



Luciano Forlani, Paolo Zani  
Facoltà di Chimica industriale  
Università di Bologna  
luciano.forlani@unibo.it  
zani2@fci.unibo.it

## ANALISI DI ACQUE POTABILI DI ACQUEDOTTO E MINERALI PRIMA E DOPO BOLLITURA

*All'interno del progetto ministeriale "Lauree Scientifiche", la Facoltà di Chimica Industriale ha organizzato alcune esercitazioni di laboratorio, coinvolgenti varie classi di studenti di Scuole Medie di 2° grado. Nell'ambito della linea "La chimica e gli alimenti", un argomento di esercitazione ha riguardato le acque potabili e la loro durezza totale e temporanea, determinata in vario modo (residuo fisso, gradi francesi ed analisi quantitativa degli ioni calcio e magnesio) prima e dopo bollitura dell'acqua sia di acquedotto che imbottigliata.*

Il progetto ministeriale "Lauree Scientifiche" (da ora LS) su base biennale, è nato per interessare gli studenti delle Scuole Medie di 2° grado alle tematiche inerenti alle Scienze Chimiche, Fisiche e Matematiche.

Infatti, in tutta l'Unione Europea, si sta verificando una disaffezione a queste discipline, e certamente l'Italia non ne è esente. La mancanza di interesse per le scienze si traduce, oltre che in una carenza culturale in queste materie, anche in un calo delle immatricolazioni ai relativi corsi di laurea.

La Facoltà di Chimica Industriale dell'Università di Bologna ha percepito, da tempo, questo stato di carenza e, da alcuni anni, sta tentando un contatto formativo con le scuole medie di primo e secondo grado del territorio. L'ufficializzazione di queste attività, attraverso il progetto LS, è quindi stata un'iniziativa alla quale la Facoltà ha dato piena adesione.

Una delle linee del progetto LS ha coinvolto gli studenti in attività di laboratorio svolte o presso i laboratori didattici della Facoltà di Chimica Industriale, o presso i laboratori degli Istituti interessati.

Le attività sperimentali sono state inserite all'interno di tre tematiche generali, qui di seguito elencate:

- "La chimica e l'ambiente", rivolta al monitoraggio di inquinanti urbani, come benzene, idrocarburi aromatici e polveri sottili;
- "La chimica e gli alimenti" che ha impegnato gli studenti nella separazione e riconoscimento di coloranti naturali ed artificiali da alimenti di uso comune;
- "I metodi della chimica attraverso esperienze guidate di laboratorio", attiva anche presso le sedi di Faenza e di Rimini della Facoltà di Chimica Industriale.

Nell'ambito della seconda tematica si sono svolte delle esercitazioni di laboratorio, eseguite da studenti dei seguenti Istituti: Istituto di Istruzio-



ne Superiore "Crescenzi-Pacinotti", Bologna (Classi IIAi, IIAt, IIGt, IIDs, IIBs, IICs, IIBi, proff. Rita MerloPich, Carmela Notaristefano, Maria Lelli, Anna L. Rabiti e Elisabetta Golinelli); IPSIA "M. Malpighi" Sezione Odontotecnici, Bologna (Classe IVA, proff. Valeria Rapparini e Alberto Legnani); Liceo Scientifico "G. Bruno", Budrio (Bologna) (Classi IIIA, IIIB, IIIC e IIID, proff. Laura Veneri e Maria C. Ricci, Daniela De Matteis, Silvana Bolognesi).

Il coordinamento è stato seguito da Luciano Forlani e Paolo Zani della Facoltà di Chimica Industriale, Università di Bologna.

## Scopo dell'attività

Nel corso del secondo anno del progetto LS, si è voluta aggiungere, anche per segnalazione di docenti degli Istituti coinvolti che hanno un percorso didattico sul ciclo dell'acqua, un'esercitazione pratica sulle acque potabili, con particolare attenzione al loro contenuto di sali di metalli alcalino-terrosi (calcio e magnesio) e quindi alla loro durezza, totale e temporanea.

Scopo didattico principale è stato portare gli studenti a sperimentare come nella vita di tutti i giorni si faccia un uso esteso, spesso inconscio, di principi e conoscenze chimiche, il cui approfondimento può razionalizzare ed eventualmente correggere, i nostri atteggiamenti che, frequentemente, provocano un forte impatto sociale.

