



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE,
FISICHE E NATURALI

*Sale marino, salgemma, sale da cucina,
sale iodurato, sale iodato:
iodio dove e perché?*

Patrizia R. Mussini e Claudia Dragonetti

Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Milano

1. Il “*sale da cucina*”:
fondamentale e multiforme
2. Iodio nel sale: che cosa, dove,
quanto, come, perché
3. Il nostro esperimento

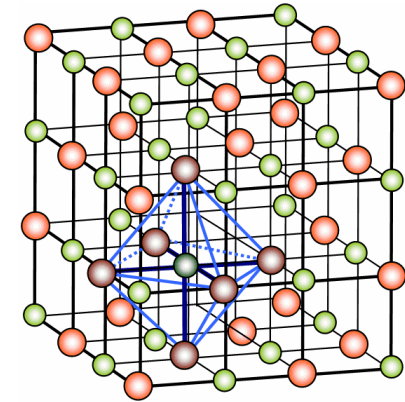
1. Il “*sale da cucina*”: fondamentale e multiforme



1.1 NaCl nel sale da cucina

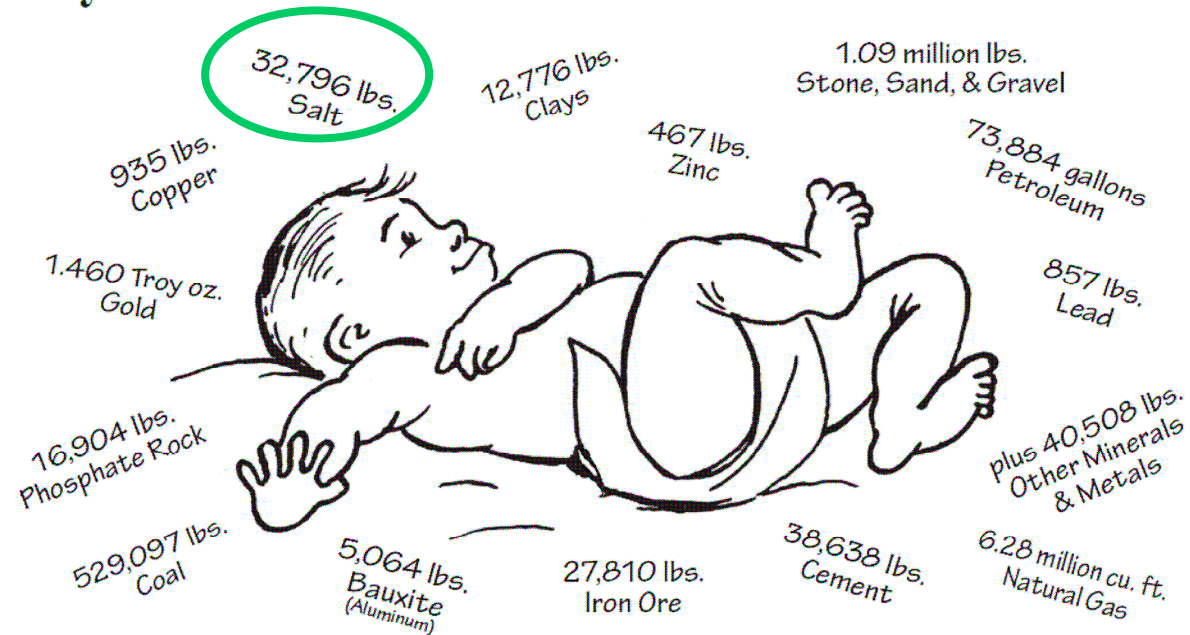


Il “sale da cucina” è costituito per la quasi totalità (97-99%) da **sodio cloruro NaCl**, solido cristallino incolore con sapore caratteristico.



E' essenziale
per la vita sulla
terra:
la maggior
parte dei tessuti
e dei fluidi
degli esseri
viventi lo
contiene.

Every American Born Will Need...



2.96 million pounds of minerals, metals, and fuels in their lifetime

1.2 Importanza fisiologica

Gli ioni **Na⁺** sono i **principali cationi extracellulari**.

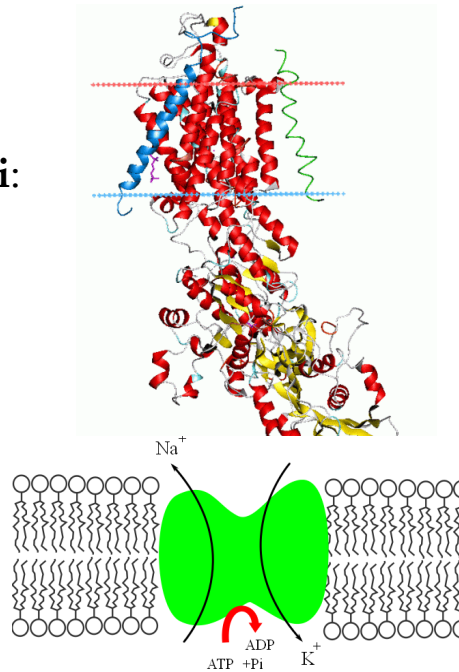
Se ne trovano nell'organismo **circa 92 grammi**:

- il 50% negli interstizi extracellulari;
- il 12,5% circa nei fluidi intracellulari;
- il 37,5% circa all'interno dello scheletro.

Sono essenziali per la trasmissione dei segnali sensoriali e motori lungo il sistema nervoso.

Sono coinvolti negli equilibri chimici, nella pressione osmotica, nei bilanci idrici, nei potenziali elettrici a cavallo delle membrane cellulari

L'assunzione di una quantità elevata di sodio determina un aumento del volume dei fluidi extracellulari: l'acqua viene richiamata al di fuori dalle cellule per mantenere costante la concentrazione di sodio. Il risultato finale può essere la comparsa di edema e di ipertensione arteriosa.



Gli ioni **Cl⁻** sono i **principali anioni extra e intracellulari** (legati sia a Na⁺ sia a K⁺).

Il 70% si trova nel liquido extracellulare, il rimanente negli spazi intracellulari, nel tessuto connettivo e nell'osso.

Sono anch'essi coinvolti negli equilibri chimici, nella pressione osmotica e nei bilanci idrici.

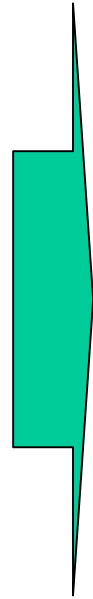
E' patologico sia un grave difetto sia un eccesso di questi ioni;
l'equilibrio è mantenuto, come per gli altri elettroliti, dalla funzione renale

In medicina per curare la disidratazione si usa una soluzione acquosa contenente lo **0,9% di NaCl**, detta "**soluzione fisiologica**" perché ha la medesima pressione osmotica del plasma sanguigno umano.

1.3 Importanza per l'alimentazione

NaCl è essenziale e ubiquitario in cucina:

- come **esaltatore di sapidità**, che favorisca la palatabilità dei cibi preparati;
- come **“conservante osmotico”** degli alimenti, fin dall'antichità (pesci, carni); molti microorganismi infatti non possono vivere in un ambiente troppo salino perché le loro cellule verrebbero disidratate per osmosi



Il sale da cucina rappresenta la **fonte principale di NaCl** per il nostro organismo (7 kg annui pro capite circa), **discrezionale** (aggiunto a tavola o cucinando; in Italia il 35-50%) o **non discrezionale** (sale contenuto negli alimenti già prima della preparazione casalinga o del consumo finale): ne sono particolarmente ricchi i cibi stagionati, i formaggi, i salumi, l'acqua ed i prodotti da forno salati). Il contenuto naturale degli alimenti, prima di tutte le aggiunte, sarebbe solo il 10% del totale.

Per ogni grammo di sale da cucina vengono introdotti
0,40 g di sodio e 0,60 g di cloro.

LIVELLI DI ASSUNZIONE GIORNALIERI RACCOMANDATI ¹

Na⁺

575-3500 mg/die per gli adulti sani²
(ma non meno di 69-460 mg/die)
equivalenti a 1,5-8,8 g di sale da cucina

Cl⁻

900-5300 mg/die per gli adulti
equivalenti a
1,5-8,8 g di sale da cucina

¹ Società Italiana Nutrizione Umana

² Commissione Europea

1.4 Classificazioni

In base alla provenienza:

<u>Marina</u> (<i>“sale marino”</i>)	<u>Terrestre</u> (<i>da miniera: “salgemma”</i>)
---	---

In base al grado di raffinazione:

<u>Raffinato</u> (99,9-99.99% NaCl)	<u>Integrale</u> <i>naturale, non trattato contiene piccole percentuali di iodio, magnesio, zinco, rame, fosforo, etc.</i>
---	---

In base ad eventuali variazioni artificiali di composizione:

Sale iposodico o asodico

(*con ridotto o assente contenuto di Na^+ , sostituito da K^+ , per la cura della ipertensione arteriosa*)

Sale iodato o iodurato

(*addizionato di iodio per la lotta alla carenza iodica in una popolazione e per la riduzione delle relative complicanze tiroidee*)

Sale arricchito di ferro (*microincapsulato per proteggerlo da reazioni con i sali di iodio*)

Sale arricchito di fluoruri

Additivi comuni

Il Potassio Esacianoferrato(II) (additivo alimentare E 536) si può aggiungere in piccole quantità (max. 10 mg kg^{-1}) come agente essiccante per evitare che il sale si aggregi e raggrumi durante l'immagazzinamento.

Simili effetti si ottengono anche con MgO e MgCO_3 .

1.5 Classificazione in base alla provenienza

Marina (“sale marino”)



Per evaporazione solare

(il sistema naturale, più antico)

→ 99.5% NaCl

In Italia a Cervia (Romagna),
Margherita di Savoia (Puglia),
Cagliari (Sardegna), Trapani (Sicilia)

Per evaporazione indotta

(su salamoie preconcentrate)

→ 99.9–99.99% NaCl

In Italia per es. a Volterra (Toscana)

Costo di produzione di circa 50 Euro per tonnellata per il grezzo; dopo la lavorazione, costo all'ingrosso, intorno a 150 euro. Non scade, si conserva per anni, anche all'aperto.

