PAOLO MACINI (*) - EZIO MESINI (*)

Sull'impiego di alcune pompe idrauliche nel XVI secolo (**)

PREMESSA

L'abilità identica degli antichi, per certi versi geniale nella capazione, nel trasporto e nella distribuzione, si es sempre arrestata di fronte al problema del sollevamento di grandi volumi d'acqua. L'esigua potenza delle macchine a disposizione fino a nuro di XV secolo neva condicionona anche lo svilupori di estore mineratio, potendo seri limiti alla colivizazione di numerozi giacimenti. In manenzaz di macchine adequate per Feduarione delle acque di miniera, il limite allo sviluppo delle colivizazioni in sosteramo e un legato alla presenza ed alla quota ropografica della falda fractica: le rudimentali gomen già more in epoca classica ed impiegne fino all'alto medicore peressono franciagare solo la ventra di modere in filmittanti d'acqua, accentali finante sia rella potenza, sia nella di modere infirmittanti d'acqua, accentali finante sia rella potenza, sia nella

Prima dell'avento dell'era moderna» nelle teoriche minerarie – tradicionalmente colloras attorno alla prima met del XVIII recolo 'e segnata dell'applicatione congiunta in sotteraneo della polecte da sparo e delle prime marchine a vapore — la tecnologia dell'eduzione delle scape vide autoscopette el applicazioni noterolò già verno la prima metà del 1500. Quasi un intreo libro del Pre Mentalitot di Coorgius Aspicolà s' delicatono que tonpomentor: le famose sulografie che tillustrano questa secione sono tra le più belle tutta Topera, e fornicono, insiene alla descritione accurata delle materia idraudiche allora in uso presso vazie miniere dell'Europa centrale, un vivido e preciso qualro dello stato dell'arte dei vazi metodi di oduzione.

^(*) Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Università di Bologna.

^(**) Memoria pecsentata dal socio A. Mortana.
1 C.N. BROMERIEAD, La teorica delle ministre e delle cave fino al XVII secolo, in C. SINCER.

E.J. HOLMYARI, A.R. HALL, T.I. WILLIAM, Storia della tecnologia, Torino, 1962-1993.
² GEORGES ACRECOLA, De re-metallica libri XII. . . Basilene, 1556.

Nelle miniere a mezza costa il problema dell'eduzione delle acque veniva solitamente risolo tramite lo serco di gallerie di scolo. Quotete potevano essere sia la galleria di accesso più profossia, collegata eventualmente in supertitori tramite un pozzo di estrazione verificale ed melinano, oppune, con l'estenderis delle concessioli, potevano configurato corre gallerie il scolo economeristica, al servizio di più miniere. A questo riquardo, nel distretto minerario sassone-borno en viginti la susreggida, o simposti dall'acques, tessa deveniva gallerie di este vinigi alla consegnatio, o simposti dall'acques, tessa deveniva gallerie di estimatera le cui ventute disconsistenti di grante proprieta consegnativa di miniera le cui ventute di consegnativa di suspene protessone essere successivamente utilizzate per scopi civili mella lizga del XIII secolo ezano le saque delle vicine miniera si insupire gli acquedotti e i Principi Veccosi della civil sovinson regolamente sollecturali da numerosi inventori, disiderosi di tottere da loro il monogolio della messa in opera di speciali sistemi di pompaggio nelle misiere di carebone.

A proposito di questi metodi di oduzione, è interessante ricordure l'efficace descrizione di una galleria di scolo fatta da un contemporano di Agricola: «un'ampita galleria di accesso, mantenuta in piena efficienza, con un condotto di derraggio per l'acque ed il fango, che convogal dill'armoni l'atti fresta discitande fuoritanti e consenta l'agrobi passaggo dei carrifo di mittarda. In contenta del contractione del propositione consegno di nura l'arte del distribute. In mittarda se l'accesso del propositione consegno di nura l'arte del cratedone.

Anche i Codici minerari antichi, riconoscendo il potenziale limite allo sviluppo in profondità delle coltivazioni, stabiliscono precise norme per l'abbandono dei lavori in sotterraneo (resignatio), al fine di scongiurare il possibile allasamento delle miniere confinanti.

Nel XVI secolo, l'aumento della richiesta di materie prime e l'esaurimento dei giacimenti più superficiali impose l'estensione delle coltivazioni in profondira; in quelle aree minerarie dove era indispensabile controllare in permanenza le acque d'infiltrazione che invadevano le gallerie, la tecnologia delle pompe vide

* B. Gilli, Storia delle tecniche, Roma, 1985.

H. MANDOLIER, Histoire de l'eau, Paris, 1991; trud. it., Storia dell'aopsa, Milano, 1994.
 Johannes Mathessus, Sarepsa, oder Bergpostill, Nuremberg, 1564, tr. di G.H. Shour, cit.

8 G.H. Strott, op. cit.

³ G.H. SHORT, I primi cinquant'anni di una macchina idrasdica, Quaderni storici del Mulino, Bologna, 1, 1989.

