

Quaderni di analisi

II – *Studi su Iannis Xenakis*

Quaderni di analisi

a cura di Domenico Giannetta

II – *Studi su Iannis Xenakis*

Quaderni di analisi
II – *Studi su Iannis Xenakis*

Comitato scientifico e redazionale:

Domenico Giannetta
Luigi Mogrovejo
Vittorino Naso

«Quaderni di analisi» è una pubblicazione del Conservatorio di Musica «Fausto Torrefranca» di Vibo Valentia ideata e diretta da Domenico Giannetta.
La fase redazionale del volume si è chiusa il 5 settembre 2023.

Progetto grafico di copertina by Giano

© Copyright 2023 Edizioni del Conservatorio di Musica Fausto Torrefranca
Via Corsea – 89900 Vibo Valentia
Tel. 0963-375235
www.consvv.it

Tutti i diritti riservati

ISBN 978-88-945943-2-4

INDICE

- v Introduzione
- ix Giornata di studi: programma dei lavori

Studi su Iannis Xenakis

- 3 *Iannis Xenakis, Homo numeris*
Nota biografica a cura di Luigi Mogrovejo
- 13 *Suoni e numeri: la musica tra arte e scienza*
Domenico Giannetta
- 41 *Xenakis al computer (1959-1994).*
Il compositore e l'informatica musicale nel loro tempo storico
Agostino Di Scipio
- 75 *Metastaseis: architettura sonora nella musica di Xenakis*
Michele Arena
- 83 *Riflessioni su À R. (Hommage à Ravel) di Iannis Xenakis*
Luigi Sassone
- 109 *Lo spazio architettonico al servizio della musica*
Luigi Tommaso Achille

INTRODUZIONE

Il secondo numero dei *Quaderni di analisi*, che esce a distanza di tre anni dal primo, ospita gli atti della Giornata di studi «Iannis Xenakis (1922-2001): compositore, architetto e visionario» che si è svolta venerdì 21 ottobre 2022 presso la Sala concerti (ex Convento dei Gesuiti) del Conservatorio di Musica di Vibo Valentia, con lo scopo di celebrare il centenario della nascita del compositore greco. L'evento, organizzato dal Conservatorio in collaborazione con l'Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Vibo Valentia, ha visto la partecipazione di due illustri ospiti – Agostino Di Scipio, docente di Composizione musicale elettroacustica presso il Conservatorio di Musica Alfredo Casella dell'Aquila, e Luigi Tommaso Achille, architetto e vice-presidente dell'Ordine – oltre a rappresentanti del corpo docente e discente del Conservatorio Torrefranca.¹

Il volume si apre con *Iannis Xenakis, Homo numeris*, nota biografica curata da Luigi Mogrovejo, un contributo indispensabile per inquadrare il profilo e la produzione artistica del compositore: ne emerge una vicenda biografica estremamente intensa, ricca di incontri, di eventi (anche traumatici), e contrassegnata dal costante desiderio di sperimentare nuove soluzioni, senza mai cadere nella tentazione di guardarsi indietro crogiolandosi su quanto già realizzato in precedenza.

Segue il mio contributo, *Suoni e numeri: la musica tra arte e scienza*, con il quale ho tentato di passare in rassegna alcuni fra i più significativi esempi di interazione fra musica e discipline scientifiche – partendo da Pitagora per arrivare alle teorie sviluppate nel XX secolo per tentare di sviscerare le complessità della musica post-tonale – dimostrando in questo modo che il *modus operandi* di Xenakis, che ricorre spesso a sofisticati calcoli matematici per orientare la propria creatività in ambito compositivo, non rappresenta affatto un caso isolato da questo punto di vista. Il carattere del contributo è per larghi tratti di tipo divulgativo, anche se non mancano momenti in cui vengono applicati calcoli matematici un po' più complessi (come nel caso dei diversi tipi di accordatura). Nella parte conclusiva, inoltre, vengono ripresi alcuni dei concetti teorici introdotti nel primo numero dei *Quaderni di analisi*.

