

DALL' «HORROR VACUÛ» AL BAROMETRO

PERCORSO STORICO SUL CONCETTO DI «VUOTO»

di Novella Sestini*

Insegnare fisica al biennio della scuola secondaria di secondo grado è spesso considerato un'impresa ardua, al punto che autori di libri di testo e insegnanti scelgono spesso la scorciatoia di un apprendimento mnemonico di formule e di un'attività di laboratorio appiattita su un «saper fare» fine a se stesso. L'autore presenta un percorso realizzato con studenti del secondo anno di istituto tecnico, di notevole valenza culturale in cui le dimensioni storica, concettuale e sperimentale si intrecciano in un'esperienza conoscitiva unitaria. Un esempio controcorrente da imitare, anche perché fa della didattica l'occasione di un serio autoaggiornamento per il docente.

*Docente di Fisica e laboratorio presso l'I.T.I.S. "Badoni" di Lecco.

L'attività è stata svolta in una classe seconda.

Negli anni Novanta è stata introdotta, nei curricoli dell'Istruzione Tecnica e Professionale, un'attività interdisciplinare chiamata «Area di Progetto». Tale attività, che occupa uno spazio orario non superiore al 10% del monte ore annuo delle discipline coinvolte, ha come obiettivo che «il principio di unitarietà del sapere e del processo di educazione e formazione culturale arrivi a esplicitarsi in una collaborazione concreta fra docenti di diverse discipline». ¹ Essa si propone di «favorire l'apprendimento di strategie cognitive mirate a comprendere come si formano ed evolvono le conoscenze [...], cogliere le relazioni esistenti tra l'astratto ed il concreto [...], sollecitare gli allievi ad affrontare nuovi problemi con spirito di autonomia e creatività». ² Tutto ciò, almeno nel biennio, resta solo una buona intenzione se, come spesso è avvenuto, si crede che gli studenti possano progettare e realizzare un percorso di apprendimento senza la guida sicura dell'insegnante che, coinvolgendosi con essi passo dopo passo, ne indica di continuo il significato in relazione alla meta dell'attività intrapresa.

A partire da un confronto serio con altri insegnanti di discipline scientifiche (da alcuni dei quali ho imparato molto) ho avuto l'occasione di verificare l'efficacia di un insegnamento della fisica nel quale è valorizzata la dimensione storica e, profondamen-

¹ In: «Progetto FASE di Ri-orientamento dell'Istruzione tecnica e professionale».

² *ibidem*

te connessa con essa, la dimensione sperimentale.

Così, già da qualche anno, utilizzo lo spazio dell'Area di Progetto per affrontare alcuni argomenti di fisica con una modalità che renda i ragazzi «protagonisti» del proprio cammino di conoscenza ripercorrendo quello intrapreso dagli scienziati per giungere alla comprensione e alla descrizione rigorosa di dati fenomeni fisici.

I ragazzi con i quali lavoro frequentano il biennio di un I.T.I.S. e quindi non hanno né sufficienti conoscenze matematiche, né adeguata maturità intellettuale per entrare nel merito dello sviluppo teorico della fisica ma, coinvolgendosi con l'insegnante che «riscopre con loro» la materia che insegna, sono capaci di stupore e di intuizioni a volte insospettati.

Ho avuto anche la fortuna di collaborare con un collega, insegnante di chimica, che spesso mi proponeva pubblicazioni e articoli che esemplificavano percorsi di conoscenza come storia di tentativi, fatiche, successi e insuccessi da parte di uomini di scienza, la stessa fatica di comprensione che chiediamo agli studenti e che ha sempre caratterizzato il cammino di conoscenza dell'uomo.

Nell'anno scolastico 1999-2000 questo collega ha sottoposto alla mia attenzione uno scritto di William Shea³ in cui l'autore ricostruiva storicamente l'evoluzione del concetto di vuoto; l'articolo era stato pubblicato in occasione della mostra *Horror vacui?*,⁴ allestita a Firenze, nella quale, tra l'altro, erano stati ricostruiti diversi esperimenti di Pascal e di scienziati suoi contemporanei: un'occasione per ripercorrere con i miei alunni i passi che hanno portato dalla concezione aristotelica che negava il «vuoto» a quella di Evangelista Torricelli che, proprio sfruttando il vuoto, aveva costruito il primo tubo barometrico.