La sperimentazione scelta tende a rendere accessibili, sia teoricamente che praticamente, alcuni concetti riguardanti le concentrazioni delle soluzioni, le titolazioni e le differenze tra i vari cationi.

Si sono presi in esame sia campioni di acque distribuite dalla rete idrica pubblica della città di Bologna o di comuni della Provincia di Bologna, sia campioni di acque minerali reperibili in commercio, anche nel tentativo di paragonare le due tipologie di acque.

Infatti è ben noto che il consumatore italiano tende ad evitare, come bevanda, l'uso dell'acqua dell'acquedotto pubblico, preferendo le acque imbottigliate denominate "minerali". La causa del fenomeno risiede nella

sfiducia generale del cittadino verso quanto è pubblico, ritenendo più pregiato o salutare il prodotto "acqua" di origine privata [1].

Certamente, questa preferenza, che si traduce in un giro di affari di molti miliardi di euro, può avere qualche motivazione nella qualità delle acque distribuite dagli acquedotti municipali. In pratica, i motivi che spingono al consumo dell'acqua in bottiglia sono principalmente due:

- la presunta o reale forte concentrazione di sali, cioè la durezza dell'acqua pubblica, posta in relazione ad eventuali patologie (principalmente calcolosi) dell'apparato urinario;
- la presenza di odori sgradevoli dovuti alle tecnologie di potabilizzazione (odore di cloro o derivati clorurati).

La presente sperimentazione ha, quindi, anche una valenza sociale, tesa a verificare quanto di questi timori sia effettivamente dovuto a caratteristiche oggettive delle acque in esame e non, invece, a psicologie sociali, ben alimentate da pubblicità che promettono benessere e salute, a volte rasentando o finendo nell'ambito della "pubblicità ingannevole".

Alcune analisi hanno riguardato campioni di acque non potabilizzate o acque da impianti domestici muniti di sistemi di de-ionizzazione.

## Durezza delle acque e classificazione delle acque minerali

Notoriamente, la durezza di un'acqua può essere temporanea o permanente. Si può definire la durezza temporanea come la quantità di ioni alcalino-terrosi (principalmente calcio e magnesio) presenti in soluzione come sali acidi in grado di dare, in condizioni particolari, la formazione di sali neutri, meno solubili.

Il fenomeno delle incrostazioni calcaree negli apparecchi domestici può essere ricondotto, almeno in parte, alla deposizione di calcare da soluzioni di carbonato acido di calcio, come qui di seguito indicato:



L'equilibrio dell'Eq. 1 è ben noto per i fenomeni carsici che portano alla formazione degli strati di alabastro calcareo e delle stalattiti o stalagmiti, e può essere spostato a destra per semplice riscaldamento delle acque che provoca l'allontanamento della  $\text{CO}_2$ .

Per questo abbiamo voluto controllare l'effetto della bollitura, per alcuni minuti, di aliquote di campioni di acque già analizzate, ripetendo le analisi prima e dopo la bollitura, con particolare attenzione al contenuto di calcio.

L'acqua potabile è disciplinata dal DPR n. 236/1988 e dai decreti legislativi n. 31/2001 e n. 27/2002, che hanno origine dalle direttive europee, come la direttiva 203/40/CE, del 16 maggio 2003 inerente all'etichettatura delle acque minerali naturali.

La classificazione principale delle acque minerali avviene in base al cosiddetto "residuo fisso a 180 °C", cioè alla quantità di sali disciolti in un litro, pesati dopo aver fatto evaporare l'acqua e calcinando quanto resta in muffola a 180 °C [2-4].

In base al "residuo fisso", indicato in mg/l, le acque minerali si distinguono in classi, secondo il DL 105 del 1980 come riportato nella Tab. 1.

La durezza totale si esprime anche in gradi francesi (°F) e indica la quantità di calcio e magnesio presenti nell'acqua. I gradi francesi possono essere misurati mediante una semplice titolazione, aggiungendo ad un volume noto di acqua, una soluzione standard di sapone (sapone di Marsiglia) fino ad avere una schiuma persistente alta 1 cm.

