

PERCORSO DIDATTICO SULL'EVAPORAZIONE

Anna Dallai, Monica Falleri, Carlo Fiorentini, Attilia Greppi,
Antonella Martinucci, Rossana Nencini, Elena Scubla, Sandra Taccetti

Il fenomeno più importante che si vuole concettualizzare, l'evaporazione dell'acqua, si trova alla fine del percorso perché è un fenomeno che può essere solo in parte osservato; si può infatti constatare che l'acqua diminuisce ed infine sparisce, ma non si può osservare in cosa si trasforma. La comprensione del riscaldamento e dell'ebollizione dell'acqua permette di costruire dei concetti che rendono possibile la comprensione del fenomeno dell'evaporazione. E' necessario ad un certo punto del percorso effettuare di nuovo il riscaldamento dell'acqua con un dispositivo particolare, il distillatore, per comprendere il concetto più difficile del percorso, quello di vapore acqueo, e cioè l'idea dell'esistenza dell'acqua in uno stato non visibile.

Il riscaldamento e l'ebollizione dell'acqua sono fenomeni quotidiani; sono probabilmente già stati incontrati dagli alunni nei primi anni della scuola primaria e/o nella scuola dell'infanzia; sono stati utilizzati, durante la classe terza, nel percorso sulle soluzioni, per il recupero del soluto. Ma una cosa è avere esperienza di un qualsiasi fenomeno, ed un'altra è concettualizzarlo.

Anche questo percorso costituisce una esemplificazione delle considerazioni sviluppate nell'introduzione ai piani di studio della Provincia di Trento: **“Ogni problematica scientifica importante ha bisogno di tempi e metodi adeguati per poter essere acquisita in modo significativo, per diventare competenza**, e quindi la quantità dei contenuti va strettamente raccordata al tempo disponibile. In sostanza, l'obiettivo da perseguire deve essere la **profondità e la significatività delle conoscenze”**.

In sostanza, le parole chiave del lavoro curricolare dovrebbero essere **profondità e significatività delle conoscenze**. Il sapere è significativo per lo studente se, da un lato, è

sviluppato in un contesto di apprendimento innanzitutto motivante e sa dialogare con il suo mondo e con le sue esigenze, rendendolo un soggetto attivo nella costruzione della conoscenza; dall'altro se è un sapere a lui accessibile ed esplorabile in profondità, cioè non atomico, ma connesso a molti altri fatti, conoscenze, concetti.

Il ricorso ad una metodologia costruttivista ha bisogno necessariamente di tempi distesi. Questo percorso dura a lungo, circa quattro mesi con due ore alla settimana, perché scava in profondità: vengono esplorati e concettualizzati fatti e conoscenze implicati con il fenomeno del riscaldamento dell'acqua sia in modo sostanziale che in modo non imprescindibile, ma comunque importanti per costruire reti di relazioni, per ampliare il significato.

Descrizione del riscaldamento dell'acqua

L'osservazione del fenomeno può essere fatta anche collettivamente, ponendo il fornellino al centro dell'aula e facendo disporre gli alunni intorno ad esso in modo che possano osservarlo adeguatamente. In questo modo dopo la verbalizzazione scritta individuale si favorisce una discussione tra pari, mediata dall'insegnante, il quale assume un ruolo di "regista" della situazione che, con il compito di focalizzare i problemi e di sottolineare osservazioni fatte da singoli alunni ma rilevanti per tutti, può diventare una risorsa significativa in funzione della rielaborazione scritta individuale che ciascun alunno dovrà fare. "Il pensiero e il ragionamento individuale si costruiscono attraverso pratiche sociali del discorso: i processi interattivi che sono condotti pubblicamente nello scambio con altri individui sono la base per qualsiasi competenza che possa venire interiorizzata e riattivata in altri contesti di discorso e di ragionamento". (Pontecorvo, Ajello, Zucchermaglio, *Discutendo s'impara*, NIS, Roma, 1991).

1. Collochiamo sopra una piastra elettrica un becher da 400 cc, contenente circa 100 cc di acqua distillata e chiediamo agli alunni di osservare attentamente quello che succede durante il riscaldamento.
2. Facciamo agli alunni la seguente richiesta: “Descrivete quello che succede all’acqua nel becher durante il riscaldamento”. Abbiamo indicato due fasi distinte dell’osservazione del fenomeno per permettere prima di avere una visione globale e, ripetendo l’esperimento, una rappresentazione analitica con la descrizione scritta individuale. In alternativa, potrebbe essere effettuato un unico esperimento, dando agli alunni subito l’indicazione delle descrizione individuale.

La descrizione di questo fenomeno può sembrare una richiesta banale. La descrizione è indubbiamente alla portata di tutti gli alunni, ma si presenta impegnativa perché sono vari gli aspetti, essenziali o contingenti, da osservare e da collocare nella successione spaziale e temporale. Un aspetto che colpisce molto gli alunni ad esempio è il fenomeno della condensa che si verifica sulle pareti del becher. Potrà essere interessante dopo aver ricavato una descrizione condivisa stimolare una discussione con gli alunni sulla essenzialità o accidentalità di questo aspetto. Tuttavia ciò che rende impegnativa l’attività di descrizione è che gli alunni nonostante abbiano già negli anni precedenti effettuato attività di questo tipo, non hanno ancora acquisito una competenza adeguata nel sapere descrivere. Ciò dipende innanzitutto dalla tendenza a mescolare e confondere aspetti percettivi ed ipotesi interpretative, quali ad esempio parlare sia di bolle che di bolle fatte di aria. In secondo luogo quando si deve descrivere un fenomeno nuovo, ci si trova sempre di fronte ad un mondo sconosciuto di cui occorre scoprire gli aspetti significativi.

La descrizione condivisa la si costruirà liberando gli aspetti percettivi da quelli interpretativi. Tutto il percorso avrà poi la finalità di costruire le interpretazioni possibili

con una impostazione fenomenologica. Se si volesse invece affrontare aspetti descrittivi ed esplicativi contemporaneamente in questa fase iniziale del percorso, il risultato sarebbe l'equivalente di una pagina di manuale, la risposta giusta ad ogni problema da parte dell'insegnante, senza il coinvolgimento degli alunni nel processo problematico di costruzione della conoscenza, nel ricavare relazioni e connessioni tra i vari aspetti del fenomeno indagato in profondità.

3. Facciamo leggere alcune descrizioni e discutere collettivamente su eventuali aggiunte o correzioni che si potrebbero fare e quindi chiediamo agli alunni: “Dopo la discussione con i compagni, vuoi aggiungere o modificare qualcosa alla tua descrizione?”

4. Dopo che gli alunni hanno raggiunto una descrizione adeguata del riscaldamento dell'acqua è possibile concettualizzare l' “ebollizione dell'acqua”.

Gli alunni conoscono già la parola EBOLLIZIONE? Riconoscono il fenomeno dell'EBOLLIZIONE?

