

STORIA DELLA TECNOLOGIA

A CURA DI

CHARLES SINGER ERIC JOHN HOLMYARD
A. RUPERT HALL TREVOR I. WILLIAMS

VOLUME IV

LA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

CIRCA 1750-1850

TOMO PRIMO

BOLLATI BORINGHIERI

7.

RUOTE AD ACQUA DAL 1500 CIRCA AL 1850 CIRCA

A. STOWERS

I. INTRODUZIONE

L'ORIGINE e la piú antica storia della forza motrice dell'acqua sono state esaminate e illustrate nel capitolo 17 del secondo volume. In esso si afferma che la piú antica ruota ad acqua fu il mulino norvegese, costituito da una ruota orizzontale di legno a tazze messa in movimento da un corso d'acqua, che produceva al massimo mezzo cavallo-vapore. I tecnici romani perfezionarono il mulino vitruviano, costituito da una ruota verticale di legno ad asse orizzontale, che poteva produrre circa 3 cavalli-vapore. Nell'Europa occidentale il mulino ad acqua e il mulino a vento rimasero le principali fonti di energia per molti secoli, fino alla realizzazione delle macchine a vapore di Newcomen, Smeaton e Watt nel diciottesimo secolo.

Il mulino vitruviano era di due tipi: *a*) con ruota idraulica per di sotto, alimentata cioè direttamente dal fiume nella sua parte inferiore, *b*) con ruota idraulica per di sopra, ossia alimentata da un corso d'acqua regolato e addotto, mediante un canale artificiale, alla parte superiore della ruota. Questi due tipi principali di ruote idrauliche rivoluzionarono la macinazione dei cereali, e il loro uso o adattamento per azionare altri macchinari fece notevolmente progredire su nuove basi la tecnologia. Tale sviluppo tecnologico si verificò specialmente dopo il quarto secolo, in seguito al riconoscimento ufficiale nell'Impero Romano della religione cristiana, la quale vietava l'impiego di schiavi per macinare il grano.

Benché il progresso tecnologico fosse fortemente ostacolato dopo la caduta dell'Impero Romano, il numero dei mulini ad acqua aumentò, particolarmente nei secoli undicesimo e dodicesimo. Nel quindicesimo secolo, ormai, essi venivano generalmente impiegati per numerosi scopi industriali, a esempio per tagliare e levigare il marmo, per macinare polvere da sparo e pigmenti, per segare legname, follare le stoffe, conciare, frangere semi oleosi, produrre il ferro e la carta e infine per irrigare.

Il piú antico documento che ci ragguagli circa l'impiego in Inghilterra di mulini ad acqua per macinare cereali è costituito da un diploma concesso nel 762 d.C. da Æthelbert di Kent ai proprietari di un mulino di un monastero a

oriente di Dover. Ma la piú importante documentazione storica a questo proposito è indubbiamente il censimento Domesday, iniziato nel 1080 e completato nel 1086. In esso vennero elencati oltre 5000 mulini per cereali, per lo piú a sud e a est dei fiumi Trent e Severn. I mulini erano probabilmente di ambedue i tipi, norvegese e romano, ma questi ultimi col tempo predominarono ed essendo la maggioranza di essi situata nella parte orientale del paese, viene spontaneo pensare che l'utilizzazione della forza motrice idraulica sia giunta in Inghilterra dal continente europeo dapprima nel Kent, estendendosi poi all'Anglia Orientale, al Lincolnshire, ai distretti centrali e alla parte meridionale.

2. SEDICESIMO SECOLO

È fuor di dubbio che all'inizio del sedicesimo secolo la ruota idraulica era di gran lunga la piú importante fonte di energia in Europa. Essa stava infatti alla base del lavoro minerario e metallurgico; magli e mantici azionati dalle ruote idrauliche erano essenziali per la produzione del ferro fucinato e della ghisa. Le operazioni di sollevare, frantumare, polverizzare minerali, alesare le canne delle armi da fuoco e trafilare fili metallici venivano attuate con l'aiuto di queste ruote. La forza motrice idraulica, inoltre, era impiegata per l'estrazione di rame e argento nelle miniere.

In Inghilterra la maggior parte dei villaggi e delle cittadine era situata in luoghi provvisti di corsi d'acqua, e possedeva quindi uno o piú mulini da grano che i mugnai prendevano in affitto dai signori feudali. Sorsero paesi nelle vallate dei fiumi — a quanto pare cosparse di un gran numero di mulini ad acqua — che favorirono il fiorire di industrie, specialmente per la produzione di ferro e di tessuti. L'estendersi dell'uso della ruota idraulica nell'industria richiese ovviamente il concomitante perfezionamento di apparecchiature meccaniche per la trasmissione della forza motrice. Furono studiati quindi nuovi metodi di impiego degli antichi ingranaggi, per muovere macchine differenti in diversi modi, così da accrescerne la velocità e il rendimento.

Nei tempi feudali il mulino del castello era una preziosa fonte di guadagno per il signore, poiché gli permetteva di riscuotere affitti considerevoli per appezzamenti di terreno relativamente piccoli. I canoni di affitto dei mulini variavano notevolmente, e il mugnaio, che poteva essere obbligato a provvedere da sé alle sue macchine, effettuava spesso il pagamento parte in contanti e parte in natura. Talvolta venivano incluse nell'affitto le anguille che si pescavano nella gora del mulino. La legge feudale che attribuiva l'esclusività della macinazione ai feudatari dava anche solo a questi il diritto alla costruzione e all'esercizio dei mulini sulle loro proprietà. I contadini erano costretti, secondo il diritto di molitura, a far macinare il loro grano presso i mulini del proprio signore. Il mugnaio esigeva una molenda, di solito la sedicesima o ventesima parte del grano da ogni sacco che aveva macinato, e ciò suscitava molte la-

gnanze a causa del variare delle molende, in certi casi eccessive, richieste da mugnai poco scrupolosi. I feudatari infliggevano severe pene ai contadini che macinavano clandestinamente il grano in casa con macine a mano o che per difficoltà di trasporto o per mancanza di acqua si servivano di un altro mulino. Le macine a mano erano pertanto frequentemente distrutte o confiscate.