¹ Le Constitutiones aux metalles di Komenherg (negigioron Katas Plota, in Bomis), sicite attorna di 1905, (ripotano il paragioro dei are notatoriame. — de apia in findieris. Lo testo Codele Minestrio di Massa Maritima (GR), (rin 2120), eccia: «Studibiamo edi ordinato per dei in contrato dei hossonia ecvisioni vesisio nogia, o permettare ode lo il accidente del contrato per del montro di gulerie manerativo in la Situazione. Al contrato del montro dei in del montro dei montro dei in Situazione. Al montro del montro dei montro dei del montro dei montro e del montro dei montro dei montro dei montro dei montro e del montro dei del montro dei montro dei montro dei montro dei del montro dei mon

un notevole sviluppo, soprattutto quando divenne necessario estendere le coltivazioni al di sotto della falda acquifera.

L'ANTICHITÀ CLASSICA E IL MEDIOEVO

Dalle scarse notizie tramandateci dagli antichi autoni greci o dalle filmarzioni fittile musica vulla attività mineraria ed bacion del Mediterramo in epoca classica, poco o malla è detro dei procedimenti legati alle tecniche in uso, poiché queste erano patrimonio del traçurgio, fartigiano è in campo minerario-metallurgico del godove; fartigiano è in campo minerario-metallurgico del godove; e del endopreso, fitobbro del rame e fabbro ferrario: essi mora nol hesi critandini, e per questo sono languamenti giaporti dalle fondi. E per-veronni del potizione che per ovvisare alle piecole venune d'acqua che intradisci esperano delle periodimenti del potizione che per ovvisare alle piecole venune d'acqua che intradisci esperimenti dell'appratio radiomentali attenzature come lo shadaf, tuttora in uso in molte regioni dell'oriente, che fece la sua comparsa in tempi perchanici.

Il passo successivo nella tecnologia del sollevamento meccanico dell'acqua fu quello che tese ad avere una portata di eduzione possibilmente continua, ottenuta mediante l'applicazione di due fondamentali invenzioni dei greci: la ruota dentata e la vite. Con la prima fu possibile azionare, tramite una ruota orizzontale mossa da schiavi o animali, le ruote verticali (norie) munite sulla circonferenza di secchi o anfore; l'applicazione della vite permise invece la realizzazione della cochles, o vite d'Archimede: tale invenzione, tradizionalmente attribuita al Siracusano, era comunque eià nota ai tempi dell'antico Egitto. L'acutezza dei greci nell'osservazione dei fenomeni naturali ed il loro approccio verso problemi spesso squisitamente teorici non si fermò qui: studiare macchine capaci di vincere la forza di gravità fu il passatempo preferito di numerosi inventori e filosofi greci, ed in particolare vi si dedicò la famosa scuola di meccanica fiorita ad Alessandria tra il III ed il I secolo a.C., nella quale si annoverano Filone di Bisanzio. Erone Alessandrino e soprattutto l'ateniese Ctesibio. il cui nome è tradizionalmente legato all'invenzione della pompa premente ed aspirante a stantuffo.10 Gli scienziati greci, più teorici che ingegneri, avevano

⁹ B. Gille, Macchine, in C. Soscer, E.J. Holmenson, A.R. Hall, T.I. Williams, Storia della tecnologia, Torino, 1962-1993.

³⁰ Crashio di Atrac III secolo a C.I. di cui purtroppo non ci rimane neuma operatti. è ritumo lo occoprince della comprossibilità dell'ani ed al primo nationo adi aver traturo l'aris come un conpo morninde come utile, casa fa considerata alla stregua degli altri findici. per ori everte novilitata e discolori è attribuita l'internatione per ori everte novilitata e discolori è attribuita l'internatione indicio di coprosi e attribuita di internatione indicio di conso state transacidare principilmente per mesco delle opere di Erone Alexanderico III con accessivatione della consociata e transacidare principilmente per mesco delle opere di Erone Alexanderico III con accessivatione della consociata di consociata e della consociata di co

però solo fissato i principi finci ed I fondamenti static e geometrici di queste macchine: rinditte est i deficarcoso alla soluzione dei problemi proporti dai tecnici, ma non si interessarono mobo ad una vera e propria contrusione delle mencinire, eso los raramente i loro dispositivi possono essere considerati come invenzioni vere e proprie. Non rimaneva quindi che costruire, applicare miglorare quote mencinire, possibilimente cercando di utilizzare una forza motrire diversi da quella formita digli artinati o dagli schiniri a questo fite città della civili in comana e dei suoi intereserti.

Nel campo delle tencinde minerarie è proprio per i sistemi di drenaggio che gli ingegneri romani i differenziano che quelli greci. Le applicazioni più importanti fumon sia la diffinsione nell'Impero della ruota idraulica, di antica invenione, sia il perfeionamento delle nonie e delle codece, mentre prosegni il normale utilizzo di funi, pulegge e secchi movimentati con l'aisto di macchine che operavano situttando il moto rotatro formito di attabutari massi, trantite ingrassaggi, da ruote azionate da animali o schiavi (modae autanuse). «E noti edile miniere del Ro Tinto avecano un dianetto di x5 m e portrasson stilla circonferenza esterna 24 recipienti. Avecano una portata di 83 litti d'acqua al minuto per un disiloredo di 35 m e ricava ³¹ fa queste miniere fi ritrovata una di tali rotore iduttiliche în legato perfettariamente concervas. Larconferenza contra di un rotata del situati della rotore iduttiliche în legato perfettariamente concervas. Larconferenza contra del motore distutiliche în legato perfettariamente concervas. Larconferenza contra del motore distutiliche în legato perfettariamente concervas. Larconferenza contra del protectiona del motore del

