

ISTITUTO SUPERIORE DI STUDI MUSICALI
Conservatorio di Musica "G.F. Ghedini di Cuneo

Lucio Canavese



***ELEMENTI DI TECNOLOGIA E FISICA
DEL PIANOFORTE***

CORSO DI STORIA E TECNOLOGIA DEGLI STRUMENTI
MODULO DI TECNOLOGIA DEGLI STRUMENTI A TASTIERA

Cenni storici

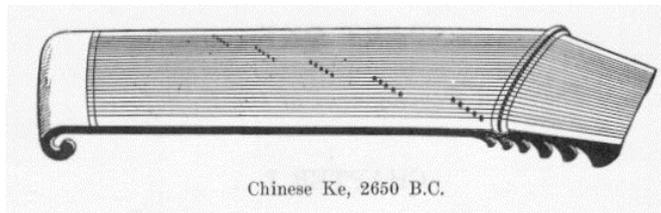
Per comprendere meglio la tecnologia e la fisica del pianoforte moderno occorre per prima cosa ripercorrere, attraverso un breve excursus storico, la storia e l'evoluzione degli strumenti a tastiera.



All'origine, gli strumenti a corda si suonavano pizzicando le corde con le dita o con un plettro.

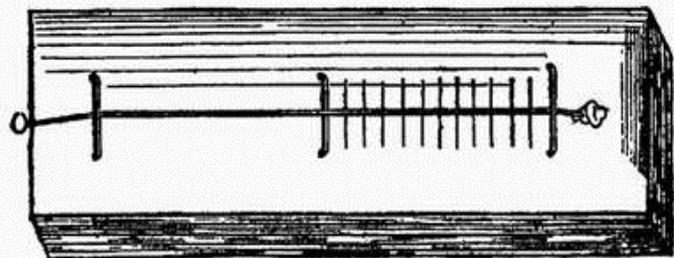
Tra i primi strumenti a corda, possiamo annoverare il saltèrio o saltèro. Esso era in uso presso gli Egiziani e gli Ebrei. Più volte citato nella Bibbia si suonava pizzicando le corde mantenute tese attraverso una cassa che fungeva da risuonatore.

Uno strumento analogo esisteva in Cina alcune migliaia di anni prima dell'era cristiana.



Chinese Ke, 2650 B.C.

Pitagora, nel VI secolo A.C. durante i suoi studi sulle relazioni matematiche fra i toni musicali, usò un semplice strumento a corda, il monocordo.



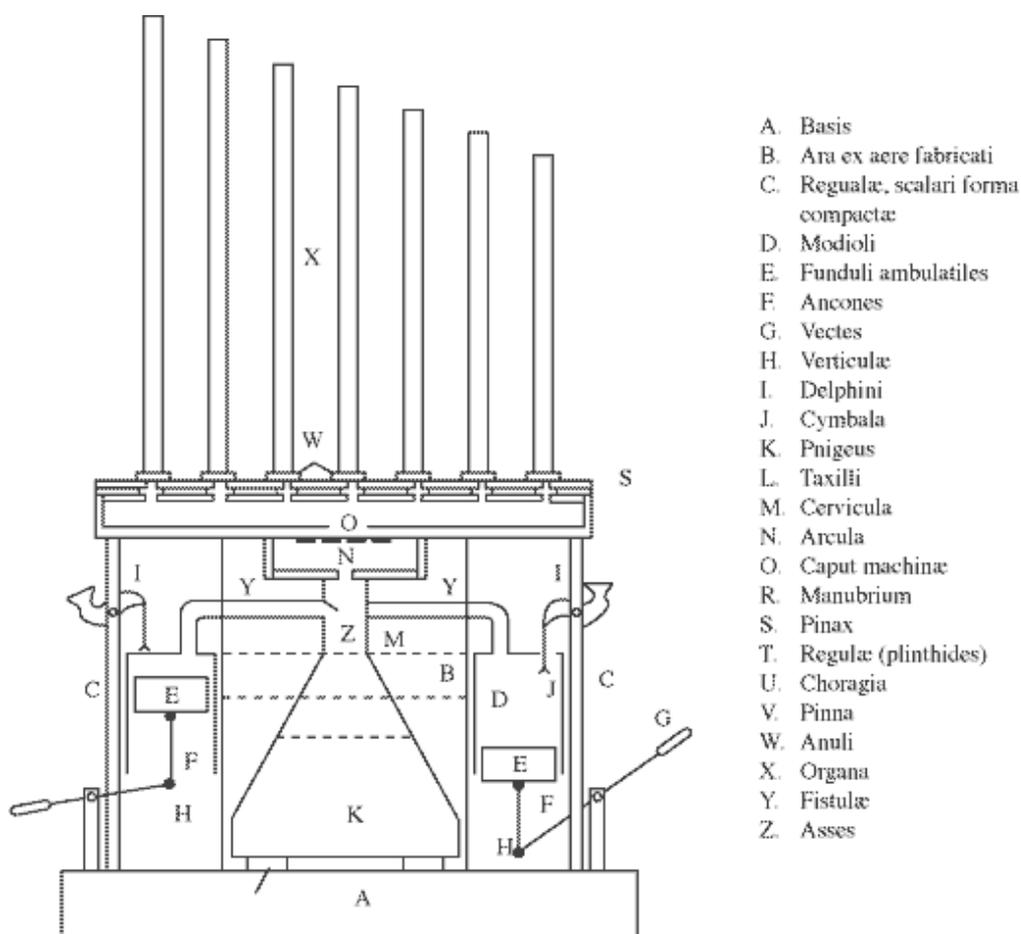
Monochord, 582 B.C.

Il suo monocordo consisteva in una cassetta rettangolare di legno che fungeva da cassa di risonanza e sulla quale veniva tesa una corda in budello. Lo strumento era dotato di un ponticello mobile, con la funzione di dividere la corda in varie lunghezze, ognuna delle quali poteva così vibrare liberamente ad una differente frequenza fondamentale.

La corda veniva messa in vibrazione con un plettro.

Un'altra importante componente del pianoforte moderno, cioè la tastiera, non fu sviluppata per strumenti a corda, bensì per l'organo a canne.

Ctesibio, greco di Alessandria ingegnere e capostipite di una famosa scuola di meccanica, inventò nel III° secolo a.C. un nuovo strumento; l'Hydraulos. Era un modello di organo idraulico funzionante ad aria ma sulla base del principio dei vasi comunicanti. A Ctesibio si deve il merito di aver costruito il primo somiere cioè la parte intermedia che invia l'aria alle canne e di aver adattato la prima tastiera ad un gruppo di otto o dieci canne.



L'architetto romano Vitruvio, nel I° secolo a.C., scrivendo sotto l'impero di Cesare Augusto e facendo esplicito riferimento alla macchina di Ctesibio, descrive minuziosamente il funzionamento degli organi della sua epoca funzionanti a mezzo di tasti. Essi erano dotati di più registri, di somiere a canali per registro e di una tastiera estesa, che nei tipi più evoluti aveva una estensione di circa due ottave. Ogni tasto azionava una stecca forata, analoga alle stecche dei registri del somiere "a tiro".

Sotto:Hydraulos, l'organo a canne di Ctesibio descritto da Vitruvio. Sezione longitudinale dello strumento; sezione trasversale del somiere; particolare di detta sezione con tasto abbassato.

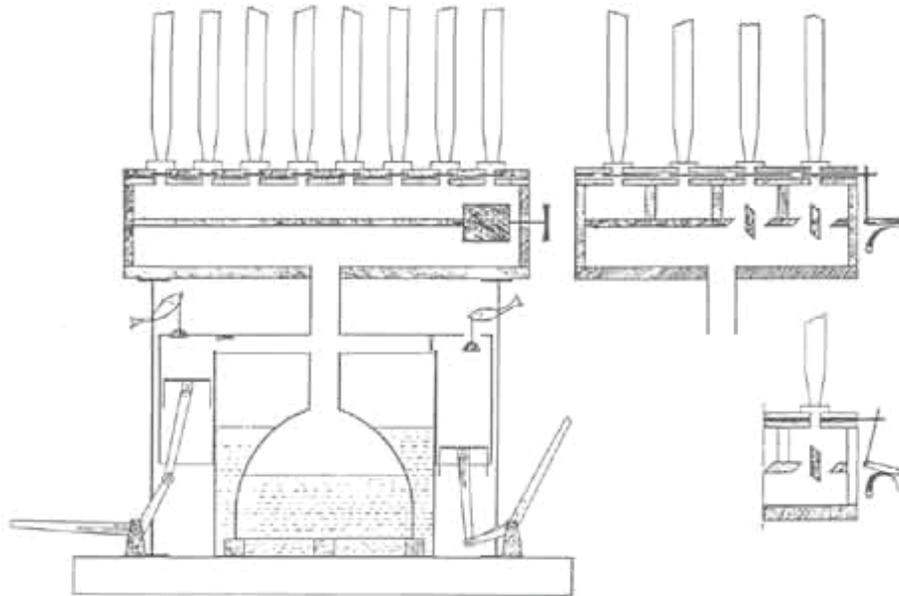
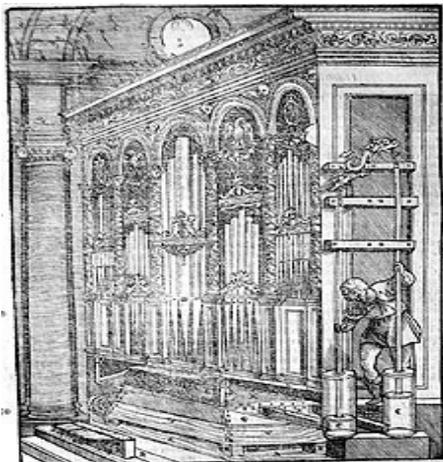


Tavola tratta dall'edizione del 1758 del De Architettura, con una rappresentazione dell'organo ad acqua.

Erone di Alessandria, matematico ed ingegnere greco del I° secolo d.C., costruì un organo nel quale le valvole che immettevano l'aria nelle canne erano controllate da tasti incernierati. Queste valvole erano riportate, nella loro posizione originale, per mezzo di molle.



Verso il IV sec. D.C. l'organo venne trasformato da idraulico a pneumatico: al primitivo congegno della pressione dell'aria ottenuta con il sistema dell'acqua, si sostituì il meccanismo del mantice, generatore diretto dell'aria.

All'inizio del XII° secolo, gli organi non avevano ancora sviluppato una tastiera nell'accezione del termine che noi intendiamo oggi, cioè formata da tasti sottili azionati dalle dita, ma un dispositivo a tiranti o a larghe stecche azionato con le mani.



Si trattava comunque di tastiere molto rudimentali, prevalentemente diatoniche e solo nel XIII° secolo vennero introdotti, in una tastiera a parte, i semitoni cromatici.

Nel XIV° secolo si avrà l'introduzione dei tasti cromatici nell'ambito della stessa tastiera.

All'inizio del trecento, epoca a cui risale la prima testimonianza scritta di un brano organistico per tastiera (il Robertsbridge Codex ca 1320), (almeno su alcuni strumenti) le leve erano state trasformate in tasti sottili così da permettere un discreto virtuosismo pur in una estensione limitata.