Il terzo saggio, che è anche il più esteso, è quello di Agostino Di Scipio, studioso di profilo internazionale che ha dedicato una parte significativa della propria produzione scientifica ad approfondire la figura di Xenakis. Di Scipio descrive in modo estremamente minuzioso, attingendo a piene mani ai numerosi studi che ha dedicato a questo argomento, l'evoluzione del rapporto tra il compositore greco e la

¹ Nelle pagine seguenti è riportato il programma dei lavori della Giornata di studi.

composizione musicale, mostrando la sua insofferenza verso le tecniche compositive di tipo tradizionale, e invece il suo sentirsi via via sempre più a suo agio man mano che le innovazioni tecniche e tecnologiche gli hanno consentito di ricorrere in modo significativo a strumenti elettronici e informatici più evoluti. Interessante è inoltre il ricco apparato iconografico, che ci consente peraltro di passare in rassegna lo sviluppo del computer, dai primi mastodontici esemplari in uso nei primi centri di ricerca degli anni Cinquanta fino a modelli progressivamente sempre più piccoli, che negli anni Ottanta daranno il via alla diffusione capillare in tutte le case e gli uffici di questo ormai indispensabile strumento di lavoro.

Come è tradizione per i *Quaderni di analisi*, un cospicuo spazio viene riservato a studenti ed ex studenti del Conservatorio che si sono distinti per aver elaborato riflessioni e/o ricerche degne di nota.

Il contributo di Michele Arena – che di recente ha completato il proprio percorso di studi conseguendo il Diploma accademico di secondo livello in Composizione nella classe di Luigi Mogrovejo, e che negli scorsi anni ho avuto il piacere di avere come studente nel mio corso di *Analisi dei repertori* – si concentra sul primo lavoro significativo della produzione di Xenakis, *Metastaseis* (1954) per orchestra sinfonica. La partitura viene esaminata illustrando le peculiarità dell'orchestrazione, la sua architettura formale – e il termine architettura, nel caso di Xenakis, non è da intendersi soltanto in senso metaforico –, ma soprattutto l'organizzazione dei glissandi che dominano larghi tratti della composizione, progettati inizialmente tramite uno schema grafico tanto efficace quanto originale che ricorda, non a caso, la carta millimetrata su cui lavora solitamente un architetto.

Il contributo di Luigi Sassone – che attualmente studia Composizione (Triennio) con Luigi Mogrovejo, ma è stato anche un mio affezionato allievo (negli ultimi anni ha frequentato praticamente tutti i corsi da me tenuti) – tenta invece di far luce su un'opera pianistica composta da Xenakis nel 1987, *À R. (Hommage à Ravel)*, tanto breve quanto interessante nella sua articolazione formale complessa e stratificata. Sassone coglie l'occasione, basandosi sugli studi di Ronald Squibbs – che riprende e personalizza, aggiungendovi riflessioni e commenti – per far luce su una delle principali teorie elaborate negli ultimi anni per esplorare la tecnica compositiva di Xenakis: si tratta della *Sieve theory*, o “teoria dei setacci”, che rappresenta a sua volta un'originale rielaborazione della Teoria degli insiemi di classi di altezze già descritta nel primo numero dei *Quaderni di analisi*.

Il volume si chiude con una riflessione a cura dell'architetto Luigi Tommaso Achille, vice-presidente dell'Ordine degli Architetti della Provincia di Vibo Valentia, sullo spazio architettonico al servizio della musica, citando alcuni esempi celebri, dal Sidney Opera House al Parco della Musica di Roma, per concludere con il Padiglione Philips per l'Expo di Bruxelles del 1958, progettato da Le Corbusier e Xenakis per «offrire agli spettatori uno spettacolo estremamente coinvolgente ed avvolgente, nel quale suoni, colori e forme architettoniche si combinavano in modo quasi inestricabile».

In conclusione, desideravo ringraziare in primo luogo il Direttore del Conservatorio Torrefranca, prof. Vittorino Naso, sia per aver supportato insieme al Consiglio accademico l'organizzazione della Giornata di studi e la pubblicazione del presente volume, sia per aver contribuito con la sua Classe di Strumenti a percussione a impreziosire il programma dei lavori offrendo al pubblico l'esecuzione di due composizioni di Iannis Xenakis. E a questo proposito non posso non ringraziare Giuseppe Maiorana, che ha eseguito *Rebonds B*, e il trio di percussionisti formato da Vincenzo Alati, Vincenzo Castelbano e Marco Ginese, che ha eseguito *Okho*. Così come un ringraziamento speciale va al collega Francesco Silvestri, che ha eseguito *Six Chansons pour piano*, rimpiazzando all'ultimo momento il pianista inizialmente previsto.