Possibile solo dove evapora più acqua di quanta ne piova

Terrestre (da miniera: “salgemma”)

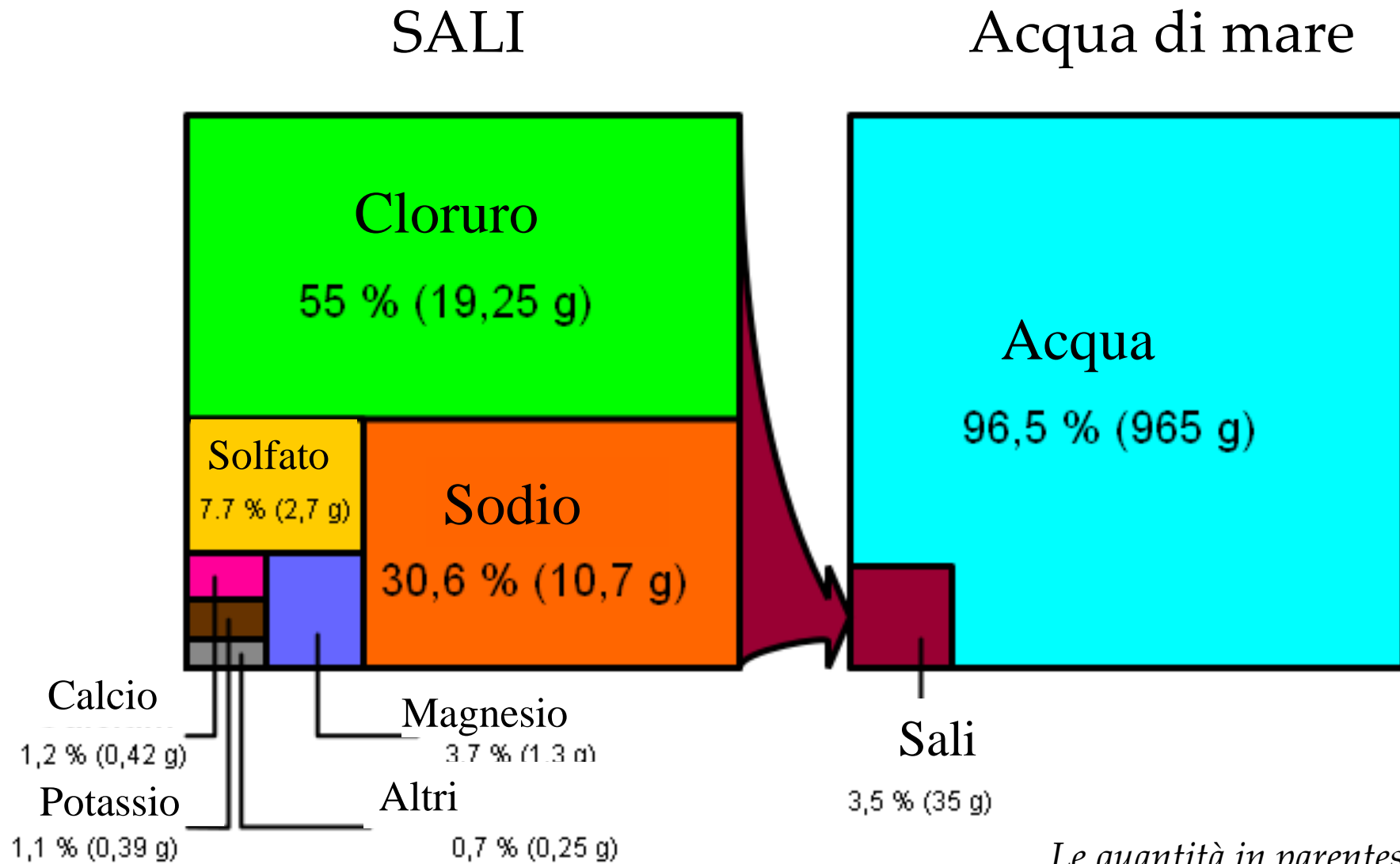


Esistono dei **giacimenti di cloruro di sodio** allo stato solido, residui di antichi mari, da cui si può estrarre il cloruro di sodio già in forma solida chiamato **salgemma** o **halite**.

Talvolta si raccoglie tal quale purissimo, in altri casi è meglio estrarlo come salamoia e poi trattarlo

In Italia a Petralia, Racalmuto e Realmonte (Sicilia), (→ NaCl 99.8% senza trattamenti) in Val di Cecina (Toscana), in Val D'Agri (Basilicata) a Crotone (Calabria)

1.6.1 Sale marino (I)



Le quantità in parentesi sono per 1 kg di acqua di mare.

1.6.2 Sale marino (II)

Il sistema “a bacini differenziati” o “alla francese”

1. Alla fine dell'inverno, svuotamento dei bacini dalle acque piovane raccoltesi nei mesi freddi.
2. Verso i primi di aprile, in un giorno in cui la salinità è particolarmente elevata, l'acqua viene immessa dal mare nei **bacini di prima evaporazione**; la sua densità aumenta ($3.5\text{ }^{\circ}\text{Bé} \rightarrow 5\text{ }^{\circ}\text{Bé}$, cioè $102 \rightarrow 104\text{ g dm}^{-3}$).
3. Poi viene spostata nei **bacini di seconda evaporazione** dove inizia a depositare i **metalli pesanti e i sali meno solubili** (i carbonati). ($5\text{ }^{\circ}\text{Bé} \rightarrow 11\text{ }^{\circ}\text{Bé}$, cioè $104 \rightarrow 108\text{ g dm}^{-3}$)
4. Poi viene spostata nelle nei **bacini di terza evaporazione** dove recipitano i **solfati** ($\rightarrow 20\text{ }^{\circ}\text{Bé}$, 1.16 g dm^{-3}).
5. Poi in quelli di **quarta evaporazione** ($\rightarrow 25,7\text{ }^{\circ}\text{Bé}$, 1.22 g dm^{-3}) perdendo **altre impurezze**
6. A questo punto è satura di NaCl (“acqua madre”, circa 300 g/litro di NaCl), e viene portata nei “**bacini salanti**” nel quale **si raccoglie il sale**. In queste condizioni la salinità è maggiore di 7-8 volte quella del mare. ($\rightarrow 30\text{ }^{\circ}\text{Bé}$, 1.26 g dm^{-3})
7. Acque madri oltre $30\text{ }^{\circ}\text{Bé}$ possono servire per la produzione di altri sali, fanghi... o essere riversate in mare.



La raccolta del sale si effettua alla fine di Agosto, con un apposito macchinario che avanza su dei rulli metallici sulla crosta di sale di un bacino salante. Il sale viene poi trasportato nel piazzale al centro dello stabilimento con un piccolo treno con dei vagoncini della portata di circa 20 quintali ciascuno, per essere accumulato in attesa del lavaggio e del successivo confezionamento.

In una piccola porzione delle saline (Salina Camillone) a scopo dimostrativo la raccolta del sale avviene ancora a mano



1.6.3 Sale marino (III)

Varianti di Sali marini integrali

I sali marini integrali sono ricchi di oligoelementi perché non sottoposti a raffinazione e possono avere un gusto più intenso, in una gamma di sfumature.

In Italia: **Sale di Trapani**, **Sale di Marsala**, “**Sale dolce**” di Cervia, chiamato così per la mancanza di sostanze che danno un retrogusto amarognolo (pur avendo alta capacità salante);

Sale inglese di Maldon, fatto evaporare in cisterne, si presenta sotto forma di *scaglie o fiocchi piramidali molto fragili e facilmente sbriciolabili*; ha un sapore spiccato, capace di dare vivacità soprattutto alle carni.



Sale rosso delle Hawaii, deve la sua caratteristica colorazione alla *argilla purificata* che lo arricchisce anche in minerali. Nella tradizione hawaiana, il sale viene essiccato al sole e poi mescolato all'argilla.

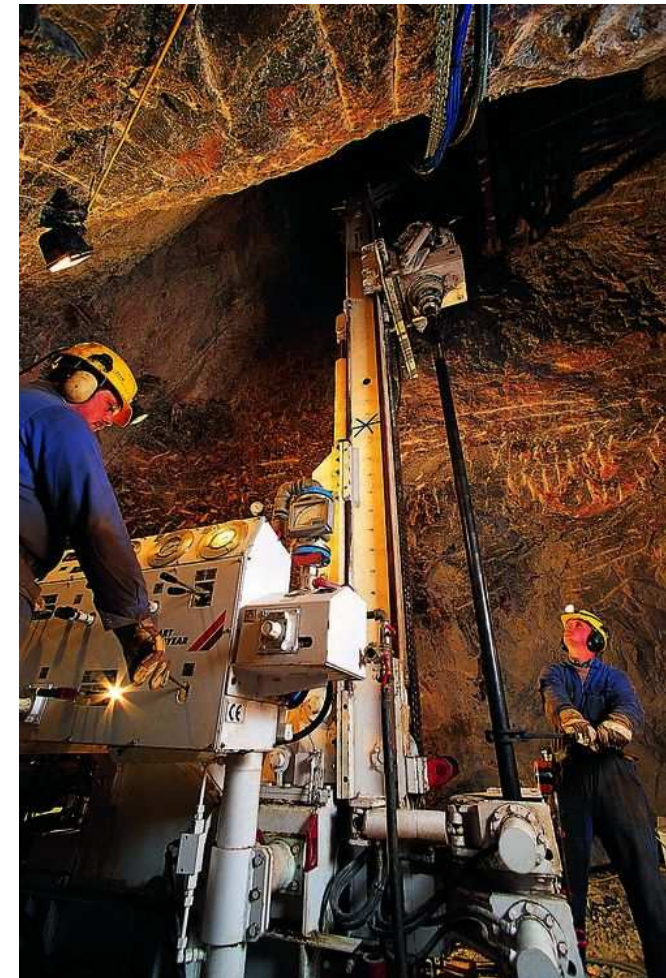
Sale nero delle Hawaii È ricco di elementi minerali derivanti dalla *lava vulcanica*, che si aggiungono al sale al momento dell'essiccazione. Ha una nota di affumicatura.



Australian Murray River Salt, proveniente dal più grande fiume australiano, con una sfumatura tipica dell'albicocca dovuta alla presenza di *carotene*.

1.7.1 Salgemma (I)

La più antica miniera di salgemma del mondo, di epoca preistorica, é in Austria a Halstatt vicino a Salisburgo (Salzburg “Città del Sale”)

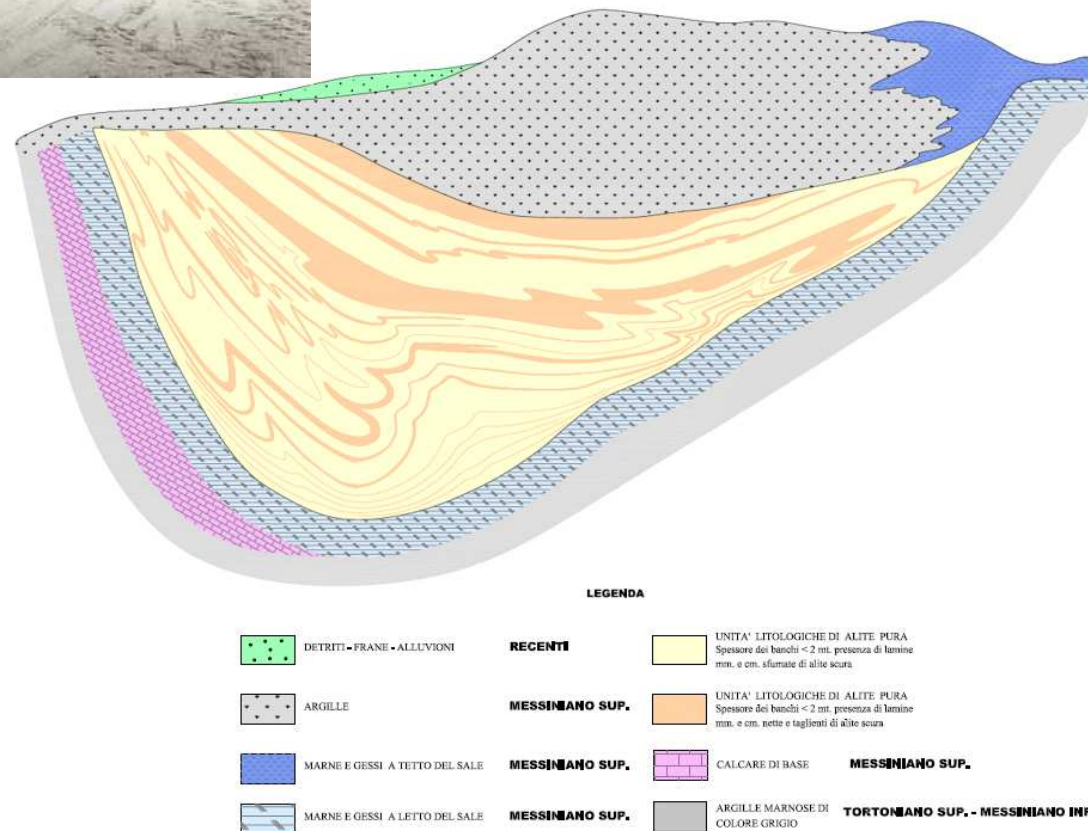


1.7.2 Salgemma (II)



Il giacimento di Petràlia presso Palermo

Nei giacimenti sotterranei il salgemma è disponibile in strati con **spessore variabile da pochi cm a diverse centinaia di metri**. E' grazie alle rocce **argillose** con il loro potere impermeabilizzabile che può conservarsi anche per milioni di anni.