Un primitivo sistema di tasti, derivanti dall'organo, fu applicato al monocordo tra l'VIII° ed il XII° secolo d.C.

L'innovazione che permise tale applicazione, fu la sostituzione del cavalletto con la tangente.

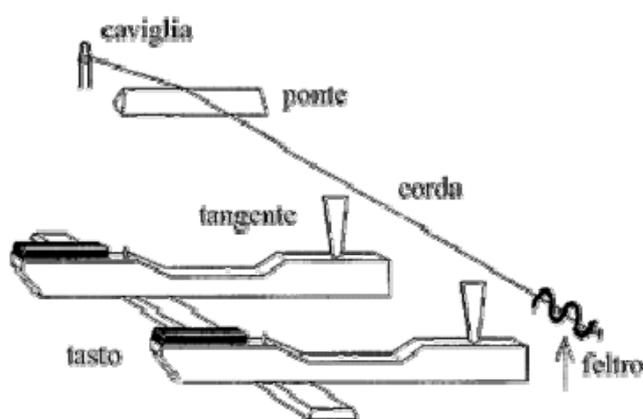
Molto diffusa, nel XII° secolo, era anche la ghironda. All'epoca era denominata organistrum. Essa inizialmente era costituita da una cassetta a forma di parallelepipedo con varie corde sfregate da una ruota di legno coperta di pece e azionata da una manovella. I cantini, (solitamente due) posti nella parte centrale dello strumento, erano controllati da una tastiera cromatica.



Una delle prime raffigurazioni dell'organistrum si trova nel portico della Gloria della cattedrale di Santiago de Compostela (XII° secolo)

Da questi oscuri inizi si sarebbe giunti, così, all'inizio del XV° secolo. Cominciò il periodo d'oro, l'alba della rinascita di tutte le culture e in campo musicale (tra le altre cose) il monocordo si trasformò in clavicordo, termine che deriva da (claves-tasti + chorda) è registrato per la prima volta nel 1404.

E' possibile che l'invenzione del clavicordo possa essere derivata proprio dall'applicazione della tastiera all'idea costruttiva su cui si basavano sia il monocordo che l'organistrum.



Il meccanismo del clavicordo era estremamente semplice: Una piccola lama in metallo, generalmente in ottone e chiamata tangente, era inserita perpendicolarmente alla leva che prolunga il tasto ed aveva la duplice funzione: di ponte per

determinare l'altezza della nota e di percussore per produrre la nota stessa. Al fine di ottenere che la corda vibrasse solo alla destra della tangente, la parte del ponticello, la parte sinistra della corda era avvolta con una striscia di feltro con funzione di smorzatore

Alle origini dello strumento, una corda veniva usata per produrre più di una nota. Vi erano di solito più tasti che corde. Al massimo quattro tasti per corda, (clavicordo legato, termine derivato dalla tecnica del liuto).

Più tardi, nel periodo intermedio, il numero di corde fu aumentato, e i clavicordi avevano due tasti per corda.

Nel 1725, il tedesco Daniel Faber, costruì il primo clavicordo slegato, cioè avente un tasto per ciascuna corda



Clavicordo libero Silbermann

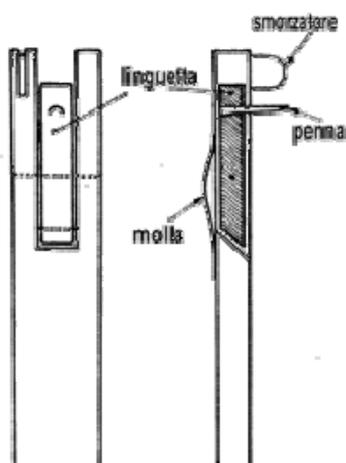
Molte caratteristiche essenziali del pianoforte moderno sono ereditate dal clavicordo. Questo strumento aveva infatti: corde metalliche, un congegno di percussione per mettere le corde in vibrazione, un meccanismo di smorzamento e una tavola armonica indipendente. La tavola, al fondo della cassa, non serviva infatti al pari del telaio, per tenere in tensione le corde.

Inoltre, per quanto l'intensità del suono prodotto non fosse alta, lo strumento esprimeva una buona dinamica: permetteva cioè l'esecuzione di note più o meno intense.

Circa nello stesso periodo si stava sviluppando un altro precursore del moderno pianoforte: il clavicembalo, inventato dal viennese Hermann Poll (1370-1401).

(Nell'accezione comune, con il termine clavicembalo si intende una famiglia comprendente anche strumenti più piccoli quali virginali e spinette).

Esso si caratterizzava essenzialmente con l'introduzione di corde più lunghe e di una tavola armonica di maggior superficie con il risultato della produzione di note più intense.

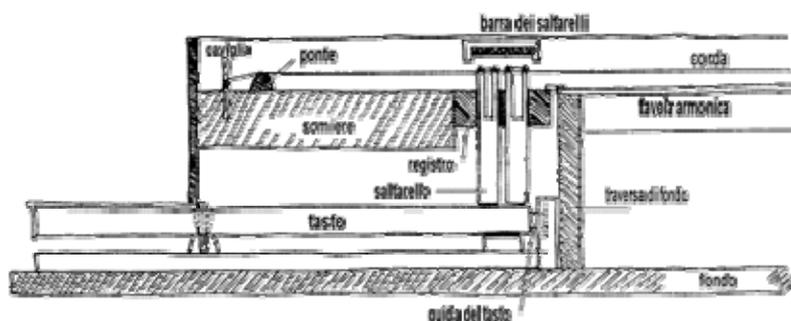


Ora, il congegno metallico di percussione del clavicordo non era più adeguato per produrre vibrazioni delle corde.

Queste erano invece pizzicate da un plettro montato ad angolo retto su un saltarello.

Quando il tasto veniva abbassato, il saltarello si alzava e il plettro pizzicava la corda, quando il saltarello ricadeva, un pezzo di panno attaccato ad esso smorzava la vibrazione della corda.

Intorno al XVI secolo, esperimenti con corde ancora più lunghe e tavole armoniche più grandi, condussero allo sviluppo del cembalo che con l'adozione di una ottava inferiore divenne gravicembalo o clavicembalo.



Ne furono costruiti ad una o due tastiere e con due o tre corde per tasto. Intorno al XVII secolo si raggiunse l'apice della maturità costruttiva.



Tra i principali costruttori, ricordiamo: Hans Ruckers d'Anversa, costruttore di cembali fiamminghi, in Italia Portalupi e Rigoli, in Francia Blanchet e Taskin, in Inghilterra Kirchmann, in Germania Hildebrant.

Clavicembalo francese del XVII s.

Il clavicembalo incorporava molte innovazioni importanti che sono giunte fino al pianoforte moderno.

La cassa (a forma di ala) del clavicembalo è imitata da quella del pianoforte a coda.

Lo stratagemma di usare più di una corda per nota, allo scopo di incrementarne il volume, fu adottato per il clavicembalo verso la metà del XVII secolo.

Il clavicembalo possedeva anche un congegno che alzava gli smorzatori dalle corde in modo da permettere l'esecuzione di note sostenute, nonché un congegno per trasporre la tastiera, dispositivi che sono mantenuti nel pianoforte moderno.

L'invenzione del pianoforte fu propiziata da due difetti intrinseci sia del clavicordo sia del clavicembalo.

Il clavicembalo non era in grado di offrire la possibilità di una esecuzione dinamica.

Il clavicordo, d'altro canto, permetteva una modesta escursione dinamica, ma non poteva nemmeno lontanamente generare note forti come quelle del clavicembalo.

I tentativi di installare corde più pesanti, al fine di aumentare il volume di entrambi gli strumenti, si rivelarono infruttuosi.

Né il congegno di percussione metallico del clavicordo, né la penna del clavicembalo potevano mettere in vibrazione corde pesanti. Inoltre, le casse di questi strumenti non erano abbastanza resistenti da sopportare la tensione di corde più pesanti.

Gravecembalo di Bartolomeo Cristofori



Un rimedio a questi difetti fu escogitato dal costruttore di clavicembali italiano Bartolomeo Cristofori, il quale nel 1709, costruì il primo strumento a tastiera che azionava martelletti lignei rivestiti in pelle per percuotere le corde.

Cristofori chiamò questo originale strumento "gravecembalo col piano et forte", a significare che esso poteva essere suonato sia a basso sia a alto volume.

L'originalità dell'invenzione di Cristofori non dipende dal ricorso alla percussione, come generalmente si crede. Questa idea era già stata sperimentata da altri costruttori a partire, almeno, da Arnault de Zwolle (1440). Ma di sfruttare, in questo movimento, il principio della leva, o per meglio dire della carrucola che ne è una variante, ottenendo così

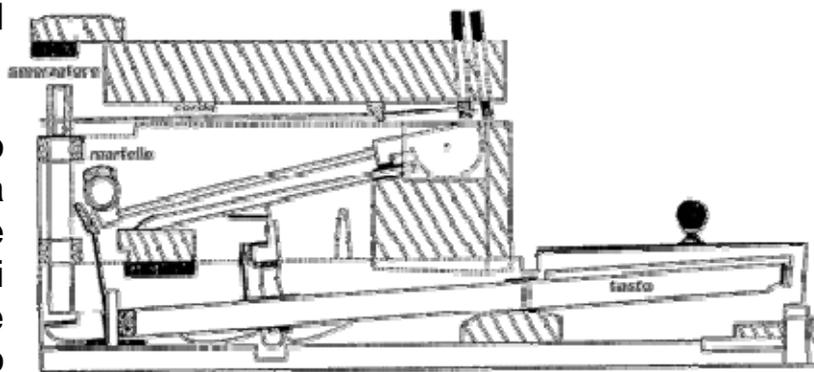
sul martello una forza percussiva che può essere anche più di dieci volte maggiore di quella impressa sul tasto, con tutte le gradazioni intermedie. Da qui la possibilità di una esecuzione dal piano al forte con diverse accentuazioni espressive.

Cristofori si rese conto che questo nuovo strumento avrebbe avuto bisogno di una cassa più robusta per reggere la maggiore tensione di corde più pesanti.



Nel 1720, una versione migliorata del pianoforte includeva ormai un congegno di

scappamento che lanciava il martelletto liberamente oscillante verso l'alto, a colpire la corda, e anche un dispositivo di controllo che regolava il ritorno del martelletto verso il basso. Per ogni nota vi era uno smorzatore individuale connesso all'azione del martelletto.



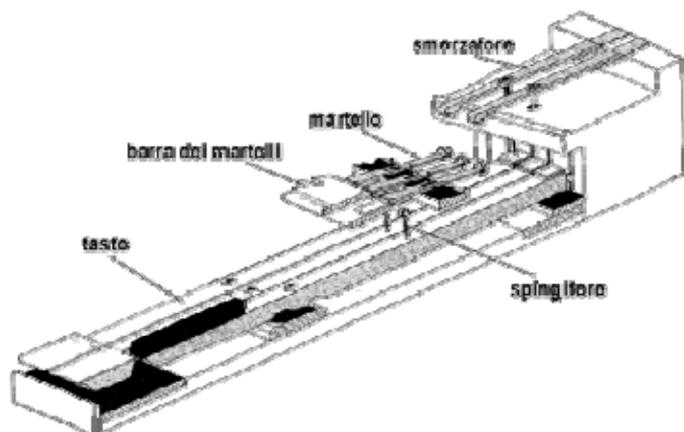
Meccanica Cristofori Metropolitan di N.Y.