Nel caso, più probabile, che nessun alunno utilizzi questo termine, chiediamo loro se vi è qualche fase del riscaldamento dell'acqua molto diversa dalle altre.

5. Se dalla discussione non emergesse nulla di significativo, ripetiamo l'esperimento del riscaldamento dell'acqua facendo in modo che essa, pur diventando calda, non arrivi mai all'ebollizione.

Chiediamo, quindi, agli alunni: “Osservando questa esperienza e confrontandola con quella precedente, scrivete quali differenze notate”.

E' necessario che l'insegnante ponga particolare attenzione alle consegne che dà agli alunni:

- devono essere formulate in maniera semplice e precisa in modo che essi abbiano chiaro il significato della richiesta;

- devono essere in funzione della costruzione di significati e concetti e servono come strumento per guidare e indirizzare correttamente l'osservazione.

“L'osservazione non consiste in una registrazione passiva di un fenomeno ... Si tratta invece di un processo attivo col quale l'osservatore controlla le proprie percezioni confrontandole con le proprie aspettative ... Finché le osservazioni non servono a rispondere ad una domanda posta con chiarezza è possibile che i ragazzi non registrino accuratamente quel che vedono”. (Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Angeli, Milano, 1987).

6. Dopo che un fenomeno è stato identificato diventa necessario indicarne il nome.

Chiediamo, infine, agli alunni: “Definite l'ebollizione dell'acqua”.

Anche in questo caso diventa necessario, se non lo si è fatto precedentemente, chiarire il significato della parola DEFINIZIONE o DEFINIRE in modo che sia chiaro per gli alunni che si sta chiedendo loro di indicare quelle che sono le caratteristiche distintive di un fenomeno o di un oggetto, quelle che permettono cioè di riconoscerlo con precisione e sicurezza anche in altri contesti.

E' una attività che gli alunni hanno fatto costantemente fin dal primo ciclo, quando si lavorava sulle parole proprietà ma è opportuno ripetere esperienze analoghe facendo ricorso ad esempi di DEFINIZIONE in contesti familiari, mettendo in evidenza che le caratteristiche indicate devono permettere di stabilire con precisione se un certo oggetto o fenomeno può essere o non essere “classificato” in un determinato modo.

Gli alunni sono, adesso, nelle condizioni di produrre qualcosa di simile a questa prima definizione: *l'ebollizione dell'acqua è quel fenomeno che si verifica ad un certo punto del riscaldamento dell'acqua e che è caratterizzato dalla contemporanea presenza dei seguenti aspetti:*

1. *formazione di una grande quantità di bolle all'interno dell'acqua;*
2. *emissione di “fumo”¹ dalla superficie dell'acqua*
3. *agitazione violenta della superficie dell'acqua*
4. *diminuzione dell'acqua*

Questa definizione potrà essere assunta come collettiva, partendo chiaramente dal confronto delle definizioni individuali prodotte dai singoli alunni.

Questo primo concetto di “ebollizione dell'acqua” ha evidentemente un carattere soltanto descrittivo; esso, tuttavia, costituisce la base percettiva ed operativa indispensabile per lo sviluppo successivo del concetto, ne rappresenta, cioè, l'ancoraggio referenziale fondamentale.

Per sottolineare l'importanza di alcune considerazioni e/o per favorire gli alunni nel percorso di rilettura delle esperienze è utile che l'insegnante fornisca, dopo che tutti gli alunni hanno realizzato la concettualizzazione, delle schede da lui elaborate che puntualizzino e chiariscano le fasi più importanti del lavoro. Il quaderno costituisce uno strumento insostituibile come diario dell'esperienza ma, per certi alunni, può essere difficile ripercorrerlo tutto per individuare le fasi più salienti: le schede riassuntive dell'insegnante, espresse con un linguaggio chiaro, realizzate con una grafica semplice e ordinata, possono costituire un valido ausilio in questo senso. La **quinta fase**, se è presente la quarta fase, può anche essere realizzata dall'insegnante, prendendo le migliori produzioni degli alunni. È opportuno che nel quaderno vi siano delle produzioni corrette anche dal punto di vista sintattico e ortografico, necessarie anche per lo studio individuale. Siamo convinti, grazie alle innumerevoli sperimentazioni condotte da moltissimi insegnanti, che, lavorando in questo modo, tutti gli alunni arrivino a comprendere i concetti di base, e a sviluppare a un livello accettabile le competenze

¹ Se gli alunni avessero indicato ciò che viene emesso dall'acqua in ebollizione in altri modi, quali vapore, vapore acqueo, ecc., utilizziamo queste formulazioni. Se fossero varie, mettiamole tutte (ovviamente tra parentesi). Sia fumo, che vapore e vapore acqueo sono termini non corretti, quello corretto è nebbia. Ma in questa fase iniziale li prendiamo

dell'ambito scientifico, con produzioni, tuttavia, diversificate, dal punto di vista del linguaggio. Il quaderno, in quanto strumento fondamentale che accompagna costantemente l'attività di osservazione e concettualizzazione, acquisisce così uno specifico valore, sia mantenendo delle tracce del processo conoscitivo di ciascun alunno, sia diventando il deposito delle produzioni corrette condivise.

Che cos'è il "fumo"?

Diventa ora necessario iniziare a fornire delle risposte agli interrogativi che gli alunni hanno probabilmente avanzato in relazione a ciascuno dei quattro aspetti caratteristici dell'ebollizione e che hanno bisogno di approfondimenti e chiarificazioni.

E' necessario innanzitutto chiarire la natura del "fumo". Comanderemo alla fine delle attività con il distillatore che il termine corretto è nebbia; il fumo, che si ricava da un fenomeno completamente diverso, la combustione, è costituito infatti di sostanze molto diverse tra cui anche particelle solide. Con gli alunni si può, tuttavia, continuare ad utilizzare, in questa prima fase, il termine di uso comune, o termini simili da loro impiegati.

Predisponiamo il lavoro per l'osservazione di alcuni esperimenti che prevedono l'utilizzo del distillatore, che viene **presentato agli alunni come uno strumento utile per comprendere meglio che cosa succede durante l'ebollizione dell'acqua.**

Il distillatore è uno strumento complesso che necessita di essere analizzato con attenzione prima di essere utilizzato: facciamo innanzitutto disegnare lo strumento agli alunni. E' importante che tutti acquisiscano consapevolezza dei percorsi diversi delle acque che vengono messe in circolo: l'acqua dell'ampolla che si riscalda e che alla fine si raccoglie nel becher, "passando" attraverso il tubo interno, e l'acqua fredda che

come ipotesi degli alunni che poi verranno verificate. Quindi successivamente questa definizione andrà modificata sostituendo "fumo" o varianti con nebbia.

da una tanica viene fatta circolare, controcorrente, nel tubo che circonda il tubo interno e alla fine viene raccolta in un secchio. E' importante accertarsi che tutti gli alunni comprendano che le due acque non possono mescolarsi perché i percorsi sono separati e non ci sono tra loro vie di comunicazione.