Un sentito ringraziamento va inoltre al collega Luigi Mogrovejo, che oltre ad avermi affiancato nell'organizzazione della Giornata di studi – coinvolgendo inoltre gli studenti ed ex studenti della sua classe intervenuti come relatori – ha fatto parte, insieme al Direttore e al sottoscritto, del comitato scientifico.

Ed infine ringrazio gli autori dei contributi pubblicati in questa sede, e in particolare Agostino Di Scipio e Luigi Tommaso Achille che hanno voluto aderire al nostro invito mettendo le proprie conoscenze al servizio di tutti noi.

Vibo Valentia, 29 agosto 2023

Domenico Giannetta

Giornata di studi
Iannis Xenakis (1922-2001): compositore, architetto e visionario

Vibo Valentia: Sala concerti del Conservatorio c/o ex Convento dei Gesuiti
Venerdì 21 ottobre 2022, ore 15.00

in collaborazione con l'Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori
della Provincia di Vibo Valentia

PROGRAMMA DEI LAVORI

Saluti istituzionali:

Vittorino Naso (Direttore del Conservatorio di Musica di Vibo Valentia)
Antonello Scalamandrè (Presidente del Consiglio di Amministrazione)
Fabio Foti (Presidente Ordine Architetti P.P.C. Provincia di Vibo Valentia)

Interventi:

Moderatore: Luigi Mogrovejo (Conservatorio di Musica di Vibo Valentia)

Luigi Achille (Vice-presidente Ordine Architetti P.P.C. Provincia di Vibo Valentia)
Lo spazio architettonico al servizio della musica

Domenico Giannetta (Conservatorio di Musica di Vibo Valentia)
Suoni e numeri: la musica tra arte e scienza

Agostino Di Scipio (Conservatorio di Musica dell'Aquila)
Iannis Xenakis e l'informatica musicale

Esecuzione di *Rebonds B* (1989) per un percussionista
Giuseppe Maiorana, percussioni

Classe di Composizione – docente: Luigi Mogrovejo:

Michele Arena (diplomato al Biennio in Composizione)
Metastaseis: architettura sonora nella musica stocastica di Xenakis

Fortunato Mandaradoni (studente del Biennio in Composizione)
Six chansons pour piano: l'ellenismo in Xenakis

Esecuzione di *Six chansons pour piano* (1951)
Francesco Silvestri, pianoforte

Luigi Sassone (studente del Triennio in Composizione)
Riflessione su A. R. (Hommage à Ravel)

Esecuzione di *Okho* (1989) per tre percussionisti

Trio di percussioni del Conservatorio (Vincenzo Alati, Vincenzo Castelbano e Marco Ginese)

(in collaborazione con la Classe di Strumenti a percussione – docente: Vittorino Naso)

Comitato scientifico della Giornata di studi: Domenico Giannetta, Luigi Mogrovejo e Vittorino Naso

Studi su Iannis Xenakis

IANNIS XENAKIS, HOMO NUMERIS

NOTA BIOGRAFICA A CURA DI LUIGI MOGROVEJO

Compositore, architetto, ingegnere, appassionato di matematica e computer, Xenakis è stato un pioniere in diversi ambiti, tra cui la musica elettroacustica, la *computer music* e i concerti elettronici immersivi. I suoi spettacoli di luci e suoni hanno conquistato un vasto pubblico e l'energia del suo catalogo, che comprende quasi 150 opere, non ha mai vacillato. Nella sua figura si scorgono alcuni tratti degli antichi eroi della mitologia greca, a cui peraltro molto si è ispirato durante quasi mezzo secolo di attività compositiva: la sua movimentata esistenza è segnata dall'incombente Seconda Guerra Mondiale, evento che lo coinvolge in prima persona e lo spinge a drastiche decisioni che determineranno il suo futuro di *Homo musicus*.