Mell'Europa dei secoli successivi alla caduta dell'Impero Romano la richiesta di spotataroni del Itradizionale basino del Mediterraneo verso i nuovi e più ricchi giacimeni dell'Europa centrale. A tale proposito, è significativo ricordare che i minatori della Sessonia furono i niti erandi maestri di terciche minerarie di Sessonia furono i niti erandi maestri di terciche minerarie.

essere dotate di valorde di carico e di scarico di tipo aperto/chiano: Indelità degli antichi tecnici non fu tale da consentire la realizzazione di valvole mobili sufficientemente perfazionate, per cui essi dovetteo ricortere ad espedienti poco pratici, che limitatono notevoltente la diffusione di questo tipo di macchine.

11. B. GRIZ, co. ct.

¹² I.K. Finch, Storis dell'ingerneria, Firenze, 1962.

¹⁰ Marco Virusvo Pólinez. De Architectura Ids. X. Sottos a cordio dell'unito dell'u

dell'Europa medievale e rinascimentale; essi iniziarono lo sfruttamento delle famose miniere di Schemnitz, nei Carpazi (745), di Goslar, nello Harz (970), di Freiberg, in Sassonia (1170) e di Joschimsthal, in Boemia (1516), Comunque, per oltre un millennio le tecniche minerarie ed i metodi per l'eduzione delle acque non cambiarono radicalmente, almeno nei macchinari adottati: l'aggottamento manuale, le norie, le coclee ed i secchi sollevati con piccoli argani rimasero, insieme alle rudimentali pompe a stantuffo, i soli sistemi utilizzati. Importanti furono però i passi compiuti nella ricerca di sistemi di azionamento più potenti e che non coinvolgessero l'impiego di veri e propri schiavi.

Importante è l'introduzione del mulino a vento, risalente all'alto medioevo 14 (anche se non si è certi della sua applicazione in campo minerario), e la diffusione ed il perfezionamento sia della ruota idraulica.15 sia del cinematismo biellamanovella, costituente meccanico che non era noto ai costruttori di macchine dell'età classica, non avendovi mai associato un volano quale accumulatore di energia, indispensabile per superare i punti morti.¹⁶ L'eduzione delle acque di miniera necessitava di affidabili e robusti sistemi di azionamento, poiché le pompe dovevano funzionare in modo continuativo. Infatti, «finché si trattava di attingere acqua da un fiume per irrigare un campo ci si poteva accontentare di un tiro di cavalli, visto che la durata delle operazioni era limitata [...], ma era meglio cercare un'energia permanente che non scemasse nel tempo. La si trovò nella corrente dei fiumi e la tecnica era già messa a punto. Già nel VI secolo le leggi barbare menzionavano l'esistenza dei mulini».17

I mulini, sia idraulici, sia eolici (questi ultimi preferiti poiché potevano funzionare anche d'inverno, quando i corsi d'acqua erano gelati), facevano quindi già parte del paesaggio dell'alto medioevo. «Nel XIV secolo erano in uso tre posizioni della ruota idraulica rispetto alla corrente dell'acqua: la ruota alimentata per di sotto, la ruota alimentata per di sopra e la ruota orizzontale. Alcune ruote erano montate su natanti per sfruttare le correnti centrali, più rapide. Non è facile dire se venne studiata l'inclinazione delle pale al fine di ottenere un miglior rendimento, perché i disegni del tempo non sono sufficientemente precisi per trarre deduzioni attendibili. Senza dubbio, furono fatti tentativi in via sperimentale per il miglioramento delle macchine e ne sono testimonianza, ad esempio, molti schizzi di macchine nei Codici di Leonardo: egli indagò, infatti, sui problemi delle ruote dei mulini e, in modo particolare, studiò la posizione della ruota, la forma delle pale e l'angolo di incidenza dell'acqua.

¹⁴ La letteratura a questo proposito è sterminata; si veda l'interessante bibliografia raccolta da V. MARCERS, op. cit., e la meno aggiornata in C. SINGER et al., op. cit.

¹⁵ M. BLOCH, Lattoro e tecnica nel medioero, Bari, 1959: «Invenzione antica, il mulino ad acqua è medievale dal punto di vista della sua effettiva diffusione--

¹⁶ V. Marchis, op. cit. II H. MANUGLER, on cit.