1.7.3 Salgemma (III)

Varianti di salgemma non raffinati

Il salgemma è disponibile sia raffinato, quindi NaCl allo stato puro (come ad esempio nei giacimenti siciliani), ma anche non raffinato, ossia inglobante una serie di altri minerali.

Sale rosa himalayano

Sale marino fossile la cui colorazione deriva dal minerale di ferro con cui è a contatto, viene raccolto manualmente e venduto quindi a pezzi grossi ed irregolari che poi vengono macinati direttamente sui cibi



Sale blu persiano

proviene dall'Iran e contiene cloruro di sodio misto a cloruro di potassio. (silvinite)
Anch'esso è venduto a grani grossi



Sale nero indiano

“Kala Namak”
ha una colorazione viola grigiastra e contiene tracce di solfuro di idrogeno, sodio e ferro (è di origine vulcanica)
Ha un sapore che a crudo ricorda lo zolfo, ma viene notevolmente attenuato dalla cottura.



2. Iodio nel sale: che cosa, dove, quanto, come, perché



2.1 Iodio nell'ambiente



Lo **iodio**, dal greco **ἰοειδής** (violetto, dal colore dei suoi vapori), è un elemento diffuso nell'ambiente in diverse forme chimiche, **in modo molto disuniforme**

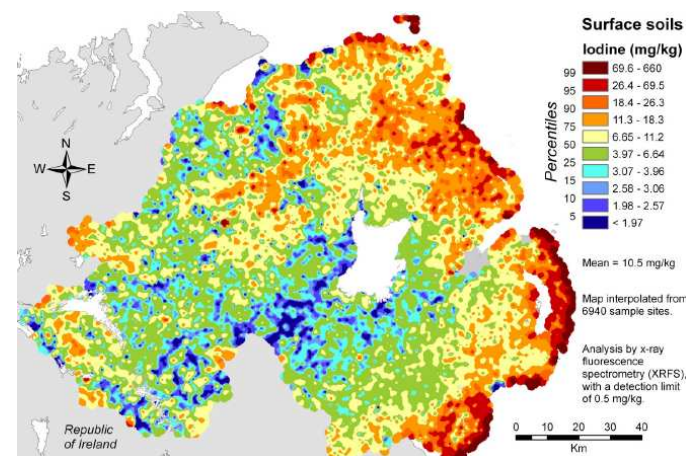
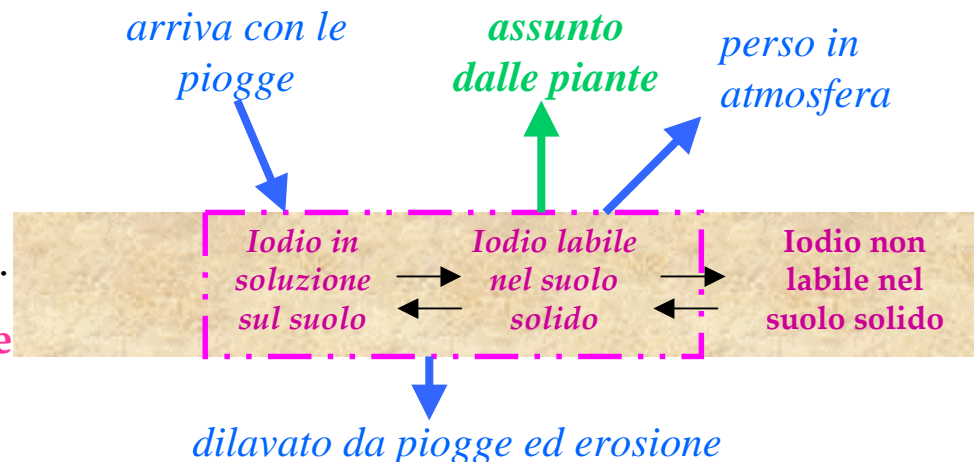
Vapori di iodio in equilibrio con cristalli di iodio

Lo **iodio contenuto nell'acqua dei mari** evapora nella atmosfera e, con le piogge, ritorna sulla superficie terrestre.

Si accumula anche nelle alghe, nei pesci e nei crostacei, mentre quello presente nei terreni viene assorbito dalle piante.

Il contenuto di iodio dei suoli è generalmente **maggiore nelle zone costiere**. In ogni caso, comunque **varia notevolmente a seconda delle caratteristiche del suolo**, come in questa mappa relativa all'Irlanda del Nord. Ad esempio suoli ricchi di materia organica ne trattengono di più.

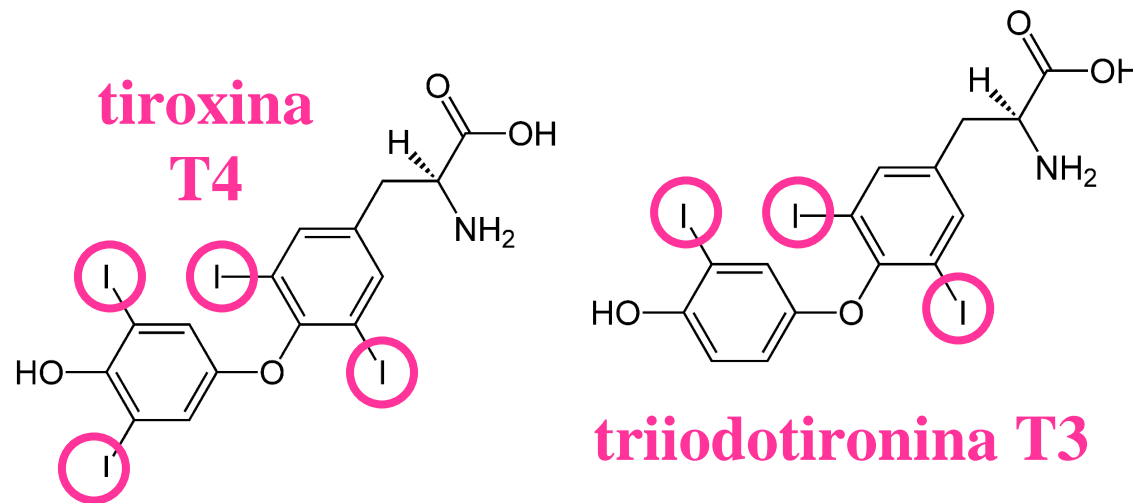
Il dilavamento dei terreni ha determinato il **basso contenuto di iodio nei suoli**. Lo iodio presente nelle rocce e nel suolo, per azione delle piogge e dell'erosione, è trasportato dalle acque superficiali nei mari e negli oceani.



2.2 Iodio nel nostro organismo

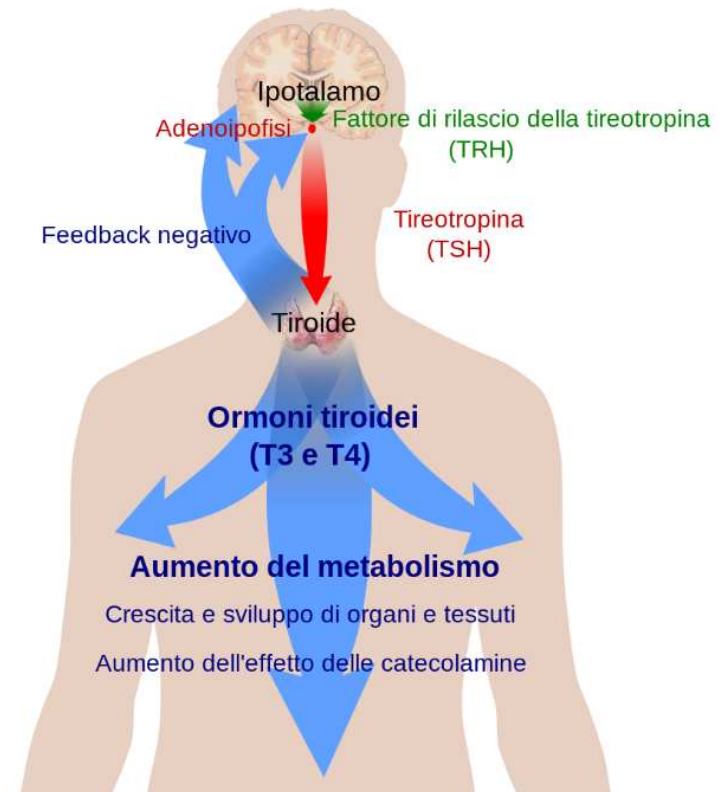
Lo iodio è un **micronutriente essenziale** presente nell'organismo umano in piccole quantità (15–20 mg) e **concentrato quasi esclusivamente nella tiroide**, ghiandola endocrina posta alla base del collo.

La tiroide produce due ormoni (tiroxina o T4 e triiodotironina o T3) che contengono iodio nella loro struttura chimica.



Questi ormoni regolano numerosi processi metabolici nella maggior parte delle cellule e svolgono un ruolo importantissimo nelle **prime fasi della crescita** e nello **sviluppo di diversi organi, in particolare del cervello**.

Sistema endocrino tiroideo



2.3.1 Conseguenze della carenza di iodio (I)

In caso di carenza di iodio **aumenta il rilascio da parte dell'ipofisi dell'ormone tireostimolante o TSH** (*thyroid stimulating hormone*), che aumenta la captazione dello iodio compensandone la carenza nel caso di leggero deficit.

Inoltre **la cronica stimolazione del TSH sulla tiroide** porta inizialmente a un suo **ingrossamento** ("**gozzo**") e poi alla comparsa di noduli anche molto grandi ("**gozzo nodulare**") che possono arrivare a causare gravi problemi a respirazione e deglutizione e a richiedere intervento chirurgico

La patologia è più diffusa tra le donne.

Tuttavia **se la quantità di iodio è troppo ridotta** i meccanismi di compenso non riescono più a mantenere una corretta funzionalità tiroidea (→**ipotiroidismo**).



gozzo (qui in forma lieve)

Il gozzo viene definito **endemico** quando la patologia è presente **in più del 30% della popolazione totale o in più del 5% dei bambini in età scolare** di una determinata area geografica.