7. E' sicuramente necessario, come prima operazione, affinché tutti gli alunni acquisiscano le consapevolezze precedentemente indicate, fare passare soltanto l'acqua di raffreddamento.

8. Dopo aver preparato il distillatore, iniziamo il riscaldamento dell'acqua, per mezzo di una piastra elettrica, mettendo 30-40 cc di acqua distillata nell'ampolla.

Chiediamo agli alunni, mentre osservano: "Che cosa è possibile comprendere con questo esperimento se lo confrontiamo con quello iniziale, quando l'acqua veniva riscaldata nel becher? Quali trasformazioni sono avvenute? Che cosa è successo all'acqua?"

Chiediamo agli alunni di rispondere individualmente nel quaderno e socializziamo le risposte.

Se è necessario, invitiamo gli alunni a rileggere nel loro quaderno la prima descrizione del riscaldamento e dell'ebollizione dell'acqua.

9. Probabilmente, è necessario ripetere la domanda precedente, chiedendo sempre agli alunni di rispondere individualmente, dopo aver tolto il tappo nel distillatore.

L'esperienza è di nuovo quella dell'ebollizione dell'acqua; essa è, tuttavia, effettuata con un dispositivo, diverso dal becher iniziale, che permette più facilmente la comprensione di ciò che avviene: gli alunni possono infatti constatare che tutta l'acqua dell'ampolla si trasforma in qualcosa che non si vede; che, a sua volta, si ritrasforma, nel refrigerante di nuovo in acqua, la quale va a finire nel becher. L'osservazione dell'esperimento dopo aver tolto il tappo può essere indispensabile per far sì che tutti

acquisiscano la consapevolezza precedente, superando una visione di tipo magico. Quando si toglie il tappo ci si riporta al primo esperimento in cui si vede il “fumo”; appena si ritappa, non si vede nulla.

9.1 Questa fase del percorso è quella più impegnativa. Molti anni di sperimentazione ci hanno fatto comprendere che ci troviamo di fronte ad un grande ostacolo epistemologico per alunni di 10-11 anni. Soltanto alcuni di essi sono in grado di dare risposte adeguate nella fase di verbalizzazione individuale; è il confronto che permette agli altri di intuire, ma rimane il dubbio di una comprensione limitata per molti. Abbiamo pensato che la comprensione avrebbe potuto essere facilitata cambiando la domanda da fare agli alunni. Indicando sempre come termine di confronto il primo esperimento, quello del riscaldamento dell’acqua nel becher, nell’arco di vari anni siamo passati dalla richiesta della *descrizione dell’esperimento* di distillazione alla *individuazione di differenze e somiglianze*. Abbiamo infine alcuni anni fa introdotto la domanda attuale, quella riportata a riga 3-5 del punto 8, perché le due richieste precedenti risultavano per la maggior parte degli alunni troppo complesse. Gli aspetti, sostanziali o accidentali, da potere osservare sono talmente tanti che impedivano alla maggior parte degli alunni di passare dalla fase analitica alla fase sintetica. La formulazione attuale avrebbe dovuto spostare l’attenzione degli alunni dalla ricognizione dettagliata dei particolari da osservare alla capacità di estrarre quelli che permettono di comprendere il concetto più difficile del fenomeno della distillazione, quello di vapore acqueo. Il passaggio dalla prima alla terza formulazione della domanda ha migliorato la comprensione da parte degli alunni, ma in modo non ancora soddisfacente. Durante la distillazione si osservano tanti aspetti, tra cui quello della formazione di goccioline nel tubo di condensazione che vanno a cadere nel becher di raccolta. Il vapore acqueo però non si osserva perché è invisibile, può essere soltanto ipotizzato dal confronto con ciò che avviene nel distillatore con l’esperimento iniziale, può essere, cioè, visto con gli *occhi della mente*. Sulla base di sperimentazioni effettuate recentemente, pensiamo che la comprensione possa

essere facilitata per gli alunni effettuando prima la distillazione secondo la modalità indicata al punto 9 e poi al punto 8. Ma probabilmente esistono altre soluzioni ancora più efficaci, che soltanto la ricerca e la sperimentazione didattica saranno in grado di scoprire.

9. 2 Se procediamo come appena indicato, effettuando la distillazione, prima, senza tappo, chiediamo agli alunni, di rispondere individualmente per iscritto, mentre osservano, alla seguente domanda: “Che cosa è possibile comprendere con questo esperimento se lo confrontiamo con quello iniziale, quando l’acqua veniva riscaldata nel becher?” Si dovrebbe dal confronto delle loro risposte arrivare a condividere che l’ebollizione dell’acqua avviene nello stesso modo, ed è, cioè, anche con il distillatore caratterizzata dai quattro aspetti evidenziati nell’esperimento iniziale con il becher, tra cui il “fumo” biancastro.

Poi si mette il tappo e si chiede agli alunni che cosa sono in grado ora di constatare e di capire.

Dopo poco che si è messo il tappo, mentre l’acqua continua a bollire, non è più visibile nulla dentro l’ampolla ma nel tubo di condensazione si formano delle goccioline di acqua. Dovrebbe essere più semplice ipotizzare che, benché non si veda più nulla dentro l’ampolla, qualcosa di non visibile continui ad uscire dall’acqua poiché nel refrigerante si formano delle goccioline. Ed infine poiché queste sono gocce di acqua è possibile concludere che ciò che si ottiene dall’ebollizione dell’acqua nel distillatore è acqua in uno stato diverso dall’acqua liquida, è acqua non visibile. L’acqua in questo stato è stata chiamata *vapore acqueo*.

9. 3 Proponiamo, infine, un altro modo di procedere. Come nel caso precedente, effettuiamo la distillazione prima senza tappo e poi con il tappo, facendo la seguente domanda, sia prima che poi: “la definizione di ebollizione che abbiamo ricavato nel primo esperimento, quello del riscaldamento dell’acqua, va ancora bene o va modificata?”. Probabilmente la comprensione da parte di tutti gli alunni potrebbe essere facilitata perché in questo modo la loro attenzione dovrebbe essere concentrata sugli aspetti importanti da indagare. Dovrebbe essere più facile comprendere che

quando la distillazione avviene senza tappo, la definizione di ebollizione non va modificata; invece quando essa avviene con il tappo il “fumo” non è più visibile.

10. In conclusione, la concettualizzazione che tutti gli alunni devono costruire è: durante l’ebollizione, l’acqua si trasforma in “acqua che non si vede” che, a sua volta, quando viene raffreddata, si ritrasforma in acqua liquida.

Soltanto a questo punto ha significato introdurre il termine **vapore acqueo** (o acqua vapore) per indicare "l’acqua che non si vede".

