

CRM - Centro Ricerche Musicali

SINTESI PER MODELLI FISICI. VERSO UNA SEMANTICA DEI SUONI.

Lorenzo Seno - Coordinatore scientifico

Centro Ricerche Musicali
Via Lamarmora, 18 - 00100 Roma - Italia
crm.it@usa.net
lorenzo.seno@bigfoot.com

Come ogni anno, il CRM organizza un corso di perfezionamento in "computer music" su uno dei temi chiave della ricerca musicale internazionale. Quest'anno il tema è la sintesi per modelli fisici, un argomento sul quale si può dire si è lavorato da sempre (o almeno da quando esiste la computer music), ma che recentemente ha raggiunto un suo "punto di svolta", una maturità concettuale e tecnologica tale da permettergli un suo effettivo uso nella pratica musicale compositiva e esecutiva.

Chi si occupa di suono saprà che esistono alcuni "classici" approcci alla analisi e alla sintesi dei suoni. Alcuni di questi sono così "classici" da rappresentare un paradigma quasi inconsciamente applicato non solo dai ricercatori, ma dai musicisti stessi. Non c'è corso di acustica elementare nei conservatori che non insegni cosa siano gli armonici, e come sulle relazioni tra essi si sia sviluppata l'armonia tonale occidentale, giusta o temperata che sia.

Dietro questa visione dei suoni, che risale a Helmholtz, c'è l'analisi armonica, o - se volete - di Fourier. Essa si basa sulla considerazione che (una volta fatte le debite precisazioni, ovvero sottigliezze che è qui fuori luogo citare), astrattamente parlando qualsiasi segnale (e quindi, qualsiasi suono, che altro non è che un segnale di pressione) può essere rappresentato come somma di segnali "semplici", di tipo sinusoidale. Nel caso il segnale (suono) sia periodico, l'espressione di questa somma prende una forma particolarmente semplice, implicando solo sinusoidi di frequenza multipla di quella corrispondente alla periodicità del segnale. Detto in un linguaggio un po' più musicale, questo significa che ogni suono può essere scomposto nella somma dei suoi "armonici". Questo significa che un suono "è" i suoi armonici, per così dire. La sua individualità, ciò che lo distingue dagli altri suoni, è proprio la sua composizione armonica, il suo spettro. Questa è la teoria del timbro di Helmholtz.

Inutile spendere parole sul fascino che questa rappresentazione ha esercitato e esercita ancora. Ne sia prova appunto il carattere "paradigmatico" che ha assunto, al punto tale che molti pensano agli armonici quasi come ad entità "materiali", nascondendosene la loro natura (in realtà) esclusivamente formale.

Questo approccio all'analisi dei suoni ha naturalmente suggerito anche un modo per sintetizzarli. Se sono capace di smontare i suoni in componenti semplici, potrò ricomporli a mio piacimento usando gli stessi ingredienti, magari variandone le proporzioni per inoltrarmi in spazi sonori nuovi. Questa tecnica è la sintesi additiva. Non mi dilungo su di essa, perché la potete trovare su qualunque libro di computer music.

Gran parte del successo di questo modo formale di pensare ai suoni è dovuto a una circostanza del tutto estranea alla matematica. Dal punto di vista strettamente formale, non c'è nessun motivo di preferire le sinusoidi ad altri componenti elementari. Tecniche di analisi (e di sintesi) successive (come quelle di Gabor e le Wavelets) fanno in effetti uso di componenti non sinusoidali, o addirittura di forma arbitraria. Quindi, se cerchiamo nella matematica le ragioni del successo della analisi di Fourier, ben difficilmente le troveremo. Un po' come se cercassimo di spiegarci le ragioni del successo del sistema decimale con considerazioni puramente matematiche. Dal punto di vista for-