Per un secolo e mezzo, dopo l'apparizione del primo pianoforte di Cristofori, diversi inventori lavorarono al miglioramento del nuovo strumento. In particolare l'attenzione era rivolta soprattutto al congegno di percussione.

Furono poi sviluppati molti altri tipi di azione, alcuni nuovi ed altri ispirati strettamente all'originale di Cristofori.

E' molto interessante sottolineare l'importanza dell'evoluzione delle "meccaniche", nella storia del pianoforte.

Nel 1726, Gottfried Silbermann, aggiunse a quelli esistenti dei meccanismi manuali che permettevano di sollevare gli smorzatori e di far scorrere la tastiera da un lato in modo che i martelletti potessero colpire solamente una delle due corde esistenti per ogni nota: sistemi caratteristici del pianoforte moderno e più avanti collegati ai pedali.

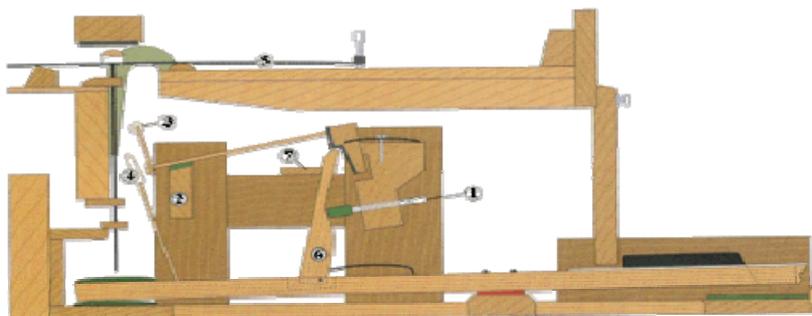


A partire dal 1767 circa, Johannes Zumpe costruì una meccanica a spingitore semplice, cioè priva sia di scappamento che di paramartello che si diffuse sia in Inghilterra che in Europa tra il 1770 ed il 1790.

Meccanica a spingitore semplice

Va ricordata la "prellmechanik" inventata nel 1770 circa da Pantalon Hebenstreit. In questo tipo di meccanica, derivata dal clavicordo, il martello era collegato al tasto e impernato a una forcola di legno.

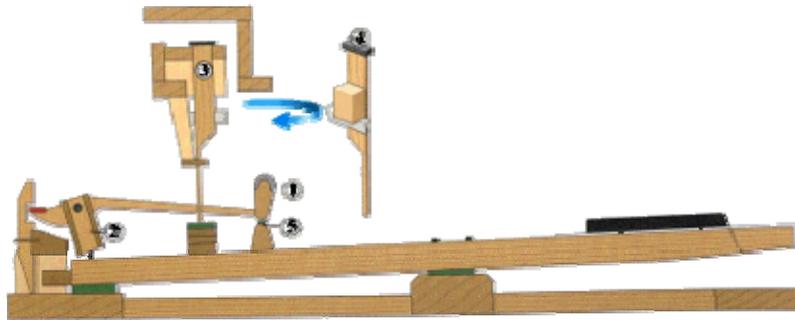
Sempre intorno al 1770, Americus Backers, realizzò una meccanica ispirata a quella Cristoforiana cioè con scappamento, ma priva della leva intermedia. Essa venne denominata meccanica inglese ed adottata fino intorno al 1820 dai principali costruttori del tempo.



Meccanica inglese di Americus Backers, 1772

- 1) vite di regolazione dello scappamento;
- 2) barra di appoggio del martelletto a riposo;
- 3) testa del martelletto, rivestita in pelle;
- 4) paramartello;
- 5) corda;
- 6) scappamento;
- 7) guida superiore dello scappamento.

Nel 1775 Johan Andreas Stein elaborò una meccanica sostanzialmente alternativa a quella Cristoforiana. Essa si rifaceva alla tecnica della Prellmechanik modificata con l'aggiunta dello scappamento. La meccanica, denominata viennese, fu adottata da tutti i costruttori viennesi fino alla metà del XIX secolo.



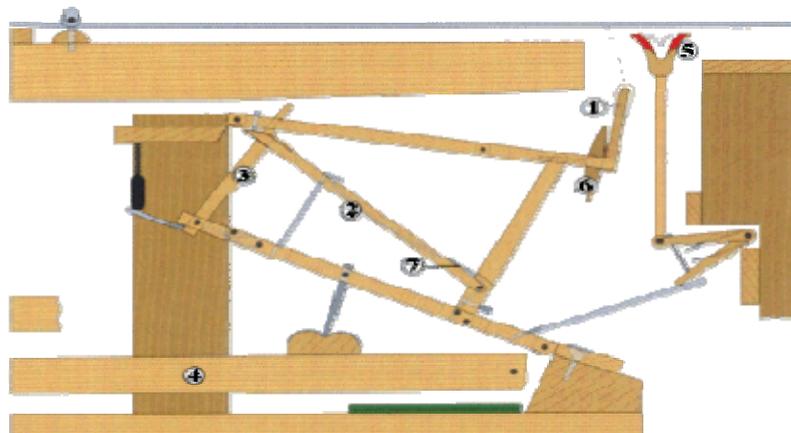
Meccanica viennese di Johann Andreas Stein, 1785 ca, Museo Mozart di Angsburg

1. testa del martello;
2. forcola o kapsel in legno;
3. smorzatore all'interno della barra di supporto;
4. smorzatore
5. blocco appoggia martello

Sébastien Erard brevettò nel 1821 la meccanica a doppio scappamento che è alla base delle moderne meccaniche.

Meccanica doppio scappamento di Erard, 1822

- 1) martello;
- 2) leva intermedia
- 3) scappamento;
- 4) tasto;
- 5) smorzatore;
- 6) paramartello;
- 7) molla di ripetizione.



I pianoforti furono costruiti in una varietà di forme: la tradizionale forma ad ala, la forma quadrata, la verticale e perfino la combinazione piano-organo.

Alcune tappe significative nell'evoluzione del pianoforte sono state.

Nel 1783, J. Broadwood brevetta i pedali del piano e del forte messi a punto da Erard.

Nel 1786, John Geib brevetta a Londra una meccanica a scappamento di derivazione cristoforiana per i pianoforti a tavolo.

Nel 1794, William Southwell inventa una meccanica "english sticker action" per pianoforti verticali.

Nel 1800, sia a Philadelphia che a Vienna vengono fabbricati pianoforti verticali di piccole dimensioni.

Nel 1808, J. Broadwood introduce barre metalliche di rinforzo nei pianoforti a coda.

Nel 1811, Robert Wornum, brevetta a Londra piccoli pianoforti verticali con corde incrociate.

Nel 1825, Alpheus Babcock brevetta a Boston, il primo telaio a fusione.

Nel 1826, Jean-Henri Pape brevetta a Parigi l'impiego del feltro sulle teste dei martelli e nello stesso anno, Robert Wornum, brevetta a Londra la "tape-check action" meccanica a baionetta per pianoforti verticali, alla base delle moderne meccaniche.

Nel 1831, l'inglese Allen crea il primo telaio interamente metallico.

Nel 1843, Bord inventa il capo tasto metallico.

Nel 1855 il fabbricante di pianoforti americano (nato in Germania) Henry Steinway realizzò un pianoforte a coda con telaio in ghisa e nel 1859, brevettò il sistema di corde incrociate per pianoforti a coda, che doveva servire come modello per tutti i successivi telai per pianoforte.

Per quanto siano stati introdotti costantemente miglioramenti di ordine minore, non si sono avuti cambiamenti fondamentali nella progettazione e nella costruzione dei pianoforti dopo il 1859.

La tipologia costruttiva degli attuali strumenti è ad un livello tale di perfezione non apprezzabilmente migliorabile in un prossimo futuro.

Attualmente le indagini nel campo dell'acustica del pianoforte sono volte allo studio di strumenti che non solo generino suoni piacevoli ma anche e soprattutto siano facilmente controllabili dall'esecutore: tuttavia i fenomeni fisici coinvolti sono talmente vari e dipendenti da una vasta serie di parametri, da far credere che una completa comprensione degli aspetti acustici, legati allo strumento, non sarà raggiunta prima dei prossimi decenni

Le parti principali, componenti il pianoforte, sono:

LA CASSA
IL PIANO ARMONICO
IL TELAIO
LE CAVIGLIE E IL SOMIERE
L'AZIONE
LE CORDE
LA PEDALIERA

LA CASSA

La cassa è costituita da più strati, anche fino a venti, di legni duri selezionati. Essi hanno generalmente venature orizzontali, sono laminati in presse speciali (in modo da dare loro la forma finale) e sono successivamente stagionati per garantirne la stabilità.



Fazioli - Dima per la formatura del fasciame



Steinway & Sons – Incollaggio delle fasce

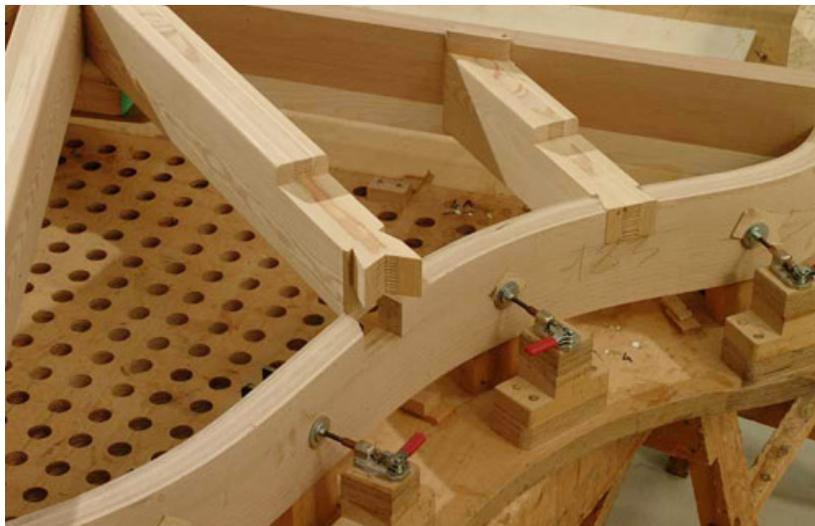


Fazioli – Formatura del fasciame



Fazioli – Stoccaggio delle fasce interne

Nella parte posteriore sono inseriti, (con una configurazione radiale e mediante giunti a coda di rondine), dei robusti montanti in legno massello o in multistrato.



Fazioli – Costruzione del telaio, particolare del giunto a coda di rondine

Questi robusti montanti detti “piantane“, non sono usati solo come sostegno ma, collegati direttamente all’arpa, diventano, grazie anche al giunto a coda di rondine, elementi fondamentali per una buona diffusione sonora, dato che le vibrazioni si propagano dalle piantane alla corona e viceversa come se questi due elementi distinti fossero un unico blocco.