Compreso il concetto è fondamentale introdurre il termine che permette di conservarlo, chiarendo il diverso significato che esso può avere in un contesto non formalizzato, come quello della realtà quotidiana. Le conoscenze di senso comune spesso favoriscono, infatti, il radicarsi di misconcetti e impediscono una reale e piena comprensione dei concetti scientifici.

Probabilmente il termine “vapore” era stato proposto da alcuni alunni fin dall’inizio di questa attività in alternativa al termine “fumo”. Vi è, tuttavia, una profonda differenza tra esso e il termine “vapore acqueo”: vapore è, infatti, un termine generico (vedi punto 26) e non specifico (tutti i liquidi per ebollizione danno vapori), che è utilizzato nella vita quotidiana, come sinonimo di vapore acqueo, ed in questa accezione, quando vi è mancanza di consapevolezza in chi lo usa, esso nasconde il significato del “fumo”.

Si possono a questo punto introdurre i termini condensazione ed ebollizione, fornendo una scheda del tipo:



CONDENSAZIONE

Aggiungiamo la seguente precisazione: la trasformazione del vapore acqueo in acqua per raffreddamento prende il nome di **CONDENSAZIONE**.

- 11.** Facciamo agli alunni la seguente richiesta scritta individuale: “Si è compreso che il vapore acqueo non è visibile. E, allora, il “fumo” che esce dall’acqua in ebollizione (quando si toglie il tappo del distillatore o si fa bollire l’acqua in un becher), che cos’è”? Dopo la verbalizzazione scritta individuale ed il confronto si dovrebbe arrivare a queste conclusioni: l’aria che si trova sopra il becher è fredda ed è quindi in grado di condensare in parte il vapore acqueo che esce dall’acqua. Si capisce così che il “fumo” è una miscelazione di vapore acqueo e di goccioline piccolissime di acqua.

In conclusione si comprende che anche il termine “fumo” utilizzato da molti alunni nel primo esperimento non è corretto, perché ciò che si ottiene dall’ebollizione dell’acqua in spazi aperti è una miscelazione di vapore acqueo (non visibile) e di goccioline d’acqua. A questo punto possiamo introdurre il termine corretto, cioè *nebbia*².

L’acqua distillata e l’acqua di rubinetto

La distillazione dell’acqua, che è stata effettuata per concettualizzare il vapore acqueo, permette anche di raggiungere un secondo obiettivo, comprendere, cioè, che cos’è l’acqua distillata, sostanza che è stata utilizzata più volte nelle attività precedenti.

- 12.** Ripetiamo l’esperimento dell’ebollizione dell’acqua, versando in un becher alcuni cc di **acqua di rubinetto** tenendola sul fornellino fino a che non si è consumata tutta. Quindi facciamo agli

² Come avevamo indicato nella nota 1, è ora necessario modificare la definizione dell’ebollizione sostituendo “fumo” o varianti con nebbia. Si può procedere riproponendo agli alunni la definizione e chiedendo loro se va sempre bene o se qualcosa va cambiato.

alunni la seguente richiesta: “Osservate e confrontate questa esperienza con quella dell’ebollizione dell’acqua distillata. Quali differenze notate?”

E’ facile in questo caso comprendere che la differenza molto evidente è la presenza di un residuo, di una patina biancastra.

Chiediamo agli alunni spiegazioni circa la natura di quella patina; per loro dovrebbe essere facile cogliere la connessione con la problematica delle soluzioni.

Gli alunni sono ora in grado di comprendere le differenze tra i vari tipi di acqua. Sono in grado di comprendere che se l’acqua distillata non contiene più sostanze solide, l’acqua usuale (di rubinetto, di fiume, ecc.) che **appare come un’unica sostanza, è in realtà una soluzione**. Si può ulteriormente indagare su tale comprensione e, facendo riferimento alle loro esperienze, chiediamo:

- “Perché nei ferri da stiro è consigliato l’uso dell’acqua distillata?”
- “Perché le pentole, a volte, appaiono sporche, di un colore biancastro?”
- “Secondo voi che cos’è l’acqua bidistillata che si usa per le fiale di medicinali?”

Le acque minerali

- 13.** Il sapore dell’acqua dipende dalla quantità e dal tipo di sostanze solide (sali) disciolte in essa e ciò può essere constatato mettendo a confronto alcuni tipi di acque minerali. Scegliamo, ad esempio, tre tipi di acqua minerale con contenuto salino molto diverso; il confronto viene fatto sulla base del valore del residuo fisso a 180°. Si constata così che ci sono grandi differenze nella quantità di sali disciolti: vi sono acque minerali che ne contengono più di 1 g/l, ve ne sono altre che contengono meno di 0,05 g/l.

Facciamo assaggiare le acque agli alunni e facciamo registrare le differenze. Il sapore dell’acqua distillata non è invece gradevole. L’acqua **pura** dal punto di vista chimico (cioè l’acqua distillata) non è gradevole, mentre lo è l’acqua che contiene altre sostanze (chimicamente non

pura, ma pura nel significato usuale del termine, cioè che si può bere, che non contiene sostanze nocive).

- 14.** Versiamo circa 20 cc di ciascuna delle tre acque minerali in becher diversi, collochiamoli sulla piastra fino a completa evaporazione, e chiediamo agli alunni: “Quali differenze notate nella “patina” lasciata dai tre diversi tipi di acqua minerale?”

Fotocopiamo le etichette delle bottiglie e distribuiamole per confrontarle e mettere in relazione la quantità di patina lasciata da ciascuna con il relativo valore del residuo fisso³ a 180°.

³ Il **residuo fisso** è un parametro utilizzato per classificare le acque minerali e le acque potabili in generale. Solitamente espresso in mg/l, indica la quantità di sostanza solida perfettamente secca che rimane dopo aver fatto evaporare in una capsula di platino, previamente tarata, una quantità nota di acqua precedentemente filtrata. Per determinare correttamente il residuo fisso, dopo l'evaporazione si riscalda la capsula a 100 °C fino a peso costante e poi si riscalda di nuovo a 180 °C nuovamente fino a peso costante (eliminando così i sali di ammonio più volatili ed alcune sostanze organiche). Si può poi riscaldarla ulteriormente a 500 °C distruggendo tutti i sali di ammonio, le sostanze organiche ed i nitrati. Il risultato si esprime in ppm (parti per milione) oppure in mg/l, specificando sempre a quale temperatura ci si riferisce (*residuo fisso a 180 °C* o *residuo fisso a 500 °C*).

Per la legge italiana le acque minerali commerciabili possono essere divise in varie categorie secondo quanto indicato da un decreto legislativo del 1992.