Numerosi mulini ad acqua appartenevano a monasteri o priorie, in quanto la grandezza di queste comunità richiedeva la macinazione di grano su scala relativamente vasta. Alcuni mulini appartenevano al re e altri a privati. Riferimenti a mulini idraulici si trovano sempre più frequenti in trasferimenti di proprietà, testamenti e altri documenti legali. Se non potevano sorgere controversie sullo sfruttamento dell'aria per la conduzione dei mulini a vento, molti interessi contrastanti erano invece in giuoco per il diritto di proprietà dei corsi d'acqua. A esempio chi faceva assegnamento sulla pesca per guadagnarsi da vivere, si lamentava di essere danneggiato dai mulini; i padroni di chiatte e di barche protestavano perché mulini, pescaie, cateratte e simili ostruzioni mettevano in pericolo la navigazione, e si hanno infatti notizie di incidenti fatali dovuti a queste cause. Inoltre la costruzione di un nuovo mulino poteva influire negativamente sul funzionamento di altri situati più a valle del fiume, specialmente nei periodi di scarsità d'acqua.

Una preziosa fonte di notizie è il *Boke of Surveyinge and Improvements* ("Libro di rilevamento e miglioramenti") di John Fitzherbert, pubblicato postumo nel 1539. Fitzherbert afferma che i mulini non venivano comunemente installati su grandi fiumi, ma in luoghi appositamente scelti nei quali veniva convogliata l'acqua dal fiume mediante una gora (canale costruito in muratura o legname) in modo da addurla convenientemente al mulino. P. N. Wilson, tuttavia, reputa che questi mulini fossero probabilmente provvisti di semplici ruote azionate per di sotto, aventi pale piatte, azionate dall'acqua corrente e poco efficienti.

Fitzherbert nel suo libro sottolinea l'importanza di dare alla gora, nella parte finale, un'adeguata caduta per ridurre al minimo gli svantaggi dell'acqua stagnante, che causava il rallentamento della ruota dovuto all'accumularsi di acqua sotto di essa. Più avanti egli scrive: "Vi sono poi altri due tipi di mulino da grano: il mulino con ruote alimentate per di fianco e quello con ruote alimentate per di sopra. Questi mulini sono comunemente installati su piccoli corsi d'acqua; essi hanno ruote larghe un piede o più, costruite in modo da formare, lungo la periferia, delle tazze, chiamate cassette. Queste debbono essere dimensionate e costruite in modo da sfruttare sia il peso sia la forza viva dell'acqua. Il mugnaio deve attingere acqua secondo la capacità delle sue cassette, che debbono risultare sempre piene al giusto livello per non far trascinare l'acqua, il che andrebbe a scapito del rendimento."

Nella ruota per di fianco l'acqua alimenta le cassette proprio al disopra o al disotto dell'asse orizzontale della ruota: di conseguenza tale ruota rappresenta un tipo intermedio fra la ruota azionata per di sotto, più antica, e quella

azionata per di sopra. Fitzherbert conferma il principio che le ruote alimentate per di fianco e per di sopra, se le loro cassette sono piene al giusto punto, producono maggior potenza di quelle alimentate per di sotto. Da ciò l'importanza di tener riempiti di acqua i cassetti il più a lungo possibile durante il moto della ruota, per accrescerne il rendimento. Per evitare l'inconveniente dell'anticipato travaso delle cassette, divenne di uso comune costruire delle pareti (corsie) in mattoni o pietra tutt'intorno alla ruota, distanti solo pochi centimetri da essa e per un quarto del suo diametro. I mugnai che effettuavano il lavoro nel sedicesimo secolo probabilmente sapevano, per esperienza, che il peso dell'acqua nelle cassette produceva più potenza della forza viva della stessa corrente che agisse sulle pale di una ruota per di sotto, benché sembra vi fossero dubbi al riguardo. Tuttavia questo principio fu confermato duecento anni dopo da Smeaton, i cui esperimenti sono descritti più avanti in questo capitolo.

3. RUOTE ALIMENTATE PER DI SOTTO

Nella sua forma più primitiva la ruota ad asse orizzontale era usata nell'Estremo Oriente per sollevare l'acqua allo scopo di irrigare i terreni. Le pale tuffandosi nel fiume davano il movimento e al tempo stesso riempivano tubi di bambù chiusi a un'estremità, o vasi di terraglia fissati alla periferia della ruota. L'acqua defluiva dai recipienti in vasche o canali, quando la rotazione portava gli stessi in cima alla ruota.

Un grande progresso fu compiuto nell'Europa occidentale, coll'aumento della potenza delle ruote, quando si cominciarono a costruire dighe o sbarramenti attraverso i corsi d'acqua per accumulare e rialzare il livello dell'acqua stessa per esempio in bacini. L'acqua era poi condotta ai fiumi più a valle mediante un canale artificiale. La ruota, che poteva essere installata dentro o fuori del mulino, pescava nel corso d'acqua e il flusso era regolato da una paratoia che prelevava l'acqua dalla diga secondo la necessità. L'acqua era addotta alle pale mediante uno stretto canale in muratura, che aveva anche il compito di reggere i supporti del perno. Quando la ruota era inoperosa e la paratoia chiusa, il livello dell'acqua saliva fino a raggiungere l'orlo dello sbarramento: di conseguenza furono studiati dispositivi atti a regolare il deflusso dalla diga o dalla chiusa verso il fiume, che in epoca più tarda furono muniti di galleggianti automatici.

Questi erano i mulini idraulici più semplici, di facile costruzione e funzionamento. La ruota azionata per di sotto, che forniva forza meccanica a basso costo per azionare mulini da grano, gualchiere e forge, era soprattutto diffusa presso popolazioni rurali, cui facilitava il rifornimento di farina, stoffe di lana e ferramenta, principali necessità delle comunità in cui filatura e tessitura erano ancora attività domestiche.