Il grado dell'endemia gozzigena viene determinata dai valori mediani di iodio nelle urine della popolazione esaminata: più sono bassi, più l'endemia è grave.

2.3.2 Conseguenze della carenza di iodio (II)

Fino a tempi recenti, il **gozzo endemico era largamente diffuso tra le popolazioni di aree povere di iodio**, impossibilitate ad assumere questo minerale attraverso la dieta, per esempio in aree montane.

La **maschera bergamasca di Gioppino** ha tipicamente un grande gozzo multinodulare, perché rappresenta il paesano delle valli bergamasche dove una volta il fenomeno era endemico per ragioni sia geologiche sia alimentari



Ad ogni modo **il gozzo endemico è tuttora presente in nazioni economicamente depresse** come l'India e diversi paesi dell'Asia centrale e dell'Africa, o nelle regioni povere distanti dal mare (da dove proviene lo iodio).

Nei paesi più sviluppati, tuttavia, l'introduzione di alimenti ricchi di iodio e l'aggiunta di esso nell'acqua potabile, come conseguenza di più accorte politiche di gestione della salute pubblica, **hanno permesso di sradicare quasi del tutto questo problema.**

2.3.3 Conseguenze della carenza di iodio (III)

Sebbene il gozzo sia l'effetto più frequente, le conseguenze più gravi della carenza di iodio sono rappresentate da **ritardi nello sviluppo somatico**, e soprattutto **danni a carico del sistema nervoso centrale e periferico** per il cui sviluppo gli ormoni tiroidei sono essenziali (**mutismo, sordomutismo, schizofrenia, cretinismo**).

Tali manifestazioni sono più o meno importanti **a seconda della gravità della carenza di iodio e del periodo della vita** in cui essa si verifica.

Una assunzione insufficiente di iodio può provocare problemi in tutte le epoche della vita, tuttavia **è estremamente importante che le donne in gravidanza e in allattamento e i bambini con meno di 3 anni assumano quantità sufficienti di questo elemento**. Questo perché una grave carenza di iodio che si verifica durante lo sviluppo del feto e del neonato porta a danni irreversibili del cervello e del sistema nervoso centrale e, di conseguenza, ad un ritardo mentale permanente. Carenze di iodio anche lievi, quali quelle che si riscontrano comunemente nel nostro Paese, portano comunque a deficit intellettivi minori.

Nelle **aree di più grave carenza iodica** è frequente il “**cretinismo endemico**” caratterizzato da alterazioni dello sviluppo somatico e mentale dovuto a lesioni acquisite durante la vita fetale e neonatale, conseguenti al deficit di ormoni tiroidei.

2.3.4 Conseguenze della carenza di iodio (IV)

Invece **in Giappone**, dov'è piuttosto comune il consumo di **alghe** (alimento ricco di iodio per eccellenza, come le alghe nori qui mostrate), la situazione è molto diversa e spesso è necessario adottare misure per **prevenire eventuali eccessi**.



Sebbene l'organismo sia perfettamente in grado di eliminare il surplus di iodio con le urine, **dosaggi particolarmente elevati (ad esempio per uso smodato di integratori a base di alghe) possono comunque rivelarsi nocivi**. Si raccomanda di non superare 500 µg/die.

Di quanto iodio abbiamo bisogno?

Per far sì che la tiroide funzioni in modo adeguato e produca le quantità necessarie di ormoni tiroidei è necessario che tutti – bambini, adolescenti e adulti – assumano quotidianamente la giusta quantità di iodio.

La quantità raccomandata che deve essere ingerita giornalmente da un adolescente o da un adulto è di circa **150 microgrammi**.

(neonati: 40 µg; bimbi da 1 a 3 anni: 70 µg; bimbi da 4 a 6 anni: 90 µg; bimbi da 7 a 10 anni: 120 µg).

Le donne in gravidanza e in allattamento ne devono assumere di più (200 microgrammi) per assicurare un normale sviluppo del bambino.

2.5. Fonti di iodio (I)

Come possiamo assumere lo iodio?

La fonte principale di iodio per l'organismo umano è rappresentata dagli alimenti, il cui contenuto di iodio è estremamente variabile: nei vegetali la sua presenza dipende dallo iodio presente nel terreno in cui vengono coltivati, mentre negli alimenti di origine animale dipende dallo iodio assunto dagli animali con l'alimentazione.

Gli alimenti più ricchi di iodio sono i pesci di mare ed i crostacei.

Anche **le uova, il latte e la carne** ne contengono quantità importanti.

Quantità minori sono contenute nei vegetali e nella frutta.



Fonte: Ministero della Salute

2.5. Fonti di iodio (II)

Sulla base di studi specifici è comunque risultato che **la quantità media assunta normalmente con la dieta dalla popolazione è insufficiente a soddisfare il fabbisogno giornaliero di iodio.**

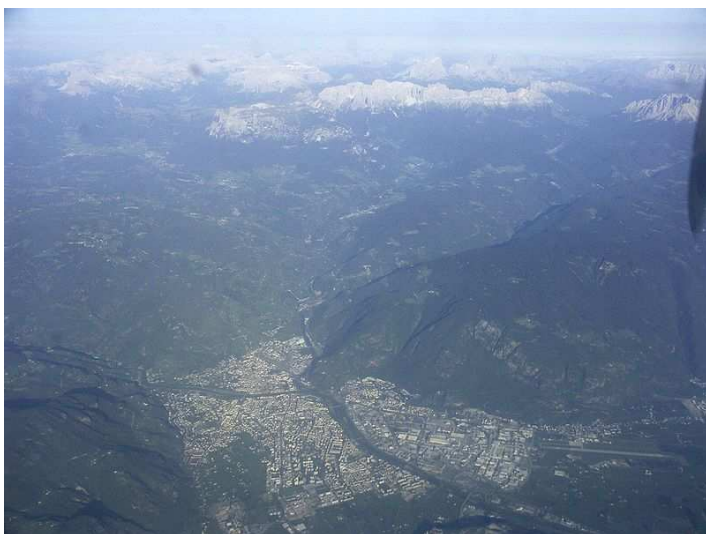
Ancora oggi **una parte rilevante della popolazione**, in tutte le regioni del nostro Paese, è caratterizzata da una **carenza lieve o moderata di iodio.**

E' stato stimato che in Italia **circa 6 milioni di persone soffrono di gozzo** ovvero più del 10% della popolazione. Inoltre, anche se le forme più gravi dei disturbi da carenza iodica sono ormai scomparse, sono ancora frequenti i casi di **problemi neurologici minori.**

Come possiamo aumentare l'assunzione di iodio?

Il modo migliore per aumentare la quantità di iodio che introduciamo ogni giorno è quello di **utilizzare, nell'ambito di una dieta variata e bilanciata, il sale arricchito di iodio al posto di quello comune.**

Fonte: Ministero della Salute



***Un esempio: il caso della
provincia di Bolzano***

(Ann. Ist. Super. Sanità, 34(3) 1998, 377-381)

2.5.1 Il caso della provincia di Bolzano (I)



La provincia di Bolzano sotto il profilo geologico ha tre zone: a nord la zona cristallina, a est e a ovest la zona sedimentaria e a sud la zona vulcanica porfido-quarzifera. **La concentrazione di iodio nelle acque superficiali decresce risalendo i principali fiumi della provincia. La maggiore concentrazione è stata rilevata a sud e la minore verso nord.**

Il gozzo in Alto Adige è stato presente fin dall'antichità (zona montana lontana dal mare, e in cui la dieta non comprendeva prodotti del mare *(così anche in Europa in zone alpine, appenniniche e balcaniche, e in USA nella zona dei Grandi Laghi)* e sono stati individuati reperti artistici che lo rappresentano in diverse epoche. Fino ad alcuni anni vi si potevano ancora osservare ancora grossi gozzi, soprattutto nel sesso femminile ma anche in quello maschile.

A partire dagli anni '40 si è cominciato a studiarlo.

Nel 1982-83 una indagine epidemiologica su 3109 bambini della Media e Alta Val Venosta, Alta Val d'Isarco, Valle Aurina e hinterland di Bolzano ha dato una incidenza media del gozzo di **23.6%±14**. La ioduria media fu di $11.1 \pm 8.6 \mu\text{g I} / \text{g creatinina}$, rispetto a $39.9 \pm 17.6 \mu\text{g I} / \text{g creatinina}$ rilevato nei bambini di Padova.

→l'Alto Adige risultava sede di una grave endemia gozzigena.



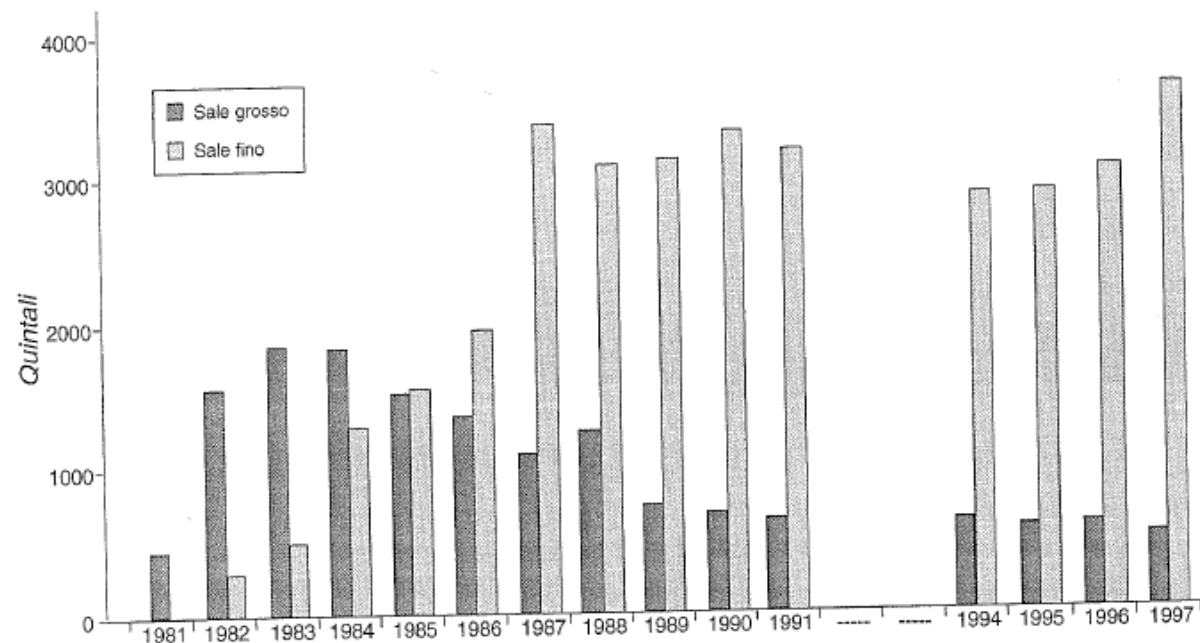
2.5.2 Il caso della provincia di Bolzano (II)



In base a questi risultati venne attuato dall'Assessorato alla Sanità un programma di profilassi, con intensa propaganda dell'uso di sale iodurato o iodato tra operatori sanitari e popolazione.



