che per soluzioni, esprimere la concentrazione di una sostanza impiegando dei volumi produce valori di concentrazione variabili con pressione e temperatura (nel caso di sistemi negli stati condensati, in pratica, con la sola temperatura). Al contrario, impiegando grandezze dove non compaiano volumi ne rende indipendente il valore dalla temperatura (e dalla pressione, per i sistemi aeriformi); tuttavia, anche in questa ipotesi, se la sostanza subisce dissociazioni o altre trasformazioni chimiche dipendenti dalla temperatura o da altre variabili, a rimanere invariato è solo il valore della sua concentrazione analitica (quella che include tutte le forme sotto cui la data sostanza si trova in quella fase).

*En passant*, la concentrazione espressa sotto forma di rapporto massa/volume è dimensionalmente omogenea con la densità, la qual cosa è spesso fonte di equivoci tra gli studenti. Se il sistema omogeneo fosse costituito da un solo componente, le due cose coinciderebbero; se invece di esso facessero parte più componenti, la concentrazione di ciascuno di essi, espressa sotto forma  $m_B/V_S$ , assumerebbe il significato di “densità parziale” del componente B nella fase S di cui esso fa parte, e la somma delle densità parziali di tutti i componenti sarebbe la densità della fase. L’espressione “densità parziale” non viene comunque mai menzionata nei testi di chimica, almeno a mia conoscenza.

Per i sistemi eterogenei (polifasici), la concentrazione di un componente nell’intero sistema è in generale diversa dalle concentrazioni di quel componente nelle singole fasi costituenti il sistema: si pensi, ad esempio, ai diagrammi di stato di sistemi a due componenti. A tale proposito, poiché l’ambiguità di linguaggio può portare a confusione di idee, sarebbe forse opportuno distinguere con due termini diversi le due diverse realtà, riservando preferibilmente il termine concentrazione alle situazioni riguardanti le singole fasi. Per i sistemi polifasici globalmente intesi, si potrebbe parlare non di concentrazione globale di un dato componente, ma di composizione del sistema in relazione a quel componente. Anche la [7] sembra essere in accordo con questa impostazione. In linea di principio, per esprimere questa composizione, si possono adoperare tutte le stesse grandezze fisiche usate per la concentrazione. In effetti, nei diagrammi di stato di sistemi binari, sull’asse delle ascisse sono rilevabili sia la composizione globale del sistema, sia la concentrazione dei componenti nelle singole fasi (cosa che talvolta causa confusione tra gli studenti); tali parametri vengono quindi espressi per mezzo della stessa grandezza fisica riportata su quell’asse. E’ comunque consuetudine, nel rappresentare tali diagrammi, porre in ascisse grandezze adimensionali (sia sotto forma di frazioni che di percentuali), preferibili per ragioni di praticità: il valore della concentrazione di un componente in una fase, o quello della composizione globale del sistema rispetto a un componente, comporta per complementarità l’immediata conoscenza dei corrispondenti valori relativi all’altro componente.

Concludendo, a mio parere, si può parlare di concentrazione di una sostanza in primo luogo con riferimento a sistemi omogenei a più componenti, ma il concetto è applicabile anche a sistemi omogenei ad un solo componente. Il concetto è estensibile ai sistemi eterogenei, possibilmente avendo fatto qualche precisazione terminologica.

## Bibliografia

- [1] A. Badagliacca, *Sistemi ed unità di misura*, Masson, Milano, 1993, p. 14.
- [2] <http://goldbook.iupac.org/index.html>
- [3] *Dizionario Enciclopedico Scientifico e Tecnico McGraw-Hill*, Zanichelli, Bologna, 1986.
- [4] N. Zingarelli, *Vocabolario della Lingua Italiana*, Zanichelli, Bologna, 1995.
- [5] <http://www.treccani.it/portale/opencms/Portale/homePage.html>
- [6] *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, The Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio, USA, 1970, p. F-71.
- [7] *Enciclopedia Internazionale di Chimica*, vol 3°, Pem editrice, Roma – Novara, 1969, p. 617.
- [8] *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 1993, p. 2-13.
- [9] *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, Taylor & Francis, Boca Raton, Fla, USA, 2005, p. 2-8.