L'articolo mi è parso subito molto coinvolgente, anche per come era scritto, in quanto sollecitava il desiderio di comprenderne ogni passaggio, assaporando l'avventura di conoscenza vissuta dai diversi personaggi nelle fasi sia teoriche che sperimentali; questa possibilità di rivivere lo stupore e il desiderio di conoscenza dei protagonisti dell'avventura scientifica sono persuasa sia quello che chiedono anche i miei alunni!

Le fasi del lavoro svolto dai singoli gruppi

Il lavoro è stato svolto con una classe seconda nel mese di settembre, dopo avere ripassato gli argomenti principali della meccanica e della statica dei fluidi (principio di Pascal, legge di Stevino, principio di Archimede). Ho letto in classe tutto l'articolo evidenziando i passi fondamentali, poi, divisi gli alunni in pic-

³ L'articolo di William Shea è stato pubblicato su *Il sole* 24 ore del 26 giugno 1999. W. Shea, di origine canadese, è considerato un'autorità per quel che riguarda il pensiero scientifico dell'età moderna. È titolare della Cattedra Galileiana di Storia della Scienza dell'Università di Padova.

⁴ La mostra *Horror vacui?* è visitabile sul sito : <http://www.imss.fi.it/vuoto>

coli gruppi, ho assegnato a ogni gruppo una parte del percorso, avendo l'attenzione di affidare le parti concettualmente più impegnative ai ragazzi più portati per un lavoro teorico e le parti più operative ad alunni con inclinazioni più pratiche. In ogni gruppo è stato designato un alunno di riferimento che sapesse rendere conto in ogni momento dello stato di avanzamento dei lavori. Gli allievi hanno in primo luogo schematizzato i passaggi portanti dello stralcio dell'articolo consegnato a ciascun gruppo; per questo occorre leggere e comprendere a fondo quanto era scritto, andando anche alle fonti delle notizie riportate, dei concetti fisici in gioco e degli esperimenti dimostrativi, ingegnandosi anche, se possibile, a riprodurre gli esperimenti stessi.

Posizione aristotelica e concezioni galileiane

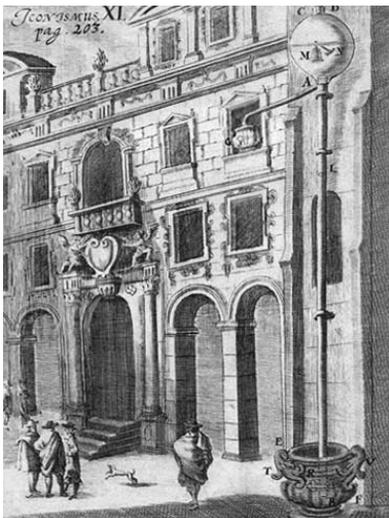
Sulle condizioni e sulle cognizioni del vuoto nel 1600 si confrontano due linee di pensiero. Una derivante dalle concezioni aristoteliche, secondo le quali il vuoto non esiste; infatti Aristotele concepisce la materia (in contrapposizione con l'atomismo di Democrito) come un «tutto pieno», un *continuum* indefinitamente divisibile che nega l'esistenza del vuoto. Il linguaggio della pienezza serve ad Aristotele per trarre conclusioni di tipo metafisico molto importanti, che superano la conoscenza del mondo fisico per giungere ad affermare l'esistenza di Dio, concepito come il motore e il fine dell'universo. La fisica «pienistica» di Aristotele stimola nel Medioevo l'elaborazione e la progressiva affermazione della teoria dell'*horror vacui* da parte della natura, in quanto il vuoto è sinonimo di «non essere».

Tale concezione domina fino al XVII secolo ed è condivisa dal filosofo più eminente di tale epoca: Cartesio (1596-1650). Egli sostiene che nessun ente fisico può esistere se non occupa uno spazio, quindi ogni ente fisico è sostanza estesa; in tale senso il vuoto è assolutamente impossibile e le parti di spazio che possono sembrare «vuoto» sono in realtà piene, seppure di una materia impercettibile chiamata da Cartesio «materia sottile».

Un'altra linea di pensiero è introdotta da Galileo nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638), avendo come nucleo essenziale il metodo di interrogare la realtà con l'esperimento. Galileo parte dall'esperienza dei fontanieri; essi facevano il prezioso mestiere di estrarre l'acqua dai pozzi e dalle falde con pompe aspiranti che sfruttavano la differenza tra la pressione atmosferica, sulla superficie dell'acqua da sollevare, e quella interna alla pompa nella quale si creava un certo grado di vuoto: l'acqua nei sifoni non saliva sopra le 18 braccia, corrispondenti a circa 10,5 metri.