- 1) Acqua minimamente mineralizzata: residuo fisso a 180 gradi < 50 mg/l. (Bernina, Calizzano, Lurisia, Norda Daggio, Plose, Surgiva, Vigizzo).
- 2) Acqua oligominerale o leggermente mineralizzata: residuo fisso a 180 gradi 50-500 mg/l. (Crodo Lisiel, Fabia, Fiuggi, Guizza, Levissima, Lora di Recoaro, Panna, Pejo, Rocchetta, Sant'Antonio, San Benedetto, San Bernardo, Vera).
- 3) Acqua mediominerale: residuo fisso a 180 gradi 501-1500 mg/l. (Boario, Bracca, Claudia, Ferrarelle, Gaudianello, Lete, Sangemini, San Pellegrino, Uliveto).
- 4) Acqua ricca di sali minerali: residuo fisso a 180 gradi > 1,500 mg/l. (Regina Telese, Tettuccio, Toka).

Le bolle

- 15.** Dopo che gli alunni hanno compreso che cos'è il vapore acqueo, è opportuno indagare sulla natura delle bolle che si formano durante l'ebollizione.

Ripetiamo l'esperienza dell'ebollizione di una piccola quantità di acqua, e, mentre gli alunni la osservano, chiediamo di rispondere individualmente per iscritto alla seguente domanda: "Osservate attentamente le bolle che si formano nell'acqua, che cosa sono? Motivate la vostra risposta".

Molti alunni tendono a rispondere che le bolle sono fatte di aria (è, infatti, esperienza quotidiana la formazione di bolle dovute all'aria). D'altra parte, è stato riscontrato che anche nelle risposte di studenti universitari di lauree scientifiche permangono risposte quali: le bolle sono dovute all'aria o, addirittura, alla formazione di idrogeno ed ossigeno.

Ci troviamo indubbiamente di fronte ad un **ostacolo epistemologico** dovuto sia alla difficoltà del concetto che alla evidenza persistente del senso comune. Alcune insegnanti della scuola primaria, che pur hanno sperimentato in modo significativo questo percorso, sono arrivate a dubitare della possibilità di concettualizzare le bolle nella scuola primaria da parte di molti alunni. Noi ipotizziamo che sia possibile alla condizione di individuare la sequenza di domande più adeguata sul piano psicologico. Il motivo per cui in questo percorso si è proposto di concettualizzare prima il vapore acqueo, e solo ora le bolle, risiede nel fatto che le bolle possono essere concettualizzate soltanto se gli alunni hanno compreso quali trasformazioni subisce l'acqua nel distillatore.

- 16.** Registriamo le ipotesi degli alunni, riportiamole tutte in una tabella, dopo averle raggruppate nelle principali tipologie di risposta, e stimoliamo una discussione collettiva. E' probabile che gli alunni diano risposte molto differenziate. Occorre procedere per gradi. Innanzitutto essi

devono diventare consapevoli che *l'ipotesi dell'aria va scartata perché di aria nell'acqua ce ne è una quantità limitata*. Le considerazioni potrebbero essere di questo tipo: inizialmente le bolle sono, in effetti, dovute alla presenza dell'aria contenuta nell'acqua, che è quella che permette, come sanno tutti, ai pesci di respirare, ma che essa è troppo poca per giustificare la presenza di una così grande quantità di bolle; infatti l'acqua per i pesci deve essere cambiata o negli acquari esistono strumenti che rinnovano l'aria in continuazione.

Le difficoltà maggiori si avranno nella fase propositiva. Nel caso più sfortunato, ma improbabile, in cui nessun alunno avesse richiamato ciò che si è capito con la distillazione, l'insegnante dovrebbe chiedere: "Quando abbiamo distillato l'acqua, quali trasformazioni ha subito l'acqua?"

Nell'esperienza con il distillatore si è compreso che tutta l'acqua si trasforma in vapore acqueo, cioè, acqua che ha assunto uno stato diverso, e che tutto il vapore acqueo si ritrasforma in acqua; è quindi impossibile che l'acqua si trasformi in aria. Tranne all'inizio, le bolle che si formano sono vapore acqueo che sta uscendo dall'acqua liquida.

Riportiamo nella tabella sottostante una parte della discussione sulle bolle avvenuta in una quarta classe a Barberino di Mugello nell'anno scolastico 2014-2015.

DISCUTIAMONE

1. Io sono d'accordo con chi dice che le bolle sono formate di vapore acqueo perché durante l'ebollizione si forma vapore acqueo, che esce dal becher sotto forma di nebbia, proprio per questo l'acqua diminuisce.
2. E' vero, le bolle hanno una specie di pelle acquosa, ma dentro c'è vapore acqueo, infatti le bolle sono trasparenti. Il vapore acqueo non si vede, proprio come l'aria, ma è il vapore acqueo che si forma durante l'ebollizione, non l'aria...
3. Le bolle allora sono formate da vapore acqueo all'interno e pellicola d'acqua all'esterno. Il vapore acqueo esce proprio da quelle bolle che scoppiano e lo fanno uscire, ma tutto parte dal calore della piastra
4. Le bolle non si formano "A FREDDO".
5. Si possono formare anche a freddo, come quando SOFFIAMO nell'acqua per fare le bolle di sapone, ma quelle bolle sono fatte dell'aria che noi soffiamo: SONO ALTRE BOLLE
6. Le bolle dell'ebollizione si formano grazie al calore della piastra che riscalda l'acqua del becher così tanto da farla bollire con le bolle.
7. Io sono d'accordo con chi dice che le bolle dell'ebollizione contengono

vapore acqueo e non aria perché solo se contengono vapore acqueo che esce e si disperde nell'aria io riesco a spiegarmi perché l'acqua del becher diminuisce ... perché mentre si trasforma in vapore acqueo, l'acqua liquida deve diminuire.

Scriviamo insieme quello che abbiamo capito:

Le bolle che si formano durante l'ebollizione dell'acqua sono fatte di una pellicola acquosa che contiene vapore acqueo. Quando la Bolla scoppia il vapore acqueo si libera nell'aria. A CONTATTO CON l'aria si condensa parzialmente e si fa vedere sotto forma di nebbia. Tutto questo accade quando l'acqua viene riscaldata: E' il calore della piastra che crea questo fenomeno.

L'acqua bolle a 100°C

E', probabilmente, conoscenza di senso comune che l'acqua bolle a 100°, ma molti non conoscono il significato di questa affermazione. A scuola essa viene generalmente presentata in modo inadeguato psicologicamente: in alcuni casi viene semplicemente enunciata, in altri l'affermazione è accompagnata da un grafico indicante la relazione esistente tra calore (o tempo di riscaldamento dell'acqua) e temperatura. Ma, anche nel secondo caso l'operazione è illusoria, in quanto lo studente della scuola di base non ha ancora la capacità di risalire da una rappresentazione così astratta alla realtà. Il cammino che va percorso è quello opposto. Se lo studente non avrà, in molte occasioni, negli ambiti fenomenologici più disparati, affrontato **il passaggio dal concreto all'astratto**, dal fenomeno alla rappresentazione in diagrammi, si troverà, anche nella scuola secondaria superiore nell'impossibilità di effettuare il percorso inverso.

17. Effettuiamo di nuovo il riscaldamento dell'acqua, ma ora la consegna non è quella dell'osservazione diretta del fenomeno, bensì quella della registrazione della temperatura dell'acqua in relazione al tempo di riscaldamento.