CRM - Centro Ricerche Musicali

male, della matematica, non c'è infatti alcuna ragione di preferire il numero dieci come base per il contare. Qualsiasi altro numero si presterebbe altrettanto bene. Ad esempio, il metodo di conteggio usato internamente ai calcolatori è basato sul numero 2, o sul numero 8, o sul 16 (in certi casi si usa anche il numero 64). Il motivo dell'adozione del sistema decimale è del tutto esterno all'aritmetica, è un motivo che ci riporta al mondo fisico, anzi addirittura biologico, e che è legato per così dire ad un "significato" del numero 10. La specie umana ha preferito il sistema di conteggio decimale semplicemente perché i suoi due arti superiori sono dotati in tutto di dieci dita. La ragione è quindi biologica, materiale, "semantica", non formale. Può inoltre darsi che non sia per caso che la specie umana possiede dieci dita. Molte specie, anche lontane dall'uomo, posseggono 5 dita per arto. Cinque sembra sia uno dei numeri favoriti dalla natura per le dita degli arti, per ragioni che personalmente ignoro, così come ignoro se genetisti e biologi abbiano trovato per queste preferenze una spiegazione unitaria. Come vedete, la spiegazione del sistema decimale ci ha portato lontano, dai numeri al mondo reale, con la sua storia lontana e con tutta la sua complessità.

Credo sia così anche per l'analisi di Fourier. Molti fenomeni sono "quasi" periodici. Molti suoni sono "quasi" periodici, e molti oggetti producono suoni "quasi" periodici e quindi con spettro "quasi" armonico. Quindi, guardare ai suoni come composti di armonici coglie per così dire una caratteristica del mondo reale, fornisce agli armonici (e alle sinusoidi) un significato nel mondo delle cose vere.

Abbiamo scritto "quasi" varie volte. Rappresentare tutto come combinazioni di periodicità sappiamo che è una operazione non scorretta, anche se solo in prima approssimazione. Anche la musica è piena di periodicità. Oltre ai suoni, c'è il ritmo, la battuta, il metronomo. Ma tutti sappiamo che non c'è musica senza agogica, che la periodicità esiste proprio in quanto almeno un po' la si deve violare. Un brano eseguito senza un minimo di respiri e di rubato, con una "periodicità" perfetta, sarebbe senza vita, "meccanico" e artificiale.

Così è per i suoni, per quelli della musica di ogni tempo. Se le loro periodicità sono perfette, sono suoni senza vita, "artificiali". Non esistono animali che emettano, come verso, una perfetta sinusoide. Anche il più semplice prodotto della natura è troppo complesso per riuscirci.

E' questo il principale dei "difetti" della sintesi additiva. Di produrre suoni come perfette cattedrali di armonici, tutti esattamente allineati e spazati come il colonnato di San Pietro.

Naturalmente questo non significa che dal punto di vista compositivo questa caratteristica non possa avere la sua attrattiva. Dopotutto, oggi ormai viviamo immersi in una moltitudine di suoni artificiali, perfettamente periodici. E' inoltre possibile spezzare questa eccessiva regolarità dei suoni sintetici con artifici più o meno felici.

Ma tutto ciò significa innegabilmente che a questo modello del suono (che si porta dietro implicitamente anche un modello degli oggetti che questo suono producono) sfugge tutto ciò che abbiamo un po' riassunto e un po' camuffato con quei "quasi". Ma sappiamo che a dispetto di quell'anodino "quasi", ciò che così non viene colto non è affatto poca cosa, anzi, forse è invece "quasi tutto", almeno di ciò che musicalmente è interessante. Inoltre, vi sono molti suoni del tutto non periodici (una volta si preferiva chiamarli "rumori").

Per spiegare e dare concretezza a quanto affermato, porgo un solo esempio: il suono prodotto dalle canne d'organo (ma quanto detto vale per molti strumenti "ad aria").

Una canna d'organo è un risonatore "quasi" ideale, quindi si tratta proprio di un oggetto che produce suoni periodici composti da armonici. Ma la canna è eccitata dal flusso di aria che attraversa un becco, un oggetto quest'ultimo molto poco lineare, e nel quale possono avere sede fenomeni di turbolenza.

Il primo scostamento dal "modello" periodico lo abbiamo durante la fase iniziale, quando l'organista preme il tasto. Il suono si forma nella canna, e questo è un processo che avviene una sola volta, all'inizio. E' cioè un fenomeno aperiodico, un "transitorio". Per quanto non impossibile trattare anche i transitori con l'analisi e la sintesi di Fourier, la cosa presenta non poche difficoltà e limitazioni.