La causa, secondo Galileo, doveva essere cercata nella «resistenza» della natura alla produzione del vuoto: la colonna d'acqua con il suo peso si oppone alla depressione che la risucchia, ma se si tenta di innalzarla ulteriormente, con un risucchio maggiore, la colonna d'acqua non riesce più a resistere al vuoto e si spezza. Galileo si può dire che sostituisce all'*Horror vacui* la resistenza della natura al vuoto: «Tutta volta che noi peseremo l'acqua contenuta in 18 braccia di cannone, sia largo o stretto, aremo il valore della resistenza al vacuo».

Così il vuoto diventò di gran moda nei circoli scientifici. Un lettore romano dei *Discorsi* Gasparo Berti, volle verificare quanto affermato con tanta sicurezza da Galileo. Esegui l'esperimento fissando alla facciata del suo palazzo un tubo di piombo di circa 22 braccia (12,826 m). L'estremità inferiore, che era provvista di un rubinetto, venne immersa in una botte riempita con acqua; riempì poi il tubo dall'alto e ne sigillò l'apertura. Aperto il rubinetto, l'acqua scese formando una colonna alta oltre le 18 braccia! Galileo dunque si era sbagliato! Ma gli fecero notare che doveva misurare l'altezza della colonna di acqua dalla superficie dell'acqua nella botte e non dalla base della botte. Berti si dovette arrendere all'evidenza: erano proprio 18 braccia!



Esperimento di Berti presso il Convento dei Minimi sul Pincio (1640-43)

Gasparo Berti, nato a Mantova nel 1600, trascorse la maggior parte della sua vita a Roma dove fu molto attivo nell'ambiente scientifico. Tra il 1640 ed il 1643 elaborò diversi apparati sperimentali per verificare empiricamente il livello di ascesa dell'acqua nei sifoni. Nel 1643, alla morte di Benedetto Castelli, fu designato suo successore alla cattedra di matematica della Sapienza di Roma ma morì in quello stesso anno.

Berti ripeté l'esperimento con Raffaello Magiotti, fissarono un'ampolla di vetro all'estremità superiore del tubo di piombo e vi appesero all'interno una campanella tenuta ferma esternamente da una calamita: se, lasciando libera la campanella non se ne udiva il suono, dentro l'ampolla c'era il vuoto; trovarono invece che il suono della campanella era chiaramente percettibile. Rispettosi dell'evidenza sperimentale conclusero che il vuoto era un'«ipotesi vuota».

Raffaello Magiotti (1597 – 1656) studiò e prese i voti a Firenze, in seguito andò a Roma al seguito del Cardinale Sacchetti. Nel 1636 iniziò a lavorare presso la Biblioteca Vaticana. Allievo di Castelli a Roma nel 1638 fu da questi segnalato a Galileo per la cattedra di matematica a Pisa. Ben inserito nell'ambiente culturale di Roma partecipò attivamente al dibattito scientifico e ne tenne informato Galileo stesso. Morì di peste nel 1656. Fece diversi esperimenti che prepararono l'attività di Torricelli ed informò questi degli esperimenti di Berti suggerendo di usare l'acqua marina dando il primo impulso all'uso di liquidi più pesanti che percorre l'uso del mercurio.

Così commenta Shea nel suo articolo: «Gli esperimenti parlano talvolta in modo ambiguo... il suono si era udito non perché nell'ampolla ci fosse aria, ma perché era stato trasmesso attraverso il filo metallico di sospensione della campana».

Gli esperimenti di Torricelli e di Berti ricostruiti dagli studenti

Nel 1644, subentrato a Galileo nella carica di Matematico del granducato di Toscana, Evangelista Torricelli (1608-1647) viene a



Evangelista Torricelli
(1608-1647)

conoscenza dell'esperimento di Berti. La sua genialità consiste innanzi tutto nel ripetere l'esperimento usando al posto dell'acqua «l'argento vivo», ovvero il mercurio, con il preciso calcolo dell'altezza della colonna in relazione al suo peso specifico che è circa 14 volte maggiore di quello dell'acqua: il mercurio, in un tubo di vetro chiuso a un'estremità, riempito interamente, tappato con un dito e capovolto in una bacinella piena di mercurio, scende a 76 cm dal pelo libero del liquido.