In base alle normative dell'Unione Europea le acque con durezza inferiore ai 30 °F sono considerate "dolci", vale a dire con poco calcare.

Dal punto di vista dell'uso tecnico, le acque dure (°F>40) portano ad almeno due gravi inconvenienti:

- intasamento delle tubature per deposizione del carbonato di calcio;
- inibizione alla detergenza, perché il calcio sequestra i principi attivi (tensoattivi, saponi o benzensolfonati) che quindi non sono disponibili alla detergenza stessa e devono essere aggiunti in quantità superiori a quelle richieste da acque meno dure.

Dal punto di vista medicale, senza entrare nello specifico di patologie, le acque dure, ricche di calcio, sono da considerare integratori di questo elemento fondamentale alle ossa e ai denti e prevengono inoltre complicazioni cardio-vascolari riducendo l'assorbimento dei grassi [5]. La teoria che le acque dure favoriscano le calcolosi è attualmente in declino. Le acque minimamente mineralizzate, che sono consigliate nella prima infanzia nella ricostituzione del latte formulato (in polvere), perché non ne alterano il contenuto in ioni calcio, sono considerate con sospetto per gli individui adulti perché possono influire sulla riduzione del calcio nei tessuti ossei.

Comunque, le nostre valutazioni o conclusioni non riguardano eventuali esigenze di patologie o la presenza di altri ioni particolari che possono portare a valenze importanti, ma sempre da ricondurre ai controlli (consigli o prescrizioni) medici.

## Conduzione delle esperienze

Allo scopo di rendere familiare agli studenti il concetto di durezza di un'acqua sono state scelte acque destinate all'uso alimentare, e abbiamo preso in considerazione alcuni parametri che sono generalmente utilizzati per definire la tipologia di acque minerali, secondo la normativa vigente [2]. Occorre premettere che i risultati ottenuti, anche se in alcuni casi statisticamente significativi, hanno un valore indicativo, essendo stati ottenuti nell'ambito di sperimentazione didattica, quindi dovuti a operatori (gli studenti stessi) dotati di scarsa esperienza manuale e poca frequentazione di laboratori chimici. Anche il campionamento è stato affidato agli studenti. Tuttavia i dati ottenuti sono supportati anche da nostri controlli indipendenti e sono confortati dalla concordanza con le analisi dichiarate dalle aziende distributrici delle acque potabili (pubbliche e private).

**Tab. 1 - Classificazione delle acque minerali in base al "residuo fisso"**

Minimamente mineralizzate	da 0 a 50 mg/L
Oligominerali	da 50 a 500 mg/L
Medio-minerali*	da 500 a 1.500 mg/L
Minerali	oltre 1.500 mg/L

\*La dizione "medio minerali" è caduta in disuso, dopo il DL 105

Le metodiche utilizzate sono basate su quelle ufficiali semplificate, a seconda delle esigenze contingenti.

### Determinazione di pH e conducibilità

La concentrazione idrogenionica delle acque prese in considerazione è stata fatta mediante piaccametro Amel, modello 334-B con catena ad elettrodo a vetro combinato. La taratura è stata eseguita per mezzo di soluzioni tampone, nell'intorno di pH delle acque potabili (5÷8).

La conducibilità è stata determinata mediante conduttimetro Amel modello 160.

### Residuo fisso (R. F.)

Il metodo gravimetrico che è stato usato per la determinazione del residuo fisso a 180 °C è consistito nelle seguenti operazioni:

- a) determinazione del peso (tara) del recipiente (pallone con collo smerigliato o capsula) utilizzato nella determinazione;
- b) nel caso del pallone, l'allontanamento preliminare dell'acqua è stato ottenuto all'evaporatore rotante, seguito da mantenimento del campione in stufa a 180 °C (30 min.) e successivo raffreddamento in essiccatore fino a temperatura ambiente;
- c) determinazione del peso del residuo ottenuto (P);
- d) rapporto a 1l di acqua mediante la proporzione, dalla quale risulta l'Eq. 2.

$$R. F. = P \times 1000 / \text{volume (in ml) di liquido utilizzato} \quad (\text{Eq. 2})$$

### Concentrazione degli ioni Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>

La determinazione del contenuto di ioni calcio e magnesio delle acque prese in considerazione è stata condotta (previa opportuna diluizione delle acque stesse) mediante spettrometro ad assorbimento atomico con atomizzatore a fiamma Varian, modello Spectra AA 100. La strumentazione è stata costantemente controllata, per ripetuta determinazione di contenuto di ioni calcio e magnesio in soluzioni a titolo noto. I valori riportati nelle tabelle sono calcolati per mezzo di opportune curve di taratura.