Occorre ripetere l'esperimento; tuttavia ciò non è sufficiente: a volte gli esperimenti possono essere effettuati con modalità diverse, tali da renderli ora ciechi, ora intelligenti (Wertheimer, *Il Pensiero produttivo*, Giunti, Firenze, 1965).

E' cieca la modalità più ovvia di effettuazione di questo esperimento, consistente nella diretta registrazione del tempo e della temperatura. Indubbiamente essa permetterebbe di constatare il significato dell'affermazione "l'acqua bolle a 100°C", ma lo farebbe in modo cieco in quanto questa caratteristica apparirebbe come un fatto ovvio.

- 18.** Prima di effettuare l'esperimento è necessario verificare quale consapevolezza hanno gli alunni degli effetti del calore sugli oggetti.

E' conoscenza di senso comune l'idea che quanto più si riscaldi un corpo, tanto più questo diventi caldo. Questo principio è nel senso comune relativizzato, perché vi sono corpi che ad un certo punto bruciano, vi sono corpi che conducono bene il calore ed altri no, ecc.

Chiediamo agli alunni di riportare in una tabella gli effetti del calore su un cucchiaino di metallo (esperienza effettuata l'anno precedente) con il passare del tempo:

"Cosa succede se metto su un fornellino acceso un cucchiaino di metallo?"

	DOPO 30 SECONDI	DOPO UN MINUTO	DOPO 5 MINUTI
SUCCEDE CHE			

Socializziamo le risposte.

- 19.** A questo punto si può iniziare l'esperimento di riscaldamento dell'acqua, dando l'indicazione agli alunni di registrare, ad esempio, ogni trenta secondi la temperatura dell'acqua in una tabella con due colonne, una per il tempo di riscaldamento e l'altra per la temperatura.

TEMPO	TEMPERATURA
Dopo 30 secondi	
Dopo 1 minuto	
Dopo 1 minuto e mezzo	
Dopo 2 minuti	
Dopo 2 minuti e mezzo	
Dopo 3 minuti	

Il dispositivo sperimentale è costituito dalla piastra elettrica, da un becher da 400 cc contenente circa 100 cc di acqua distillata e da un termometro che abbia una scala che arrivi oltre i 100°C. Il termometro va usato anche come agitatore, tenendolo sempre immerso nell'acqua ma non appoggiato sul fondo del becher.

Se gli alunni non hanno mai visto un termometro uguale è necessario farglielo osservare attentamente ed eventualmente effettuare un disegno dello strumento.

- 20.** Dopo un po' di tempo, quando la temperatura è sui 40-50°C, interrompiamo il riscaldamento e diamo la seguente consegna individuale: "Provate ad ipotizzare che cosa succederà alla temperatura dell'acqua lasciandola sul fornellino per molto tempo, 10 minuti o più".

Generalmente la maggior parte degli alunni non è in grado ovviamente di prevedere che la temperatura a 100°C rimarrà costante per tutto il tempo dell'ebollizione dell'acqua; molti ipotizzeranno che continuerà a salire fino alla rottura del termometro.

21. Riprendiamo il riscaldamento dell'acqua e la registrazione della temperatura. L'acqua continuerà ad essere riscaldata anche all'ebollizione per 4-5 minuti.

Chiediamo agli alunni: "Scrivete le vostre impressioni su questa esperienza".

I bambini constateranno la costanza della temperatura di ebollizione dell'acqua, ma lo faranno provando stupore (alcuni penseranno che il termometro non funzioni), meraviglia per qualcosa che sembra strano e illogico. Soltanto in questo modo un **fatto cieco può diventare un problema**: perché, all'ebollizione, la temperatura non continua a salire, perché l'acqua non diventa più calda, nonostante si continui a fornire calore?

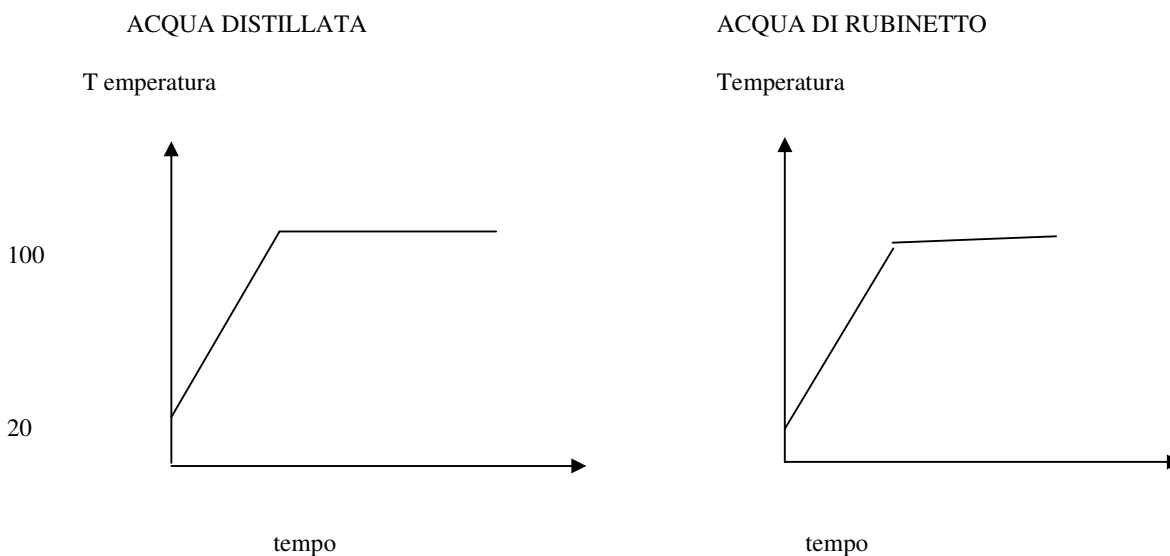
La stessa meraviglia fu provata dagli scienziati settecenteschi che osservarono, dopo l'invenzione del termometro, questo strano fenomeno: risultò loro così assurdo che coniarono un termine che è poi rimasto, seppure con un'accezione completamente diversa: calore latente di ebollizione. Mentre per loro significava calore che si nascondeva, perché non manifestava effetti, non faceva aumentare la temperatura; dopo che si capì che il calore all'ebollizione viene completamente utilizzato per rompere i legami tra le molecole nel passaggio da acqua liquida ad acqua vapore; quel termine venne impiegato (e viene ancora oggi) per indicare il calore necessario per far bollire una precisa quantità di acqua.

22. Si può ripetere l'esperienza (non è più necessario interrompere il riscaldamento), usando, questa volta, acqua di rubinetto. Questa esperienza può essere saltata se il percorso finora sviluppato ha avuto necessità di tempi più lunghi.