Egli intuì che la causa del fatto che la colonna si sostiene, non si deve cercare, all'interno, ma fuori del tubo, nel peso dell'aria esterna: «Noi viviamo sommersi nel fondo di un pelago d'aria». La terra è circondata da un oceano d'aria e quest'aria pesa! Questa pressione agisce sulla superficie libera del mercurio nel recipiente al di fuori del tubo, impedendo la completa discesa del metallo liquido nel tubo. Infatti è proprio e solo il peso della colonna di mercurio, che supera il livello esterno, a bilanciare il peso dell'aria esterna visto che all'interno del tubo, sopra il mercurio non c'è aria: in pratica, con la colonna di mercurio Torricelli «pesa» l'aria che sta sopra di noi.

Torricelli intendeva, con il suo esperimento, determinare variazioni della pressione dell'aria mettendo così a punto un nuovo strumento di misura, il barometro. Purtroppo questo geniale scienziato morì prematuramente a soli 41 anni, non potendo proseguire nei suoi intenti.

Avendo compreso l'importanza degli esperimenti di Berti e quindi di Torricelli, con gli alunni di Il B abbiamo trovato facile ripetere in laboratorio l'esperimento con il mercurio, ma volevamo ripetere anche quello con l'acqua! Riporto parte della relazione degli studenti che descrive il nostro esperimento:

«Abbiamo utilizzato un tubo di gomma trasparente lungo 12 metri, con un rubinetto a ogni estremo, un secchio, acqua distillata e un metro a nastro. Il tubo è stato riempito interamente di acqua distillata, avendo cura di togliere il più possibile eventuali bolle d'aria. Per stendere il tubo fino all'altezza di 12 metri da terra siamo andati nella tromba delle scale di una casa di 6 piani: il tubo, pieno d'acqua è stato dispiegato per l'intera sua lunghezza e il suo estremo inferiore è stato immerso nell'acqua distillata del secchio.

A questo punto, aperto il rubinetto inferiore, l'acqua ha cominciato a defluire nel secchio lasciando il vuoto nella parte superiore del tubo che, non essendo del tutto rigido, si è appiattito. Tutti noi, disposti lungo le scale, abbiamo potuto osservare molto bene l'intero fenomeno.

A questo punto abbiamo misurato l'altezza della colonna d'acqua all'interno del tubo rispetto alla superficie libera dell'acqua nel secchio: 9,27 metri. I calcoli dell'altezza teorica della colonna, utilizzando la legge di Stevino, davano 10,30 metri.

Abbiamo ricalcolato l'altezza tenendo conto della reale pressione atmosferica di quel giorno e della località in cui ci trovavamo: 740 mm di mercurio, anziché 760; con questo dato l'altezza dell'acqua calcolata risulta di 10,03 metri.

In tal modo l'errore o scarto percentuale tra l'altezza teorica e quella sperimentale risulta del 7,6% che è causato anche dall'appiattimento del tubo.»

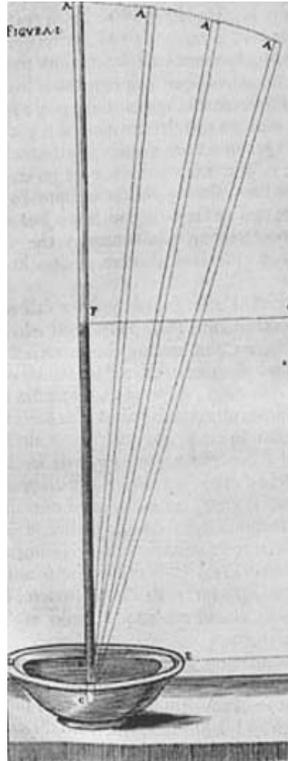


Immagine intitolata «Esperienza di Torricelli» (la ciotola con Mercurio e il tubo posto con varie inclinazioni) ha come commento: «Esperienza per la quale Torricelli pensò che “il sostenersi dell'argentovivo ed ogni altro fluido a determinate altezze potesse avvenire dall'esterna natural pressione dell'aria”» (Accademia del Cimento, Firenze 1666)

Pascal: la figura, il pensiero e gli esperimenti sul vuoto

Marin Mersenne, parigino, venuto a conoscenza dell'esperimento di Torricelli ma non delle sue considerazioni teoriche, tenta di ripetere l'esperimento senza riuscirci, a causa della inadeguata qualità del vetro e dei soffiatori di vetro francesi. Il tentativo di Mersenne resta comunque utile perché un ingegnere suo amico porta la notizia dell'esperimento ai Pascal, padre e figlio.

