di Paolo Cardillo
Stazione sperimentale per i Combustibili
San Donato Mil.se (MI)
cardillo@ssc.it

DENIS PAPIN E LA SOUPAPE DE SURÉTÉ

Nell'affrontare sperimentalmente il problema del dimensionamento dell'area di sfogo contro l'eccessiva sovrappressione in un reattore a causa di reazioni fuggitive ci è venuta la curiosità di sapere chi avesse avuto per primo l'idea di munire di una valvola di sicurezza un recipiente chiuso. Dalla consultazione di documenti storici abbiamo incontrato e riscoperto Denis Papin, un mezzo genio, probabilmente ormai quasi del tutto dimenticato.

La Stazione sperimentale per i Combustibili, a seguito delle numerose richieste provenienti dal mondo industriale, si occupa già da un po' di tempo di un tema di ricerca e sperimentazione molto importante e attuale, riguardante la sicurezza dei processi chimici: il dimensionamento dell'area di sfogo (*venting*) contro la sovrappressione generata da reazioni fuggitive [1]. La pratica del *venting* è ben consolidata nel caso della protezione contro le combustioni esplosive (gas, vapori e polveri) [2] mentre nel caso di *runaway reaction* la risoluzione del problema è molto più complicata a causa dei numerosi fattori chimico-fisici che intervengono.

Durante la messa a punto della metodologia sperimentale e della conseguente valutazione dei risultati, leggendo e studiando la relativa letteratura, ci è nata la curiosità di sapere chi avesse avuto, per primo, l'idea di proteggere dall'eccessiva pressione con una valvola di sicurezza un recipiente chiuso, contenente un liquido, e sottoposto ad un riscaldamento esterno.

La relativa ricerca bibliografica e i rimandi a testi sempre più antichi ci hanno permesso di imbatterci in un personaggio di notevole interesse, sia umano sia scientifico, probabilmente ormai quasi del tutto dimenticato.

Questo personaggio è il francese Denis Papin, contemporaneo di Boyle, Huygens e Leibnitz, dei quali fu collaboratore e amico [3]. Di lui si sono occupati già nell'Ottocento anche L. Figuier [4], L. de La Saussaye [5] e il mitico M. Berthelot [6].

I primi studi

Papin nacque a Blois il 22 agosto 1647, suo padre era ricevitore generale del demanio. La famiglia era protestante. Non si sa nulla della sua infanzia, solo che fu avviato agli studi di medicina all'Università di Angers e che terminò i suoi studi intorno al 1669.

Ben presto però, seguendo la propria inclinazione, Papin si dedicò ad esperienze di fisica e di meccanica e verso la metà del 1673 lo troviamo a Parigi, dove collabora regolarmente con il celebre C. Huygens, l'inventore dell'orologio a pendolo (*"Ho avuto l'onore di vivere presso la Biblioteca del Re e di aiutare Huygens in un gran numero delle sue esperienze"* [4]), in un programma di ricerca sulle nuove forze motrici, in particolare sull'*acqua rarefatta dal fuoco*, come si definiva allora il vapore acqueo.

È di questo periodo la pubblicazione della sua prima opera (dedicata a Huygens) *Nouvelles expériences du vuide, avec la description des machines qui servent à le faire,* una raccolta di esperimenti fatti mediante la macchina pneumatica di Otto von Guericke, alla quale Papin aveva apportato alcune modifiche. Vi si trovano idee interessanti, come quella dell'applicazione del vuoto all'essiccamento della frutta, come pure all'impregnazione del legno e del gesso con la colla. Contemporaneamente, Huygens e Papin pubblicarono assieme cinque lavori su *Philosophical Transactions.*

Nel 1675, Papin si reca a Londra (non si conoscono i motivi per cui ha abbandonato la Francia, senza poi poter più ritornare) e si presenta, su raccomandazione di Huygens e con il suo trattato sul vuoto, a R. Boyle che, favorevolmente impressionato, lo prende a lavorare con lui. Anche Boyle, in quel periodo, era impegnato in studi e ricerche sul vuoto con la macchina pneumatica di Otto von Guericke. La collaborazione di Papin con Boyle è durata fino al 1679; l'illustre scienziato non ha mancato di sottolineare, in più occasioni, la perizia e l'abilità di Papin. Grazie a Boyle, Papin divenne anche membro della Royal Society.