La ruota azionata per di sotto fu in molti casi sostituita dalla ruota per di

fianco, in modo da sfruttare al massimo l'acqua a disposizione. Fu però utilizzata perfino nel diciannovesimo secolo in luoghi remoti dove erano abbondanti la forza motrice idraulica e il legname, ma scarse l'abilità meccanica e la

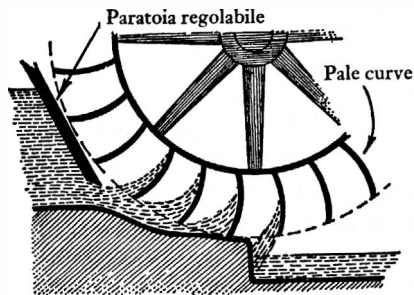


FIGURA 113—Ruota idraulica di Poncelet.

era in effetti una ruota per di sotto molto perfezionata, già quasi una specie di turbina (fig. 113): usata per cadute di 1,8 metri, il suo rendimento si avvicinava al 65%.

4. GLI ESPERIMENTI DI SMEATON

All'epoca della nascita di John Smeaton (1724-92), la maggior parte delle industrie utilizzava ruote idrauliche per il funzionamento dei macchinari. I mulini azionati da cavalli erano inadeguati e quelli a vento non erano idonei a soddisfare le esigenze di lavorazioni che richiedevano una continuità nella produzione. Smeaton, all'età di ventisette anni, decise di indagare scientificamente come migliorare il rendimento delle ruote idrauliche. Essendo stato apprendista presso un costruttore di strumenti matematici, egli costruì da sé un modello adatto allo scopo, sottoponendolo ad accurate prove (figg. 91, 92; pp. 157-58).

Il modello originario consisteva in una ruota idraulica, alimentata per di sotto, del diametro di 60 centimetri circa, con pale piatte. Mediante una pompa a stantuffo azionata a mano l'acqua era sollevata in una vasca di legno, con la quale si poteva utilizzare una caduta d'acqua di circa 90 centimetri, e defluiva poi attraverso una paratoia regolabile e lungo un canale fino a colpire le pale. La potenza prodotta era calcolata misurando l'altezza che raggiungeva in un minuto il piatto di una bilancia caricato di pesi. La quantità d'acqua somministrata alla ruota veniva misurata contando il numero di corse al minuto dello stantuffo della pompa necessarie a mantenere un quantitativo costante d'acqua nella vasca di alimentazione. L'acqua circolava in un circuito chiuso e veniva utilizzata praticamente un numero infinito di volte. In una seconda serie di esperimenti, egli usò invece un modello di ruota alimentata per di sopra con un canale atto al convogliamento dell'acqua al disopra della ruota stessa.

mano d'opera. Nel diciottesimo secolo eminenti ingegneri quali John Rennie (1761-1821) e Sir Marc Isambard Brunel (1769-1849) disegnarono e costruirono a Dartford e nell'arsenale di Chatham segherie azionate da grandi ruote idrauliche per di sotto e con assi di ferro. A Dartford una ruota del diametro di 4,9 metri e della larghezza di 1,37 metri metteva in azione sedici seghe di differenti tipi. La ruota disegnata da J. V. Poncelet (1788-1867)

Smeaton trovò che il massimo rendimento che si poteva ottenere dalla ruota alimentata per di sotto non superava il 22%, mentre quello della ruota per di sopra raggiungeva circa il 63%. Egli osservò che v'era una notevole dispersione di energia nelle ruote alimentate per di sotto, causata dall'azione diretta dell'acqua sulle pale piatte, e dimostrò che era più efficace il riempimento d'acqua dei cassetti della ruota alimentata per di sopra: ossia era più facile e conveniente lo sfruttamento del peso dell'acqua che la sua forza viva. Trovò infine che non v'era alcun vantaggio apprezzabile ad accrescere la caduta d'acqua nelle ruote alimentate per di sopra o a far colpire i cassetti da acqua a grande velocità. Egli infatti scrisse: "Più grande sarà il diametro della ruota in rapporto alla caduta, più grande sarà la produzione di energia, poiché questa non dipende solo dalla forza viva del salto, ma soprattutto dal peso dell'acqua nei cassetti... È consigliabile che l'acqua abbia una velocità un po' maggiore della velocità periferica della ruota, onde evitare che la ruota venga rallentata quando i cassetti colpiscono l'acqua e che si abbia una diminuzione della potenza prodotta a causa dell'acqua che viene versata nell'urto."

5. RUOTE ALIMENTATE PER DI FIANCO

Il 3 e il 24 maggio 1759 Smeaton presentò due scritti alla Royal Society, intitolati "Experimental Enquiry into the Natural Power of Wind and Water to turn Mills" (pubblicati a Londra nel 1794), nei quali esponeva in dettaglio i suoi risultati e per i quali gli fu conferita la medaglia Copley della società. Prima di allora la ruota alimentata per di fianco non era molto conosciuta né ben definita nel suo comportamento idraulico ed era considerata un compromesso in cui venivano assommata la forza viva e il peso. Benché Smeaton non avesse sperimentato questo tipo di ruota con un modello, egli affermò che si dovevano applicare i medesimi principi delle altre ruote, poiché tutte le ruote alimentate tra il vertice e il centro e tra il centro e il piede si possono considerare dal punto di vista idraulico ruote per di sopra, in quanto la forza preponderante che utilizzano è il peso dell'acqua (o energia di posizione). Tutte le altre ruote, siano esse ad asse verticale, orizzontale od obliquo, sono da considerarsi ruote per di sotto. Pertanto il lavoro utile delle ruote per di fianco alimentate tra il vertice e il centro sarà dato dal peso dell'acqua, mentre per quelle alimentate tra il vertice e il piede si dovrà tener conto anche della forza viva di essa. Concluse che l'effetto totale o potenza di una ruota azionata per di fianco sarebbe la somma *a*) dell'effetto di una ruota azionata per di sotto con un salto uguale alla differenza in altezza tra il pelo dell'acqua nella gora e il livello a cui colpisce la ruota, e *b*) di quello di una ruota azionata per di sopra con un salto uguale alla differenza fra il livello a cui avviene l'urto e il pelo dell'acqua alla fine del condotto. Nella pratica, tuttavia, la potenza totale era alquanto minore.