Fazioli – Stoccaggio dei telai

Inoltre, questa particolare intelaiatura ha anche la funzione di specchio acustico che raccoglie e riflette le onde sonore. Rimanendo il suono più all’interno dello strumento lo rende più ricco e pieno.

Nella fase successiva si procede all'assemblaggio della tavola armonica con l'intelaiatura interna e si lima affinché il bordo esterno della tavola combaci perfettamente con il bordo esterno dell'intelaiatura interna.



Fazioli – Assemblaggio della tavola armonica al telaio

Infine, la tavola armonica e l'intelaiatura interna vengono uniti all'intelaiatura esterna formando così un unico blocco.

Questo processo permette di ottenere una presa perfetta tra queste componenti ed è importante poiché aumenta la resistenza all'impatto sonoro.

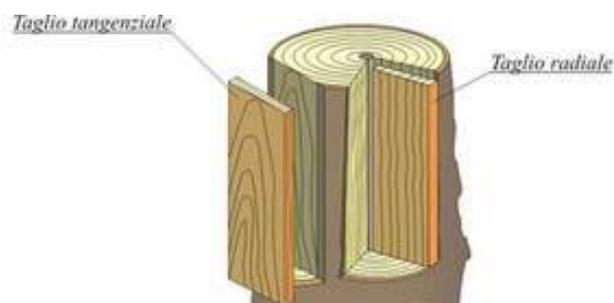


Fazioli – Stoccaggio delle fasce esterne

IL PIANO ARMONICO

Una parte del pianoforte a cui è stata dedicata grande attenzione dai fisici acustici è la tavola armonica che unitamente alle catene ed al ponticello è detto “piano armonico”.

La tavola armonica si ottiene incollando tra di loro assi di abete tagliate rigorosamente sul quarto del tronco e della larghezza variabile da 8 a 12 cm e dello spessore di circa 10 mm.



Fazioli - Incollaggio delle assi componenti la tavola armonica



Un calcolo corretto delle dimensioni e degli spessori, sia della tavola che delle catene, nonché della determinazione della “carica” della tavola armonica è in realtà piuttosto complesso essendo importante trovare il miglior equilibrio tra leggerezza e resistenza alla flessione, ciò si ottiene operando adeguatamente

sugli spessori e sulla curvatura o “carica” da imporre alla tavola armonica.

Nei pianoforti moderni lo spessore della tavola armonica varia approssimativamente tra i 6 e i 9,5 mm. mentre le catene hanno una larghezza tra i 18 e i 28 mm. e uno spessore compreso tra i 16 e i 28 mm.



Steinway & Son – Finitura della tavola

L'incollaggio delle catene sulla tavola avviene mantenendo una distanza tra loro variabile tra i 10 e i 14 cm.



Trattasi di misure puramente indicative, in quanto generalmente si richiedono tavole armoniche e set di catene, con dati dimensionali precisi fino al decimo di millimetro (spessori e dimensioni di tavole e catene).

Fazioli – Incollaggio delle catene

Esistono poi diversi accorgimenti più o meno “segreti” tra i vari costruttori, ad esempio:

L'essiccazione del legno della tavola fino al 4%; lo spessoramento “diaframmato” che consiste nel mantenere la tavola più spessa nel baricentro progressivamente più sottile nel perimetro, soprattutto nella zona dei bassi; particolari tecniche di verniciatura; ecc.



Steinway & Son – verniciatura a mano



Yamaha – Particolare del ponticello

Il ponticello è generalmente in multistrato formato da diversi tipi di legno assemblati verticalmente, con venature orizzontali e trasversali, ricoperto con un'asticella in legno più denso e compatto in corrispondenza del cantabile e degli acuti.

Nei pianoforti Fazioli il ponticello è costituito da lamelle alternate di legno di acero e di mogano dello spessore di 5 mm sulla cui sommità viene incollato uno strato di legno diverso da zona a zona: acero nei bassi e nel centro, carpino nel centro acuto e bosso negli acuti.



Con questo procedimento la durezza del legno è direttamente proporzionale all'aumento delle frequenze nelle corde che attraversano il ponticello.

Fazioli – Intaglio del ponticello



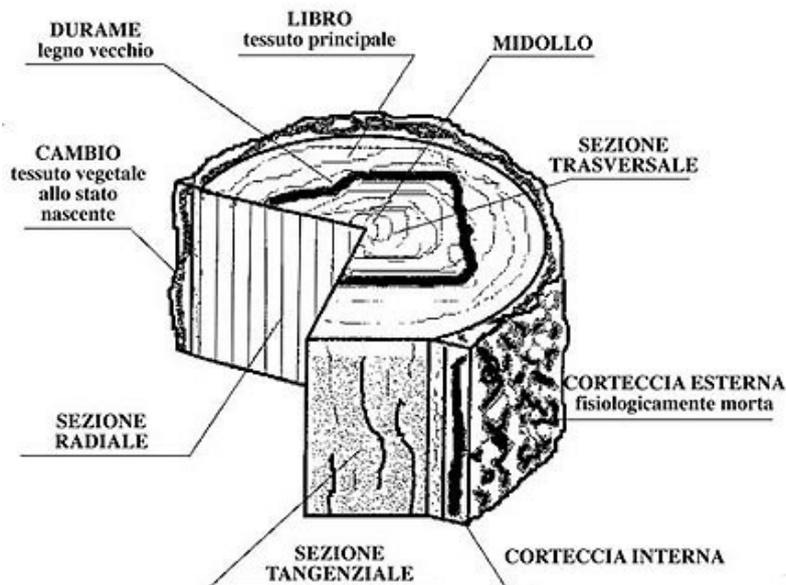
Le fasi di costruzione sono il tracciamento, l'intaglio, la foratura e l'inserimento delle punte.

Steinway & Sons – Intaglio del ponticello

A titolo di curiosità ricordo che la tavola armonica del piano Cristofori, datato 1720 e conservato nel museo metropolitano di N.Y. City, era costruita in legno di cipresso dello spessore di 3,5 mm.

IL LEGNO DI ABETE

Il legno usato nella costruzione delle tavole armoniche è l'abete.



In particolare, nei pianoforti di qualità, viene utilizzato l'abete rosso, sopra tutto per le sue peculiari caratteristiche strutturali che lo compongono: esso infatti possiede una struttura cellulare tipica che ne determina proprietà acustiche consone alla qualità del suono.

Tale struttura si presenta con forme allungate (a fuso) e cave, con pareti sottili e con microdensità differenti tra legno autunnale e legno primaverile.

Tali cellule si sviluppano in direzione dell'asse del fusto e sono dette "tracheidi" fintanto che hanno funzione di condurre soluzioni acquose, trasferendole all'interno della cavità centrale e, attraverso dei fori nelle pareti secondarie, da una tracheide all'altra. Quando perdono questa funzione, la loro parete diviene più spessa fino quasi ad occludere la cavità centrale: tale passaggio le irrigidisce ed è allora che prendono la denominazione di fibre.

Le proprietà fisiche e meccaniche sono strettamente legate alla regolarità della struttura cellulare la quale è determinata, dalla densità, forma e dimensione delle cellule tra le zone del legno tardivo autunnale e del legno primaticcio primaverile.

La successione più o meno regolare nel tempo di questa alternanza viene denominata anello di crescita annuale.

Queste caratteristiche ci permettono di comprendere come il legno sia un materiale non omogeneo, vale a dire che gli elementi di cui è

composto hanno una ben precisa disposizione, che cambia a seconda della direzione considerata e che ciò ne influenza molte proprietà fisiche.

In definitiva la capacità del legno di produrre suono dipende dalla sua struttura e dalle sue proprietà, quali la densità ed i moduli elastici longitudinale e radiale, ovvero la sua “anisotropia” (caratteristica dei cristalli di variare le loro proprietà, durezza, conducibilità, ecc., a seconda della direzione), espressa dal rapporto tra la velocità di trasmissione delle onde longitudinale e trasversale alla direzione della fibra.

Un fondamentale principio di fisica da tenere presente nelle considerazioni sulla costruzione delle tavole armoniche è il seguente “una lastra vibrante, a cui viene fornita un’energia (impulso vibratorio) la dissipa in modo direttamente proporzionale alla sua massa”.

Pertanto, una tavola armonica che ha la funzione di propagare le vibrazioni fondamentali e le vibrazioni armoniche dovrebbe avere:

- massa (peso) ridotta;
- essere molto elastica (ridotti attriti interni)
- molto resistente alla flessione, in modo da poter trasmettere meglio (quantità) e più a lungo (qualità) le vibrazioni ricevute dalle corde attraverso il ponticello.

Parametri significativi determinanti la qualità di una tavola armonica, sono:

- dimensione e volume della tavola finita
- peso della tavola e quindi determinazione della densità;
- velocità di trasmissione del suono longitudinale, direzione della fibra;
- velocità di trasmissione del suono trasversale, direzione trasversale alla fibra;
- numero degli anelli di crescita per metro, valore medio.

Attraverso una equazione si determina il modulo elastico **E** della tavola.

$E = V_l^2 \times D$ dove V_l è la velocità longitudinale e D la densità che è data dal rapporto massa/volume (kg/mc)

Ci si attende quindi dal legno più rigido (elevata densità e maggiore modulo elastico) una più rapida dissipazione di energia (vibrazione del legno) e conseguente minore propagazione di armonici che sono vibrazioni generalmente più deboli della fondamentale, nonostante il buon valore della velocità di propagazione del suono.

Al contrario per il legno di abete rosso, meno denso (leggero) e più flessibile (elastico) la dissipazione di energia è meno rapida e quindi il suono prodotto è più “lungo” e ricco di armonici.

IL TELAIO

Lo sviluppo del telaio in ghisa conferì al suono del pianoforte brillantezza e potenza molto maggiori.



Il telaio moderno è costituito da un pezzo unico e sopporta tutta la tensione delle corde, per esempio in un grande pianoforte a coda da concerto, il telaio pesa circa 180 Kg ed è soggetto ad una tensione di oltre 27 tonnellate.

Yamaha – Grancoda telaio

Deve possedere determinate proprietà che possono apparire tra loro contrastanti:

- La struttura deve essere rigida ma deve anche mantenere una certa flessibilità.
- Deve avere massa sufficiente per favorire le basse frequenze ma non deve ostacolare quelle alte.
- Deve essere costruito con un materiale avente un basso coefficiente di dilatazione termica, per minimizzare i cambi di tensione delle corde e quindi delle frequenze di vibrazione.
- Avere una forma che lasci spazio alle varie componenti della meccanica.
- Deve essere costruito in modo che nessuna frequenza di risonanza possa interferire con la gamma delle frequenze dello strumento.

Tradizionalmente i telai dei pianoforti vengono prodotti con un procedimento di fusione usando il metodo della sabbia bagnata dentro una staffa. La cavità creata dalla rimozione della staffa viene poi riempita dalla fusione.