L. Mogrovejo

Tra Romania e Grecia*

Iannis nasce il 29 maggio 1922 a Braila, in Romania, da Clearchos Xenakis e Photini Pavlou; il padre, figlio di un contadino dell'Eubea, gestisce un'agenzia di *import-export* inglese, mentre sua madre, che purtroppo morrà solo cinque anni dopo, è una brava pianista. L'educazione del giovane e dei suoi due fratelli minori è affidata a tre governanti (una francese, un'inglese e una tedesca) fino al 1932, anno in cui la famiglia lascia la Romania per trasferirsi in Grecia, sull'isola di Spetsaï. Qui suo padre lo manda al collegio greco-inglese, dove al risveglio del gusto dell'adolescente per la matematica e la letteratura greca e straniera si aggiunge la scoperta della musica.

A 16 anni, nel 1938, il giovane Xenakis parte per Atene, dove si iscrive nella classe preparatoria per l'esame di ammissione al Politecnico. È in questo periodo che inizia a comporre e a prendere lezioni di analisi, armonia e contrappunto da Aristote Koundurov, realizzando tra l'altro una trascrizione geometrica di opere di Bach. Otterrà l'ammissione due anni dopo, ma sfortunatamente il primo giorno dell'anno scolastico, il 28 ottobre 1940, le truppe di Mussolini invaserò la Grecia e la scuola dovette chiudere. Riaprì e poi chiuderà più volte. A soli 19 anni, nel 1941, Xenakis si impegna nella Resistenza, prima in un partito di destra, poi nel Partito Comunista: è in prima linea nelle grandi manifestazioni popolari contro l'occupante, in occasione delle quali fu imprigionato più volte, prima dagli italiani, poi dai tedeschi. Così ricorda quel periodo giovanile in un'intervista di molti anni dopo:

* Le informazioni sulla vita di Xenakis sono ricavate dalla *Biographie chronologique* a cura di Anne-Sylvie Barthel-Calvet pubblicata sul sito web www.iannis-xenakis.org, e sono state tradotte e adattate da Luigi Mogrovejo.

Sono entrato in contatto con i partiti comunista e socialista e le loro idee. [...] Mi sono reso conto che la resistenza di destra era inutile. I comunisti hanno messo in discussione gli affari sociali, le cause della guerra; esercitarono un'azione più efficace contro i tedeschi. Stavamo organizzando enormi manifestazioni di massa contro i nazisti, dove centinaia di migliaia di persone scesero in piazza. In nessun altro posto in Europa ci sono state manifestazioni popolari di tale portata.¹

I suoi autori di riferimento di questo periodo sono Platone, Marx e Lenin. Verso la fine del 1944 Xenakis si arruola in un battaglione studentesco dell'EPON, di orientamento comunista: solo un mese più tardi un proiettile inglese colpisce l'edificio che il giovane Iannis sta difendendo con altri due compagni, e una scheggia vagante lo colpisce in faccia causandogli danni alla mascella e all'occhio sinistro. Creduto morto, fu più tardi soccorso dal padre e portato in ospedale, sottoposto a numerosi interventi chirurgici. Fortunatamente, dopo qualche mese supera il grave incidente e riprende gli studi, ma la sua passione politica lo porta a continuare la militanza comunista semi-clandestina, in una Grecia ove la sinistra viene sempre più marginalizzata nelle alte sfere politiche e sociali.

Il 1947 fu un anno decisivo per il futuro dell'ormai venticinquenne Xenakis: se da un lato supera con successo gli esami al Politecnico di Atene, per contro viene addirittura condannato a morte per terrorismo politico, mentre suo padre e i suoi fratelli vengono imprigionati. Nel settembre di quell'anno, grazie a un passaporto falso ottenuto dal padre prima dell'arresto, Xenakis riesce, sotto il nome di Konstantin Kastrounis, a salire a bordo di una nave mercantile diretta in Italia.