Questi studi gli consentirono di formulare il principio della turbina idraulica che, anche se già intuito da Erone, era poi stato dimenticato».18

LA NASCITA DE NUOVE TECNOLOGIE E LE POMPE DEL DE RE METALLICA

La conoscenza delle macchine descritte nei trattati della classicità fu tramandata in occidente principalmente grazie all'opera di numerosi scrittori arabi. Vari trattati di Erone, tra cui i Pneumatica, che espongono numerosi problemi relativi al pompaggio, vennero tradotti in arabo per volere del califfo 'Abbasid Ahmad ibn Mu'tasim attorno all'anno 830.19 La stessa «noria» prende il nome dai costruttori arabi, i quali, ripristinando gli impianti per il sollevamento delle acque costruiti dai romani, e ormai andati in rovina, diedero loro il nome di na'urah. Inoltre, dall'esperienza araba nascono nell'Occidente medievale i primi trattati sulle macchine, senza contare che «i viaggi e le peregrinazioni di macchine strane e dei loro segreti sono state a lungo oggetto di tradizioni e lezgende»;20 il taccuino di Villard de Honnecourt, maestro costruttore di cattedrali, scritto intorno al 1265, è il primo esempio di trattato di ingegneria.²¹ Nei Trattati di Francesco di Giorgio,²¹ le pompe idrauliche sono già riportate «nella struttura del cilindro e del pistone, di varia forma e foggia [...], presentate in varietà di combinazioni di camme, glifi, manovelle, settori dentati e cremagliere. Quando è una leva ad azionare lo stantuffo, un gioco di contrappesi riesce a bilanciare gli sforzi, permettendo di ottenere un funzionamento più regolare»,²³

Circa un secolo prima della pubblicazione del trattato di Agricola, due nuove macchine vennero introdotte nel panorama minerario europeo: le pompe pater noster³⁴ verso il 1430, e le norie collegate ad una ruota idraulica²⁵ attorno

IS B. GRLE, op. cat.

¹⁹ Alcuni contributi arabi sono anche originali: lo scienziato Al-Jazari scrisse nel 1206 un trattato di ocologeria e di meccanica (Il libro della conoscenza dei meccanismi ingegnosi), nel quale è trattata una pompa a stantuffi sollevati da cremagliere mosse da settori dentati. In V. Marcans, on oit.

²⁰ V. Muscus, et. ot.

²¹ Villard de HONNECOURT, Album, Ms. Fr. 19093, Paris (circa 1256), Bibliothèque nationale. Ed. crit. e trad. it. a cura di A. ERLANDE-BRANDENDOORG et al., Milano, 1980. 22 FRONCISCO di Giorgio, Trattati di architettura, ingrepreria e arte militare, Mss. sec. XV;

ristampa anastatica e trascrizione a cura di C. MALTESE, Milano, 1967. 25 V. Muicitts, op. cit. 24 Il primo disegno di una pompa pater noster (male interpretata) compare in un manoscritto di Mariano Taccola, ed è riportata in J.H. Bucx (a cura di), Mariano di Jacopo detto il

Taccola: Liber tertius de inteneis ac edifitiis non asitatis, Milano, Il Polifilo, 1969. 25 Le origini della noria azionata da una ruota idraulica sono discusse in P. BRAUNGTEIN, Innocutions in mining and metal production in Europe in the late Middle Ages, Journ. of European Economic History, 12, 1983.

al 1470; esse permisero per la prima volta un efficace controllo delle venute d'acqua in sotterrance, permettendo l'apertura di cantieri di coltivazione al di sotto della galieri d'accesso più profonda. I limiti di queste macchine erano comunque ben noti: Agricola fa rilevare che le pompe pater notter raggiungevano una previedanta massima di 80 m, mentre le norie a cutena, azionate da una ruota idraulica, potevano raggiungere anche i 150 m, ma erano così lente che nemerterano di feliminare solo modolere infiltrazioni.

Il De Re Metallica è considerato uno dei capostipiti dei trattati cinquecenteschi sulle macchine.26 trattando le macchine metalliche, cioè le macchine utilizzate nelle coltivazioni in sotterraneo e nella preparazione dei minerali. Nel VI libro del De Re Metallica²² venzono minuziosamente descritti eli ordieni con i quali l'acqua si cava fuori de pozzi, ... perché con l'abbondanza di quella ... si impediscano i cavamenti. Infatti, spesso accade che la presenza di consistenti venute di acqua intralci il regolare svolgimento dell'attività mineraria: ove non esista una galleria di scolo che smaltisca le acque all'esterno, occorre scavare un apposito pozzo di raccolta, che a suisa di fosna, o di padule più basso sia, e qui collocare una macchina per l'eduzione fino al livello della più vicina galleria di scolo: un'estesa sezione di questo libro è dedicata alla descrizione di tali macchine, classificate, dopo gli argani, come macchine da tirare (sollevare), con le quali si cavon fuori de nozzi i sean nesi. A questo proposito. Aericola fa rilevare la novità di alcune sue descrizioni che riguardano un nuovo tipo di pompa. destinato a rivoluzionare le tecniche minerarie fino allora adottate: di quelle [macchine] da tirare, le forme son diverse e varie: Er alcune di quelle molto artifiziose: e s'io non m'inganno, gl'antichi non n'hanno bavuto conoscimento niuno: le quali sono state tronate. Ee a fine che l'acque si possan cavare infin dal profondo de la terra, doce non è mina (valleria) che arrivi

Agricola, seguendo gli usuali e rigorosi criteri tassonomici tipici della sua opera, inizia la descrizione dei vari tipi di pompe, dopo aver riconosciuto che l'acque de poezi o si tirano fuori o si attriagno, cicò si estraggono sia discontinuamente, con secchie, ottri o mastelli per mezzo di argani ordinari, sia contimuamente, tontie notie: nome alternative a istone o nomes date motter.