CRM - Centro Ricerche Musicali

Ma non è finita qui: durante la fase "stazionaria" del suono, passato il transitorio iniziale, là dove grazie alle caratteristiche risonanti della canna ci aspetteremmo un comportamento periodico, scopriamo che le famose armoniche subiscono delle "microfluttuazioni" non solo in ampiezza, ma anche in frequenza. "Sbandano" lievemente in frequenza in modo, anche qui, "quasi periodico". Il risultato finale è che, a stretto rigore, anche la coda del suono della canna d'organo non è perfettamente periodica. La circostanza avrebbe una importanza relativa, se non fosse che al nostro orecchio, o meglio al nostro "gusto", questa non periodicità è non solo percepibile, ma gradita.

Nella sintesi per campionamento, nella quale si usano suoni registrati ("campionati") di strumenti veri, esiste il problema che non è a priori determinata la lunghezza del suono che l'esecutore desidererà produrre, e d'altra parte è costoso memorizzare suoni lunghi (un "pedale" d'organo può durare anche minuti!). Per allungare il suono in fase di esecuzione si usa un "trucco", che consiste nel creare un loop (un meccanismo di ripetizione ad anello chiuso), i cui punti di inizio e fine devono essere accuratamente e abilmente predeterminati in modo da non creare "salti" lungo la sutura.

Così facendo nel suono viene artificialmente creata una perfetta periodicità (della durata dell'anello), in genere piuttosto lunga (dell'ordine delle decine di secondi). Questa periodicità viene immediatamente (e fastidiosamente) percepita, e ci permette immediatamente di distinguere il suono dello strumento campionato da quello dello strumento vero registrato. Questa percezione viene normalmente descritta con la presenza di un'aura di "artificialità" del suono.

Anche la sintesi FM (a modulazione di frequenza) si muove sostanzialmente sullo stesso solco della sintesi additiva. La sintesi FM è un buon modo per ottenere "pettini" di perfetti armonici con mezzi relativamente poveri, ma il "modello" concettuale è sempre lo stesso.

Ciò non toglie che sia con la sintesi additiva, che con quella FM si siano potuti ottenere brani musicali importanti e interessanti. Citiamo ad esempio tra i numerosi lavori fatti in FM, quelli dello stesso Chowning, che della sintesi FM è stato l'artefice.

Nonostante quelli che oggi possono apparire come limiti e difficoltà, l'analisi armonica è stata la base di partenza per lo studio dei suoni reali, e degli strumenti musicali acustici. Qui con noi avremo Risset, che è stato tra i primi i quali, usando questa "attrezzatura", hanno svelato come erano fatti i suoni di molti degli strumenti naturali (violino e tromba, in particolare), e sono riusciti a ottenere imitazioni dei suoni con un buonissimo grado di approssimazione.

Allo studio delle caratteristiche intrinseche dei suoni degli strumenti si è affiancato, nel corso degli anni, lo studio delle caratteristiche fisico-acustiche degli strumenti musicali. La conferenza di Cingolani si incarica di presentare un panorama delle ricerche nel campo della acustica degli strumenti musicali, disciplina che si affianca strettamente alla ricerca sui modelli fisici.

Per il violino, dobbiamo citare Raman e, più recentemente, Cremer. A loro si deve la comprensione di una buona parte dei meccanismi di produzione del suono, che ci permettono di mettere in relazione questi con le caratteristiche intrinseche conosciute del suono stesso.

Per il violino e la sua famiglia, ad esempio, sappiamo grosso modo come interagisce l'archetto con la corda, quali siano le forme d'onda, e come esse vengano modificate dalla cassa.

Da qui nasce l'idea della sintesi per modelli fisici. Perché non provare anziché a imitare il suono, a imitare direttamente il comportamento dell'oggetto che il suono produce?

Aniché comporre gli armonici seguendo la ricetta che abbiamo imparato analizzando i suoni reali, perché non sfruttare la conoscenza della fisica degli strumenti musicali (ma anche dei bidoni di benzina, i quali possono benissimo diventare degli strumenti musicali) per concepire dei modelli matematici, calcolabili, che descrivano "il moto" delle componenti acustiche degli strumenti? E' chiaro che nel descrivere il moto di un oggetto reale sarà necessario fare qualche semplificazione, o forse anche molte semplificazioni, ma non è escluso che lasciando il nostro semplificato oggetto evolvere sotto l'azione delle forze esterne, esso "da solo", per così dire, produca i suoi armonici (o inarmonici) cogliendo magari anche qualcosa di quel "quasi" che abbiamo finora sempre tenuto fuori della finestra.