6. RUOTE ALIMENTATE PER DI SOPRA

Se l'acqua che scorre lungo un pendio viene utilizzata per riempire dei recipienti di terraglia fissati lungo la circonferenza di una ruota (tale infatti poteva essere una ruota idraulica primitiva per irrigazione), l'acqua col proprio peso appesantisce la ruota da un lato e costringe i recipienti a discendere; essi poi

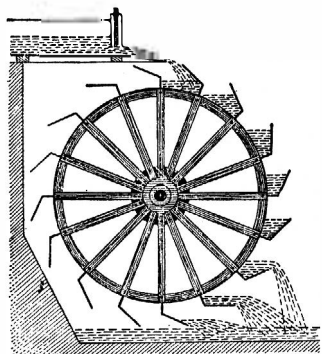


FIGURA 114—Tipica ruota idraulica per di sopra, vista in sezione senza le corone laterali. Circa 1600.

si svuotano al fondo provocando un moto rotatorio. Quindi l'energia di posizione dell'acqua viene trasformata, mediante questo moto, in energia meccanica. È da rilevare che la rotazione di una ruota alimentata per di sopra avviene in senso inverso di quella della ruota alimentata per di sotto. È ovvio che recipienti a collo stretto sono inadatti. L'esperienza suggerì in seguito di costruire sulla corona della ruota una serie di cassette di legno, per tutta la larghezza della ruota stessa. Il canale di alimentazione era poco profondo e largo leggermente meno della ruota. Le antiche ruote in legno (fig. 114) erano costituite da due serie di raggi (razze) fissate nell'albero, alla distanza voluta

l'una dall'altra; i raggi erano collegati alle estremità esterne da segmenti in legno che formavano la circonferenza. Le circonferenze delle due semiruote erano unite fra loro trasversalmente da tavole, che costituivano la suola. Sul fianco della circonferenza, in corrispondenza delle estremità laterali della suola, venivano applicate le due corone, costituite da robuste tavole larghe 30 centimetri o più, e fra esse venivano inserite e incassate le pale che, assieme con le corone e con la suola, formavano le cassette. Queste avevano così una sezione triangolare, col terzo lato aperto per ricevere l'acqua. Più tardi le pale furono eseguite in due pezzi, uno dei quali formava la parte frontale e l'altro il fondo del cassetto. Quest'ultima forma di cassette rimase invariata per molti anni, fino all'introduzione di piastre ricurve di ferro nella costruzione delle ruote.

Joseph Glynn, un altro ingegnere civile costruttore di numerose grandi ruote idrauliche del diciannovesimo secolo, scrisse che "gli esperimenti del signor Smeaton misero in evidenza che il miglior rendimento era ottenuto quando la velocità della circonferenza della ruota era di circa 90 centimetri al secondo. Quindi divenne regola generale dare alle ruote idrauliche alimentate per di sopra una velocità di circa un metro al secondo o 64 metri al minuto alla circonferenza. L'esperimento ha dimostrato che questa velocità è applicabile tanto alle ruote idrauliche di grande quanto a quelle di piccola circonferenza, e se tutte le parti sono costruite e dimensionate appropriata-

mente, si otterrà un buon rendimento. È stato anche dimostrato praticamente che la velocità di ruote di grande circonferenza può essere accresciuta oltre questo limite senza una diminuzione apprezzabile di rendimento man mano che l'altezza della caduta e il diametro della ruota aumentano. Una ruota di 7,3 metri di diametro può girare alla velocità di 1,8 metri al secondo senza alcuna perdita notevole di potenza." Glynn adottò questa velocità nel costruire diverse ruote in ferro azionate per di sopra, del diametro di 9 metri o anche maggiore. Con l'aumento della velocità periferica riuscì ad aumentare il numero dei giri da 2 e 1/4 a quasi 4 al minuto per una ruota di 9 metri. La maggior velocità consentiva un minor impiego di ingranaggi per azionare macchine alla velocità richiesta, e riduceva il carico sulla ruota e sull'asse quasi in ragione inversa alla sua velocità. Inoltre procurava un aumento della regolarità di moto dovuto a una maggior coppia di spunto e a un maggior momento motore. Tuttavia, come Glynn affermò, v'era un limite alla realizzazione di grandi ruote per di sopra, poiché erano costose, ingombranti e lente.

7. RUOTE IDRAULICHE DI SMEATON

John Smeaton, uno dei più famosi tecnici del diciottesimo secolo, acquistò grande popolarità dopo il successo da lui ottenuto nella costruzione del terzo faro a Eddystone (p. 479). Durante la sua operosa vita egli compì molto lavoro, meno conosciuto, anche nel campo dell'ingegneria civile e meccanica. Benché non fosse propriamente un inventore, si diceva di lui che non potesse occuparsi di un problema senza approfondirlo e perfezionarlo. La Royal Society possiede circa milleduecento suoi disegni, rilegati in sei volumi, dei quali un "Catalogo dei disegni di ingegneria civile e meccanica 1741-92, di John Smeaton, F.R.S. [socio della Royal Society]" fu pubblicato dalla Newcomen Society nel 1950.

Dopo la sua morte, avvenuta nel 1792, manoscritti, disegni e quaderni di lettere furono acquistati da Sir Joseph Banks, presidente della Royal Society, che approvò l'iniziativa presa, nel 1795, da un comitato della Società smeatoniana di Ingegneri civili, fondata da Smeaton stesso, di pubblicare una scelta degli studi da lui compiuti. Per molti anni i disegni furono in mano di John Farey (1760-1826) e del di lui figlio John (1790-1851), più noto, che li raccolse e li riordinò.