Il territorio comunale



Il consumo di sale iodurato crebbe velocemente raggiungendo in breve un elevato valore asintotico già nel 1987.

2.5.3 Il caso della provincia di Bolzano (III)



Risultati:

Gozzo grado 1A	25.5% nel 1982	15.8% nel 1991
Gozzo grado 1B-3	23.6% nel 1982	1.5% nel 1991

Ioduria

$10,2 \pm 8,0 \mu\text{gI/l}$ nel 1982

$137,1 \pm 104,7 \mu\text{gI/l}$ nel 1990

$177.2 \pm 97.9 \mu\text{gI/l}$ nel 1997

$263.5 \pm 73.6 \mu\text{gI/l}$ nel 2001

Inoltre, a fronte di un modesto aumento delle patologie da ipertiroidismo, si riscontrò che i tumori follicolari tendevano da forme follicolari a forme papillari meno aggressive.



Fu perciò evidente che l'utilizzo alimentare di sale iodurato o iodato porta alla scomparsa del gozzo endemico.

Si fece anche un'analisi costi/benefici comparando il costo di una ipotetica fornitura gratuita di sale iodurato o iodato a tutta la popolazione della provincia con il costo degli interventi annuali per gozzo a carico dell'assistenza sanitaria: la differenza era di circa 1 miliardo a favore della iodoprofilassi!

2.6.1 Evoluzione della legislazione in Italia (I)

1972: Monopolio di Stato autorizzato alla produzione di sale iodurato ed alla sua distribuzione (su richiesta) solo nelle zone dichiarate endemiche.

1977: Liberalizzazione della produzione di sale iodurato e della sua distribuzione (su richiesta) su tutto il territorio nazionale.

1990: Aumento del contenuto di iodio (ioduro e/o iodato di potassio) da 15 a 30 mg/kg di sale.

Decreto Ministero della Sanità 10.8.95 n. 562

Regolamento concernente la produzione e il commercio di sale da cucina iodurato, di sale iodato e di sale iodurato e iodato

Articolo 1

1. È autorizzata la produzione e l'immissione in commercio del sale alimentare (cloruro di sodio), destinato al consumo diretto, addizionato di ioduro di potassio, del sale alimentare addizionato di iodato di potassio e del sale alimentare addizionato di ioduro di potassio e di iodato, per garantire un tenore di iodio ionico di 30 mg per kg di prodotto; si applicano le tolleranze di cui all'Articolo 1 del D.M. 1.8.90, n. 255.

Articolo 2

1. Per la determinazione dello iodio si applica il metodo di analisi riportato nell'all. 1 al presente decreto.

Articolo 3

1. Il sale iodurato è posto in vendita al dettaglio in confezioni di peso netto non superiore a 550 g.
2. Il sale iodato è posto in vendita al dettaglio in confezioni di peso netto non superiore a 1000 g.
3. Il materiale di confezionamento deve essere conforme alle norme previste dal D.M. 21.3.73, e sue successive modificazioni, e tale da consentire la protezione dalla luce e dall'umidità.
4. Il potassio ioduro e il potassio iodato utilizzati devono rispondere ai requisiti di cui alla Farmacopea ufficiale italiana.

Articolo 4

1. Il sale iodurato, il sale iodato e il sale iodurato e iodato possono essere addizionati degli additivi antiagglomeranti alle condizioni previste per il sale da tavola dal D.M. 31.3.65, e sue successive modificazioni.

Articolo 5

1. Ai fini dell'etichettatura prevista dal D. L.vo 27.1.92, n. 109, per le confezioni dei diversi tipi di sale addizionato di derivati di iodio di cui al presente decreto sono prescritte in particolare, in funzione delle peculiari caratteristiche del prodotto, le seguenti indicazioni:
 - a) la specifica denominazione legale di ciascuno di essi, rispettivamente individuabile in "sale iodurato" per il sale addizionato di ioduro di potassio, in "sale iodato" per quello addizionato di iodato di potassio e in "sale iodurato e iodato" per quello addizionato di ioduro e di iodato di potassio;
 - b) quale specifica destinazione d'uso, una dicitura che ne consigli l'impiego per integrare regimi alimentari carenti di iodio in sostituzione del comune sale alimentare;
 - c) quale modalità di conservazione, l'avvertenza di mantenere il prodotto in luogo fresco, asciutto ed al riparo della luce.
2. In applicazione dell'Articolo 8, comma 1, del D. L.vo 27.1.92, n. 109, l'indicazione degli ingredienti di ciascun tipo di sale disciplinato dal presente decreto comporta la menzione della percentuale di ioduro di potassio e di iodato di potassio aggiunti nonché la quantità di iodio (I) apportata da cento grammi di prodotto.

Articolo 6

1. Le norme del presente decreto non pregiudicano la commercializzazione nel territorio nazionale di sale da cucina iodurato, di sale da cucina iodato, e di sale da cucina iodurato e di iodato legalmente prodotti e/o commercializzati in un altro Stato membro delle CE e di quelli originari degli Stati contraenti dell'accordo sullo spazio economico europeo.

Iodio e Salute

LEGGE 21 marzo 2005, n. 55

Disposizioni finalizzate alla prevenzione del gozzo endemico e di altre patologie da carenza iodica.

1. I punti vendita di sale destinato al consumo diretto assicurano la contemporanea disponibilit  di sale arricchito con iodio e di sale alimentare comune; quest'ultimo   fornito solo su specifica richiesta del consumatore.
2. Nell'ambito della ristorazione pubblica, quali bar e ristoranti e di quella collettiva, quali mense e comunit ,   messo a disposizione dei consumatori anche il sale arricchito con iodio.
3. Negli espositori dei punti vendita di sale alimentare   apposta una locandina diretta ad informare la popolazione sui principi e sugli effetti della iodoprofilassi, individuata con decreto del Ministro della salute.

Il testo   stato redatto a cura del Gruppo di Lavoro per l'attuazione della legge 21 marzo 2005, n.55 "Disposizioni finalizzate alla prevenzione del gozzo endemico ed altre patologie da carenza iodica" operativo presso il Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali.

GU n. 75 del 31-3-2009

CONFERENZA PERMANENTE PER I RAPPORTI TRA LO STATO LE
REGIONI E LE PROVINCE AUTONOME DI TRENTO E BOLZANO

■ INTESA 26 febbraio 2009

Intesa, ai sensi dell'articolo 8, comma 6, della legge 5 giugno 2003, n. 131, tra il Governo, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano sul Programma di monitoraggio e sorveglianza della patologia tiroidea. (Rep. atti n. 37/CSR).)

PROGRAMMA NAZIONALE DI MONITORAGGIO E SORVEGLIANZA DELLA PATOLOGIA TIROIDEA AI SENSI DELLA LEGGE 21 MARZO 2005, N. 55 «DISPOSIZIONI FINALIZZATE ALLA PREVENZIONE DEL GOZZO ENDEMICO E DI ALTRE PATOLOGIE DA CARENZA IODICA»

Piano di monitoraggio.

In accordo con le linee guida elaborate da OMS, UNICEF e International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (ICCIDD), il piano di monitoraggio si baserà sui seguenti indicatori di efficacia:

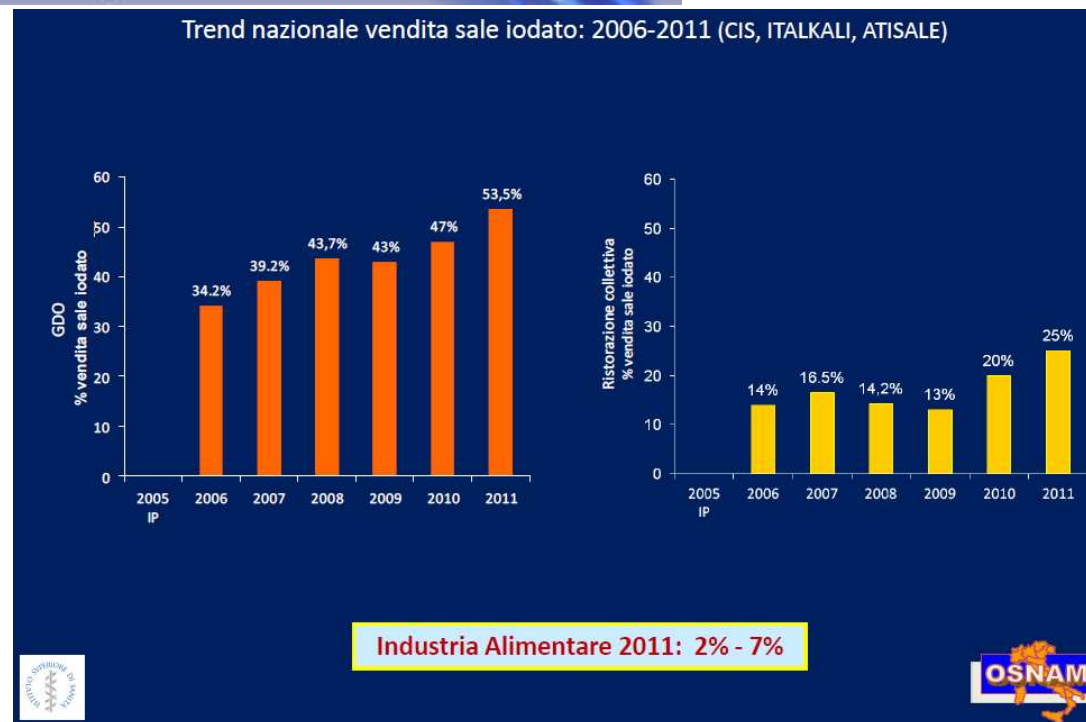
- 1) andamento della vendita del sale arricchito di iodio;
- 2) verifica dell'utilizzo del sale iodato presso le mense scolastiche;
- 3) verifica del contenuto di iodio nelle confezioni di sale immesse sul mercato;
- 4) valutazioni clinico-epidemiologiche, in campioni rappresentativi della popolazione scolare e neonatale, finalizzate all'accertamento di un adeguato apporto nutrizionale di iodio (escrezione urinaria di iodio, TSH neonatale) e delle eventuali modificazioni della frequenza di ipertiroidismo e ipotiroidismo congenito sull'intero territorio nazionale.

Gli ultimi dati OSNAMI mostrano il **persistere di una condizione di iodocarenza** nel nostro Paese.

Positivo seppur lento incremento nella vendita del sale nella grande distribuzione (53.5% nel 2011, era 31% nel 2006).

Ancora scarso utilizzo di sale iodato nella ristorazione collettiva (solo 25% nel 2011).