CRM - Centro Ricerche Musicali

La sintesi per modelli fisici per molti aspetti riporta alla "fisicità" del mondo materiale, degli oggetti che emettono il suono e dei mezzi nel quale si propaga.

Il tema dello scorso anno era, ad esempio, lo spazio. Anche là presentammo un lavoro, del quale potete ascoltare qualche esempio, nel quale, con un certo grado di approssimazione, si affrontava la tematica del "riverbero" con un approccio fisico, piuttosto che imitativo. Anziché guardare al riverbero per quello che esso introduce nel segnale, abbiamo guardato al riverbero nei suoi meccanismi di produzione (riflessioni sulle pareti), come meccanismo che accompagna il suono quando si propaga in uno spazio confinato, e abbiamo prodotto un "riverbero" generato da un "modello fisico" dello spazio di propagazione.

Credo di non andare errato affermando che uno dei capitoli fondamentali e più "antichi" della ricerca sui modelli fisici parte dalla sintesi della voce. Qui gli scopi iniziali erano legati ai tentativi di ridurre il flusso di informazione necessario a trasmettere il parlato. Ma al di là degli scopi iniziali, di interesse fondamentale della industria telefonica, questo tipo di ricerche ha permesso di mettere in evidenza molte delle caratteristiche dei suoni emessi durante il parlato, e ha prodotto uno dei primi "modelli fisici", quello basato sulla predizione lineare. Senza entrare in dettagli, il parlato viene espresso come una eccitazione (prodotta dalla glottide) di caratteristiche piuttosto semplici (impulsi periodici e rumore bianco), trasformati da un modello che rispecchia il comportamento della cavità orale e nasale.

Questo schema eccitatore-risuonatore è tipico dei modelli fisici anche degli strumenti musicali, e lo ritroveremo spesso. Dal parlato, si è passati, con tecniche diverse, alla sintesi del canto. L'argomento, che come dicevamo è da considerare una pietra miliare nella storia della modellizzazione fisica, sarà l'oggetto specifico della relazione di Pierucci.

Tornando alla sintesi del suono per modelli fisici, il successo dell'operazione ovviamente dipende molto dal grado di approssimazione che si introduce. Il luogo e il senso della ricerca musicale in questo campo, almeno a nostro avviso, consiste proprio nel ricercare quali approssimazioni siano utili e quali inutili, fin dove si debba spingere il rigore della modellizzazione. Nel cercare cioè un compromesso tra costo di calcolo e esattezza della simulazione.

Non è infatti impossibile concepire modelli di simulazione enormemente esatti, che tengano conto delle caratteristiche più minute del moto degli oggetti. Il problema è che così facendo si finisce piuttosto rapidamente oltre l'orizzonte della calcolabilità teorica, oltre, cioè, le possibilità di calcolo non solo attuali, ma anche future. Ancora più stringenti diventano le esigenze se si desidera calcolare in tempo reale, se si desidererà cioè sviluppare dei modelli di simulazione il cui calcolo richieda meno tempo della durata del suono che si desidera emettere, e che possano quindi essere "suonati" da un esecutore, esattamente come uno strumento naturale.

Se esiste un limite "teorico" alla calcolabilità in senso assoluto, il confine peraltro tra ciò che è praticamente calcolabile e cioè che ancora non lo è, e tra ciò che è calcolabile in tempo reale e ciò che lo è solo in tempo differito si muove (e piuttosto velocemente) con il progredire della tecnologia dei computer. Questo è molto importante, soprattutto per chi, per un motivo o per l'altro, privilegia il tempo reale, per chi vuole, della sintesi per modelli fisici, fare un mezzo per creare nuovi strumenti.

Rispetto al problema della calcolabilità, esistono numerosi approcci. Storicamente una delle idee più felici è forse quella di Karplus-Strong. Essa si basa sull'osservazione che una linea di ritardo (cioè, un oggetto nel quale il suono entra da una estremità e si propaga con velocità fissa uscendo dall'altra estremità invariato ma ritardato di un tempo fisso), è insieme facilmente implementabile in un calcolatore con pochissima richiesta di calcolo, e nello stesso tempo può simulare abbastanza bene le caratteristiche di un risuonatore. Ora, come abbiamo avuto modo di accennare a proposito della voce, è un tipico approccio della ricerca per modelli fisici quello di pensare agli oggetti come composti da un eccitatore, o eccitazione (qualcosa che entra in vibrazione o in movimento sotto l'azione di una forza esterna) e da un risuonatore, un "produttore di armonici". Una corda può essere pensata con una certa approssimazione come un risuonatore, esattamente come una colonna d'aria. Come risuonatore, la linea di ritardo Karplus-Strong ha il difetto di essere troppo ideale, di