Il primo volume, *Windmills and Watermills for Grinding Corn* ("Mulini a vento e mulini ad acqua per macinare grano"), e il secondo, *Mills for various Purposes and Machines for Raising Water* ("Mulini per vari scopi e macchine per sollevare l'acqua"), costituiscono una documentazione assai preziosa di una parte del suo lavoro. Da questi due volumi P. N. Wilson scelse 60 schemi, che poi analizzò in uno scritto presentato nel 1955 alla Newcomen Society (cfr. la bibliografia alla fine di questo capitolo). Un impianto per macinare cereali, olive, polvere da sparo o per follare panni che fosse azionato da una

ruota idraulica veniva normalmente chiamato "mulino", tuttavia è interessante notare che le ruote idrauliche usate per azionare pompe o mantici di forni venivano solitamente indicate come "macchine". I disegni di ruote idrauliche del terzo volume, *Fire Engines for Raising Water* ("Macchine termiche per sollevare l'acqua"), sono tutti relativi a "macchine" che funzionano principalmente mediante una caduta d'acqua approvvigionata in serbatoi e che sono

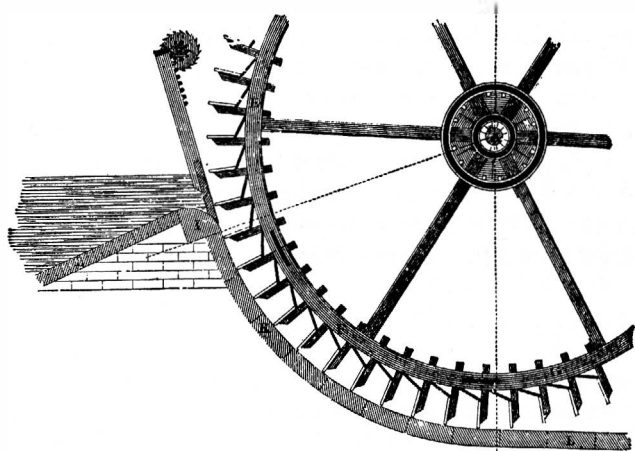


FIGURA 115—Tipica ruota per di fianco, alimentata tra il centro e il piede, del 18° secolo, disegnata da Smeaton. La ruota era regolata da una paratoia comandata da un martinetto a cremagliera.

impiegate per azionare macchinari a movimento alternativo o per muovere i vagonetti nelle miniere. Le "macchine termiche" descritte in questo volume sono le macchine a bilanciere del tipo Newcomen che pompavano l'acqua dalla gora ai serbatoi per il funzionamento delle ruote per di sopra. Wilson ha potuto individuare l'ubicazione di molti mulini ad acqua, ma ha affermato che, da quanto a sua conoscenza, non sono stati ritrovati resti di ruote idrauliche costruite da Smeaton. In molti casi i mulini sono stati demoliti, ma, anche dove sono tuttora esistenti, le ruote originarie di legno furono probabilmente sostituite nei successivi cinquant'anni.

Molte ruote idrauliche di Smeaton erano del tipo per di fianco alimentate tra il centro e il piede (fig. 115), con pale piatte e senza corona. Il diametro variava da 3,6 a 5,5 metri, la larghezza da 0,6 a 2,1 metri e l'altezza di caduta da 1 a 3 metri. Quando il salto utilizzabile dell'acqua era molto basso, le ruote erano alimentate tra il centro e il piede. L'unica ruota veramente azionata per di sotto realizzata da Smeaton fu un esemplare molto grande, del diametro di 9,75 metri e della larghezza di 4,55 metri, costruito per lo stabilimento idrico del Ponte di Londra (London Bridge) sul Tamigi (p. 501). Installata sotto l'arcata del ponte, era messa in movimento dalla corrente del fiume e, munita

di 24 pale alte 1,37 metri, azionava pompe prementi mediante ingranaggi di legno. Dopo aver funzionato dal 1768 al 1817 fu sostituita con una ruota di ferro. La storia dal 1582 in poi dell'impianto idrico del Ponte di Londra, realizzato in origine da Peter Morris per rifornire d'acqua le case del centro della città, è stata dettagliatamente descritta nel lavoro *Water supply of Great London* ("Il rifornimento idrico di Londra") di H. W. Dickinson, pubblicato nel 1954 dalla Newcomen Society. Esso comprende disegni di ruote idrauliche e pompe che risalgono al 1635, 1737 e 1768; quest'ultima realizzata da Smeaton, come abbiamo accennato prima.

Una tipica ruota di legno alimentata per di fianco costruita da Smeaton si trovava nella fabbrica di ardesia artificiale a Woodford Bridge, Essex, e utilizzava una caduta di 1,8 metri. La ruota aveva un diametro di 4,8 metri e una larghezza di 1,5 metri. I sei gavelli di legno che costituivano la circonferenza esterna (corona) erano uniti fra loro mediante incastri e rinforzi di piastre di ferro. I dodici bracci o raggi erano fissati a mortasa sull'albero di legno, del diametro di circa 60 centimetri, munito agli estremi di perni di ferro del diametro di 20 centimetri circa e lunghi pure circa 20 centimetri, che rotavano nei due supporti. L'estremità dell'albero era rinforzata con anelli di ferro applicati a caldo. I perni erano inseriti e fissati mediante due ali a croce, che penetravano in appositi incavi all'estremità dell'albero ed erano avvitate.

Smeaton costruì poche grandi ruote alimentate per di fianco, quantunque questo tipo divenisse di uso comune dopo il 1800. Egli rivolse molta attenzione alle ruote alimentate per di sopra, impiegandole dovunque le circostanze lo permettessero, in considerazione del maggiore rendimento dimostrato anche attraverso gli esperimenti da lui stesso eseguiti con modelli. Egli preparò due progetti per il mulino da grano a Carshalton, sul fiume Wandle, nel Surrey, comprendenti l'uno due ruote alimentate per di fianco del diametro di 5,5 metri circa e della larghezza di 1,8 metri, l'altro due ruote alimentate per di sopra del diametro di 2,2 metri circa e della larghezza di 2,25 metri con una caduta d'acqua di 2,6 metri circa. Dei due fu scelto quest'ultimo progetto.