A Parigi

Anche se il suo obiettivo è andare negli Stati Uniti, il giovane esule decide di passare per Parigi: con l'aiuto dei comunisti italiani, l'11 novembre varca illegalmente il confine di Ventimiglia. Dopo meno di un mese, Xenakis si unisce all'Atelier Le Corbusier come ingegnere, su consiglio dell'architetto Georges Candilis. Nei circa dieci anni di collaborazione col famoso architetto, ha partecipato fra le altre cose alla progettazione delle seguenti opere: stadio di Firminy, asilo sulla terrazza sul tetto dell'Unità abitativa di Nantes, Padiglione del Brasile alla Cité Universitaire di Parigi, Parlamento di Chandigarh, e soprattutto Couvent Sainte-Marie de la Tourette e Padiglione Philips di Bruxelles.

Nonostante tutte queste vicissitudini, l'interesse per la composizione musicale è tutt'altro che sopito. È del 1949, infatti, il tentativo di studiare composizione con diversi insegnanti: Honegger all'*École Normale de Musique*, poi Milhaud che lo sostituisce. Le sue parole sono rivelatrici del suo spirito indomito:

¹ Nouritza Matossian, *Xenakis*, Paris, Fayard, 1991, pp. 17-18.

Quello che contava davvero è stato lo scontro che ho avuto con Honegger. [...] Gli ho mostrato una partitura. L'ha suonata. Mi ha detto:

- Ecco, hai quinte parallele.
- Sì, ma mi piace.
- E lì, ottave parallele.
- Sì, ma mi piace.
- Tutto ciò non è musica, tranne i primi tre, e ancora...

[...] Così ho lasciato Honegger. Mi ha irrobustito. Ho capito che non dovevo più cercare da nessuno ciò che esisteva in me stesso.²

La famosa compositrice e didatta Nadia Boulanger si dichiara troppo vecchia per andare oltre le basi dell'armonia e del contrappunto con lui. Gli consiglia di contattare Annette Dieudonné, che lo incoraggia ad andare a trovare Messiaen: è del 1951 l'incontro tra i due compositori, e Messiaen lo accetta come libero uditore nella sua classe, che Xenakis frequenta più o meno regolarmente durante gli anni accademici dal 1951-52 al 1953-54. Nel frattempo in Grecia è condannato a dieci anni di reclusione per diserzione.

Nel 1954, sempre più apprezzato da Le Corbusier, è da quest'ultimo associato come principale collaboratore del progetto Couvent de la Tourette a Éveux-sur-l'Arbesle, per il quale aveva ricevuto un ordine due anni prima. A tal proposito dirà più tardi Xenakis:

La forma complessiva è di Le Corbusier, mentre la struttura interna è stata progettata da me, sulla base di discussioni con i monaci. [...] le lastre di vetro sotto l'allineamento delle celle sono quasi esclusivamente opera mia. Lo stesso vale per le cappelle rotonde e i "cannoni di luce" che ne escono. Li ho orientati per catturare la luce del sole all'equinozio.³

E ancora, scendendo nei dettagli, possiamo notare l'ibridazione terminologica tra musica e architettura:

Gli elementi sono confrontati, da masse, sia in direzione cartesiana orizzontale che verticale. Orizzontalmente si ottengono variazioni nelle densità delle corde in modo continuo, come le ondulazioni dei mezzi elastici. In verticale, creiamo un contrappunto armonico di densità variabili.⁴

Osservando la sua attività compositiva, se nel periodo 1949-52 Xenakis ha scritto soltanto 24 brani, principalmente per pianoforte solo o per voce e pianoforte, dal 1953 vive una stagione creativa sempre più intensa e incentrata sulla scrittura corale e orchestrale: nell'agosto di quell'anno *La Colombe de la paix* (per viola e coro misto) viene eseguita al «Quarto Festival Mondiale della Gioventù per la Pace e

² *Si Dieu existait, il serait bricoleur*, «Le Monde de la musique», XI, maggio 1979, p. 93.

³ Bálint András Varga, *Conversations with Iannis Xenakis*, London, Faber and Faber, 1996, p. 23.

⁴ Le Corbusier, *Modulor 2*, Paris, Editions de l'Architecture d'Aujourd'hui, 1955, p. 340.

l'Amicizia» a Bucarest, e nel frattempo ha già avviato la composizione del trittico degli *Anastenaria* di cui completa solo due parti: *Procession vers les eaux claires* (completata all'inizio del 1953), *Le Sacrifice* (estate 1953). Del 1953 è anche il suo capolavoro *Metastasis*, per il quale disegna graficamente le trame dei glissandi dell'inizio e della fine.