### Determinazione della durezza totale in gradi francesi (°F)

Il metodo di Boutron-Boudet è stato applicato senza variazioni sostanziali, controllato con soluzioni contenenti ioni di calcio a concentrazione nota, utilizzando l'apparecchiatura classica, vale a dire la buretta tarata anche in gradi francesi ed il recipiente di scuotimento.

La titolazione è stata effettuata utilizzando soluzioni standard (Riedel-de Haën) per titolazioni di Boutron-Boudet.

La maggior parte dei dati ottenuti e riportati nelle Tab. 2-5 sono una media di più determinazioni condotte da studenti diversi. Nel caso di campioni di acque da acquedotto, portati da studenti diversi, ma prelevati nello stesso Comune, quindi supposti omogenei, il dato riportato nelle tabelle è accompagnato (in parentesi) dal numero dei campioni esaminati, ed è la media di tutti i risultati. La Tab. 4 riporta il contenuto di ioni ripreso dalle etichette di alcune acque minerali.

Tab. 2 - Analisi delle acque potabili della Provincia di Bologna. Campioni raccolti nel gennaio 2007

Comune <sup>a</sup>	pH	Cond. <sup>b</sup>	R.F. <sup>c</sup>	Ca <sup>2+</sup> d	Ca <sup>2+</sup> d,e	Mg <sup>2+</sup> d	°F <sup>f</sup>	°F <sup>f,e</sup>
Bologna(11)	7,4	0,534	310g	80	25	12	23	14
Budrio (11)	7,3	0,660	871	127	42	21	27	18
Molinella (7)	7,3	0,902	448	160	28	15	33	24
Medicina (3)	7,5	0,570	390	62	22	12	35	27
Castenaso (2)	7,5	0,633	720	95	30	18	28	20
Granarolo	7,2	0,641	-	80	20	18	-	-
Castel San Pietro	7,3	0,857	-	150	50	21	41	-
Mezzolara di Budrio	7,3	0,937	400	112	30	24	32	20
Vigorso di Budrio	6,4	0,995	500	112	40	24	30	-
Ponte Rizzoli	7,5	0,870	780	120	40	24	-	-
Imola	-	-	360	90	31	19	16	12
Pioppe di Salvaro	7,8	0,767	140	85	16	-	18	14

a) Comune di provenienza del campione; b) Conducibilità espressa in milli-Siemens; c) R.F. = residuo fisso a 180 °C in mg/l; d) In mg/l; e) Dopo bollitura per 20 minuti; f) Durezza in gradi francesi secondo il metodo di Boutron-Boudet; g) R.F. = 142 mg/l dopo bollitura per 20 minuti.

Tab. 3 - Analisi di acque di provenienza diversa da quella degli acquedotti pubblici o trattate con apparecchiature domestiche di de-ionizzazione (campioni raccolti nel febbraio 2007)

Comune <sup>a</sup>	pH	Cond. <sup>b</sup>	R.F. <sup>c</sup>	Ca <sup>2+</sup> d	Ca <sup>2+</sup> d,e	Mg <sup>2+</sup> d	°F <sup>f</sup>	°F <sup>f,e</sup>
<b>Acque non potabilizzate</b>								
Fiume Savena <sup>g</sup>	8,1	0,523	240 <sup>h</sup>	88	55	14	29	22
Forlì (pozzo privato)	7,4	0,704	410	83	12	-	23	17
Bologna (pozzo privato)	6,8	0,554	400	70	46	4	-	-
<b>Acque de-ionizzate<sup>h</sup></b>								
Baricella	7,3	0,740	135	35	-	-	7	5
Bologna	6,5	0,093	-	-	-	-	5	-
Calderino	7,3	0,246	-	42	30	-	7	-
Bologna <sup>i</sup>	-	-	200	34	-	-	14	8
Medicina	7,9	0,678	80	23	-	6	-	-

a) Comune di provenienza del campione; b) Conducibilità espressa in milli-Siemens.; c) R.F. = residuo fisso a 180 °C in mg/l; d) In mg/l; e) Dopo bollitura per 20 minuti; f) Durezza in gradi francesi secondo il metodo di Boutron-Boudet; g) Acqua raccolta direttamente dal fiume; h) R.F. = 80 dopo bollitura per 20 minuti; per un campione proveniente da Molinella si è effettuata la sola determinazione della durezza in gradi francesi (°F = 14); i) Brocca con filtro.