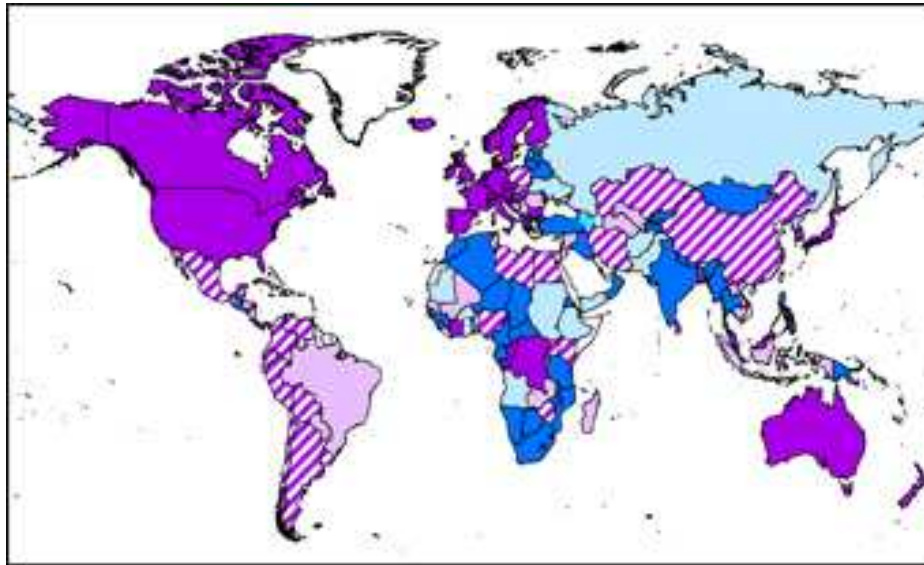
Ancor più bassa la percentuale di vendita di sale iodato destinato all'industria alimentare (2-7% nel 2011).



Il programma nazionale di iodoprofilassi necessita ancora di un'ampia azione di informazione/sensibilizzazione



2.8 Disponibilità di sale iodato o iodurato nel mondo

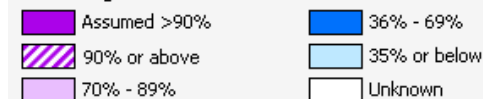


Nei paesi più sviluppati la situazione è simile all'Italia, anche se le legislazioni variano molto rispetto al tipo e alla quantità dei sali di iodio che si possono addizionare. In alcuni paesi, tuttavia, la situazione è ancora carente.

Si calcola che quasi un miliardo di persone siano affetti da carenza di iodio, che può portare a ritardo mentale, tra cui 380 milioni in Europa. L'aggiunta di iodio al sale da cucina è il metodo più semplice e meno costoso per combatterla (solo US\$0.05 per persona all'anno), perché il sale da cucina ha una diffusione e un uso ubiquitari.



Percentage of Households with Access to Iodized Salt



SUMMARY OF IODINE NUTRITION IN WESTERN & CENTRAL EUROPE

Sufficient	Likely Sufficient	Deficient	Likely Deficient
Austria	Iceland	Belgium	Albania
Bosnia	Luxembourg	Denmark	
Bulgaria	Norway	France	
Croatia	Sweden	Germany	
Cyprus		Greece	
Czech Republic		Hungary	
Finland		Ireland	
Macedonia		Italy	
Netherlands		Romania	
Poland		Slovenia	
Portugal		Spain	
Slovak Republic		Turkey	
Switzerland		Yugoslavia (Montenegro)	
United Kingdom			
Yugoslavia (Serbia)			

2.9.1 Come si può arricchire il sale di iodio (I)

Nel mondo sono **quattro i sali di iodio con cui può essere arricchito il sale da cucina per consumo umano:**

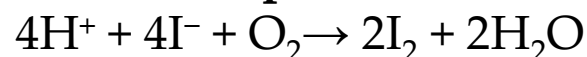
Potassio Iodato KIO_3 Potassio Ioduro KI Sodio iodato NaIO_3 Sodio ioduro NaI
(più ampio è il ventaglio di additivi contenenti iodio nel caso dei mangimi per animali)

*Il sale di iodio viene spruzzato sul sale da cucina mentre va su nastro trasportatore al confezionamento;
in impianti piccoli l'operazione può essere anche effettuata manualmente.*

**In Italia sono permessi solo
 KI ("sale iodurato"), KIO_3 ("sale iodato") e $\text{KI} + \text{KIO}_3$ (sale iodurato e iodato)**

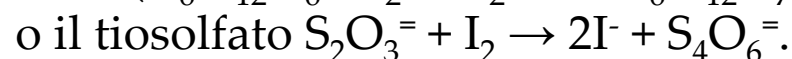
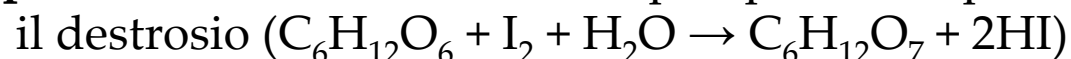
KI è il più naturale, essendo spontaneamente presente nell'acqua di mare e quindi, sebbene in piccola quantità, nel sale marino integrale.

Tuttavia **a contatto con O_2 tende nel tempo a ossidarsi:**



producendo I_2 che causa un ingiallimento del prodotto. Per questo motivo negli ultimi anni **è stato soppiantato quasi ovunque in Italia da KIO_3 (0.005%).**

Invece **negli USA KIO_3 non è accettato** dal ministero della sanità e quindi viene usato solo nei mangimi per gli animali. Però al sale addizionato di KI vengono aggiunti **additivi per consumare lo iodio** che si può produrre, per esempio



2.9.2 Come si può arricchire il sale di iodio (II)

USA



All'inizio del XX secolo si aveva gozzo endemico intorno ai Grandi Laghi e nella regione del nord ovest. David Murray Cowie, professore di pediatria all'Università del Michigan, convinse il governo ad adottare la pratica svizzera di aggiungere KI o NaI al sale da cucina. Dal 1 maggio 1924 fu venduto sale iodurato nel Michigan e dall'autunno del 1924, la Morton Salt Company lo cominciò a distribuire in tutta la nazione. Ammesso KI (0.006-0.01%)(con additivo destrosio oppure sodio tiosolfato per abbattere I_2) ma non KIO_3 salvo che nei mangimi per animali. Si usa anche il sale "doppiamente fortificato" con ioduro e ferro (microincapsulato per non reagire con i sali di iodio)

Germania



Prescritti 180–200 μg al giorno per adulti (di più per gestanti) e 40–200 μg per bambini e giovani. Si usa il sale iodurato che ne contiene 15–25 μg Jod/g, così che ne andrebbero assunti 7–8 g (adulti) o 2–8 g (bambini) al giorno. Invece la media di quel che viene assunto (dati 2003) è di 110–120 μg , quindi si è tuttora in condizioni di carenza di iodio, soprattutto nelle gestanti. Tramite i mangimi le carni vengono arricchite di iodio. Le confezioni di sale devono specificare se è iodurato, però è diffuso l'uso del sale arricchito in industria senza specificarlo esplicitamente. Si usa anche addizionare il sale di fluoruro e acido folico.

Kazakhstan, Sud Africa



Caratterizzati da deficit endemico di iodio, dagli anni '90 vi è obbligatorio l'uso di sale iodato.

2.10. Quantità di sale arricchito da assumere

Quanto sale arricchito dobbiamo consumare?

In aggiunta a quello già fornito con la dieta, ogni grammo di sale arricchito di iodio ci fornisce **30 microgrammi di iodio in più (cioé, nel caso di un individuo adulto, 1/5 di quello che è necessario assumere ogni giorno)**.

E' comunque necessario, **al tempo stesso, ridurre il consumo abituale di sale (cloruro di sodio)**; elevati apporti di sodio aumentano infatti il rischio di malattie cardiovascolari, sia attraverso l'aumento della pressione arteriosa che indipendentemente da questo meccanismo.

La cosa migliore da fare è quella di **utilizzare sempre il sale arricchito di iodio, tenendo presente che dovremmo dimezzare i nostri consumi di sale** (che attualmente corrispondono in media a circa 10 g al giorno) per raggiungere un compromesso tra il soddisfacimento del gusto e la prevenzione dei rischi legati al sodio.

Si può assumere lo iodio di cui abbiamo bisogno solo respirando l'aria, in particolare quella di mare che ne è ricca?

No, lo iodio assorbito dall'aria è trascurabile

E' vero che il sale marino integrale (non raffinato) è molto ricco di iodio?

Contiene ioduri, ma non in quantità sufficiente per il nostro fabbisogno giornaliero (a meno che non se ne assumesse una quantità pericolosa come quantità di NaCl)

Fonte: Ministero della Salute

2.11. Altri utilizzi del sale arricchito

Il sale iodurato o iodato può essere usato efficacemente anche:

nella ristorazione collettiva;

nell'industria alimentare (in cui tuttavia va escluso lo ioduro nei casi in cui può essere ossidato da componenti dei cibi rendendoli più scuri, effetto innocuo ma esteticamente indesiderabile);

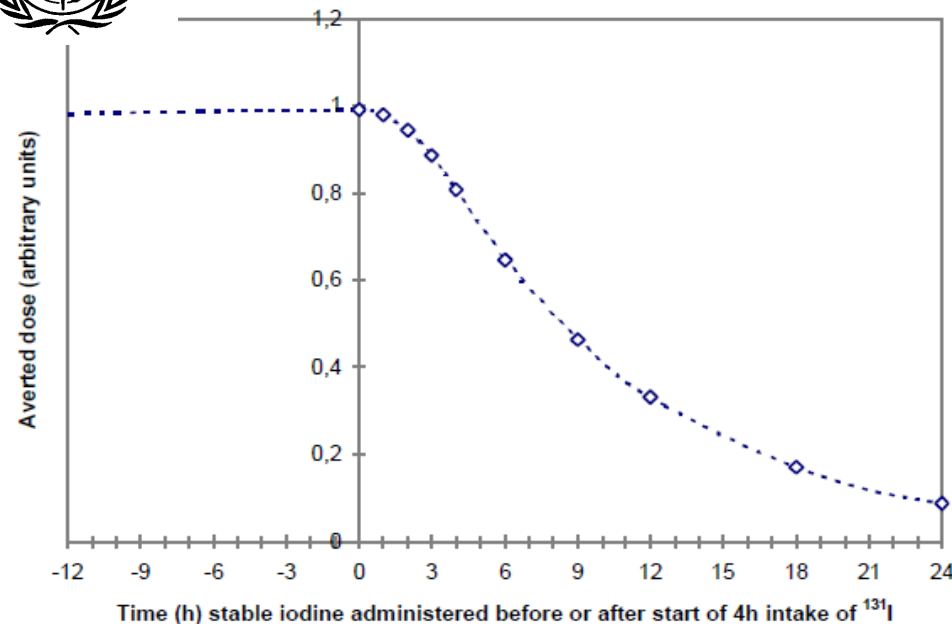
nei mangimi degli animali (che hanno lo stesso nostro problema).

Non è adatto invece come profilassi in caso di incidente radioattivo

perché ne occorrerebbe una quantità eccessiva (come dose di NaCl associato). In questo caso si devono assumere (secondo le istruzioni delle autorità) **compresse di KI** (vendute in farmacia). Esse servono a fornire in abbondanza alla tiroide iodio non radioattivo in modo che non assorba quello radioattivo.



Averted dose as a function of time stable iodine is administered a 4-h intake of ^{131}I for different dietary iodine intakes



Fonte OMS

3. Il nostro esperimento

3.1.1 Prima parte: iodio dove e come?

In questa parte qualitativa dell'esperimento abbiamo a disposizione una **vasta gamma di sali commerciali per uso alimentare italiani ed esteri**.