Marin Mersenne (1588 – 1648) studiò al collegio gesuita di Le Fleche (lo stesso frequentato da Cartesio). Dopo un biennio di teologia alla Sorbona, entrò, nel 1611, nell'ordine religioso dei Minimi, e, dal 1619, si stabilì nel convento parigino dell'Annunziata, in cui rimase - fatta eccezione per alcuni brevi viaggi - fino alla morte, avvenuta nel 1648.

I contributi scientifici di Mersenne spaziano su un ampio fronte di argomenti. Mersenne svolse un ruolo particolarmente rilevante nell'organizzare la cultura europea del tempo.

Tra coloro che lo frequentarono o che intrattennero una fitta corrispondenza con lui troviamo, tra gli altri: Peiresc, Gassendi, Descartes, Roberval, Beeckman, van Helmont, Fermat, Hobbes, Pascal, Baliani. Egli favorì le relazioni tra i dotti, mettendoli in contatto e promuovendone il dibattito e la cooperazione scientifica. Mersenne partecipò attivamente al dibattito sui problemi del vuoto, soprattutto a partire dal viaggio in Italia effettuato nel 1644. In quella occasione egli ebbe modo di assistere ad alcuni esperimenti barometrici e di discutere con i principali esponenti del movimento scientifico italiano, diffondendone, poi, in ambiente francese, le acquisizioni.

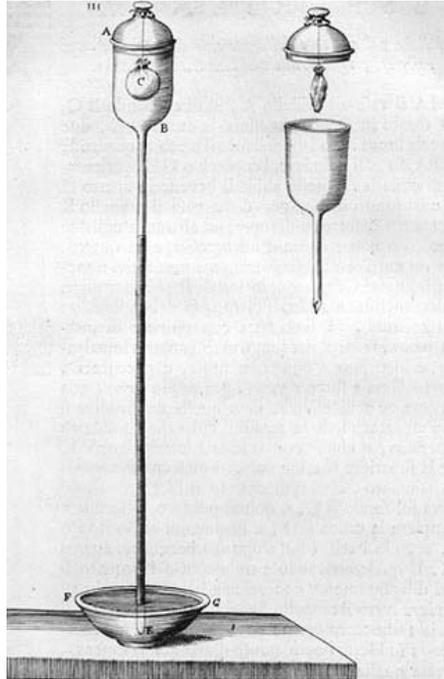
Etienne Pascal, padre, ha istruito il figlio Blaise su basi galileiane, convinto della esistenza del vuoto, contrariamente alle idee della maggior parte dei suoi contemporanei e Blaise (1623-1662) nutre una grande attenzione per i risultati degli esperimenti prima che per la loro interpretazione.

I Pascal, che dispongono di cospicui mezzi economici per procurarsi la strumentazione adeguata, nel 1646 ripetono l'esperimento di Torricelli con successo. Entusiasti dai risultati ripetono l'esperimento di Berti con l'acqua, seguendo il metodo di Torricelli; riempiono il tubo di vetro, chiuso a una estremità e lo «rovesciano» in un recipiente contenente acqua, e per risolvere la difficoltà data dal fatto che i tubi sono lunghi 15 metri escogitano un metodo originale per rovesciarli: li legano all'albero di una nave e li rovesciano utilizzando un sistema di pulegge. Ripetono l'esperimento anche con il vino che, avendo minore peso specifico dell'acqua, forma una colonna più alta, contrariamente alle previsioni dei «professori» di filosofia naturale dell'epoca. I Pascal danno così dimostrazione sperimentale della validità delle loro teorie sul vuoto.

Effettuano molti altri esperimenti che intitolano in modo curioso come «il vuoto nel vuoto» e che pubblicano in un libretto intito-

lato *Experiences nouvelles touchant le vide*. Proseguono il cammino iniziato da Torricelli scoprendo che l'altezza della colonna di mercurio varia con l'altitudine: man mano che si sale di quota si vede che il mercurio nella colonnina scende. Questo dimostra che la densità dell'aria e quindi la pressione da essa esercitata diminuiscono con l'altezza.

L'intenzione di Blaise Pascal, attraverso i suoi esperimenti è di rompere i vecchi canoni della filosofia naturale, non solo suscitando meraviglia, ma rendendo ragione di quanto osservato e misurato.



Un esperimento sul vuoto. Quando il mercurio scende come nell'esperimento di Torricelli, formando il «vuoto», il sacchetto «floscio» inizialmente, si gonfia.