Smeaton, essendo ingegnere consulente delle ferriere della Carron Company, a Falkirk, fu in grado di sperimentare e perfezionare pezzi in ghisa per macchinari, che costituiscono uno dei suoi più grandi contributi all'ingegneria meccanica. Il suo primo asse in ghisa per una ruota idraulica venne fuso nel 1769 per la macchina numero 1 della ditta Carron, che serviva all'insufflazione del forno, in sostituzione dell'asse di legno che si era spezzato. Un tipico esempio fu l'albero in ghisa della ruota per l'ufficio reale di vettovagliamento della marina, a Deptford, che era stato fuso in un solo pezzo con due flange agli estremi per l'applicazione dei raggi. Alcuni di tali alberi spesso funzionarono per vari anni, ma altri presentarono inconvenienti, poiché erano soggetti a spezzarsi nelle stagioni fredde e col gelo. La causa era dovuta alla natura porosa della ghisa, che rendeva fragili le parti dove le flange, relativamente sottili, si congiungevano all'albero molto più grosso. Smeaton sug-

gerí anche di usare fusioni di ghisa, formate da piú pezzi, per le corone delle grandi ruote per di fianco dei trapani e dei laminatoi. Egli mirava a fornire una velocità piú regolare di trapanazione aumentando l'effetto del volano. Ingra-

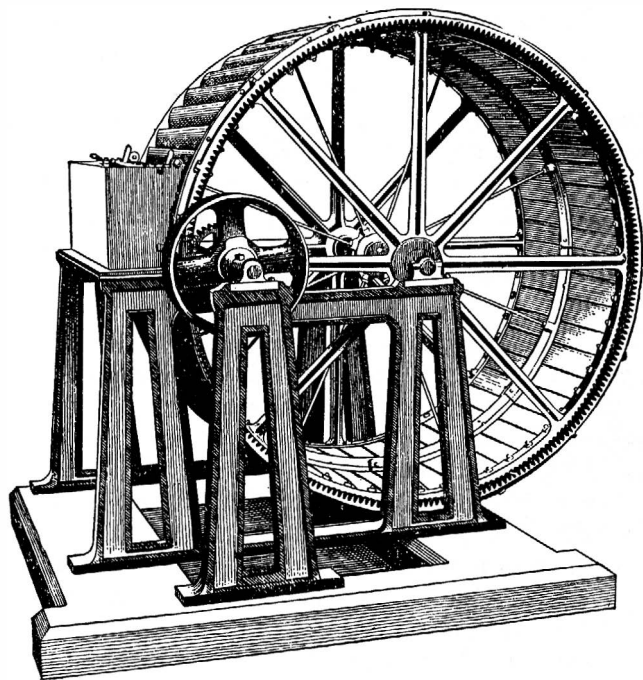


FIGURA 116—Modello di una ruota di ferro alimentata per di fianco, del 19° secolo. In questo tipo gli ingranaggi della ruota sono stati trasferiti lungo la circonferenza, permettendo una costruzione piú leggera dell'asse e dei supporti.

naggi di ghisa furono usati per il mulino Brook, a Deptford, nel 1778, e frequentemente in seguito.

Le realizzazioni di Smeaton posero fine alla costruzione di ruote idrauliche in legno, durata diciotto secoli. I numerosi perfezionamenti da lui apportati resero possibile ottenere il massimo rendimento e la massima potenza meccanica che poteva essere prodotta da ruote in legno. L'opera sperimentale e pratica di Smeaton segna una tappa molto importante nello sviluppo della forza motrice idraulica, e giustifica pienamente il posto d'onore che gli spetta nella storia dell'ingegneria e della tecnologia.

Dopo la sua morte ebbero luogo ulteriori grandissimi perfezionamenti, il piú importante dei quali fu la costruzione di ruote interamente metalliche (tav. 11A). Un'altra innovazione fu l'applicazione della ruota principale dentata di trasmissione lungo la circonferenza della ruota idraulica (fig. 116), in

modo da non sollecitare ulteriormente l'albero con la trasmissione diretta della forza motrice. Nelle grandi ruote per di sopra e per di fianco, per diminuire la resistenza che l'aria oppone all'acqua, quando questa entra nelle cassette, furono praticate delle piccole aperture per l'uscita dell'aria. Questo perfezionamento tendeva a eliminare le resistenze passive. L'ultima importante innovazione fu l'applicazione di paratoie a luci scorrevoli di John Rennie (1761-1821), che, oltre a produrre o sospendere il movimento della ruota, regolano l'afflusso dell'acqua mantenendolo costantemente nelle proporzioni richieste dal particolare funzionamento.

Poiché lo spazio non ci consente di descrivere i mulini azionati dalle maree e quelli galleggianti (vol. 2, pp. 617-18, 621, 658), di importanza molto minore, per la loro descrizione e per piú ampi particolari sui tipi di mulini idraulici qui esaminati rimandiamo alle opere citate nella bibliografia alla fine di questo capitolo.

8. MULINO DA GRANO A STRATFORD, NEL SOMERSET

Il mulino di Stratford, precedentemente installato nella parrocchia di West Harptree, Somerset, nella vallata del Chew, faceva in origine parte del castello di West Harptree Tilly, che apparteneva a Walter de Dowai all'epoca della conquista normanna. Secondo il censimento Domesday, questo castello aveva già un mulino, per il quale veniva corrisposto un canone di affitto annuale di 5 scellini. Non è improbabile che il mulino di Stratford sia stato costruito sul posto di questo antico mulino sassone. Del maniero, ceduto dalla famiglia Tilly durante il regno di Edoardo V, e che in seguito ebbe una serie di diversi proprietari, non si sono trovati, sfortunatamente, documenti di sorta.