³⁸ Neit eriginariamente come transut di neggenira militare, i libri di macchine arrivamon in again as ricoptre quais trait i semidi del terezico, rimanendo officialmino del Ve CNV exclus. ¹² pomore ricordare — ohre agli ametigami come Marinari Tacchi Et Madeloni, vincile del pomore ricordare — ohre agli ametigami come Marinari Tacchi Et Madeloni, Referent Valunico (Fer v. Militare, 1427) — i più marini amorti a trasti di macchine veri e peopet, come Josepan Remon (Thorisow Introncentare et Marinariam, 1996), (remoni periori peopet Remoni (Thorisow Introncentare et Marinariam, 1997), e degioni Samedia (Et disvere et artificiam sandore, 1998).

²⁷ Totte le citazioni seguenti, riportate in corsivo, sono tratte dalla traduzione italiana del De re metallica eseguita da Michelangelo Florio: De l'arte de' metalli libri XII, ..., Basilea, 1363.

Pompe a catena di secchi, o norie

Agairoba descrive ure tipi di notire il primo (fig. 1) è una semplice canna di scochi aironta manulamente con transmissioni e riduttori a noto dentatte, la macchina, di potenza limitata, è caratterizzata sia de porture triotte, sia da un sestema di trasmissione con bassi rendimenti meccanici (elle su troppo adagio, come auto fasto l'altre macchine che han molte notori: questre rappoi, ditre a docto elevano, ne imitarano fostremente la diffiziance. Un secondo tipo differisive dal primo per l'asserza del riduttore; tale configurazione comporta un imparato primo per l'asserza del riduttore; tale configurazione comporta un imparato promotare socchie più capisci, di como: melle si arrampiscano all'interno di tango al proposito del primo del

Pompe a pistone

Ampio spazio è dedicato alla trattazione delle pompe alternative a pistone a singolo effetto (cio è a le trombe, sistole & cannoni), derivate dalla pompa idraulica di Ctesibio e conosciute già dall'antichità; Agricola analizza sette configurazioni di tali macchine, migliorate, rispetto a quelle utilizzate in epoca classica e medievale, sia nella più accurata realizzazione dell'accoppiamento e delle tenute tra corpo e stantuffo, sia nel disegno delle valvole. Un primo tipo (fig. 2) raffigura l'impianto più semplice che si possa concepire: la pompa è azionata manualmente, sollevando lo stelo senza l'aiuto di leverismi; sono da notare i particolari delle tenute tra corpo pompa e stantuffo, realizzate con guarnizioni di cuoto, e i meccanismi delle valvole a ciabatta. Altre due versioni di questo tipo di impianto prevedono azionamenti meno faticosi, realizzati tramite cavalletti semplici o cavalletti equilibrati da un contrappeso di ritorno. Un quarto tipo di macchina inizia la serie delle pompe multiple, illustrate da alcune delle più belle tavole del De Re Metallica, ricche di particolari costruttivi e di disegni realizzati con la tecnica dell'esploso, che fa qui la sua prima apparizione nella letteratura tecnica. Si tratta in sostanza di due pompe accoppiate in parallelo (fig. 3), i cui stantuffi vengono azionati da un albero a gomiti orizzontale. Gli stantuffi sono collegati all'albero a gomiti tramite degli steli, che fungono da bielle. Già in questo tipo di macchina, ancora azionata manualmente, comincia a manifestarsi il problema della resistenza a squarciamento del corpo pompa, realizzato con un semplice tronco di legno abilmente perforato e rifinito nella zona di corsa dello stantuffo con appositi utensili: a questo proposito, il consiglio di Agricola è che meglio saria farlo o di piombo, o di rame, o d'ottone.



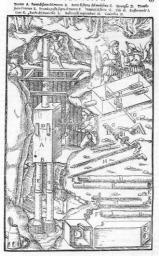
Vn'altra maccinna coli fatta con poche parole diferitta da Vieruuio, li fa che comaggior prestezza porta secchie d'un sestaro emezzo. Pertur dun-

Rollete langue A. Trombe B. Salore C. Goppo D. Bache id coppo D. Portelle F. Commonine G. Pain H. Manier delpaid t. Scorpe K. Trode conductional in Trade conductivity in the Common State of the Common State



Fig. 2.

LIBRO SESTO.