Si constaterà che la temperatura dell'acqua tende, dopo i 100°C, seppur molto lentamente, a salire. Già la temperatura iniziale dovrebbe essere leggermente superiore a 100°C. Abbiamo usato il condizionale perché la temperatura dipende

anche da altri fattori, quali la pressione atmosferica (vedi appendice) e la precisione del termometro. Infatti, anche con l'acqua distillata la temperatura di ebollizione potrebbe non risultare 100°C. Scientificamente si parla di innalzamento ebullioscopico a proposito dell'aumento della temperatura di ebollizione dell'acqua in funzione della quantità di sali disciolti.

23. Facciamo realizzare ai bambini due grafici utilizzando la carta millimetrata e i dati raccolti:



Facciamo aggiungere alla precedente definizione dell'ebollizione dell'acqua, la caratteristica che essa **si verifica alla temperatura costante di 100 °C**. Ciò che è importante è la **costanza** della temperatura dell'ebollizione dell'acqua, e non tanto il valore 100°C.

L'evaporazione dell'acqua

La concettualizzazione dell'evaporazione dell'acqua, va collocata alla fine di questo percorso e non all'inizio, come si potrebbe spontaneamente ipotizzare in relazione al fatto che l'evaporazione è indubbiamente più importante dell'ebollizione.

L'evaporazione dell'acqua è, tuttavia, un fenomeno che normalmente non si vede: sono invece osservabili nel tempo i suoi effetti, la diminuzione prima e poi la sparizione dell'acqua. Comprendere che con l'evaporazione l'acqua sparisce non è difficile per l'alunno; è, infatti, esperienza quotidiana constatare che le cose bagnate si asciugano, quali le strade, gli indumenti lavati, ecc. Ma concettualizzare, sempre a livello elementare, l'evaporazione dell'acqua è qualcosa di molto diverso da questa conoscenza di senso comune. E' iniziare a comprendere che cosa succede all'acqua quando sparisce.

La velocità di evaporazione dipende da molti fattori quali la temperatura, la superficie del liquido, la presenza di aerazione, ecc. In questa prima fase di acquisizione del concetto è consigliabile restringere le variabili alla variazione di temperatura ed all'utilizzo di diversi campioni di soluzioni acquose. Questo secondo aspetto, che da un punto di vista angustamente disciplinare non andrebbe affrontato in questo contesto, è a nostro parere importante proporlo nella logica del curricolo verticale e della profondità dei concetti affrontati. Nella realtà esistono soluzioni e non acqua distillata. Le soluzioni sono state affrontate in classe terza e il recupero del soluto allora è stato effettuato per ebollizione. E' quindi significativo, effettuando esperimenti di evaporazione, scoprire che a differenza dell'ebollizione dove si ottengono polveri incoerenti, si possono ricavare solidi cristallini.

- 24.** Prepariamo 6 becher da 400 cc contenenti: 2 becher con 20 cc di acqua di rubinetto; 2 becher con 20 cc di una soluzione di acqua distillata e sale; e 2 becher con 20 cc di una soluzione di acqua distillata e solfato di rame.

Collochiamo 3 becher (uno per ciascun tipo di soluzione) in una zona della classe lontana e 3 in una zona della classe vicina a fonti di calore (quali il termosifone d'inverno o una finestra dove vi batta il sole per alcune ore in primavera).

Facciamo osservare e registrare che cosa accade dopo alcuni minuti, dopo alcune ore e dopo alcuni giorni, fino a completa sparizione dell'acqua in tutti i recipienti.

Facciamo un elenco delle differenze notate, eventualmente utilizzando una tabella.

25. Chiediamo agli alunni delle spiegazioni in relazione a ciò che è successo facendo loro delle domande e chiedendo loro di rispondere per iscritto individualmente, motivando le risposte:

1. “Come mai l'acqua non c'è più?”
2. “In che cosa si è trasformata?”
3. “L'acqua che è sparita dov'è andata?”
4. “Come mai nei recipienti vicini ad una fonte di calore l'acqua è sparita prima?”

Queste domande non vanno fatte tutte né contemporaneamente né in sequenza. Potrebbe succedere che le risposte individuali alla prima domanda (racogliamo tutte le risposte in una tabella) e la successiva discussione collettiva permettano di ricavare tutti gli aspetti significativi del fenomeno dell'evaporazione dell'acqua: *durante l'evaporazione l'acqua si trasforma in vapore acqueo (acqua non visibile) più o meno velocemente in relazione alla temperatura ambientale.*

E' possibile che il termine *evaporazione* sia stato impiegato dagli alunni fin dall'inizio di questi esperimenti: ora è comunque il momento in cui esso va introdotto intenzionalmente, in quanto si è finalmente compreso che *l'acqua sparisce perché si trasforma in vapore acqueo.*

Benché durante l'evaporazione dell'acqua osserviamo la sparizione dell'acqua e non *vediamo* il vapore acqueo come durante la distillazione, possiamo immaginare che si formi in analogia agli esperimenti dell'ebollizione dell'acqua, e che non sia visibile sia per la lentezza del fenomeno che perché l'aria, avendo una temperatura simile all'acqua, non svolge la funzione di condensazione del vapore acqueo.

E' infine possibile comprendere che nell'aria c'è sempre il vapore acqueo. Esso può essere presente in maggiore o minore quantità.

Vapore e vapore acqueo

- 26.** Prendiamo 3 vetrini di orologio: spruzziamo nel primo del profumo e versiamo negli altri due qualche goccia di aceto e di alcol, facciamo sentire agli alunni gli odori e chiediamo loro: qual è la trasformazione che ci permette di sentire gli odori? E' l'evaporazione del liquido e la formazione di un vapore ben diverso dal vapore acqueo.

Ogni volta che sentiamo profumi, odori, c'è la formazione di vapori specifici.

Si comprende così che il termine di vita quotidiana *vapore* non è corretto per indicare il vapore acqueo. Di vapori ce ne sono tanti. Il vapore è uno stato fisico della materia, definibile come stato aeriforme.

I cristalli

- 27.** Vi sono molte sostanze che comunemente vengono dette cristalline, come lo zucchero, perché sono costituite da granelli trasparenti o luccicanti e con spigoli. L'accezione scientifica di sostanza cristallina è diversa, in quanto fa riferimento alla forma caratteristica di ciascuna sostanza solida cristallina, quale ad esempio la forma dei cristalli di quarzo che si possono acquistare con poca spesa.

Gli alunni hanno già constatato che le sostanze solide (come il sale, il solfato di rame, ecc.) solubili in acqua sono recuperabili sia per ebollizione che per evaporazione e hanno sicuramente notato alla fine degli esperimenti di evaporazione la forma strana del sale e del solfato di rame rimasti in fondo al becher e diversa rispetto a quando il sale e il solfato di rame erano recuperati per ebollizione. E' già intuibile la forma cristallina di tali sostanze. Possiamo tuttavia ottenere dei cristalli ben formati, ripetendo gli esperimenti di evaporazione,

collocando per mezzo di una bacchettina di vetro al centro del becher e non a contatto con il fondo, uno spago su cui è stato collocato un cristallino di sostanza.