CRM - Centro Ricerche Musicali

produrre armonici tutti uguali, equispaziati, e tutti egualmente trattati. Ma da questo approccio sono fioriti molti tentativi di rendere il modello più articolato e sofisticato. Di uno di questi tentativi vi parlerà Evangelista, ma mi preme sottolineare come da Karplus-Strong derivi per discendenza diretta, attraverso il lavoro di Jaffe e Smith, il modello a Guide d'onda (Waveguides), che è forse l'approccio prevalente alla modellizzazione fisica ed è la base dei pochi prodotti commerciali oggi disponibili (Yamaha e Korg).

Citiamo per inciso, anche se avremo modo di tornarci sopra più diffusamente, che questo non è l'approccio del CRM, perché riteniamo che esso spinga "naturalmente" ad autoconfinarsi nella simulazione degli strumenti acustici esistenti, il che non è l'orizzonte entro il quale si muove la ricerca al CRM.

La ricerca musicale sui modelli fisici consiste quindi nel cercare un percorso praticabile e possibile tra la Scilla della incalcolabilità e la Cariddi dell'inanità.

Com'è facile immaginare, si tratta di cammini piuttosto tortuosi. Nasce quindi un problema del tutto generale (e piuttosto condiviso con qualunque altro ambito di ricerca): come giudicare la validità dei risultati che via via si ottengono?

La risposta a questa domanda (ma sarebbe meglio dire: meta-domanda) dipende da fatti e circostanze estranei alla ricerca stessa, che costituiscono piuttosto l'epistemologia o se volete la filosofia sottostante la ricerca, che sia essa esplicitata o meno.

E' sempre difficile in questo campo fare affermazioni generali senza incorrere in gravi semplificazioni e involontariamente distribuire iniquamente immeritati meriti e torti. E' quindi con tutta la necessaria modestia che diciamo che la nostra impressione (noi al CRM, si intende) è che il criterio guida attualmente prevalente sia quello di ottenere buone simulazioni degli strumenti acustici, di ottenere una tecnica di sintesi che superi i problemi (cui abbiamo accennato) tipici delle altre tecniche di sintesi degli strumenti musicali acustici.

Va da sé che l'industria degli strumenti musicali elettronici è forse la maggiormente interessata a questo approccio. Ma ci domandiamo se, oltre a riprodurre gli strumenti che esistono, non si debba cercare di trovare strumenti "nuovi", qualcosa cioè che permetta ai compositori di inoltrarsi in spazi sonori nuovi. Dubitiamo infatti che un compositore possa sentirsi stimolato da uno strumento artificiale, da considerarsi tanto più perfetto quanto più è indistinguibile dal suo originale.

Noi consideriamo invece che, nello sviluppo di strumenti basati su modelli fisici, il raffronto con gli strumenti acustici sia certamente un passaggio indispensabile, filogeneticamente e ontogeneticamente, una guida capace di svelare la correttezza e la fecondità delle ipotesi messe in campo e delle semplificazioni adottate, ma riteniamo che si debba andare oltre, che la ricerca sulla sintesi per modelli fisici debba portare a strumenti "nuovi", capaci di generare nuovi suoni e di fornire nuove capacità espressive.

Ci si può domandare, a questo punto, perché mai, allo scopo di esplorare nuovi spazi sonori, si debba adottare un approccio che intrinsecamente privilegia l'imitazione della realtà fisica. Si può dubitare che invece approcci più astratti, più legati al segnale in quanto tale, siano più fecondi e diano più libertà.