L'uso di questo metodo presenta però alcuni inconvenienti. Prima di tutto, la precisione nella misurazione ed i contorni della cavità vengono compromessi. Poi, l'estrema differenza di temperatura, tra il metallo fuso e la sabbia bagnata, indebolisce la struttura creando pressioni interne; per finire, qualsiasi decorazione a caldo risulta imperfetta.

La tecnologia ha eliminato molti di questi inconvenienti utilizzando il principio del vuoto. Dapprima viene costruita una forma, utilizzando il principio del vuoto per trattenere saldamente la sabbia asciutta

finissima, il metallo viene poi versato nella forma e la fusione risulta uniforme e levigata.

L'evoluzione futura nella produzione dei telai è mirata in particolare, alla riduzione del peso, e ciò consiste nell'utilizzo di un materiale leggero e resistente.

Le indagini svolte presso l'Università di Newcastle hanno suggerito che un materiale adatto ed in grado di ridurre il peso della struttura anche del 75%, potrebbe essere un composito rinforzato con fibre di carbonio.

Anche se è relativamente facile progettare e costruire un telaio resistente e strutturalmente efficiente utilizzando fibre di carbonio, può risultare molto difficile accertare che la struttura abbia qualità musicali altamente desiderabili.

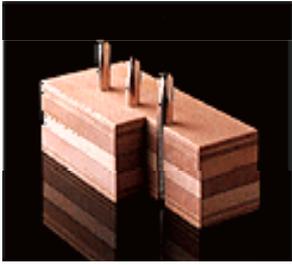


Fazioli- Montaggio telaio in ghisa



Steinway & Sons – Montaggio telaio in ghisa

LE CAVIGLIE ED IL SOMIERE



Al fine di mantenere le corde in tensione, ognuna di esse deve essere avvolta su una caviglia separata, la quale, attraverso un foro nel telaio è piantata per circa metà della sua lunghezza in un robusto blocco di legno denominato somiere.

Yamaha

La stabilità dell'accordatura è data dal contatto tra la superficie della caviglia e l'interno del somiere.

Le caviglie sono di lunghezza variabile tra i 52 e i 64 mm. e di diametro che va dai 6,75 agli 8 mm. possono essere filettate o stampate, tanto da avere una migliore aderenza con l'interno del foro (ovviamente le caviglie prodotte per tornitura sono di qualità superiore).

Il trattamento anti-corrosivo della superficie delle caviglie può essere fatto sia per brunitura che per nichelatura.

Onde evitare che il pianoforte perda rapidamente l'accordatura è necessario che le caviglie possano resistere alla tremenda tensione delle corde scaricandola nel somiere che è generalmente costruito con più strati di legno e le cui fibre sono disposte in modo incrociato.

Esistono diverse tecniche di costruzione ed assemblaggio degli strati di legno.

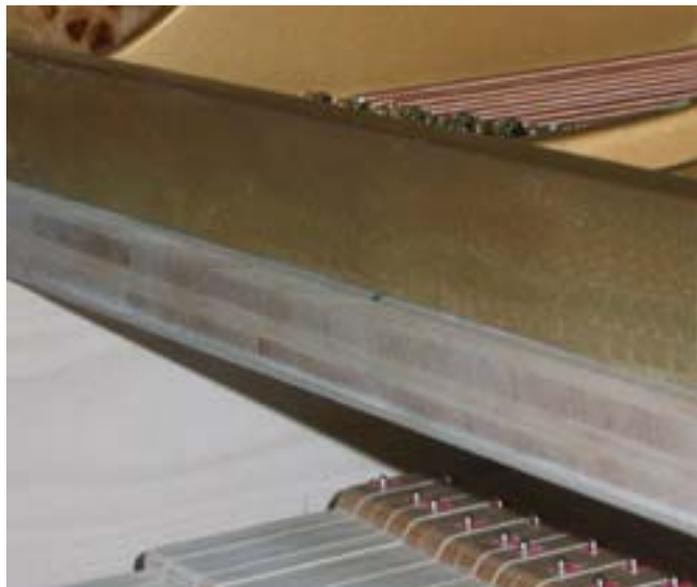
La Steinway, nel 1963, ha brevettato uno speciale somiere in "massello multistrato" dove sei singoli strati di tre differenti qualità di legno sono sovrapposti con le venature incrociate e sfasate di un angolo di 45°. Il primo e il sesto in acero, il secondo e il quinto in mogano ed il terzo e il quarto in faggio, ottenendo così una costruzione bilanciata dimensionalmente e più stabile anche nelle variabili igro-termiche.

La Yamaha ha progettato uno speciale metodo di costruzione, per migliorare la stabilità dell'accordatura e per proteggere il somiere dall'umidità.

Tre strati centrali molto spessi in legno di acero vengono pressati sopra e sotto altri strati sottili dello stesso legno, invece di venire, come d'uso incollati, viene inserita, tra questi strati, una pellicola impregnata di un tipo di resina termo-indurente.

L'intero blocco, il legno e le pellicole, viene pressato a caldo con l'aiuto di morse: quando la resina si vulcanizza, l'incollatura sarà permanente e la pellicola creerà una barriera di vapore tra gli strati del legno. Questo processo stabilizza il tasso di vapore che determina la stabilità di accordatura.

Il somiere della Fazioli è ricavato da un multistrato di 32 mm costituito da 21 strati sottili di faggio incollati fra di loro con colla fenolica e fortemente pressati fra di loro. Si tratta di un semilavorato praticamente indistruttibile tanto che eventuali fessure, che comprometterebbero la tenuta dell'accordatura, non si possono verificare.



Fazioli - Somiere

AZIONE DEL PIANOFORTE



Le parti mobili del pianoforte, quelle coinvolte nella percussione della corda, sono chiamate collettivamente con il nome di “azione” del pianoforte.

L’azione di un moderno pianoforte si compone di oltre 7000 parti.

Quasi tutte le “azioni” moderne sono versioni che trovano riferimento a quella di Cristofori: cioè l’azione colpiva la corda dal basso verso l’alto e sfruttava così la forza di gravità per il ritorno del martelletto; alcuni hanno sperimentato un meccanismo di percussione verso il basso, ma finora senza successo.

Fazioli – Gruppo meccanica

Sono componenti principali dell’azione: la tastiera, la meccanica ed i martelli.

LA TASTIERA

La tastiera del moderno pianoforte è costruita essenzialmente in base agli stessi principi che erano già stati pienamente sviluppati prima del XV secolo.



Fazioli - Tastiera

La tastiera standard ha 88 tasti, vale a dire 7 ottave più un terzo di ottava.

Per la costruzione di tastiere di qualità viene usato l’abete rosso. E’ un legno abbastanza robusto per sostenere l’intensità dei passaggi di un fortissimo e leggero quanto basta per permettere l’esecuzione dei trilli.

I tasti in abete hanno, nella parte superiore, un rinforzo in acero e nella parte terminale, dove sono avvitati sia i piloti che i paramartelli,

degli inserti in faggio in quanto l'abete essendo un legno tenero non darebbe nel tempo garanzia di un buon funzionamento.



La copertura dei tasti bianchi è oggi realizzata con l'utilizzo di materiali sintetici con caratteristiche di antiscivolamento ed antiriflesso molto simili all'avorio. I tasti neri sono generalmente di legno di ebano.

Yamaha – Particolare della tastiera

Per assicurare uniformità al tocco su tutta la tastiera, ogni tasto viene bilanciato con il posizionamento di pesi in piombo.



Fazioli-Posizionamento dei contrappesi di piombo da inserirsi nel tasto.

La massa del martello e la resistenza della meccanica richiedono circa 50 gr. di peso per abbassare un tasto al centro della tastiera, ma in realtà il peso varia notevolmente da una casa costruttrice all'altra e in ogni caso non sarà mai inferiore ai 47 grammi.

Nei pianoforti da concerto della Steinway il peso di discesa del tasto si aggira dai 52 gr., per l'estrema ottava dei bassi, ai 47 gr. per l'estrema ottava degli acuti, mentre per la risalita il peso può aggirarsi tra i 24 gr., per l'estrema ottava dei bassi, ai 22 gr. per l'estrema ottava degli acuti.

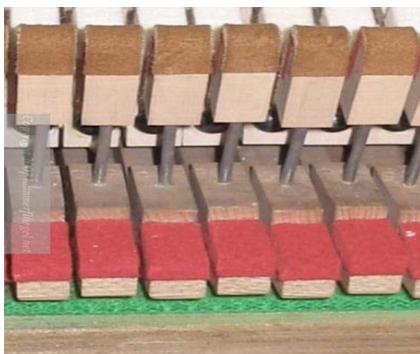
Per ottenere questi valori, si procede alla calibratura del peso tramite l'inserimento di piombi che hanno diametri variabili dai 6 ai 14 mm., partendo con i più pesanti posti alla maggior distanza possibile dal fulcro.

E' interessante tener presente che nei pianoforti verticali, data la minore lunghezza della leva del tasto, il peso aumenta generalmente anche fino a 60 gr. ed oltre.

Nei fortepiani viennesi tardo settecenteschi, ad esempio fino al 1815/20 circa, questo peso è quasi dimezzato.

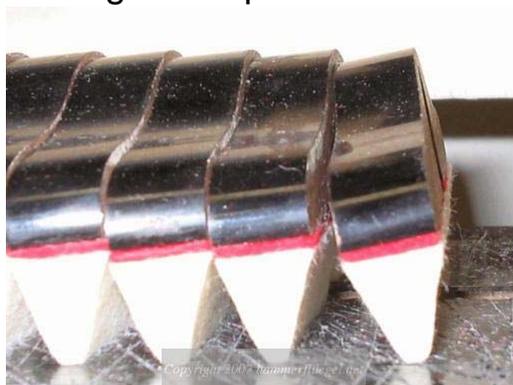
Altri componenti principali di una meccanica sono:

- I paramartelli; guarniti in pelle di cervo ed inseriti nella parte terminale del tasto a mezzo di un ferro nichelato.



Steinway & Sons - Paramartelli

- Gli smorzatori; costituiti da una leva completa di forcola, vite, cucchiaino, pilota e leva per tonale, ferro di sostegno in ottone nichelato e teste in legno complete di fiocchetti in feltro.



Steinway & Sons – Testa smorzatore completa di fiocchetto in feltro

- Gli stilette per martelli; in legno di carpino, molto resistente e non particolarmente pesante, hanno sezioni decrescenti dai bassi verso gli acuti e sono completi di forcola e rullino.



Steinway & Sons – Particolare meccanica con vista stiletto completo

I MARTELLI



Sono tra i fattori determinanti per la qualità del suono. In particolare, viene posta molta cura nella scelta del feltro che ricopre la testa del martello. perché non solo influenza in larga parte il timbro ma, dato che la rigidità non è costante ma è crescente con il livello di compressione, influenza anche il rapporto dinamica/timbro.

E' da sottolineare che la lunghezza delle fibre influisce sulla morbidezza, con fibre più corte si ottiene un feltro più leggero e morbido inoltre la qualità della lana non è costante ma varia da un anno all'altro in quanto le condizioni generali della pecora e la quantità di pioggia caduta, influiscono sulla crescita e sulla bellezza del vello.