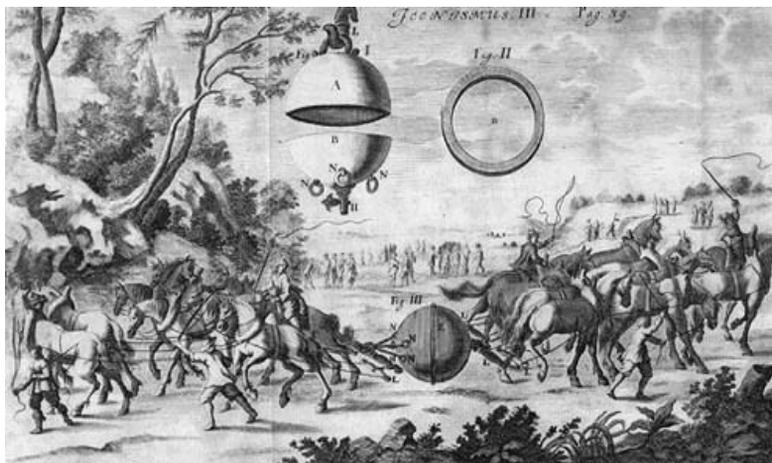
Scienza tradizionale e scienza moderna a confronto: Pascal e Noël

Il libretto di Pascal fece scalpore. In particolare il gesuita Etienne Noël, che era stato maestro di Cartesio allo stesso collegio dove studiò Marsenne, non accettava che lo spazio sopra il liquido, nel tubo torricelliano, fosse vuoto e tenne una interessante corrispondenza con Pascal. Riteneva che la grande catena dell'essere non conosce interruzioni: tutto è pieno, tutto è sempre ricondotto all'unità e questa è una certezza fondamentale per l'uomo. Pascal, scienziato moderno, cerca la verità sottoponendosi all'evidenza sperimentale: accetta quindi l'esistenza del vuoto e cerca il modo per produrlo.

L'evidenza che l'acqua o il mercurio scendano solo fino a una determinata altezza non è messa in discussione da nessuno dei due, il confronto si concentra su due domande: cosa c'è sopra il mercurio? perché la colonna si sostiene?

Noël cerca in tutti i modi di dimostrare che il vuoto è una nozione contorta: ipotizza spiriti volatili sopra il mercurio o aria penetrata dai pori del vetro e asserisce che la natura respinge gli attacchi alla catena dell'essere. Pascal che è nella posizione di chi non

vuole imporre la propria idea, si affida ai risultati dell'esperimento, trovando risposta a entrambe le domande: sopra il mercurio c'è il vuoto anche se nessuno può provare che non ci sia proprio nulla in quello spazio; la colonna di mercurio equilibra la pressione che l'aria esercita sulla superficie esterna del mercurio. Se però l'*horror vacui* non è più sostenibile, se la natura non respinge gli attacchi al pieno e quindi all'essere, si profila la perdita della concezione che vede l'uomo al centro del cosmo e della storia.



Gli emisferi di Magdeburgo

Resta tuttavia nell'uomo una sete di significato di sé e della realtà intorno a sé, che per Pascal è colmata con Dio stesso.

Resta vera comunque per gli scienziati del Seicento, ma anche per quelli di oggi come per tutti noi, l'affermazione: «in realtà è la natura umana che aborre il vuoto!», quando il vuoto si identificasse con il non essere.

In parallelo all'approfondimento storico – concettuale alcuni gruppi di studenti hanno realizzato esperimenti in laboratorio, altri hanno svolto ricerche sugli aspetti applicativi connessi con il contenuto e altri ancora hanno affrontato alcuni argomenti di chimica.

Questa parte del lavoro si è sviluppato secondo le tre linee seguenti.

Esperienze sul vuoto nel 1600 e loro realizzazione in laboratorio

Sono stati realizzati alcuni degli esperimenti esposti nella mostra *Horror vacui?* di Firenze: gli emisferi di Magdeburgo (riproposta in miniatura dell'esperimento del 1657); il crepavesciche (membrana elastica che cede sotto il risucchio del vuoto); un campanello elettrico «sotto vuoto».

Dall'esperimento di Torricelli ai barometri moderni

Breve storia del barometro
Studio della struttura dei principali barometri attuali e loro descrizione.

Le sostanze «protagoniste» di questa avventura

Approfondimento di chimica, anche di tipo sperimentale, su: aria, atmosfera, acqua, mercurio.

v