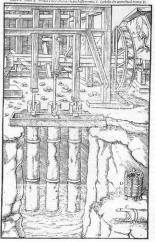
L'ulteriore potenziamento dell'impianto di sollecamento percole l'utilizzo di tre pompe in parallelo, ancora sistone amunalmente; per questa configurazione, il meccanismo di trasformazione del moto rotatorio in alternativo è quello relativamente più acciou dell'albero a ceramine quadere, peraltro molto più diffuso nelle materine metalliche di Agricola di quanto non lo sia il cinematimo biella mancolella. Di questo impianto viene dana la specifici rescritori condi materiale di acquia dara guar professi impianto viene dana la specifici rescritori condi materiale di acquia dara guar professi dell'articolo retrievale accionale dell'articolo dell'articolo dell'articolo retrievale accionale dell'articolo dell'articolo dell'articolo retrievale accionale dell'articolo d

L'ultimo tipo di impianto descritto è di enorme importanza nella storia della tecnologia mineraria; con esso viene superato il limite intrinseco degli impianti realizzati precedentemente, nei quali la prevalenza e la portata era condizionata dalla lunghezza tecnicamente realizzabile del corpo pompa compatibile con le sollecitazioni imposte. Tale lunghezza viene svincolata dalla prevalenza, permettendo di realizzare macchine nelle quali la prevalenza è legata solo alla potenza disponibile. L'idea di base è semplice, trattandosi delle usuali pompe a pistone a singolo effetto disposte in serie lungo l'asse del pozzo (l'uno è come sottoposto a l'altro); con questa configurazione la prevalenza è aumentabile a piacere, poiché ogni stadio scarica l'acqua in un piccolo bacino, dal quale è sollevata dallo stadio seguente. Questi impianti, adatti per l'installazione solo in pozzi verticali, necessitano però di potenze elevate, a causa dei grandi attriti generati dal complicato cinematismo adottato, per cui sono solitamente azionati tramite grandi ruote idrauliche. Agricola, sottolineando la novità di questa macchina metallica, introdotta da soli 10 anni nel distretto minerario sassone-boemo (e quindi attorno agli anni 1530-40), riconosce chiaramente la sua importanza applicativa: infatti essa è artifiziosa, durevole & utile, e senza grande spesa si può fare. La versione più semplice (fig. 5) è un impianto costituito da tre pompe a stantuffo in serie, i cui steli sono comandati sincronicamente da un'unica ruota idraulica: si può notare che il meccanismo di trasmissione, composto di vari bracci (pali) e biellette (branche), è cinematicamente ridondante, per cui i rendimenti, almeno nelle prime versioni, dovevano essere molto scarsi. Qualora la potenza idraulica disponibile fosse stata sufficientemente elevata, un'unica ruota idraulica poteva comandare anche due serie di pompe.

Pompe pater noster

La tratazione delle utilime sei macchine per l'eduzione delle ocque rigiurade la pompe patro motte manchine, ci deco so pulle caman si Lequipi, redizzate transite una cistena chiana scorrevole entro un condotto cavo (corpo pompa), continuido da un tronco perfottosi delortico a quello utilizzato nelle pompe atruttife, la catena è munita di improssamenti (palle di cuoio imbotine di critti) della sesso diametro interno del condotto, e viene fattas scorrere all'interno del corpo, e viene fattas scorrere all'interno del corpo.

rombe con querrondi ôtrei di fopra tira în l'acquade pozzelal t piuthe roo predi. La piu balla parce no pur di que fio o odorto, ma ezistido dela piu balla robad egi Palra, acio ringulide (epis, o altra cofa no tira fe, le piu uolte ferrar fi fuole in certe corbe fatee di umini grofis, posti ra la folla de l'acque-





Mafeil fiumicello non ha tanta acqua che baiti a girar quelta macchina di fopra efplicata, ilche auniene o per la natura de luogo, oucro p l'estate, nel qual tempo lessecità son molto lunghe, egli si fa una macchina, la quale hab-

pompa tramite una puleggia a frizione calertata in asse ad una rotas idendicio. Celi ingrossamenti fruncionano come pistoria a singole efferto. Il primo nie poli (§), 6 è una macchina mossa di una grande rotas idendicio di diametro compreso tra 42 e 30 piedi, munnita di polle i pied it code di unsullo cacette nel cuoino, spaziare di 6 piedi lango la catena. La prevalenza dichiasta per quosta macchina è di 210 piedi con mosta da 24 piedi di diametro, e di 249 piedi con mosta da 24 piedi di diametro, e di 249 piedi con mosta da 25 piedi di diametro, e di 249 piedi con mosta da 25 piedi di diametro, e di 249 piedi con mosta da 25 piedi diametro, e di 240 piedi con mosta da 25 piedi diametro, e di 240 piedi con mosta da 25 piedi diametro, e di 240 piedi con mosta di 250 piedi.