L'invenzione del digestore e della valvola di sicurezza

Nel 1682 è apparsa la sua opera, quella per noi più importante e che ha destato il nostro interesse per il personaggio Papin *La Manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps et à peu de frais, avec une description de la machine dont il se faut servir pour cet effet, ses propriétés et ses usages, confirmés par plusieurs expériences* che seguiva la prima versione pubblicata in inglese nel 1680 con il titolo *A new digestor or engine for softening bones.* [7].

Questa *machine* è ben presto diventata il digestore o la marmitta di Papin (in pratica è la pentola a pressione del giorno d'oggi).

Fig. 1 - Il digestore di Papin

Il principio della nuova marmitta era già stato proposto da Boyle, come onestamente riconosce Papin nell'introduzione del suo trattato.

Il dispositivo era stato anzitutto ideato per migliorare l'alimentazione delle classi più povere, ma permise al suo inventore anche un buon numero di osservazioni fisiche interessanti. Come notava l'autore, per mezzo di questo apparecchio *"la vacca più vecchia e più dura si può rendere tenera e di buon gusto quanto la carne migliore"*.

Clerc [8] racconta che, intorno al 1840, in un pranzo di gala ufficiale, presso un prefetto del Nord, è stata servita della gelatina estratta per mezzo del digestore di Papin da ossa fossili provenienti da grandi animali morti da più di 6.000 anni!

È in questa occasione che Papin realizzò il dispositivo che diventerà la valvola di sicurezza classica (*soupape de sûreté*) e che sarà l'accessorio indispensabile delle future macchine a vapore ad alta pressione. In realtà, il fisico francese era ben lontano dal prevedere gli sviluppi successivi che avrebbe avuto quel recipiente robusto, chiuso ermeticamente per la cottura delle carni con bassa spesa.

Infatti, l'origine della valvola è molto più modesta, come si apprende dallo scritto originale di Papin, riportato da Figuier [4] e tradotto un po' liberamente: *"Questa macchina è senza dubbio molto semplice e poco soggetta a guasti, ma non è comoda in quanto la sua efficacia dipende da quanto l'acqua sia più o meno premuta e da quanto grande sia il calore; per questi motivi può capitare che qualche volta voi tiriate fuori le vostre vivande prima che siano ben cotte e altre volte che siano invece completamente bruciate. È pertanto necessario cercare dei mezzi per conoscere sia la pressione interna sia il grado di calore".*

Per conoscere la pressione del vapore all'interno del recipiente, Papin ha quindi inserito la valvola che consisteva in un foro praticato nella parte superiore del dispositivo cui era connesso una specie di tappo chiuso collegato ad una piccola sbarra di ferro (una leva) munita, alla sua estremità, di un peso mobile (in pratica determinava la pressione necessaria per sollevare questo peso) (Fig. 1).

Scrive Papin (con il linguaggio di allora) [4]: *"Quando la valvola lascia scappare qualche cosa, io concludo che la pressione nel bagnomaria è circa 8 volte più alta della pressione dell'aria, dato che può sollevare non soltanto il peso che resiste a 6 pressioni ma anche la sbarra che, come ho*

provato, resiste a 2 pressioni. Aumentando o diminuendo il peso, oppure cambiando la sua posizione io conosco quanto è forte la pressione all'interno della macchina".

Quindi Papin ha introdotto la valvola, non come accessorio di sicurezza per impedire l'esplosione del recipiente, ma per valutare l'esatta cottura dei cibi. Solo molto più tardi, nel 1707, Papin ebbe l'idea di applicare la stessa valvola per la sicurezza delle caldaia a vapore. È stato però il fisico J.T. Désaguliers che ha tradotto in pratica, nel 1717, l'idea originale di Papin, introducendo la *soupape de sureté* nelle caldaie a vapore. Prima di continuare il racconto della vita di Papin, vale però la pena di soffermarsi un attimo sul problema delle esplosioni nelle caldaie a vapore.

Le esplosioni nelle caldaie a vapore

F. Arago, nelle sue *Oeuvres Complètes* del 1855 [9], dedica diversi capitoli alla valvola di sicurezza di Papin e all'importanza che ha avuto nell'impedire le esplosioni, dapprima molto frequenti, nelle caldaie a vapore: *"Questo piccolo apparecchio è di una estrema importanza perché impedisce, in gran parte, gli incidenti disastrosi che erano provocati dalle esplosioni delle caldaie prima del suo impiego".*

La legislazione francese di quel periodo aveva infatti iniziato ad imporre l'installazione della *soupape de sureté* di Papin sulle caldaie a vapore.