I martelli sono progettati appositamente per ciascun modello di pianoforte e sono realizzati con diversi tipi di lane naturali (solitamente merinos), sintetiche o miste, utilizzando fibre di diversa lunghezza e spessore, a più strati, pressati (morbidi, medio-duri, duri) in modo scalare ed a



forma di cuneo; vengono, poi, sezionati in strisce a forma di parallelepipedo trapezoidale ed incollati su un nucleo di legno, conformato, generalmente di carpino o mogano o noce, tagliati e fissati con una cucitura a T allo scopo di aggiungere stabilità e sicurezza. Per raffinare l'effetto percussivo dell'impatto sulla corda è presente tra il nucleo di legno e il feltro del martello un sottofeltro.

Il peso dei martelli varia in relazione alla dimensione che va dai più pesanti, nei bassi, che possono pesare intorno agli 11 grammi, ai più piccoli degli acuti che pesano circa 3,5 grammi ciascuno.

A conclusione della trattazione relativa all'azione del pianoforte, ritengo utile riportare quanto ha scritto Walter Pfeiffer nel libro "Von hammer".

“ Il complesso meccanica-tastiera di un pianoforte è tanto più perfetto, quanto meno esso si fa sentire dall'esecutore, quanto più a lungo riesce a conservare la sua capacità espressiva e la sua iniziale raffinatezza, quanto più semplice è la sua costruzione e il suo montaggio, quanto più facile sarà, in un secondo tempo, il lavoro richiesto per la sua messa a punto.

Queste proprietà formano invero la pietra di paragone per valutare la bontà di una meccanica e della relativa tastiera, e sono anche, in notevole misura, una chiave per comprendere l'evoluzione storica della meccanica del pianoforte. L'essenza di tali proprietà è tuttavia quella di consentire all'esecutore il massimo di espressività.”

LE CORDE

Steinway & Sons – Montaggio delle corde



Le corde attualmente in uso nei pianoforti sono in acciaio armonico.

Una particolare tipologia di acciaio al silicio ad alto tenore di carbonio e caratterizzato da un elevato limite di snervamento.

La composizione media è: carbonio, 0,80-0,85%; silicio, 0,2-0,4%; manganese, 0,15-0,20%.

Durante la lavorazione, viene sottoposto a trattamento termico che conferisce duttilità e tenacità al filo incrudito e lo rende atto a

subire successive trafilature a freddo.

E' da evidenziare che i ripetuti passaggi alla trafilatura, per ottenere il diametro desiderato, danno luogo a notevoli differenze del carico di rottura.

I diametri delle corde, normalmente montate sui pianoforti moderni, variano da un diametro minimo 0,725 mm. ad un massimo di 2,200 mm. e con un limite di resistenza alla trazione che va dai 21.000 ai 28.000 kg. x cm².

Nei pianoforti da concerto, le corde nude, sono generalmente sollecitate da un carico di trazione medio dei 90 - 100 Kg. Cadauna.

Le dimensioni delle corde sono calcolate, da ciascun costruttore, in rapporto alle caratteristiche delle tavole armoniche ed alla conformazione dei telai sulle quali sono montate. In strumenti di dimensioni simili si possono trovare notevoli differenze tanto nei diametri quanto nelle tensioni a cui sono sottoposte.

L'equazione per il calcolo delle corde vibranti è quella di Taylor che esprime quantitativamente le relazioni esistenti fra i parametri in gioco, in quanto essa ci dice che la frequenza delle vibrazioni f è inversamente proporzionale a due volte la lunghezza della corda l , è direttamente proporzionale alla radice quadrata della forza di trazione T , è inversamente proporzionale alla radice quadrata della sezione πr^2 , come pure inversamente proporzionale alla radice quadrata della densità o peso specifico

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\pi r^2 s}}$$

Possiamo elaborare la suddetta formula, portando fuori radice r^2 (che diventerà r), poiché $2r$ non è altro che il diametro, parametro facilmente misurabile.

Per l'applicazione pratica, della formula di Taylor, è necessario dimensionare la forza di trazione T trasformandola come segue:

$$f = \frac{1}{ld} \sqrt{\frac{gp}{\pi s}}$$

f = frequenza in cicli al secondo (Hz)

l = lunghezza corda, in centimetri

d = diametro corda, in millimetri

s = densità (o peso specifico) in grammi massa per centimetro cubico

p = peso in kg-forza

g = accelerazione di gravità, in cm al secondo per ogni secondo (981)

Ai fini del calcolo, i suddetti parametri dovranno essere resi omogenei. Nella pratica, questa equazione va ulteriormente corretta introducendo un coefficiente di inarmonicità per correggere sia il diametro che la lunghezza della corda.

E' importante ricordare che il valore dell'inarmonicità, dovuto al notevole diametro delle corde del pianoforte, al loro peso di trazione individuale e di conseguenza alla loro rigidità, varia in modo proporzionale al modulo di elasticità del materiale costituente la corda. Dal punto di vista meccanico, il limite di elasticità di una corda è situata a circa l'80% del carico di rottura. Oltre tale limite si ha la deformazione strutturale irreversibile, l'impossibilità di tenuta dell'accordatura, un elevato livello di inarmonicità con la successiva rottura. Dal punto di vista acustico, la resa ottimale della corda si ha con una sollecitazione compresa tra il 60 e il 75% del carico di rottura vale a dire prossimo al limite dell'elasticità della corda stessa.

Da queste osservazioni si deduce che con l'aumentare della tensione della corda, l'inarmonicità dei parziali decresce e si avvicina alle condizioni ideali più essa è tesa, gli effetti si minimizzano ulteriormente utilizzando diametri delle corde il più sottili possibili al limite della perdita di potenza sonora ed avvicinandosi il più possibile alla tensione di rottura.

Fazioli – Montaggio delle corde



Il carico tensore è un elemento fondamentale al fine di determinare sia la qualità che la quantità dinamica del suono, nonché a ridurre il più possibile il margine di rottura delle corde, migliorare la tenuta dell'accordatura, con conseguente influenza sulla disarmonicità.

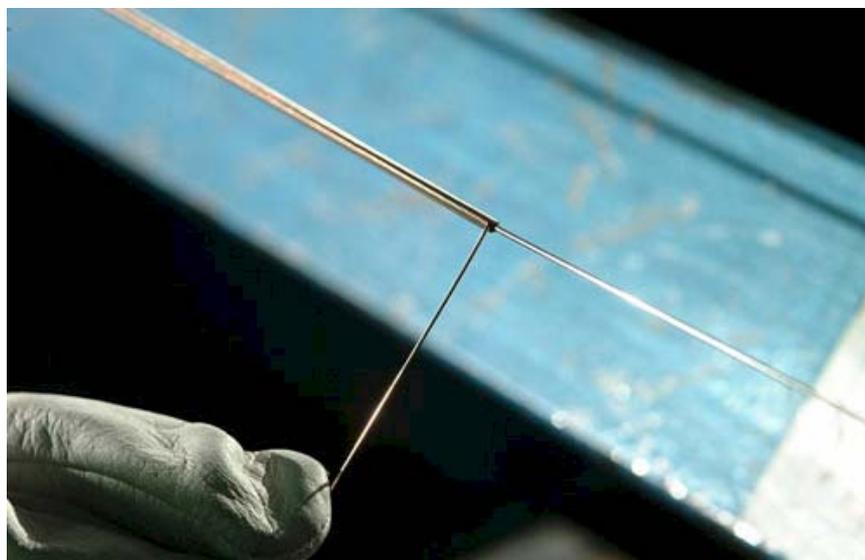
Nel calcolo delle dimensioni delle corde, si deve tenere conto anche della necessità di compensare, con un aumento complessivo nella sezione delle corde interessate, tanto il passaggio dalle ultime corde nude a quelle filate quanto gli accorciamenti dovuti all'incrocio delle corde e questo per evitare una sollecitazione eccessiva.

La maggior parte dei costruttori cerca attualmente di calcolare, nelle ultime tre ottave, corde con una trazione di circa 75 kg in quanto la parte cantabile del pianoforte ha una resa migliore.

E' comunque buona regola, cercare di equilibrare il più possibile la tensione su tutta l'estensione dello strumento .

La necessità di filare le corde di acciaio nudo con un avvolgimento, allo scopo viene utilizzato il rame armonico lucido variabile in sezioni da 0,15 a 2,00 mm., deriva dall'esigenza di appesantire le corde dei bassi in modo che vibrino più lentamente e da generare così frequenze minori.

Fazioli – Filatura corde dei bassi



Il rapporto tra la sezione dell'anima in acciaio e quella del filo di rivestimento viene valutato in rapporto di 2 a 1, cioè il diametro totale della corda filata dovrebbe essere costituito da una parte inerente all'anima e da due parti di rivestimento.

Questa situazione ideale non può essere mantenuta sempre poiché, ad esempio nei pianoforti di piccole dimensioni, le corde dei contrabbassi dovrebbero avere corde con un'anima superiore ai 2 mm. Cosa che ne determinerebbe una eccessiva rigidità.

Per ovviare a questi inconvenienti si procede ad un doppio avvolgimento dove l'avvolgimento aderente all'anima è più sottile rispetto al filo sovrastante in modo da ottenere così una maggiore elasticità.

Altri aspetti importanti, nel calcolo delle corde filate, sono:

- Le corde filate montate vicino a quelle nude devono avere il diametro del rivestimento il più sottile possibile altrimenti sarà molto evidente il passaggio tra le due zone.
- Nei pianoforti con corde filate, anche nella zona precedente all'incrocio delle corde sovrastanti dei bassi, si devono compensare le trazioni e la disarmonicità mediante il calcolo, estremamente preciso, dei limiti di rottura, delle trazioni e della percentuale di rapporto di peso specifico medio tra rame e acciaio.
- Per equilibrare le qualità timbriche tra le prime corde filate incrociate a quelle filate adiacenti è necessario abbassare il limite di rottura delle corde più corte con frequenza più bassa, rispetto alle corde più lunghe con frequenza più alta, questo risultato si ottiene utilizzando fili più sottili sulle corde più lunghe e più grandi sulle corde più corte in modo da equilibrare la rigidità generale delle corde.

SISTEMA “SCALA-DUPLEX ”

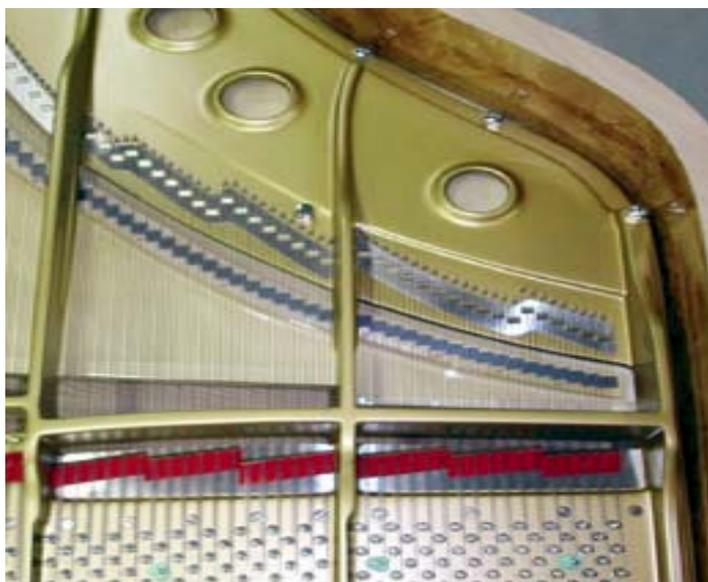
Ideata da Steinway e brevettata nel 1872, è oggi adottata da tutti i costruttori di pianoforti è il sistema di risuonatori anteriori e posteriori della zona centro-acuti ed acuti.