## Modalità didattiche

Gli studenti degli Istituti interessati sono stati coinvolti a classi intere, cioè senza alcuna selezione preliminare. Ad ogni studente sono stati assegnati alcuni presidi personali (occhiali e camici usa e getta e guanti di lattice) ed un posto di lavoro condiviso con un collega.

I campioni esaminati, raccolti per lo più dall'acquedotto del Comune di residenza, sono stati portati dagli studenti.

Le esperienze sono state condotte da ogni coppia, eventualmente alternando l'operatore, come nel caso della determinazione della durezza secondo il metodo di Boutron-Boudet.

La gestione della strumentazione dell'apparecchiatura per la determi-

nazione delle concentrazioni di Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> è stata tenuta dal personale tecnico della Facoltà di Chimica Industriale.

Alla fine delle esperienze ogni coppia di studenti ha consegnato un rapporto compilando un apposito modulo predisposto, contenente i risultati delle analisi effettuate.

I risultati sono stati oggetto di discussione ed interpretazione nelle classi degli Istituti partecipanti e l'attività è terminata con una riunione aperta a tutti, alla presenza di Luciano Agostini (responsabile Laboratori Divisione Reti Ricerca e Sviluppo, HERA SpA) nella quale alcuni studenti hanno riportato risultati salienti delle esperienze condotte ed aventi anche un risvolto sociale interessante.

Tab. 4 - Confronto qualitativo tra le acque minerali naturali del commercio e l'acqua dell'acquedotto di Hera (dati desunti dalle etichette, salvo diversamente indicato)

Denominazione e (provincia di origine)	Durezza (°F)	Residuo fisso <sup>a</sup>	Calcio (mg/l)	Mg (mg/l)	Sodio (mg/l)	Fluoruri (mg/l)	Nitrati (mg/l)	Tipo <sup>b</sup>
Limiti di legge	15-50	1500	-	-	44,5	1,5	50	-
Hera (Bologna) <sup>c</sup>	34,8	389	-	-	25,5	<0,1	7,49	-
Hera (Imola-Faenza) <sup>c</sup>	42,2	630	-	-	36	<0,2	36	-
Ferrarelle	-	1283	365	18	-	1,1	5	M
Felicia (Potenza)	-	1165	148	55,2	-	0,6	0,5	M
Gaudianello (Potenza)	-	1125	152	52	129	-	3	M
Sangemini (Trento)	-	988	325	15,2	19,6	<0,2	0,76	M
Uliveto (Pisa)	-	860	169	32,8	87	1,0	6,5	M
Lete Pratella (Cesena)	-	845	314	14,5	4,9	0,3	4,50	M
Santafiora (Arezzo)	30	585	66	33	111	-	9	M
Vitasnella (Brescia)	-	382	86	26	3	0,6	3	OM
Cerelia (Vergato-BO)	-	378	121	-	6,9	0,11	1,3	OM
Tavina (Brescia)	-	365	79	28	16	-	4,3	OM
Elisa (Macerata)	-	299	96,5	3,2	10,6	-	-	OM
Gaia (Ancona)	-	298	90	3,5	19,8	tracce	-	OM
Lieve (Perugia)	-	291	68	15	14	0,4	0,2	OM
S. Benedetto (Venezia)	-	274,8	48,2	29,4	6,9	0,06	8,2	OM
Guizza (Venezia)	-	276	50	28	7	0,06	8,5	OM
Luna (Lecco)	-	228	47,6	17,2	3,5	<0,1	9,6	OM
Rocchetta (Perugia)	-	177	57	3,5	4	0,1	1,4	OM
Santa Croce (L'Aquila)	14	170	48,1	4,6	1,2	ass	1,0	OM
Vera (Padova)	-	164	36,3	12,7	2,0	-	3,9	OM
Nerea (Macerata)	14,8	161,3	58,2	0,68	1,6	-	1,5	OM
Fonte Lieta (Reggio E.)	11,8	163	39,7	4,7	10,8	tracce	<1,0	OM
Acqua Silva (Pistoia)	-	152	31	11	5,8	-	0,3	OM
Panna S.P. (Milano)	11	144	33	6,7	6,3	<0,1	4,3	OM
S. Francesco (Como)	11,2	136	35,2	5,7	3,6	-	5,6	OM
Fiuggi (Frosinone)	7	123	18	6	7	-	2	OM
Monte Cimone (Modena)	10,9	120	33	6,5	1,9	-	2,4	OM
Roana (Macerata)	10	109,2	38,6	-	0,9	-	1,4	OM
Levissima (Sondrio)	5,8	76	20,6	1,7	1,8	0,2	1,6	OM
Norda (Lecco)	4,7	71	13	3,6	2,8	<0,1	2,8	OM
Cime Bianche (Cuneo)	3,5	50,1	11,7	1,2	1,4	0,04	-	MM
Valmora (Torino)	3,2	44,5	-	2,5	1,1	-	-	MM
Sant'Anna (Cuneo)	0,6	39,2	10,5	-	0,9	0,04	0,9	MM
S. Bernardo (Cuneo)	1,8	35,6	9,5	0,6	0,6	-	1,2	MM
Sorgente Oro (Torino)	1,3	30	-	0,9	1,7	-	-	MM