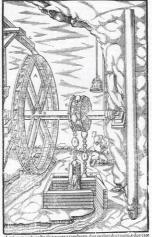
Un secondo tipo di impianto presenta due colonne di pompe azionate in parallelo da due pulegge a frizione, per cui la potenza necessaria al trascinamento è maggiore. Interessanti sono due sistemi di «controllo automatico» associati a questi impianti. Il primo è un indicatore del livello dell'acqua da edurre: l'addetto alla macchina, osservando a distanza la posizione di un indicatore (collegato ad un galleggiante calato in pozzo), può attivare o disattivare con sicurezza le paratie delle chiuse (il lavorante apre o chiude il canale per azionare la macchina). Il secondo, vista l'importanza di un corretto funzionamento dell'impianto per la sicurezza dei lavori in sotterraneo, è un congegno sonoro (campanella) che avvisa dell'effettivo movimento della catena di palle; la campana. collocata in superficie, è azionata tramite un meccanismo comandato da fondo pozzo dallo scorrere della catena. La presenza di tale controllo fa supporre che tali impianti non fossero presidiati stabilmente da un operatore, soprattutto nei giorni festivi, per cui potevano almeno essere «sorvegliati» a distanza. Un'ulteriore configurazione, utilizzata quando non è disponibile energia idraulica. prevede l'impiego di forza animale, tramite una ruota ad asse verticale relativamente elaborata; il moto viene trasferito all'asse orizzontale della pompa tramite corona (ruota dentata) e pignone (ruota a fusa), secondo il meccanismo di trasmissione già noto e collaudato nei mulini medioevali. Pare che questa pompa riuscisse a sollevare acqua da 240 piedi di profondità tramite otto cavalli operanti in turni di quattro ore: la macchina necessitava però di 32 cavalli, al fine di permettere un sufficiente intervallo di riposo ai medesimi. Agricola riporta l'interessante caso della miniera di Schemnitz nella quale, per poter approfondire i cantieri di coltivazione, erano state approntate tre stazioni di pompaggio simili a quella descritta: ricercandolo il bisogno [di approfondire la coltivazione di un filone), fabricar si sogliono molte di queste si fatte macchine, ... l'una in un luogo più profondo de l'altro. Per azionare queste tre macchine,

L'aut in 'un tropo pui propinto de l'attro. Pet autonare queste tre macchine. La più profondo delle quali en ponse a 660 piedia, cocrevano 96 cavailli, introdorti in miniera tramite un ammpa ciccoliale; per un pocto piezgia, e forto a
gunt al financa, per alcuni stagliori testimili si menano il cavailli a le mancho se.

Uneriori descrizioni presentano configurazioni divene a seconda del tipo di aziomanento. Si la così l'azionamento manuale in presa dietta effettuato da due
operai; tale impianto possiede una prevolenza di 48 piedi, ed è giuficatio come
il finante massimo per l'azionamento manuale; un ulteriore versione utilizza un

LIBRO SESTO.

Racte A. Trace B. Cole C. Monigle D. Ractestanismo E. Spragheliffero F.
Come G. Traci R. Pall L. Connoni K. Condibilitane S.



L'altra macchina ha due ruote a tamburo, due ordini di cătioni, e due cate neda tirare, le quali con le palle uerfon l'acqua. L'altre cofe fon'al tutto fimi-

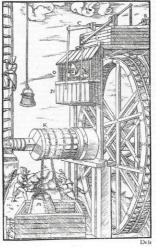
riduttore ad ingranaggi ed una squadra di quattro tomini, divisi in due turni, l'un paio itando in pie lavora, e l'altro se ne ste a sedere a riposorsi; nell'ultima versione la potenza è fornita da una grossa gabbia di sociationi in asse con la macchina, mossa da due honomiri che la calcano, avente larghezza e diametro rispettivamente di 4 e 24 iodie.

La trattazione delle pompe si conclude con la descrizione della più grande macchina metallica illustrata da Agricola: si trutta di un argano utilizzato per il sollevamento di grandi pesi (in questo caso grandi secchie od otri per l'acqua), il cui tamburo è calettato in asse ad una ruota idraulica di grande diametro (36 piedi) che possiede un doppio palettamento, al fine di poter invertire il senso di rotazione (fig. 7). La macchina è comandata da un areanista (rettor de la macchina) che controlla, ferma ed inverte il moto; essa può venire bloccata tramite un tamburo frenante, in asse con la ruota idraulica, manovrando opportuni rampini. Per manovrare la macchina occorrono cinque persone: il citato arganista, un frenatore, due manovali per le operazioni di manovra dei carichi appesi al gancio ed un manovale a fondo pozzo per il carico dei materiali da sollevare. In questa macchina, oltre alle dimensioni rapeuardevoli dell'insieme, è interessante notare il meccanismo escogitato per l'inversione del moto, realizzato tramite l'ammissione dell'acqua alternativamente su palettamenti di verso discorde. Tale macchina rimane comunque solamente un versatile argano di grande potenza, non essendo stata apportata alcuna novità nell'ambito delle tecniche di eduzione delle acque: bisognerà attendere l'avvento della potenza fornita dalle macchine a vapore per poter parlare di vero e proprio inizio dell'età moderna nelle tecniche minerarie.

UNA NUOVA MACCHINA PER L'EDUZIONE DELLE ACQUE

La prospettiva di un forzato abbandono delle miniere su larga scala doveva spanire pericionomente prossima mano a mano che colivizzioni si avvicinavano ai limiti imposti dalla presenza della falda acquiiera. Questa situazione di crist ed manonara di nouve tecnologici in la spinta che portò all'invernizione di una mova macchina che potesse ovviare alla searsa prevolenza montrata dalle pompre in uso fino ai primi mai del 1500. La macchina, così come è stata decretta di Agricola (tig. 5), e arcora piamono radimentale, e non è detata al initiati, i protosi pili literata in De Re-Medilica psonichono una prosidenza piuri tonto bassa, che si può stitunez attorno si 20 m: anche se accost radisvimente proco villupari el certemamente complessi, sopratumno nella catena cinematica, i primi impianti e le prime applicazioni furunos talmente soddisfacenti che furuno subtito giudicati disverodi, utili es ospattuto economici. I vantaggi fumos evidenti anche ad altri tecnici minerari dell'epoca, i quali riconobbero in breve gli enormi rapumi i espi possibili da quori impianti: restimosionare dell'epoca risportano intrami rispossibili da quori impianti: restimosionare dell'epoca risportano intrami rispossibili da quori impianti: restimosionare dell'epoca risportano framira intrami rispossibili da quori impianti: restimosionare dell'epoca risportano properti propertione.