Per risuonatori anteriori si intendono le porzioni di corda tra il primo ponte, dopo la caviglia ed il capotasto che segna l'inizio della parte vera e propria di corda risuonante.

Per risuonatori posteriori si intendono le porzioni di corda, tra la punta posteriore del ponticello ed il ponte prima del perno di ancoraggio della corda. Le loro lunghezze, appositamente calcolate, arricchiscono il suono e potenziano la dinamica.

La Fazioli ha ideato un sistema che consente di far scorrere ponti di ottone su di una superficie di acciaio inox fissata al telaio in ghisa con questo sistema i risuonatori possono essere “accordati”.

Fazioli – Scala duplex



LA PEDALIERA

Nel moderno pianoforte a coda sono generalmente presenti tre pedali. A destra c'è il pedale della risonanza, detto anche pedale del forte. Esso ha lo scopo di prolungare il suono e di far così risuonare tutte le corde sollevando tutti gli smorzatori.

Al centro si trova il pedale tonale, detto anche "terza mano", che solleva gli smorzatori delle ultime note suonate.

A sinistra vi è il pedale del piano o "una corda" che sposta orizzontalmente la tastiera di alcuni millimetri in modo che venga colpita una corda in meno, tranne che nelle prime note basse dove vi è una corda per nota.

La Fazioli ha introdotto sui suoi pianoforti a coda anche un quarto pedale che opera come il pedale del piano in quello verticale, con un vantaggio in più: il tasto non presenta qui il vuoto di alcuni millimetri quando si inizia a pigiare il tasto.



Fazioli – Pedaliera con quarto pedale

LE CORDE E LE VIBRAZIONI ACUSTICHE

Concetti fondamentali.

- La vibrazione delle corde è causata da una forza di ritorno, vale a dire, una forza che tende a far ritornare le corde alla posizione originaria dopo essere state sollecitate.
- Nel pianoforte, la rigidità delle corde condiziona a tal punto la forza di ritorno che alcune delle parziali generate non sono armoniche.
- E' il numero delle vibrazioni, misurato in Hertz o in cicli per secondo, che ne determina la frequenza. Con l'aumentare delle vibrazioni la frequenza si alza ed il suono diventa più acuto. Più il numero diminuisce, minore è la frequenza e il suono è più grave. (il range di un pianoforte spazia da $A_0 = 27,5$ Hz a $C_8 = 4186$ Hz)

I fattori che influenzano una corda vibrante sono:

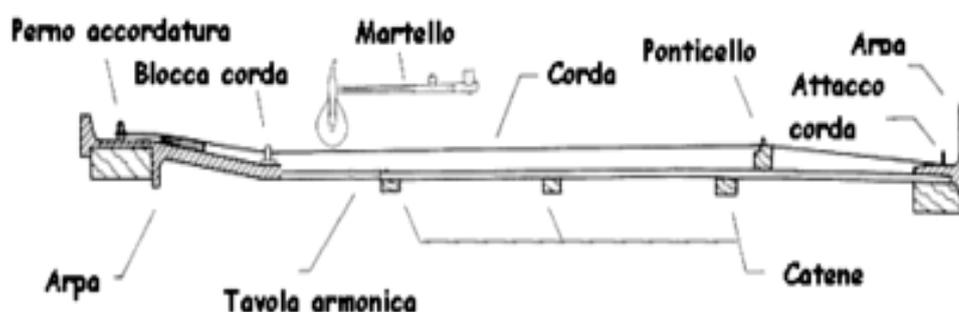
- La lunghezza - più la corda è corta più il suono è acuto - la lunghezza è inversamente proporzionale al numero delle vibrazioni.
- Il diametro - più la corda è sottile più il suono è acuto - il diametro è inversamente proporzionale al numero delle vibrazioni.
- La tensione - più la corda è tesa più il suono prodotto è acuto - la frequenza espressa in Hz è direttamente proporzionale alla radice quadrata della tensione.
- Il peso specifico - più il peso specifico è minore più il suono prodotto è acuto.
- La rigidità - a parità di diametro la corda più corta lo è anche in rapporto al proprio diametro. Quindi la corda più corta è anche più rigida e più la corda è rigida più il suono è acuto.

In passato si riteneva che il suono del pianoforte si originasse interamente nella tavola armonica e non nelle corde,

Ora sappiamo che il suono ha origine nelle corde.

Infatti quando vengono percosse dai relativi martelli, vibrano producendo il suono che, dopo un tempo assai breve, detto tempo di attacco, viene trasferito, per mezzo di un ponte in legno alla tavola armonica dalla quale si irradia e si propaga nell'aria.

Durante il tempo di attacco il suono viene irradiato, seppure in grado minore, anche dalle corde e dal ponte.



Il suono è costituito da un tono fondamentale e di un certo numero di toni più alti generalmente più deboli di intensità e noti come toni parziali o sovratoni.

E' utile ricordare che i martelletti del pianoforte vengono sistemati in modo da colpire le corde ad $1/7$ o ad $1/9$ della loro lunghezza in modo da impedire la divisione in sette o nove parti aliquote della corda e la conseguente formazione del settimo e del nono armonico, primi armonici dissonanti.

Infatti la "legge di Young" ci enuncia che in un corpo elastico atto a vibrare non possono formarsi punti nodali dove agisce la forza eccitatrice.

Il suono complesso prodotto da questa combinazione di toni separati da origine al timbro caratteristica questa che è in gran parte determinata dal numero dei toni parziali e dalla loro intensità relativa ma dove risultano determinanti sia il transitorio di attacco che quello di estinzione in funzione del loro andamento e della loro durata.

E' il timbro l'elemento principe che permette di distinguere la natura di due note che abbiano la stessa frequenza e la stessa intensità ma prodotte da due diversi strumenti musicali.

Generalmente si crede che i toni parziali prodotti da tutti gli strumenti musicali siano armonici cioè che le loro frequenze siano esatti multipli interi della frequenza di un tono fondamentale. Ciò è vero in modo solo approssimativo per il pianoforte, infatti più è alta la frequenza dei toni parziali di ogni nota più essi si distaccano da una semplice serie armonica e quindi sono generalmente inarmonici a causa della rigidità delle corde.

Dato che gli effetti della disarmonicità nelle corde vibranti sono di fondamentale importanza sia a livello psicologico che a livello musicale, soprattutto nel pianoforte, è opportuno approfondire l'argomento.

A causa della disarmonicità l'intera gamma delle frequenze subisce un allargamento, vale a dire il rapporto uno a due tra ottava ed ottava viene ampliato in grado corrispondente al valore della disarmonicità stessa; nel caso migliore questo allargamento corrisponde all'incirca alle esigenze dell'orecchio umano la cui percezione delle altezze non è in relazione con la serie geometrica delle frequenze ma può attendersi, dalla seconda ottava del basso LA2 alla quarta ottava superiore LA6 con un allargamento frequenziale del 6%.

In relazione alla disarmonicità, Klaus Fenner ha scritto nel libro *Der Piano-und Flügelbau*.

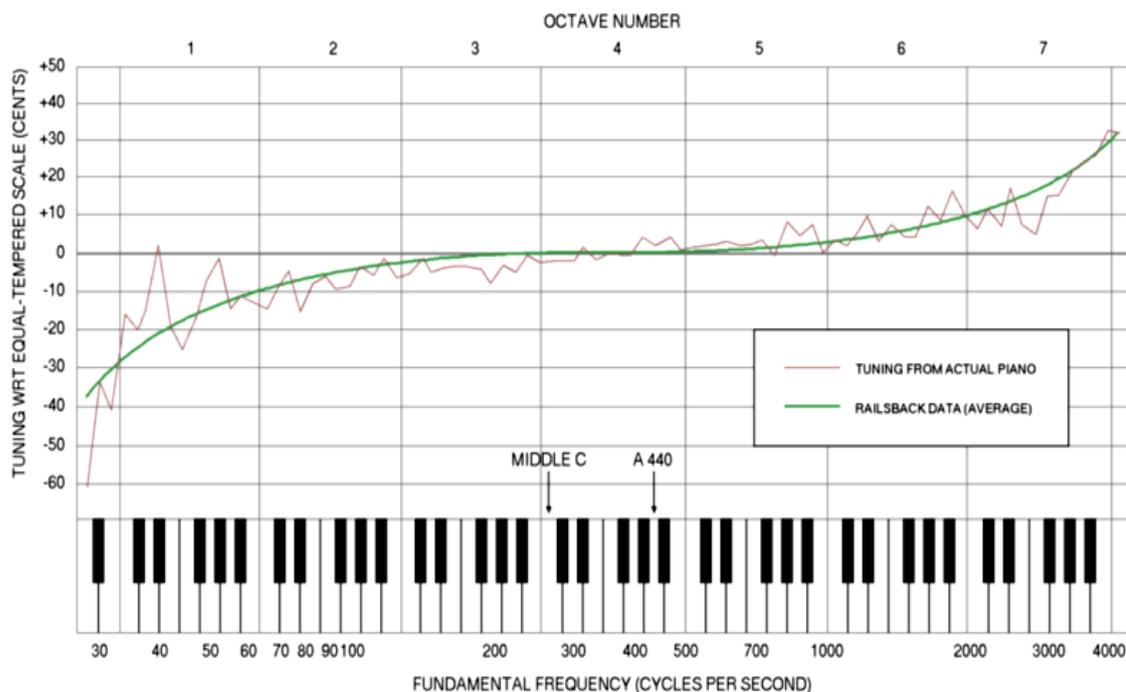
“Lo spettro sonoro di un pianoforte subisce una modificazione che non ha simili nella pratica musicale. L'indipendenza delle singole armoniche, poiché esse non hanno un decorso esattamente sincrono in ordine alle frequenze, viene fortemente accentuato dalle interfrequenze così formatesi.

Questo fenomeno, unico nel suo genere, caratterizza il suono di una coloritura non raggiungibile con altri mezzi, essendo la percezione rafforzata dalla vivezza e dalla capacità di variazione sonora. Tutto ciò significa che mediante il grado e anche il raggiungimento di un decorso equilibrato della disarmonicità, possono venir definiti indici di qualità delle corde tese vibranti.

La scarsa osservanza o l'impiego sbagliato delle leggi della disarmonicità riduce fortemente la possibilità di un'ottimale resa qualitativa dal punto di vista musicale dello strumento.”

Il calcolo del coefficiente di inarmonicità della corda si effettua mettendo in relazione la sua lunghezza, il diametro, la densità e la tensione

O.L. Railsback ha rilevato nel pianoforte la curva media di scostamento del rapporto 2:1; questa curva cresce dai suoni bassi verso i medi, dove grado di inarmonicità è lieve, per aumentare sempre più verso gli acuti.