a) A 180°C mg/l; b) M: minerale; OM: oligo-minerale; MM: minimamente mineralizzata; c) Dati dal sito HERA [6].

## Discussione

Anzitutto occorre riconoscere che esistono acque che possono avere valenza sanitaria per loro contenuti particolarmente interessanti, come acque ferruginose, sulfuree, ecc.; inoltre esistono casi di cittadini affetti da patologie che richiedono l'uso di acque particolarmente ricche (o particolarmente povere) di contenuto salino. Comunque, abbiamo scelto di non entrare nella tipologia di acque eventualmente prescritte o consigliate dai medici, e quindi le considerazioni precedenti o seguenti riguardano l'uso dell'acqua da tavola riferito a cittadini adulti e sani.

Teniamo a precisare che le indagini analitiche svolte con gli Istituti interessati hanno una natura prevalentemente didattica e, di conseguenza, questa non può essere considerata una ricerca esaustiva dell'argomento, anche se rappresenta una forte e decisa indicazione su alcune specificità dell'argomento "durezza delle acque da tavola".

La prima osservazione riguarda le acque provenienti direttamente, senza alcun trattamento, dalle reti pubbliche di distribuzione nel territorio. Il residuo fisso per le acque dell'acquedotto locale, ricalca quanto dichiarato dalla Società responsabile della distribuzione, e porta ad un'ipotetica classificazione tra le acque oligo-minerali o (per l'acquedotto dei comuni di Imola e Faenza) "medio minerali" della classificazione della normativa riguardante le acque minerali, come si può vedere paragonando i dati raccolti nella Tab. 4, per alcune acque minerali del commercio.

Ne consegue che non sia giustificato pensare ad una pericolosità specifica, per le patologie delle vie urinarie, legata al contenuto di sali, che

oltre ad essere presenti come nella media delle acque minerali più diffuse, rientrano nettamente nei parametri di legge [2].

L'ebollizione dell'acqua per pochi minuti (anche solo 10 minuti) eventualmente seguita da filtrazione, riduce il contenuto di residuo fisso (principalmente degli ioni calcio) da un mezzo ad un quarto del valore di partenza e quindi porta ad acqua molto più "leggera" vale a dire a basso contenuto di sali di metalli alcalino-terrosi.

Da aggiungere che per l'acqua bollita e regolarmente imbottigliata, in frigorifero o a temperatura ambiente, "assaggiatori" occasionali non hanno avvertito alcuna caratteristica organolettica particolare o comunque negativa, come invece si può avvertire soprattutto nella stagione estiva qualora l'acqua dell'acquedotto sia lasciata a riposo per qualche ora. Presumibilmente gli additivi per la potabilizzazione e loro eventuali derivati, vengono allontanati dall'ebollizione, il che porta a qualità organolettiche migliori.