La prima documentazione che si conosca dell'attuale mulino di Stratford si trova nel registro delle imposte locali del 1790 e si riferisce al proprietario dell'epoca, certo John Collins. Joseph Hassell, divenuto affittuario nel 1861 e piú tardi proprietario, lasciò il mulino alla figlia, e alla morte di questa, nel 1930, esso fu venduto al ducato di Cornovaglia. Acquistato nel 1939 dalla Bristol Waterworks Company, il mulino lavorò intensamente durante la guerra del 1939-45. La costruzione postbellica di un grande bacino nella vallata del Chew ne rese necessaria la demolizione, unitamente a un certo numero di fabbricati della zona; ma per fortuna un gruppo di mecenati diede la possibilità di smontarlo e ricostruirlo su terreno del Blaise Castle House Folk Museum, vicino a Bristol. È quindi possibile descrivere dettagliatamente l'impianto di un vecchio mulino ad acqua molto perfezionato.

Il mulino esistente (fig. 117) è azionato da una ruota alimentata per di sotto, collocata all'esterno dell'edificio, del diametro di 4,25 metri, con pale di ferro costruite da Gregory di Flax Bourton, Somerset, verso il 1870, in sostituzione della precedente ruota di legno. Il flusso dell'acqua, addotta mediante un canale dalla gora principale, è regolato da una paratoia comandata da una sem-

plice asta, mossa dal mugnaio dall'interno del mulino. Questo comando permette la regolazione della velocità della ruota e quindi del relativo macchinario. Quando la paratoia è nella posizione più bassa, la ruota si ferma.

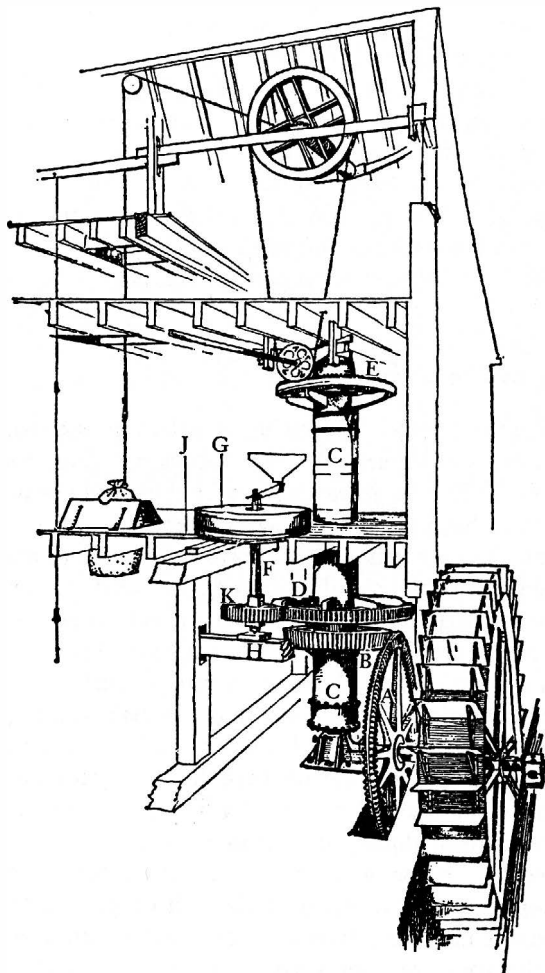


FIGURA 117—Disegno d'insieme del mulino di Stratford, Somerset. Sono visibili la ruota alimentata per di sotto e i vari rotismi.

Sull'albero orizzontale di ferro della ruota è calettata la ruota verticale seminterrata A, che è situata all'interno dell'edificio. Questa ruota a denti conici impegna il pignone a lanterna B, calettato sull'albero principale verticale C. Quest'ultimo, di legno di melo, del diametro di circa 45 centimetri, ruota in un supporto fissato al pianterreno e si estende in altezza attraversando il primo

piano fino all'altro supporto che è fissato alle travi del secondo piano. Quest'albero porta tre ruote orizzontali: il pignone a lanterna B, la grande ruota a denti diritti D (del diametro di circa 1,8 metri) e la ruota dentata E, vicino alla sua sommità. È interessante notare che i vari rotismi che assicurano la trasmissione sono disposti in modo che le ruote dentate impegnino denti metallici con denti di legno di melo o di faggio, i quali davano un funzionamento silenzioso e potevano essere sostituiti anche uno alla volta.

L'albero verticale di ferro F porta e muove la macina mobile (ossia la superiore della coppia di macine G) ed è sorretto da un supporto collocato sopra una robusta trave di legno di sostegno H. L'albero F può essere alzato e abbassato in senso verticale mediante un semplice meccanismo a vite (non visibile nella figura) che alza e abbassa la trave su cui è supportato. Il grado di finezza della farina macinata è ottenuto con il movimento sopradescritto dell'albero F, che permette di regolare il giuoco tra la macina mobile G e la macina fissa (dormiente) J a livello del primo piano. L'albero F è fatto rotare mediante la ruota dentata K, e può essere disinnestato alzandolo e liberandolo dalla ruota a denti diritti D. Il grano caricato nella tramoggia scorre per un canaletto ed è versato al centro della macina, la farina gira dentro la cassa che le circonda, e in origine scendeva entro un condotto di legno attraverso il primo piano in sacchi appesi a sostegni di corda regolabili.

Il sollevamento dei sacchi di grano è effettuato con un meccanismo applicato alla sommità dell'albero verticale C. Qui è calettata la ruota E, che è continuamente impegnata con una piccola ruota dentata verticale, la quale fa rotare un albero orizzontale che porta una puleggia. La puleggia trasmette il moto mediante una catena a una grande ruota di legno posta immediatamente sotto il tetto, che è fissata direttamente a un tamburo su cui si avvolge la fune che serve a sollevare i sacchi. Il funzionamento di questo impianto di sollevamento è comandato da un sistema di leve che alza o abbassa la grossa ruota di legno, tesando o allentando la catena intorno alla puleggia motrice. L'innesto del meccanismo può essere effettuato dal piano terreno mediante funi che vanno a comandare le leve, attraversando ambedue i piani dell'edificio. Le fune per sollevare i carichi, dal tamburo su cui è avvolta, passa su una piccola puleggia fissata sotto i travetti del tetto, e scende attraverso aperture praticate in ciascun solaio. Su queste aperture sono incernierati dei portelli di legno, che si aprono e si chiudono automaticamente al passaggio dei sacchi di grano. Questi possono essere issati fino a una piattaforma di carico e scarico a livello del tetto, per dare al mugnaio la possibilità di stendere il grano sul pavimento del secondo piano, e di farlo scorrere quindi attraverso condotti di legno o di iuta alle tramogge sopra le macine al primo piano. Il mulino in origine aveva due coppie di macine, ma ora ne ha una sola.