CURVA RAILSBACK

Quando premiamo un tasto del pianoforte il rispettivo martello va a percuotere il corrispondente gruppo unisono di due o tre corde, nel contempo lo smorzatore viene allontanato dalle corde in modo che possano vibrare liberamente, la sua risposta raggiunge il massimo un istante più tardi. Lasciando andare il tasto lo smorzatore scende e fa cessare le vibrazioni delle corde, naturalmente il suono cessa anche se non si lascia il tasto in quanto il tono muore come la corda cessa gradualmente di vibrare e dato che l'orecchio percepisce l'intero tono come se morisse uniformemente potrebbe sembrare che tutte le parziali di cui si compone muoiano con la stessa rapidità. In realtà le parziali non decadono tutte con la stessa rapidità in alcuni casi possono perfino aumentare di intensità.

Nel pianoforte le vibrazioni sono dette "libere" cioè non si ha più fornitura di energia dopo l'impatto iniziale del martello sulle corde.

Il risultato è che le caratteristiche musicali del pianoforte dipendono fondamentalmente dal modo in cui viene dissipata l'energia fornita alle corde.

La dissipazione dell'energia è il risultato delle forze di attrito che si manifestano in varie parti dello strumento.

Nel caso del pianoforte si ha una dissipazione "lineare" cioè la velocità a cui la corda perde energia è proporzionale alla quantità di energia che le è stata impressa.

In un sistema lineare di questo genere, il decadimento è esponenziale, in tempi uguali vengono dissipate frazioni uguali di energia.

Nel pianoforte, benché il suono decada sempre esponenzialmente, il tasso di decadimento si modifica bruscamente in un punto. Il decadimento rapido iniziale caratterizza il suono diretto, il decadimento lento finale, il suono residuo.

La presenza di questi due tipi di suoni è tipica del timbro del pianoforte.

E' la presenza di forze proporzionalmente più grandi alle pressioni sonore più elevate che determinano inizialmente un tasso di decadimento più elevato.

In definitiva il suono diretto ha sempre la stessa durata indipendentemente dallo spostamento iniziale ed in un sistema lineare, come la corda di un pianoforte, l'ampiezza può essere aumentata o diminuita uniformemente senza alterare la qualità del movimento stesso.

La causa determinante il cambiamento del tasso di decadimento, in una corda singola, dipende dalla presenza di due polarizzazioni di vibrazione, una verticale ed una orizzontale.

Considerando che il martello colpisce la corda in direzione verticale, può sembrare strano che la corda acquisti anche un movimento orizzontale.

In effetti inizialmente la corda si muove prevalentemente in direzione verticale e la piccola quantità di moto orizzontale, inizialmente presente, è causato da modeste irregolarità nella superficie del martello o nel posizionamento della corda.

In definitiva il leggero movimento orizzontale dipende dal fatto che il martello non colpisce la corda esattamente in direzione verticale.

Da ricerche di laboratorio è stato dimostrato che ciascuna polarizzazione decade esponenzialmente ma che quella verticale decade molto più rapidamente, vale a dire che malgrado il movimento verticale all'inizio sia più forte almeno di un fattore 10, alla fine diventa dominante il movimento orizzontale.

La causa del differente tasso di decadimento dei due tipi di movimento è dovuta dal modo in cui la corda perde energia.

L'energia vibratoria può andare persa, sotto forma di calore (attrito interno), sotto forma di movimento dell'aria circostante (viscosità od irraggiamento del suono) o ai supporti della corda. Nel pianoforte il meccanismo prevalente è l'ultimo.

Sappiamo che la corda passa su un ponticello in legno fissato alla tavola armonica; il ponticello non è completamente rigido poiché la sua funzione è quella di far vibrare la tavola armonica in sincronia con la corda; sappiamo pure che la maggior parte del suono si diffonde nell'aria circostante intorno alla tavola armonica.

Il movimento verticale della tavola armonica risulta essere molto più cedevole che non quello orizzontale; in tal modo l'energia viene facilmente trasferita dal movimento verticale al movimento verticale della tavola.

Questo spiega il decadimento più veloce del movimento verticale della corda a cui si deve il suono diretto.

Questa definizione un po' semplicistica non è del tutto esatta in quanto non è la sola cedevolezza a determinare la perdita di energia

L'esistenza di un movimento orizzontale è solo uno degli elementi che contribuiscono al suono residuo indipendentemente dal fatto che le corde facciano parte di gruppi unisoni di due o tre corde.

Ciò vuol dire che un suono residuo dovuto al movimento orizzontale sarebbe udibile anche se il pianoforte fosse costruito facendo corrispondere una sola corda ad ogni nota.

Le corde che formano un gruppo unisono passano sul ponticello una vicina all'altra con conseguenza che i loro movimenti sono accoppiati; il risultato è che quando una corda vibra il ponticello vibra con essa e trasmette il moto alle altre corde del gruppo.

Questo movimento ha l'effetto di diminuire il tasso di decadimento anziché aumentarlo o quantomeno lasciarlo immutato poiché il tasso a cui l'energia viene dissipata, attraverso il movimento del ponticello, dipende dal fatto che lo stesso si muova o meno.

La spiegazione del fenomeno è la seguente:

Se due corde attraversano il ponticello nello stesso punto e vibrano con la stessa frequenza e ampiezza ma in opposizione di fase (una corda sale mentre l'altra scende) la forza netta sul ponticello sarà zero quindi il ponticello non si muoverà affatto ed a ciascuna corda il ponticello risulterà completamente rigido.

Se invece le corde vibrano in fase sempre con la stessa frequenza ed ampiezza il ponticello avrà un movimento doppio rispetto a quello che

avrebbe con una corda singola e quindi anche il tasso di decadimento si raddoppia.

Lo stesso principio vale anche per tre corde con le implicazioni che questo comporta (seguire l'andamento di tre fattori di fase).

In molte situazioni in acustica i movimenti di due corde non sono né esattamente identici (simmetrici) né esattamente opposti (antisimmetrici). Nel pianoforte i movimenti delle corde di un gruppo unisono sono inizialmente pressoché perfettamente simmetrici, dato che il martello colpisce le corde con la stessa forza e nel medesimo istante. Però piccole imperfezioni, nella costruzione del martello, daranno luogo ad ampiezze nel movimento delle corde che non sono assolutamente uguali. Inizialmente entrambe perdono energia e ciascuna la perde più velocemente in quanto, come abbiamo visto prima, il ponticello avrà un movimento doppio quando l'ampiezza della seconda corda (quella di ampiezza minore) si avvicina a zero il ponticello continua a muoversi per la forza esercitata dalla prima corda. A questo punto la seconda corda (quella con ampiezza minore) non solo raggiunge l'ampiezza zero ma va oltre generando una vibrazione in opposizione di fase a causa dell'assorbimento di energia dal ponticello. Considerato che a questo punto le due corde si muovono in opposizione di fase il movimento del ponticello sarà minore di quello che sarebbe se ci fosse un'unica corda in movimento. Le due ampiezze si avvicinano in fase opposta ed alla fine i movimenti delle due corde saranno esattamente antisimmetrici.

Il movimento iniziale simmetrico costituisce il suono diretto ed il moto successivo antisimmetrico costituisce il suono residuo.

In definitiva possiamo affermare che la componente simmetrica decade alla sua velocità caratteristica mentre quella antisimmetrica decade a velocità molto inferiore o nel caso ideale non decade affatto. La somma algebrica delle ampiezze tende a zero ma la differenza rimane a lungo costante.

In conclusione possiamo dire che il movimento di due corde di pianoforte può essere espresso come la sovrapposizione di movimento simmetrico ed antisimmetrico quindi i due tipi di movimento sono modi normali del sistema piano-corda.

Il fenomeno del movimento antisimmetrico chiarisce anche la funzione del pedale "una corda".

Sappiamo che il normale suono residuo è inferiore di circa 20 db rispetto al livello iniziale del suono diretto ed è un rapporto gradevole

per l'orecchio ma è comunque un rapporto inadeguato per l'esecuzione di un "pianissimo".

Sappiamo benissimo che quando il pianoforte è suonato delicatamente l'ampiezza del suono diretto si avvicina all'ampiezza del rumore di fondo della sala e di conseguenza il suono residuo è praticamente inudibile.

Se le note sono di lunga durata, il pianoforte perderà il suo tipico suono sostenuto e suonerà come uno xilofono.

Per evitare questo inconveniente, il pianoforte è dotato del pedale "una corda" la cui funzione meccanica è quella di spostare lateralmente tutta la tastiera in modo che il martello colpisca solo due corde di ogni terna unisona.

In tal modo invece di eccitare quasi esclusivamente il movimento simmetrico con solo una piccola quantità di moto antisimmetrico il pedale "una corda" li eccita ambedue in misura pressoché identica.

Infatti la terza corda che non è stata percossa comincia ad assorbire energia dal ponticello il quale vibra in sincronia con le altre due corde. La terza corda inizia subito a muoversi in opposizione di fase rispetto alle altre due così sin dall'inizio si ha un movimento antisimmetrico ed il livello del suono residuo rispetto al suono diretto è nettamente aumentato e si stabilisce il tipico timbro sostenuto.

N.B. Nel presente compendio, quando non diversamente indicato, i dati tecnici esposti si riferiscono ai pianoforti di tipologia a coda ed in particolare, per le loro peculiarità, ai grancoda Yamaha, Fazioli e Steinway & Sons.

Bibliografia:

H.A. Conklin	<i>Piano design factors</i>	<i>The acoustic of the piano</i> Royal Swedish Academy of Music - 1990
A. Askenfelt & E. Janson	<i>From touch to string vibrations</i>	<i>The acoustic of the piano</i> Royal Swedish Academy of Music - 1990
D.E. Hall	<i>The hammer and the string</i>	<i>The acoustic of the piano</i> Royal Swedish Academy of Music - 1990
G. Weinreich	<i>The couples motion of piano string</i>	<i>The acoustic of the piano</i> Royal Swedish Academy of Music - 1990
K. Wogram	<i>The string and the soundboard</i>	<i>The acoustic of the piano</i> Royal Swedish Academy of Music - 1990
F. Ognibeni	<i>L'anima del legno</i>	E. Ciresa
G. Bettin	<i>Il pianoforte da concerto Steinway e Sons</i>	Rugginenti
Nippon Gakki co. ltd	<i>Yamaha grand pianos</i>	
E.D. Blackham	<i>La fisica del pianoforte</i>	<i>Scientific American</i> – dic. 1965
Klaus Fenner	<i>Der piano-und Flugelbau</i>	Verlag - Francoforte
Walter Pfeiffer	<i>Von Hammer</i>	Verlag – Francoforte
Fazioli	<i>Pianoforti a coda e da concerto</i>	
A. Mondino	<i>Il clavicordo</i>	Libreria Musicale Italiana Editrice
R. Meucci	<i>Strumentaio</i>	Fondazione Cologni Marsilio

www.canavesepianoforti.it