Oltre ai motivi già accennati, e cioè che per questa via si ritiene di poter raggiungere più direttamente il necessario grado di "complessità" (e quindi di interesse musicale) del suono, ne esiste però un altro, molto specifico. In un modello fisico, in un modo o nell'altro, sono rintracciabili gli oggetti fisici costituenti lo strumento "virtuale". Nel violino messo a punto da Palumbi e da me, di cui sentirete nei prossimi giorni una dettagliata descrizione, esiste un archetto, una corda, una colofonia, e volendo, persino una cassa. In altri modelli troverete, a proposito degli ottoni, la canna, l'imboccatura, persino il labbro del suonatore, la pressione dell'aria insufflata. Sui fiati, e gli ottoni in particolare, potremo ascoltare Rodet, in particolare sulle problematiche legate al labbro del suonatore. Questo significa che i parametri fisici corrispondenti (ad esempio, tornando al violino, velocità e pressione dell'archetto, temperatura e attrito della colofonia, caratteristiche del materiale della corda, tipo di gas in cui la corda è immersa, ecc.) sono sotto il controllo del compositore-

CRM - Centro Ricerche Musicali

esecutore e possono essere variati. Nel caso del nostro modello di strumento ad arco, possono essere variati durante il corso stesso dell'esecuzione.

Nel caso della chitarra, le modalità di pizzico della corda presentano molte sottigliezze che possono trovare pieno riscontro nella modellizzazione fisica. Avremo modo di ascoltare Lombardo in proposito, in un lavoro di analisi (e sintesi) del tocco del chitarrista.

La possibilità di controllo in modo sintetico e diretto dei parametri che intervengono nell'espressione recupera un fattore essenziale nella pratica musicale: l'esecuzione, il gesto dell'esecutore e l'interpretazione. Come il mix genetico nella riproduzione sessuata, il binomio composizione - interpretazione è una delle cause, se non la fondamentale causa, della "fecondità" musicale. Fornendo possibilità espressive all'interpretazione, fornisce anche una "semantica" al compositore, una possibilità di "intuizione" e l'indicazione di possibili percorsi di ricerca di spazi sonori nuovi.

Se, come speriamo, dai modelli fisici nasceranno strumenti nuovi, nascerà contemporaneamente il problema di come permettere all'esecutore di controllare efficacemente l'emissione del suono. Di questo argomento vi parlerà specificamente De Poli, a proposito dei controlli nei processi di modellizzazione. E' chiaro che se il nuovo strumento si limita ad imitare uno strumento acustico, la tentazione è quella di riprodurre il modo di controllare, le forme, le procedure e i gesti degli strumenti tradizionali. Ma se i modelli devono essere usati, come noi crediamo, per fuoriuscire dalle pratiche di utilizzazione usuali, dagli orizzonti usuali, la concezione delle interfacce di controllo acquista un rilievo particolare: si tratta di inventare nuovi gesti dell'esecutore per permettergli di mettere a profitto le maggiori e nuove possibilità offerte dallo strumento. Si tratta di far nascere nuove pratiche esecutive, nuovi virtuosismi, nuovi gesti.

Ad esempio, in un violino virtuale non c'è motivo di limitare la durata dell'arcata, così come in uno strumento a fiato virtuale non c'è motivo di limitare la lunghezza del respiro. Quindi, non è un archetto il metodo migliore per controllare l'arcata. Nel caso di "corda di metallo", si è pensato piuttosto (ma non è che una idea tra le tante possibili) a dischi rotanti, da mettere in movimento con la mano con un gesti simile a quelli dei disk-jockey.

In questo quadro risulterà forse chiaro perché noi al CRM consideriamo la nostra attività come una "liuteria virtuale", sottolineando con questo l'approccio fondamentalmente "artigianale" del nostro lavoro di "invenzione" di strumenti musicali virtuali, in stretto rapporto con musicisti e compositori. Crediamo in questo di non fare altro che riprodurre, *mutatis mutandis*, il rapporto che nei secoli è sempre esistito tra musicisti e costruttori di strumenti, tra evoluzione della strumentazione musicale e evoluzione del pensiero musicale.

Quello che ci auguriamo, con il venirci incontro dell'evoluzione delle potenze di calcolo e il passaggio quindi al tempo reale, è di riuscire a fare del nostro modello, di "corda di metallo", uno strumento musicale nuovo, anche se - come si dice - "della famiglia dei violini", che possa essere suonato sul palcoscenico assieme agli altri suoi più antichi fratelli e ad altri strumenti, reali o virtuali che siano. E ci auguriamo che questo non sia che uno dei tanti strumenti nuovi - apparentati o meno con le famiglie esistenti - che con il tempo saranno messi a disposizione del compositore e della sua ricerca di musica nuova.

CRM - Centro Ricerche Musicali