174 DE METALLE College A, Conde B: Coiglie C.D. Condi from giufei E.F. Penne dioppie ⊆ H. True E. Timponguele K. Caime L. Bulgis Di. Cofine pendente N. Bener del mendina. O. Geographic various lefulge r. A.



alcuni casi in cui si ebbero risparmi attorno al 90% delle spese globali per l'eduzione.28 I successi applicativi portarono quindi al rapido sviluppo ed al perfezionamento meccanico di questo tipo di impianto. Solamente circa sessant'anni più tardi, nel 1617, il Löhneiss descrisse un impianto costituito da una serie di 20 pompe che, nonostante la complicazione, possedeva una prevalenza di circa 200 metri: ciò può far comprendere la grande spinta che si ebbe nella seconda metà del secolo per accelerare il rinnovo di molte stazioni di pompaggio.29 La macchina ebbe anche in seguito un'enorme fortuna in tutte le miniere europee, mostrando una grande diffusione geografica ed una lunga fortuna applicativa. «Dalla Boemia passò in Sassonia attorno al 1550, e di li raggiunse lo Harz nel corso del decennio successivo. Entro il 1590 i minatori tedeschi la introdussero nella Svezia centrale, nelle famose miniere Kopparberg di Falun. Verso Sud [...], la prima macchina fu costruita nel 1596 nelle miniere di mercurio di Idria, in Friuli, e a quella data essa era ormai conosciuta in quello che oggi si chiama Belgio, e molto probabilmente anche in Inghilterra, nel Cumberland».39 Essa si trova puntualmente descritta nel trattato di Della Fratta¹¹ come una tra le pompe più efficaci, e, attraverso i teatri di macchine del XVIII secolo di Andreas Böckler e Jacob Leupold, approda all'Enciclopédie di Diderot e D'Alembert.

Quotes macchine funono in seguito ulteriormente raffinate od claborate, cquindi collegate sia alla forza motrice di grandi route diraulides, ceventualmente potte anche a notevole distanza dal punto di unifizzazione, ³¹ sia, dagli inizi del XVIII secodo in poi, alla potenza dei nuosi motoria a vupore. La prima applicazione industriale del vapore si ha proprio nell'ambito minerazio. Thomas Severy¹³ breventi la sua pompa a vupore nel 1702, de non era aftro che un rudimentale motore accoppiatos ad una pompa a pistoni multiratdo. In definitiva, tali pompe minassero di suo corrette fino attorno al 1870, quando si iniziò

wie man dieselben hawen ..., Zellerfeld, 1617.

⁵⁶ Nei 1548, Errard de Barlo-Duc spiegara, nel suo Le Premier Lisre des instruments mathématiques méchaniques, come tranmentene i mosimenni a distanza quando l'acqua da sollevare non era quella del fiume che mooveva la ruota del mulino.

35 T. SOSEN, The miners friend, or, An engine to naive water by five, described. And the manner to fix it in mines: With an account of the several other uses it is applicable unite, and an answer to the objections made against it, London, 1702.

²⁶ Si veda la relazione di Marino Planer, progettista e contrantore di numeroni impianti di questo tipo, preparata per l'Elettrone di Sassonia nel 1757, i poperata in R. Wiscosta, Revielot Ide Bergeonaliteri Marini Planer ibber den Stand dei Peribergo Berghaus: in Jabre 1514 dei Bergeonaliteri Marini Planer ibber den Stand dei Peribergo Rephaus: in Jabre 1514 (n. «Mittellungen des Freiberger Alternauss Version», 35, 1898. In H. Sistox, op. cit.
27 George Engelhard von Licetuss, Gonzáldebre and auxificialité Beriots som Bergoerie,

³º Marco Antonio DELLA FRATTA et Montalbano, Pratica Minerale, Trattato del March. Marco Antonio della Fratta et Montalbano... Bologna, 1678.
3º Nel 1548. Errard de Barle-Duc nigograv, nel suo Le Premier Liure dei instruments

a sottinide fina solo nei haciti minerari più solloppati, come nella Buh) con impianti di conceione moderna. Hintit, questi miginati sono anonea risperati nel classico testo di coltivazione delle miniere di Haton de la Goupilliere il quale afferma che l'applicazione di queste pompe en pressoché genetale fino a tutta la prima metà del XIX secolo: case furono abbandonate solo con l'avveno di stetenti più efficienti e meno ingesubrati nei conformi della secione del programa del programa del mentionamento metale mardie di programa del mentionamento meccanico ed idiratico di questa macchina.

H I.K. FROM, on, cit.

³⁵ H. de la Gourname, Cours d'Explosation des Mines, Paris, 1941.