9. TIPI DI MACINE

Anticamente le macine erano ricavate da tre principali varietà di pietra:
a) pietre di Peak in un sol pezzo, cavate nel Derbyshire; b) pietre di rocce silicee francesi in piccoli blocchi, che



FIGURA 118—Preparazione a mano di macine. Sono qui mostrati alcuni disegni originali. Le macine fisse e rotanti erano preparate nello stesso modo. (A) Periodo tardo romano; (B) 18° secolo; (C), (D), (E) 19° secolo. (F) e (G) macine destrorse e sinistrorse con scanalature a quattro quarti.

erano cementati insieme con gesso di Parigi per formare macine della grandezza voluta; c) pietre serene o colonie, che erano solide pietre tedesche cavate a Colonia, donde il loro nome. Oggi sono estesamente utilizzate macine composte di smeriglio e di cemento. Dopo un lungo periodo di esercizio, le macine si consumano e occorre arrottarle e scalpellarle con martelline d'acciaio a doppia penna. Le macine portano delle scanalature a disegni tradizionali disposte a raggiera dal centro alla circonferenza (fig. 118).

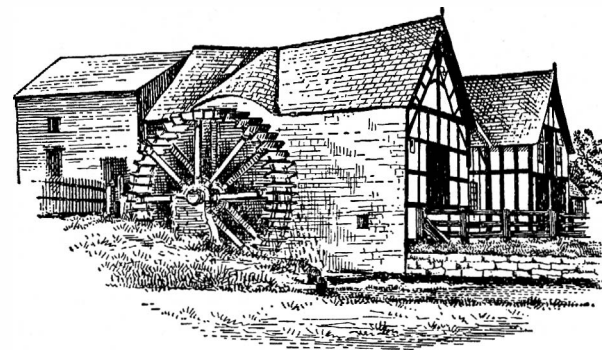
I piani o le superfici macinanti sono martellati finemente o lasciati grezzi. L'arrotatura delle macine era eseguita solitamente dai mugnai stessi e talvolta da scalpellini ambulanti che si recavano di mulino in mulino abitandovi fino al termine del lavoro.

La tavola 11B mostra un altro vecchio mulino per macinare il grano. Si tratta del mulino Coldron a Spelsbury, Oxfordshire, costruito nel 1800 circa e demolito nel 1937.

BIBLIOGRAFIA

- AGRICOLA, G. *De re metallica*, libri VI e VIII. Basilea. 1556. Trad. inglese di H. C. e Lou H. Hoover. The Mining Magazine. Londra. 1912.
- BENNETT, R. e ELTON, J. *History of Cornmilling*, voll. 1, 2. Liverpool. 1898, 1899.
- DICKINSON, H. W. *Water Supply of Greater London*. Newcomen Society, Londra. 1954.
- DICKINSON, H. W. e STRAKER, E. "The Shetland Water Mill." *Trans. Newcomen Soc.*, **13**, 89-94, 1932-33.
- FAIRBAIRN, SIR WILLIAM. *Treatise on Mills and Millwork* (4° ed.). Londra. 1878.
- FITZHERBERT, JOHN. *The Boke of Surveyinge and Improvements*. Londra. 1539. Vedi anche l'edizione del 1767.
- GARDNER, EMILIE M. "Some Notes on Dutch Water Mills." *Trans. Newcomen Soc.*, **27**, 199-202, 1949-51.
- GLYNN, J. *Power of Water* (5° ed.). Londra. 1875.
- HILLIER, J. *Old Surrey Watermills*. Skeffington, Londra. 1951.
- JESPERSEN, A. *Gearing in Watermills in Western Europe*. Pubblicata dall'autore, Virum (Danimarca). 1953.
- REES, A. *The Cyclopaedia; or Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature*, vol. 38: *Water*. Londra. 1819.
- ROSE, W. *The Village Carpenter*. University Press, Cambridge. 1937.
- SCIENCE MUSEUM. *Historic Books on Machines*, di C. ST. C. B. DAVISON. H.M. Stationery Office, Londra. 1953.

- Idem. *Pumping Machinery*, di G. F. WESTCOTT. Parte I: *Historical Notes*; parte II: *Catalogue*. H.M. Stationery Office. Londra. 1932-33.
- SKILTON, C. P. *British Windmills and Watermills*. Collins, Londra. 1947.
- SMEATON, J. *Experimental Enquiry into the Natural Powers of Wind and Water to turn Mills*. Londra. 1794.
- Idem. *Reports of the late John Smeaton* (3 voll.). Londra. 1812.
- Idem. *Catalogue of the Civil and Mechanical Engineering Designs 1741 to 1792 preserved in the Library of the Royal Society*. Newcomen Society, Londra. 1950.
- SOMERVELL, J. *Water-Power Mills of South Westmorland*. Wilson, Kendal. 1930.
- WAILES, R. "Tide Mills in England and Wales." *Trans. Newcomen Soc.*, **16**, 1-33, 1935-36.
- WILSON, P. N. "The Origins of Water Power." *Wat. Pwr.*, **4**, 308-12, 1952.
- Idem. "Water Power and the Industrial Revolution." *Ibid.*, **6**, 309-16, 1954.
- Idem. *Watermills, an Introduction*. Society for the Protection of Ancient Buildings. Opuscolo N. 1. Londra. 1955.
- Idem. "The Waterwheels of John Smeaton." *Trans. Newcomen Soc.*, **30**, 1955-56.



Mulino ad acqua a Rosset, Denbighshire, costruito nel 1661.