Da sottolineare, però, una potenziale pericolosità dell'acqua bollita dovuta a possibili cariche batteriche, qualora l'acqua stessa sia conservata per lungo tempo, senza refrigerazione e con scarso isolamento dall'ambiente. In altre parole è bene conservare l'acqua bollita in bottiglie chiuse, a bassa temperatura e per pochi giorni.

L'operazione di bollitura ha un costo che può essere quantificato in meno di un centesimo di euro al litro, riferito al consumo del metano necessario per l'operazione. Con l'ebollizione, mentre il contenuto di magnesio non viene alterato, la diminuzione del residuo fisso riguarda la durezza temporanea dell'acqua.

Tab. 5 - Analisi di acque minerali (ottenute dagli studenti), in ordine decrescente di residuo fisso. (Campioni raccolti nel febbraio 2007. "Dichiarato" = valori desunti dalle etichette. N.B. Il valore del pH dichiarato, di norma, è stato misurato alla sorgente)

Marca	pH	Cond. <sup>a</sup>	R.F. <sup>b</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+d</sup>	Mg <sup>2+</sup>	°F <sup>c</sup>	°F <sup>c,d</sup>
Uliveto	6,0	1,196	960	220	36	29	50	1,7
dichiarato	6,2	1,175	860	169	-	32,8	-	-
San Francesco	7,7	0,245	-	29	6	-	11	-
dichiarato	7,8	0,207	136	35	-	-	11,2	-
Recoaro (Lora)	8,0	0,251	80	35	11	7	16	9
dichiarato	8,1	0,250	158	32	-	12	16	-
Norda	7,8	-	70	23	-	3	5,5	-
dichiarato	7,6	0,105	71	13	-	3,6	4,7	-
Monte Cimone	7,8	0,221	65	30	13	3,7	10,6	7
dichiarato	7,6	0,209	120	33	-	6,5	10,9	-
Levissima	7,4	0,141	-	35	20	-	5	3
dichiarato	-	0,114	76,3	20	-	1,7	5,8	-
S. Anna	6,8	-	-	3	-	-	0,5e	0,5e
dichiarato	6,6	0,20	23	1,7	-	-	0,6	-

a) Conducibilità espressa in milli-Siemens; b) R.F. = residuo fisso a 180 °C; c) Durezza in gradi francesi secondo il metodo di Boutron-Boudet; d) Dopo bollitura; e) Valore indicativo perché al limite della rilevabilità.

Per quanto riguarda i campioni di acque provenienti da impianti domestici dotati di sistemi di de-ionizzazione riportati nella Tab. 3, senza entrare nel merito del tipo di de-ionizzatore utilizzato, queste acque hanno un contenuto di sali (come misurato dal residuo fisso e dai gradi francesi) ed in particolare di ioni calcio, decisamente basso, tanto da collocarle in un'ipotetica serie di acque "minimamente mineralizzate" che da alcuni dietologi sono considerate troppo povere di calcio, e quindi poco adatte ad una dieta normale di individui sani ed adulti.

La considerazione finale riguarda il costo molto basso per le acque di acquedotto, anche mille volte più basso di alcune acque imbottigliate (il costo dell'acqua dell'acquedotto bolognese è valutato in circa 0,0006 €/litro [6], mentre quello delle acque imbottigliate arriva fino a 0,4 €/litro). Questi costi sono principalmente dovuti al confezionamento, al trasporto e alla pubblicità, mentre la materia prima "acqua" è ottenuta con concessioni, pagate cifre irrisorie agli enti locali che, a volte, hanno oneri inerenti più alti del ricavato, vale a dire sono concessioni in perdita economica [3]. Merita ricordare che il trasporto delle acque avviene (come per tante altre merci) su gomma, contribuendo all'appesantimento del traffico veicolare (responsabile di gran parte delle emissioni gassose) delle nostre strade, con i gravi disagi alla mobilità che tutti conosciamo.