Il suo entusiasmo compositivo contagia anche Messiaen se, in una lettera del settembre 1954 a Schaeffer, si esprime in un modo così benevolo:

Ti raccomando in particolare il mio allievo e amico Iannis Xenakis, che è greco e molto straordinariamente dotato nella musica e nel ritmo. Di recente mi ha mostrato una partitura piuttosto voluminosa intitolata *Les Sacrifices* [...] il cui spirito di ricerca ritmica mi ha sedotto fin dall'inizio e che è di valore per interessarvi [...]. Se riesci ad eseguire questo lavoro, sarà per lui una grande gioia e un'opportunità di progresso. D'altra parte, è desideroso di fare musica concreta. Potrebbe diventare uno dei tuoi preziosi collaboratori.⁵

La raccomandazione sortisce l'effetto desiderato e Xenakis collaborerà col *Concrete Music Research Group* di Pierre Schaeffer (divenuto nel 1958 il *Musical Research Group*) dal 1955 al 1962. Anche la prima assoluta di *Metastasis*, eseguito il 16 ottobre del 1955 al Festival di Donaueschingen dall'Orchestra Südwestfunk diretta da Hans Rosbaud, è stata una diretta conseguenza di quell'incontro.

Questa fase compositiva è la diretta conseguenza dell'attività speculativa del trentatreenne compositore, il quale, tra il 1955 e il 1956, prima prende le distanze dalla composizione seriale, poi teorizza le sue idee estetiche matematico-musicali.

Nel suo articolo *La crise de la musique sérielle* dichiara:

...il sistema seriale è messo in discussione nelle sue due basi, che contengono i semi della propria distruzione e del proprio superamento:

- a) la serie;
- b) la struttura polifonica. [...]

La polifonia lineare si autodistrugge per la sua attuale complessità. Quello che sentiamo è in realtà solo un mucchio di note in vari registri. L'enorme complessità impedisce all'udito di seguire il groviglio di linee e ha l'effetto macroscopico di una dispersione irrazionale e fortuita dei suoni sull'intera estensione dello spettro sonoro. C'è quindi una contraddizione tra il sistema polifonico lineare e il risultato udito, che è superficie, massa.⁶

Nel luglio del 1956 pubblica *Théorie des probabilités et composition musicale* («Gravesaner Blätter», VI): Xenakis espone le leggi stocastiche utilizzate nella composizione di *Pithoprakta* (per 49 strumenti) su cui sta lavorando. Nell'ottobre dello stesso anno inizia a lavorare sui progetti per il Padiglione che l'azienda Philips commissiona a Le Corbusier per l'Esposizione Universale di Bruxelles nel 1958, e

⁵ Lettera di Olivier Messiaen a Pierre Schaeffer, 6 luglio 1954.

⁶ *La crise de la musique sérielle*, «Gravesaner Blätter», 1, luglio 1955, 2-4: 3.

per il quale quest'ultimo aveva semplicemente lanciato l'idea di una "struttura vuota a forma libera". All'interno, agli spettatori sarebbero state offerte proiezioni di immagini e luci e un'opera elettroacustica spazializzata. Le Corbusier aveva anche imposto Varèse a Philips per la realizzazione del suo *Poème électronique*. Queste le parole di Xenakis:

È stata un'occasione unica per me immaginare un edificio costituito, nella sua struttura e nella sua forma, solo da paraboloidi iperbolici (P.H.) e conoidi e che è autoportante.⁷

Come abbiamo detto, per l'occasione utilizza la struttura grafica delle trame dei glissandi di *Metastasis*:

La mia stessa ricerca musicale sui suoni che variano continuamente nel tempo [...] mi ha fatto pendere per strutture geometriche basate su linee rette: superfici rigate.⁸

Per la prima volta il compositore entra in conflitto col famoso architetto, che rifiuta di riconoscergli la paternità di questo Padiglione, anche se lo ha interamente progettato; successivamente, Le Corbusier accetterà una co-firma dell'opera. Xenakis realizza per l'occasione anche *Concret PH*, una breve opera di musica concreta eseguita prima del *Poème électronique* di Varèse, mentre il pubblico è seduto.