In conclusione, quando il recupero della sostanza solubilizzata avviene velocemente (con l'ebollizione) si ottiene una polvere; quando invece la sostanza viene recuperata lentamente (con l'evaporazione) si ottiene una sostanza cristallina.

Il ciclo dell'acqua

Il ciclo dell'acqua costituisce indubbiamente uno dei fenomeni fondamentali che si verificano sulla Terra che, da una parte, spiega molte trasformazioni della Terra stessa, e che dall'altra, rende possibile la vita sulla Terra.

Data la sua importanza, esso viene introdotto più volte nella scuola di base ma in modo nozionistico, per mezzo di immagini, pensando che ciò sia sufficiente per la sua comprensione. Invece, il ciclo dell'acqua può essere compreso, seppur a livello elementare, solo alla fine di questo lungo percorso sull'ebollizione e sull'evaporazione dell'acqua.

28. Facciamo agli alunni la seguente domanda scritta individuale: “Da dove viene l'acqua della pioggia?”

Se dalle risposte non emerge niente di significativo, stimoliamoli ulteriormente ponendo loro qualcuna delle seguenti domande:

- Da dove viene l'acqua dei fiumi?
- Evapora l'acqua dei fiumi, dei laghi e dei mari?
- Dove va a finire l'acqua che evapora dai fiumi, dai laghi e dai mari?
- Le nuvole che cosa sono? Come si formano? A che cosa assomigliano?

Socializziamo le risposte.

- 29.** Chiediamo infine agli alunni di produrre un disegno sul ciclo dell'acqua e di spiegare la loro rappresentazione.
- 30.** Forniamo agli alunni delle semplici schede in cui, attraverso un linguaggio semplice ed adeguato e con immagini chiare si parli di fenomeni atmosferici quali la pioggia, la grandine, la nebbia ...

Approfondimenti

1. La macchinetta del caffè

Facciamo osservare con attenzione le varie parti di una macchinetta del caffè. Dopo aver messo soltanto l'acqua, mettiamola in funzione sopra una piastra elettrica, facendo constatare agli alunni che dopo un po' l'acqua bollente passa nella parte superiore della moka. Chiediamo loro di spiegare come ciò sia stato possibile. Probabilmente molti ipotizzeranno che ciò sia dovuto alle stesse trasformazioni che avvengono nel distillatore, la formazione, cioè, del vapore acqueo e la sua successiva condensazione. A questo punto si può chiedere loro come ciò sia possibile perché manca qualcosa che sia in grado di raffreddare. E quindi quale può essere la spiegazione? Raccogliamo le loro ipotesi.

La spiegazione è invece la seguente: il vapore acqueo che si forma dall'ebollizione dell'acqua, non potendo fuoriuscire, dopo un po' acquisisce una tale forza di spinta (una tale pressione) da essere in grado di spingere l'acqua bollente nella parte superiore della moka.

L'energia del calore è trasferita al vapore acqueo, che diventa così capace di compiere un lavoro. La forza motrice del vapore è stata utilizzata nei due secoli scorsi per il funzionamento di alcune macchine, chiamate appunto macchine a vapore, inventate durante la Rivoluzione Industriale. Ora il vapore è utilizzato soprattutto nelle centrali termoelettriche e termonucleari per far girare le turbine che producono energia elettrica.

2. La pentola a pressione

Facciamo osservare una pentola a pressione, aggiungiamo poi un po' di acqua, e mettiamola in funzione sopra una piastra elettrica per il tempo sufficiente a constatare l'uscita della nebbia. Facciamo poi leggere i tempi di cottura indicati in ricettari di alcuni cibi mettendo a confronto la pentola a pressione con una pentola usuale. Chiediamo agli alunni di spiegare il motivo per cui i tempi di cottura nella pentola a pressione sono molto più bassi. Non dovrebbe essere difficile condividere una risposta di questo tipo: nella pentola a pressione il vapore acqueo che continua a formarsi aumenta costantemente in quantità ed aumenta così la pressione che è in grado di esercitare. La seconda parte della risposta probabilmente dovrà essere l'insegnante a fornirla: l'aumento di pressione all'interno della pentola fa sì che l'acqua non bolla più a 100 C°, ma a circa 120 C°.

Questa scoperta permette di riproblematizzare la conoscenza precedentemente acquisita relativa alla temperatura di ebollizione dell'acqua. Questa dipende dalla pressione: è 100 C° quando la pressione atmosferica è di 1 atmosfera, è più di 100 C° quando la pressione è maggiore ed è meno di 100 C° quando è minore. Il punto di ebollizione dell'acqua diminuisce di un grado ogni 300 metri di altezza, quindi a 2000 metri l'acqua bolle a 93.3 gradi, è per questo che in montagna si fa fatica a cuocere la pasta.

3. Nubi, vapore acqueo, pioggia, neve

Antonio Testoni

Le nubi si formano attraverso processi naturali legati all'umidità atmosferica. Il vapore acqueo (invisibile!) nell'atmosfera viene costantemente rinnovato dai processi di evaporazione, mentre le precipitazioni, in forma di pioggia o neve, a loro volta riportano l'acqua sulla superficie terrestre, completando il ciclo idrologico.

L'aria è formata, come abbiamo già più volte sottolineato, in parte da vapore acqueo. Le nubi si formano quando l'aria si raffredda fino al punto in cui il vapore acqueo condensa, ovvero la condensazione avviene quando una porzione di aria è satura di vapore acqueo.

Con l'instaurarsi di una determinata situazione meteorologica (bassa pressione), l'aria umida si muove verso gli strati più alti dell'atmosfera e si raffredda. L'aria fredda può contenere *meno vapor acqueo* rispetto all'aria più calda e la sua temperatura può eventualmente raggiungere il punto di saturazione. Il vapor acqueo allora condensa, formando piccole goccioline, che, raggruppandosi in gocce più grosse, formano una *nube*. Un ulteriore raffreddamento può portare anche alla formazione di cristalli di ghiaccio (grandine, neve).

La temperatura alla quale il vapore inizia a condensare è nota come "punto di rugiada". Se la condensazione avviene al suolo, l'acqua tende a formarsi su varie superfici, formando piccole gocce: la *rugiada*. Quando la temperatura delle superfici è inferiore al punto di congelamento, il vapore acqueo si trasforma invece in ghiaccio: si forma la *brina*. In situazioni dove si ha un rapido raffreddamento degli strati di aria immediatamente sovrastanti la superficie del terreno (il raffreddamento è massimo durante le notti serene e senza vento), il vapore condensa in goccioline così piccole da rimanere sospese nell'aria formando una vera e propria nube in prossimità del suolo: la *nebbia*.

In definitiva la comparsa di una nube, della rugiada, della nebbia o della brina fornisce l'evidenza visiva della presenza dell'acqua nell'atmosfera.