Sempre Arago descrive, con dovizia di particolari, numerosi casi di esplosione a lui noti, sia con caldaie industriali sia con quelle di battelli a vapore. Si tratta di un documento molto interessante, di cui se ne consiglia la lettura, in quanto nell'esaminare le cause, l'Autore non manca di far notare come, in diversi casi, le caldaie siano esplose anche in presenza delle valvole di sicurezza, che però sono risultate talvolta mal progettate o manomesse, rese addirittura inattive o eccessivamente sovraccaricate. Cita anche un caso che, dopo quasi 200 anni può quasi far sorridere, di un operaio che si è seduto sulla valvola di sicurezza della caldaia di un battello a vapore per far vedere ai suoi colleghi lo spettacolo del movimento oscillatorio a cui veniva sottoposto quando il vapore "diventava così potente" da sollevarlo.

Christian Huygens

Con il peso dell'operaio chiaramente la valvola non si è aperta e si è verificata l'esplosione (con numerose altre vittime oltre l'imprudente "attore").

Anche se giudica la *soupape de sureté* di Papin un mezzo "razionale, semplice, di esecuzione molto facile", Arago non la considera del tutto infallibile e anticipa una considerazione molto importante che sarà alla base dei successivi sviluppi della tecnologia delle valvole e dei dischi di sicurezza, anche ai nostri giorni.

Scrive Arago: *"La placca della valvola si solleva quando il peso da cui è caricata diventa inferiore alla pressione del vapore; ma, per impedire completamente l'aumento della tensione* (pressione) *all'interno della caldaia questo non è sufficiente; è necessario che lo sfogo, attraverso la valvola, sia almeno uguale all'eccesso di produzione* (del vapore)".

In altre parole, lo sfogo del vapore dipende dal diametro dell'apertura (adesso si direbbe dall'area di sfogo).

Continua e conclude Arago: *"L'apertura che ordinariamente soddisfa tutte le necessità può risultare troppo piccola allorché circostanze rare portano alla repentina trasformazione di una grande quantità d'acqua in vapore. In questi casi, la valvola diminuisce il male, ma non lo impedisce del tutto".*

Ancora qualche invenzione e poi l'oblio

Nel 1681 Papin lasciò Londra per seguire un vecchio ambasciatore della Repubblica di Venezia (Ambrogio Sarrotti), che rientrava nella città veneta per fondare un'Accademia pubblica di Scienze filosofiche e naturali. Papin restò due anni a Venezia. L'Accademia, fondazione del tutto privata, non ebbe quasi alcun seguito e, alla fine del 1683, Papin sarà di ritorno a Londra.

Nel 1687 accettò un impiego di professore di matematica all'Università di Marburgo. Egli fu male accolto dai suoi colleghi;

inoltre, incontrò poca soddisfazione nel suo insegnamento. Infatti a quell'epoca i matematici erano ritenuti troppo poco utili per avere una carriera lucrativa. È di questo periodo la sua amicizia e la sua corrispondenza con G.W. von Leibniz, allora a Hannover come bibliotecario e consigliere del duca di Brunswick.

Nel frattempo un'idea aveva di continuo occupato la sua mente: costruire un motore universale che utilizzasse la forza espansiva. All'inizio egli credeva di aver risolto il problema mediante un meccanismo che agiva in virtù della pressione atmosferica: in un cilindro verticale, aperto superiormente, scorreva uno stantuffo che precipitava fino in fondo quando, attraverso una macchina pneumatica, si estraeva l'aria contenuta nella parte inferiore del cilindro. Il moto contrario era ottenuto mediante l'azione di un contrappeso. Aprendo un rubinetto per immettere l'aria, Papin otteneva un movimento di andata e ritorno abbastanza rapido mentre faceva azionare la macchina pneumatica per mezzo di una cascata d'acqua.