Con un test comparativo con reagenti molto semplici dobbiamo riconoscere tra di essi:

- i) **i sali non iodati né iodurati**, cioè i sali, sia integrali sia raffinati, a cui non è stato aggiunto alcun sale di iodio. Quelli integrali contengono in realtà anche lo ioduro, ma in quantità molto piccola;
- ii) **i sali iodati** cioè ai quali è stato aggiunto KIO_3 ;
- iii) **i sali iodurati** cioè ai quali è stato aggiunto KI (è opportuno ricordare che in tal caso vi sono spesso additivi, come, negli USA, destrosio oppure tiosolfato, che hanno lo scopo di consumare lo iodio che lentamente si svilupperebbe).

3.1.2 (I) La reazione che sfrutteremo per evidenziare la presenza di **iodato**

Lo iodato reagisce con ioni ioduro in ambiente acido a dare iodio I_2



Un eccesso di I^- permette di solubilizzare I_2 come complesso I_3^- ,
quindi l'equazione stechiometrica diventa:

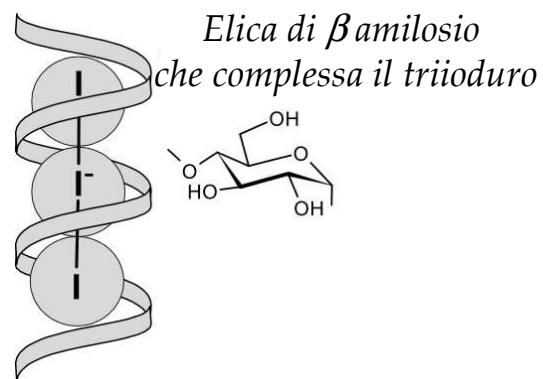


Lo iodio si forma velocemente, e impartisce alla soluzione
un colore ambrato giallo marrone



3.1.2 (II) L'indicatore

La colorazione della soluzione di I_3^- si può accentuare con la **salda d'amido** che forma con I_3^- (non con solo I^- o solo I_2) un complesso nero bluastro visibile a 0.00002 M a 20°C



La sensibilità cala
con la temperatura
o aggiungendo
solventi organici
come etanolo



Soluzione diluita di I_3^-



idem,
con aggiunta
di salda d'amido



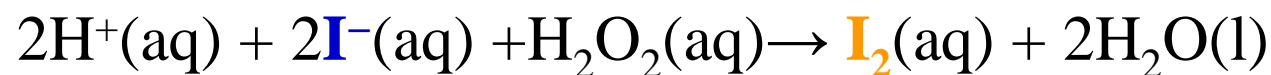
idem, a reazione
 $I_3^- + 2 S_2O_3^{2-} = 3I^- + S_4O_6^{2-}$
completata

Si può preparare sciogliendo 1 g di amido (di mais o patate) in 10-15 cm³ di acqua distillata, agitando, e versandola in 100-500 cm³ di acqua distillata all'ebollizione; si agita vigorosamente e si lascia bollire per 1 minuto. Si lascia raffreddare e si decanta l'eventuale precipitato. La stabilità della salda, che dura solo qualche giorno, si può allungare ad esempio con aggiunta di un pizzico di acido salicilico.

La salda si decompone per azione batterica e/o ad alte temperature, si idrolizza in acido molto concentrato e precipita in soluzioni alcoliche; viene spesso venduta con un additivo antibatterico e va conservata al riparo dalla luce

3.1.3 La reazione che sfrutteremo per evidenziare la presenza di **ioduro**

Lo ioduro viene ossidato a iodio da acqua ossigenata



Nelle nostre condizioni questo test è più lento e meno sensibile di quello dello iodato (*quali potrebbero essere i motivi?*)
quindi in questo caso

- l'aggiunta di salda d'amido è strettamente necessaria,
 - opereremo con quantità più grandi di campione
 - e comunque dovremo attendere qualche minuto per un buon sviluppo della colorazione

3.1.4 Procedimento (I)

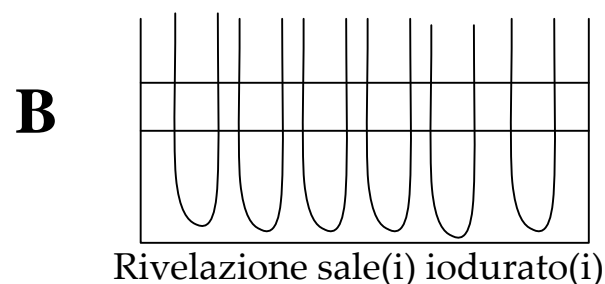
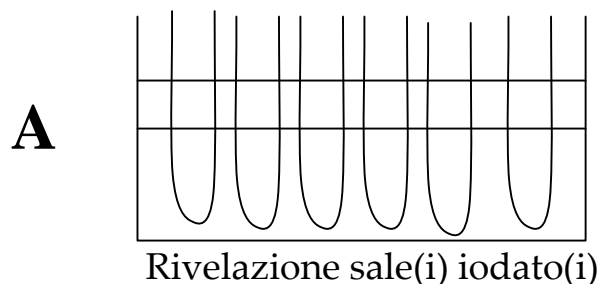
Ingredienti

- I sali da analizzare
- **Acqua deionizzata** (reperibile anche al supermercato)
- **Aceto bianco** (reperibile al supermercato)

- **soluzione acquosa di H_2O_2** (3% = 10 volumi oppure 7.2% = 24 volumi; [proteggere gli occhi! Non ingerire] noi useremo la più concentrata; reperibile anche in farmacia o supermercato)
 - **KI** (reperibile anche, sebbene meno facilmente, in farmacia o in negozi di materiali per fotografia) [tossico per ingestione, irritante per occhi e pelle]
 - **Salda d'amido** (preparabile anche da amido commerciale reperibile al supermercato)
-

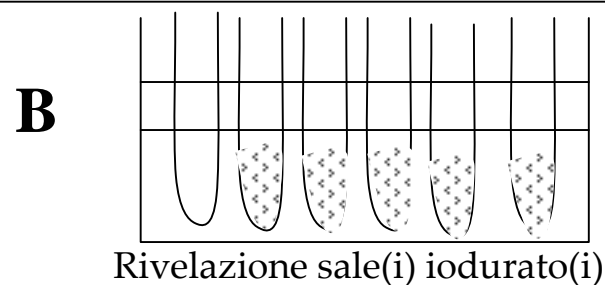
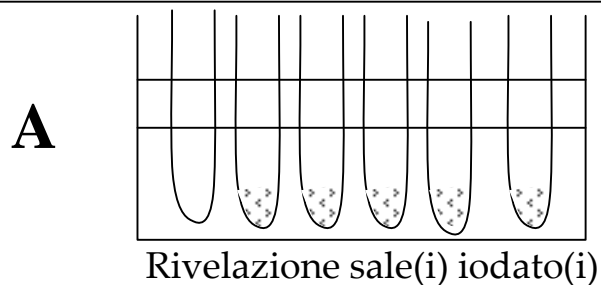
Indossate camice, occhiali e guanti.

1. Per ogni corridoio (coppia di banchi del laboratorio) troverete una serie di bicchieri con campioni incogniti di sali alimentari commerciali italiani ed esteri.
2. Ogni banco dispone di provette e di due portaprovette, uno per la ricerca dei sali iodati, l'altro per quella dei sali iodurati.

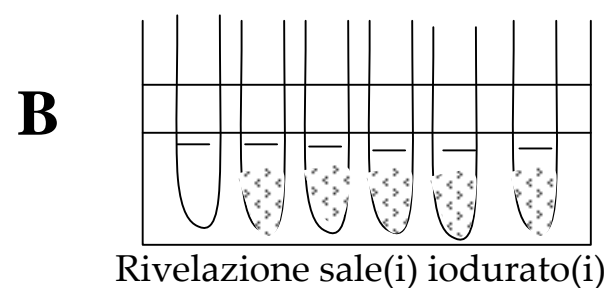
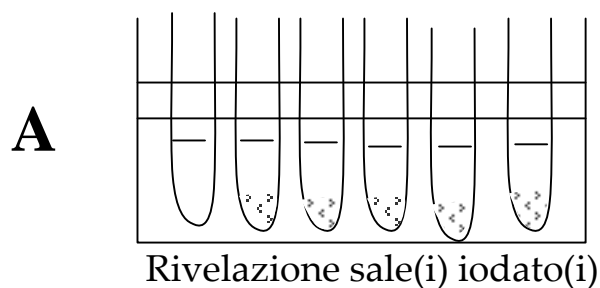


3. Con la spatola, ripulendola accuratamente ogni volta con la carta, inserite in ciascuna provetta uno dei campioni prendendo nota della sigla corrispondente e segnandola sulla provetta col pennarello. Nelle provette A basta uno strato di sale alto circa 0.5 cm; nelle B invece mettetene 2-2.5 cm. In ambedue i casi lasciate la prima provetta vuota: servirà per il bianco di confronto (per esempio, lo ioduro può essere parzialmente ossidato e contenere già iodio)

3.1.4 Procedimento (II)



3. Aggiungete in tutte le provette acqua portandone il livello circa 4-5 cm sopra il sale nel primo caso, circa 2-3 cm sopra il sale nel secondo caso.

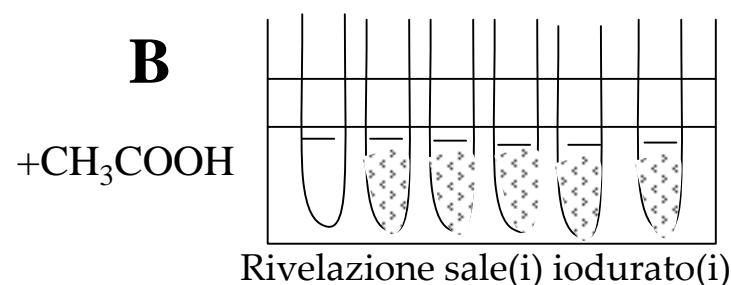
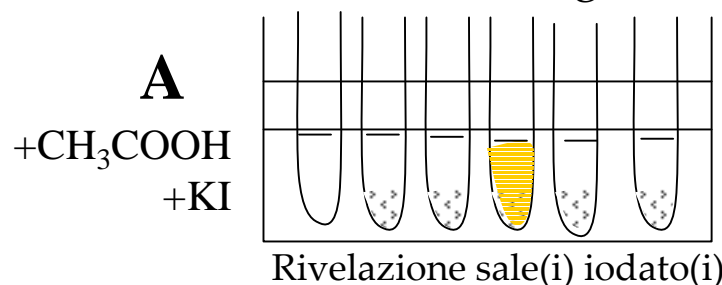


4. Con una pipetta Pasteur aggiungete in tutte le provette, bianco incluso, circa 1 cm³ di aceto bianco.

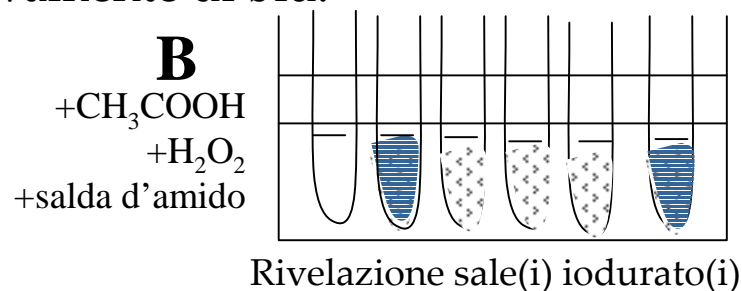
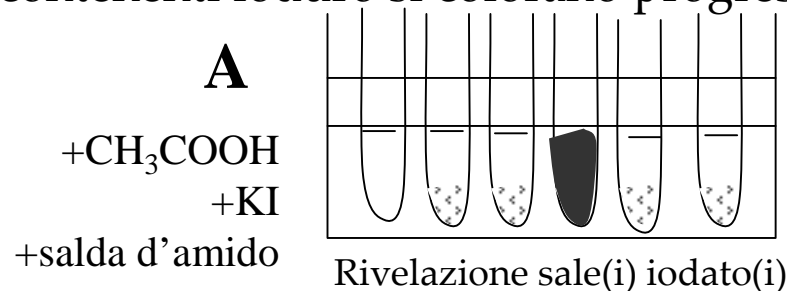
5. Agitate bene in tutte le provette ripulendo benissimo la bacchetta quando cambiate sale. Resterà molto corpo di fondo, ma KI e KIO₃ andranno in soluzione.