## Conclusioni

Il lavoro svolto, grazie al progetto LS, e qui riportato, ha introdotto nei curricula didattici degli studenti intervenuti alcuni concetti basilari della chimica, ed ha mostrato, con semplici sperimentazioni, come la scienza chimica sia anche un importante presidio alla sicurezza e disponibilità della nostre esigenze quotidiane basilari, come la semplice accessibilità al bene acqua; conseguentemente, si è portata un'azione di sensibilizzazione dei giovani al problema acqua, che si prevede sarà sempre più importante e urgente per tutti. A questi risultati relativi al campo didattico, sono da aggiungere quelli che si pongono come consigli che, in pratica, gli studenti coinvolti rivolgono alle loro famiglie ed anche alla cittadinanza, per esempio attraverso la divulgazione a mezzo stampa dei loro risultati [7]. Questi possono essere riassunti come segue:

- la durezza delle acque degli acquedotti municipali presi in esame si situa in una fascia di contenuto salino adatta alla nostra alimentazione, e regge egregiamente il paragone con le acque in bottiglia fortemente magnificate dalla pubblicità;



- certamente, i controlli delle acque cosiddette pubbliche hanno frequenza (superiore a quella delle acque imbottigliate, secondo le normative vigenti) tale da garantire ampiamente la salute dei cittadini;
- la bollitura delle acque, per pochi minuti, diminuisce sensibilmente il contenuto di calcare, senza portare ad eccessivo impoverimento del contenuto di ioni calcio;
- il costo delle acque municipali è contenuto e inferiore di alcuni ordini di grandezza a quello delle acque imbottigliate;
- una causa di disaffezione verso le acque municipali è il sentore di derivati del cloro, aggiunti per la potabilizzazione fino agli erogatori domestici: la bollitura leggera dell'acqua per la tavola attenua questo inconveniente ed aumenta la gradevolezza dell'acqua stessa;
- le apparecchiature domestiche di de-ionizzazione sono da utilizzare con cautela ed attenzione soprattutto perché possono portare sulle nostre tavole acqua molto povera di sali di calcio e magnesio.

Certamente il forte consumo di acque imbottigliate deriva da un fenomeno di psicologia sociale alimentato non solo dalla pubblicità, ma anche da sfiducia del cittadino verso le "cose pubbliche". Se questa sfiducia sia giustificata o meno non interessa: il dato di fatto è che esiste e che è molto difficile da ribaltare. Nel caso specifico, una soluzione potrebbe essere data dall'introduzione di un doppio circuito di distribuzione, uno per acque di pregio per uso alimentare, l'altro per uso sanitario domestico, che potrebbe portare sulle nostre tavole acqua ancora migliore e potrebbe contribuire all'impatto psicologico sull'utenza, a favore dell'acquedotto pubblico.

## Bibliografia

- [1] Altroconsumo, Acqua minerale, sai cosa paghi, 184, luglio-agosto 2003; M. De Bernardi, A. Zanasi, C. Brazzorotto, Guida delle acque minerali italiane in bottiglia, Edigroup, Roma, 1997; G. Temporelli, Le acque minerali, Ranieri Editore, Milano, 2002.
- [2] G. Temporelli. L'acqua che beviamo, Franco Muzzio, Roma, 2003.
- [3] G. Altamore, Acqua SpA, Mondadori, Milano, 2006;
- [4] G. Altamore, I predoni dell'acqua, San Paolo, Cinisello Balsamo (Milano), 2004; Ann-Christin Sjölander Holland. Il business dell'acqua, Jaca Book, Milano, 2006.

- [5] J.K. Nelson *et al.*, Dietologia. Il manuale della Mayo Clinic. Alimentazione normale e terapia dietetica per gli adulti. Centro scientifico Editore, Torino, 1998; Zanasi, Ardito, Le acque minerali: indicazioni e controindicazioni al loro consumo; Manuale di nutrizione clinica, a cura di R. Mattei, FrancoAngeli Ed., Milano, 2001; A. Boninsegna, L'acqua è una dietoterapia?, Atti del convegno "La nutrizione artificiale fra ospedale e territorio". Riva del Garda, 14-15 maggio 2004, pag. 201.
- [6] Sito Hera: <http://www.gruppohera.it/acqua>
- [7] "Il Domani" 19 aprile 2007; "Il Bologna", 14 maggio 2007.