Avendo ripreso le esperienze condotte con Huygens intorno al primo congegno a pressione atmosferica, Papin notò che, invece di produrre il vuoto attraverso una macchina pneumatica, poteva ottenere lo stesso effetto introducendo vapore acqueo nella parte inferiore del cilindro; questo vapore alla temperatura di 100 °C è dotato di una forza espansiva pari a quella dell'aria e che, se raffreddato improvvisamente, perde ogni energia e si condensa in poche gocce. Papin riteneva che quest'apparecchio fosse destinato ad immediate applicazioni industriali, invece era soltanto un mezzo utile per dimostrare sperimentalmente l'utilizzo del vapore acqueo come forza motrice. Purtroppo anche questa macchina di Papin finì per essere dimenticata come le precedenti: quella a doppia pompa pneumatica e quella a polvere nera.

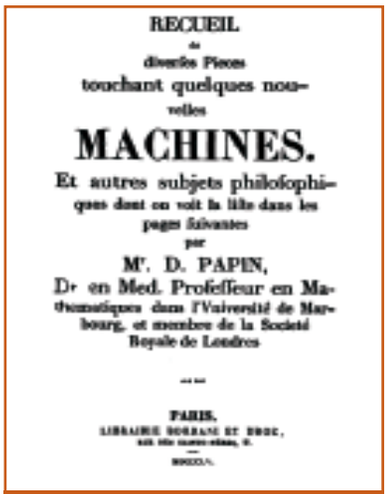
RECUEIL
de
diverses Pieces
touchant quelques nouvelles
MACHINES.
Et autres subjets philosophiques dont on voit la liste dans les pages suivantes
par
M^r. D. PAPIN,
Dr en Med. Professeur en Mathematiques dans l'Universite de Marbourg, et membre de la Societé Royale de Londres
PARIS.

Fig. 2 - Frontespizio del libro di Papin

Da quanto letto sembra di poter sottolineare che nei suoi lavori Papin mancava di spirito continuativo, infatti scopriva vari fenomeni senza intravedere un nesso tra di loro: stabiliva principi molto importanti ma non era in grado di comprenderne le immediate conseguenze.

Negli anni seguenti Papin, secondo la sua abitudine, si occupò di diversi argomenti: del ventilatore centrifugo impiegato in particolare per l'aerazione delle miniere; della conservazione dei cibi mediante anidride solforosa in soluzione acquosa; del forno a tiraggio forzato applicabile alle vetrerie; dell'evaporazione delle salamoie. Molti dei lavori di questi anni sono stati raccolti e pubblicati da Papin in un volumetto intitolato *Recuil de diverses pieces touchant quelques nouvelles machines et autres subjets philosophiques*. Il volume è stato ristampato nel 1855 ed è consultabile nel sito della Biblioteca Nazionale Francese [10] (Fig. 2).

Nel 1707 tornò a Londra, quasi del tutto dimenticato e con i suoi protettori oramai morti, dove visse oscuramente con qualche sussidio accordatogli dalla Royal Society. Continuò tuttavia a presentare alla Society nel periodo dal 1708 al 1712 una grande quantità di idee, sia vecchie sia nuove; il suo corrispondente abituale era allora H. Slogane (Presidente della Royal Society) e l'ultima lettera che Papin gli indirizzò è del 23 giugno 1712. Si può supporre che Papin sia morto poco dopo, intorno all'età di 65 anni.

Bibliografia e note

[1] L. Gigante, A. Lunghi, P. Cardillo, R. Rota, *Riv. Combustibili,* 2004, **58,** 46.

[2] National Fire Protection Association, Explosion Venting, NFPA 68, Boston, 1984.

[3] J. Payen, Denis Papin, in Scienziati e Tecnologi dalle origini al 1875, Mondadori, Milano, 1975, Vol. 2, p. 483.

[4] L. Figuier, Les merveilles de la science, Jouvet, Parigi, 1870, Vol. I, p. 42.

[5] L. de Saussaye, La vie et les ouvrages de Denis Papin, Franck, Parigi, 1870, Vol. I,.

[6] M. Berthelot, Papin et la machine a vapeur, in Science et Morale, Calman-Lévy Editeurs, Parigi, 1896.

[7] La versione francese era praticamente introvabile già nell'800. Da Internet abbiamo appreso che presso un antiquario degli Stati Uniti è disponibile una copia della versione inglese (valore 8.500 dollari!).

[8] A. Clerc, Physique et chimie populaires, Jules Ruff, Parigi, 1881, Vol. I, p. 592.

[9] F. Arago, Oeuvres complète, Gide, Parigi, 1858, Vol. V, p. 434.

[10] www.gallica.bnf.fr