3.1.4 Procedimento (III)

6. Nelle provette A aggiungete 1 punta di spatola di KI e agitate (ripulendo sempre bene ogni volta la bacchetta di vetro). I sali addizionati di ioduro devono reagire subito con intensa colorazione gialla ambrata:



7. Ora nelle provette B aggiungete circa 0.5 cm³ di H₂O₂ 24 volumi e agitate (ripulendo sempre bene ogni volta la bacchetta di vetro); quindi aggiungete una pipettata di soluzione di salda d'amido in tutte le provette, sia le A sia le B. Nel portaprovette A i campioni di sale iodato diventano subito scurissimi (gli altri potrebbero scurirsi, ma molto meno e lentamente (*quali potrebbero essere i motivi? Controllate anche che cosa avviene al bianco*)). Invece nel portaprovette B nel giro di qualche minuto i campioni contenenti ioduro si colorano progressivamente di blu.



8. Chiedete quali sono i sali esaminati, controllate se avete attribuito correttamente le loro caratteristiche e commentatele. Se volete, ripetete l'analisi su altri sali di diversa provenienza e caratteristiche, scegliendoli a piacere nella nostra ampia casistica.



Quindi nell'esempio qui proposto:
 Provetta 2 è un sale iodurato
 Provetta 3 un sale senza additivi
 Provetta 4 un sale iodato
 Provetta 5 un sale senza additivi
 Provetta 6 un sale iodurato

3.2.1 Quanto iodato?

In questa parte dell'esperimento:

- Determineremo quantitativamente per titolazione con tiosolfato e indicatore salda d'amido la percentuale in peso di potassio iodato (cioè l'additivo impiegato oggi in Italia nella quasi totalità dei casi) introdotto nel sale commerciale che abbiamo identificato nella fase A come "sale iodato".
- Controlleremo che tale percentuale corrisponda a quella dichiarato in etichetta.
- Calcoleremo poi quanto sale occorre assumere per assumere la dose ottimale raccomandata per un adulto, e se tale dose sia anche ragionevole rispetto alla soglia massima raccomandata per l'assunzione del cloruro di sodio

3.2.2 Titolazioni

La **titolazione** è una delle più comuni tecniche dell'**analisi chimica quantitativa**, ossia di quel gruppo di metodi che servono a determinare la quantità di una sostanza chimica.

Per poter eseguire una titolazione di una sostanza occorre:

che essa reagisca in modo **veloce, quantitativo** e con **stechiometria perfettamente nota** con una seconda sostanza (detta "**titolante**") solitamente aggiunta in una **sequenza di volumi misurati con precisione** di una **soluzione standard a titolo noto**

che sia possibile **individuare sperimentalmente** ("**punto finale**" della titolazione) quella particolare aggiunta di titolante che corrisponde al **completamento della sua reazione con la sostanza da titolare** ("**punto di equivalenza**").

Se **entrambe** queste condizioni sono verificate, possiamo calcolare la quantità della sostanza titolata in base all'equazione stechiometrica della reazione, alla concentrazione del titolante ed al volume di titolante aggiunto al punto di equivalenza

Reazioni operative:

si possono eseguire titolazioni basate su

reazioni acido/base

reazioni di precipitazione

reazioni di complessazione

reazioni di ossidoriduzione

Il nostro caso

Tecniche per individuare il punto finale:

indicatore colorimetrico,

pH-metria,

potenziometria,

conduttimetria,

amperometria,

spettrofotometria....

legate al tipo di reazione prescelto.

Le tecniche strumentali che permettono il monitoraggio dell'intera titolazione, e non solo la rilevazione di un "punto finale".

3.2.3 La reazione che sfrutteremo per la titolazione

Lo iodato reagisce con ioni ioduro in ambiente acido a dare iodio I_2



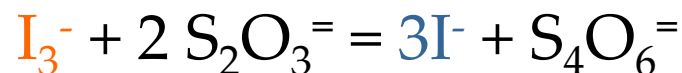
Un eccesso di I^- permette di solubilizzare I_2 come complesso I_3^- ,
quindi l'equazione stechiometrica diventa:



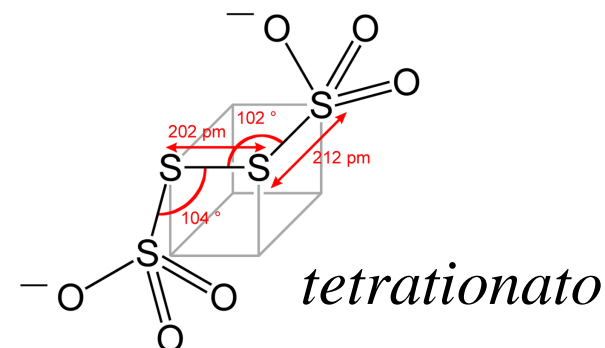
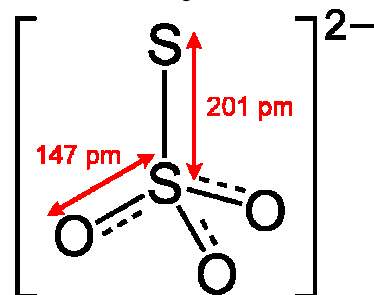
Lo iodio si forma velocemente, e
impartisce alla soluzione
un colore ambrato giallo marrone



Titoliamo lo iodio con tiosolfato



tiosolfato



3.2.4 L'indicatore per la titolazione

Il punto di equivalenza si può accentuare con la **salda d'amido** che come già detto forma con I_3^- un complesso di colore nero bluastrò molto intenso, che diventa incolore a reazione completata



Soluzione diluita di I_3^-



idem,
con aggiunta
di salda d'amido



idem, a reazione
 $I_3^- + 2 S_2O_3^{2-} = 3I^- + S_4O_6^{2-}$
completata

Attenzione! La salda va aggiunta nella minima quantità necessaria a rendere nera la soluzione e solo poco prima del punto di equivalenza, cioè quando la soluzione giallo bruna è diventata giallo pallida. Quantità eccessive di salda e/o l'aggiunta troppo precoce, in presenza di una grande quantità di iodio, sono fonti di errori nella titolazione).

3.2.5.1 Il protocollo di titolazione (I)

Ingredienti: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.01 M; H_2SO_4 ~ 0.5 M; KI; acqua deionizzata

- Ambientate (sciacquando più volte l'interno del tubo con piccole aliquote di soluzione) e successivamente riempite (al di sopra dello zero) la buretta da 50 cm³ con la soluzione standard di tiosolfato fornita ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.01 M), assicurandovi che siano state eliminate eventuali bolle al di sopra o al di sotto del rubinetto di erogazione .

(Per eliminare le bolle, portatevi con la buretta piena sul lavandino o su un bicchiere di recupero e aprite con decisione il rubinetto dando contemporaneamente un vigoroso (ma cauto!) colpo di polso dall'alto verso il basso)

- Azzerate accuratamente la buretta allineando il menisco inferiore del liquido con la tacca dello zero servendosi anche dell'apposita striscia colorata (che appare restringersi in corrispondenza del menisco del liquido).
- Montate la buretta sull'apposito sostegno e predisporre sotto l'agitatore magnetico.
- Pesate con precisione nel bicchiere di titolazione da 250 cm³ una quantità del campione di sale iodato dell'ordine di 100g e annotatela sul quaderno.

3.2.5.2 Il protocollo di titolazione (II)

- Aggiungete acqua deionizzata portandovi a 150-200 cm³ (qualitativo, guardando le tacche del bicchiere) e agitate bene per 1-2 minuti con la bacchetta di vetro.
- Aggiungete 3 cm³ di H₂SO₄ ~ 0.5 M.
- Con la spatola cucchiaino aggiungete un cucchiaino raso di KI. Si svilupperà subito iodio e la soluzione diverrà giallo scura.
- Aggiungete nel bicchiere l'ancoretta magnetica e avviate la titolazione. Il colore bruno dello iodio si schiarirà progressivamente.
- Quando vedete che siete prossimi al p.e. perché il colore bruno è diventato giallo arancione e trasparente, aggiungete l'indicatore salda d'amido (poche gocce, la minima quantità necessaria a rendere nera la soluzione. Quantità eccessive e/o l'aggiunta troppo precoce, in presenza di una grande quantità di iodio, sono fonti di errori nella titolazione).
- Terminate la titolazione annotando il volume al punto di equivalenza, che potrete cogliere molto bene perché in presenza di salda d'amido il viraggio non è da giallo pallido a incolore, come sarebbe con il solo iodio (tra l'altro, non facilmente coglibile con campioni contenenti coloranti), ma da nero a incolore (o del colore del colorante diluito, se presente).

3.2.6 Calcolo della percentuale in peso di iodato nel sale

- Considerando la stechiometria della equazione di titolazione calcolate le moli di iodato presenti nel campione titolato.



$$\Rightarrow \text{mol IO}_3^- = 1/6 [V_{\text{p.e.S}_2\text{O}_3^{2-}} (\text{dm}^3) \cdot c_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} (\text{mol dm}^{-3})]$$

- Ricavate quindi la percentuale in peso di potassio iodato nel sale titolato e confrontatela con quella dichiarata. Se è italiano dovrebbe essere intorno allo 0.005% mentre in sali esteri può essere diversa.

$$\% \text{KIO}_3 = \text{mol IO}_3^- \cdot 214.001 (\text{g KIO}_3/\text{mol}) / \text{g sale pesato} \cdot 100 \%$$

3.2.7 Tre questioni su cui riflettere

- Se il sale ha la percentuale di iodato che avete calcolato (...e sperabilmente verificato con l'etichetta commerciale!) quanto sale iodato dovrebbe consumare in un giorno un adulto sano per incorporare la dose raccomandata giornaliera di 150 microgrammi di ioduro?
- Tale dose è compatibile con la soglia massima giornaliera raccomandata per l'assunzione di NaCl?
- L'acqua di mare contiene approssimativamente 32 g dm^{-3} di sali disciolti, tra cui 60 μg di ioduro. Perché nonostante ciò non è possibile assumere la dose giornaliera raccomandata di iodio utilizzando sale marino integrale?