È di questi anni, inoltre, il sodalizio col direttore d'orchestra Hermann Scherchen – infaticabile divulgatore di musica nuova e fondatore dello *Scherchen's Electroacoustic Studio* di Gravesano – che dirige in prima esecuzione *Pithoprakta* e *Achorripsis*. Pubblica quindi *À la recherche d'une musique stochastique*, ove spiega i principi della composizione stocastica usati in *Achorripsis*, di cui analizza un estratto:

C'è un vantaggio nel definire il caso come una legge estetica, come una filosofia normale. Il caso è il limite della nozione di simmetria in evoluzione. La simmetria tende alla dissimmetria che equivale in questo senso alla negazione di schemi ereditati da una tradizione [...]. Tutto accade come se ci fossero oscillazioni biunivoche tra la simmetria, l'ordine, il razionale, e la dissimmetria, il disordine, l'irrazionale, e questo nelle reazioni tra le ere delle civiltà.⁹

Due anni più tardi Xenakis inizia a pubblicare sui «Gravesaner Blätter» un lungo testo intitolato *Éléments de musique stochastique* – la cui pubblicazione si estenderà fino al 1961 – scritto in cui propone una rappresentazione granulare del suono e l'integrazione di una "memoria" a processi stocastici con l'uso di catene markoviane.

⁷ Iannis Xenakis, *Musique Architecture*, Tournai, Casterman, 1996, p. 134.

⁸ *Ibid.*, p. 130.

⁹ Iannis Xenakis, *À la recherche d'une musique stochastique*, «Gravesaner Blätter», XI-XII, 1958.

La carriera internazionale

Il 1959 è l'anno della svolta verso l'attività compositiva professionale a tempo pieno: sposato con Françoise da circa sei anni, e padre di Mâkhi Zyïa da tre, licenziato da Le Corbusier insieme a due suoi colleghi, il trentasettenne compositore è ormai conosciuto internazionalmente per le sue musiche audaci e le sue brillanti e originali idee: esecuzioni a Buenos Aires, Bruxelles, Parigi, Cannes, Tokyo, Varsavia, Stoccarda lo proiettano tra i protagonisti della musica d'avanguardia nei primi anni Sessanta. Oltre alle composizioni già citate, *Diamorphoses*, *Analogique A + B*, *Herma*, *Stratégie* arricchiscono il suo catalogo. Nel 1962 avvia lo sviluppo di un programma per il computer IBM 7090 per la composizione musicale, componendo i brani della "famiglia" ST: *ST/48 - 1*, 240162, *ST/10 - 1.080262*, *Morsima-Amorsima (ST/4 - 1, 030762)*, brano quest'ultimo che lo vede ritornare in patria per il debutto il 15 dicembre ad Atene sotto la direzione di Lukas Foss; segue *Atrées (ST/10 - 3, 060962)*, ma alla fine di quell'anno, dopo la premiere di *Bohor* prodotto al *Concrete Music Research Group*, Xenakis lascia il gruppo di ricerca a seguito di ripetuti disaccordi con Schaeffer.

L'interesse per le sue idee, anche in seguito all'invito di Aaron Copland a insegnare composizione al *Berkshire Music Center* di Tanglewood, Massachusetts, lo porta alla pubblicazione di *Musiques Formelles - Nouveaux principes de composition musicale*, sui nn. 253-254 della «Revue Musicale» a cura di Richard-Massé. A questa sintesi di vari articoli, apparsi principalmente nei «Gravesaner Blätter», Xenakis aggiunge il nuovo capitolo *Musique symbolique* relativo ai principi compositivi usati per *Herma*. Quest'opera sarà ripubblicata da Stock nel 1981. Conoscerà una versione inglese leggermente diversa nel 1971, ripubblicata e ancora ampliata nel 1991. Ecco il commento di un contemporaneo:

Questo libro scioccherà i lettori, ed è quello che intendeva il suo autore. Questo shock deve provocare un risveglio dello spirito critico, una rivoluzione psicologica e infine una prova delle idee ricevute, molte delle quali non usciranno assolute.¹⁰

La sua forza creativa erompe come effetto necessario e inevitabile, scatenato dallo sforzo continuo di comunicare la verità immanente alla natura umana. Nella prefazione a *Musiques Formelles* scrive:

Lo sforzo di tradurre certe sensazioni sonore, di comprenderne le cause logiche, di dominarle e poi di utilizzarle in costruzioni volute; lo sforzo di materializzare movimenti di pensiero attraverso i suoni, per poi sperimentarli in composizioni; lo sforzo di comprendere meglio i brani del passato, cercando un'unità di fondo che sia identica a quella del pensiero scientifico del nostro tempo; lo sforzo di fare "arte" "geometrizzando", cioè dandole un supporto ragionato meno deperibile dell'impulso

¹⁰ François-Bernard Mâche, *Musique et logique formelles*, «Mercure de France», n. 1204, febbraio 1964.

del momento, e quindi più serio, più degno della lotta feroce che l'intelligenza umana conduce in tutti gli altri ambiti – tutti questi sforzi hanno portato a una sorta di astrazione e formalizzazione dell'atto compositivo musicale.¹¹

In seguito a un suo soggiorno a Berlino nel 1964, la sua ricerca musicale si arricchisce di nuove prospettive:

Dobbiamo distinguere due nature: nel tempo e fuori dal tempo. Ciò che si lascia pensare senza cambiare prima o dopo è fuori dal tempo. I modi tradizionali sono in parte fuori tempo, le relazioni o le operazioni logiche inflitte a classi di suoni, intervalli, caratteri... sono anch'esse fuori tempo. Non appena il discorso contiene il prima o il dopo, siamo in tempo. L'ordine seriale è nel tempo, anche una melodia tradizionale. Qualsiasi musica, nella sua natura fuori tempo, può essere trasmessa istantaneamente. La sua natura nel tempo è la relazione della sua natura fuori dal tempo con il tempo. Come realtà sonora non c'è musica pura fuori dal tempo; c'è pura musica nel tempo, è ritmo allo stato puro.¹²

Nel 1965 Xenakis ottiene la cittadinanza francese. Si infittiscono le commissioni e le esecuzioni delle sue musiche, anche in forma di concerti monografici (come quello a Parigi dell'*Ensemble instrumental de musique contemporaine de Paris*, diretto da Constantin Simonovitch e con il pianista Tuji Takahashi); anche l'attività di docente e relatore lo vede impegnato in giro per il mondo (Manila, Buenos Aires). Nel 1966 è tra i fondatori dell'E.M.A.Mu (*Équipe de Mathématique et d'Automatique Musicales*, diventato nel 1972 C.E.M.A.Mu) insieme a Marc Barbut, François Genuys, Georges Guilbaud. Questa struttura è collegata al Centro di Matematica Sociale dell'*Ecole Pratique des Hautes Etudes* (EPHE). Qualche anno dopo si scriverà in merito:

L'EMAMu vuole fornire uno strumento interdisciplinare per l'espansione della conoscenza e della creatività musicale al fine di contribuire allo sviluppo e alla rivitalizzazione della musica come arte nell'educazione e nella società. Ciò si basa sul postulato che solo l'associazione della scienza musicale (arte) con quella della matematica, dell'informatica, della tecnologia elettronica, delle scienze sociali ecc., può determinare costanti universali applicabili all'interpretazione del passato, allo sviluppo del presente e l'orientamento del futuro.¹³

Sono gli anni in cui vedono la luce brani come *Eonta* (prima assoluta Parigi nel 1964), *Terretektorh* (Royan 1966, ultimo brano diretto da Scherchen prima della sua morte), *Nomos Alpha* (Brema 1966), *Akrata* (Parigi 1966), e *Medea* (Parigi 1967).

¹¹ Iannis Xenakis, *Musiques Formelles – Nouveaux principes de composition musicale*, Paris, 1963.

¹² Iannis Xenakis, *La voie de la Recherche et de la question*, «Preuves», CLXXVII, novembre 1965, p. 34.

¹³ E.M.A.Mu., «Revue Musicale», CCLXV-CCLXVI, 1969, p. 55.

Nel 1967 nasce l'idea del *Polytope*, evento multidimensionale in cui interagiscono nello spazio suoni, immagini e luci. Il primo della serie è il *Polytope de Montréal*, commissionato da Roger Bordaz per il Padiglione della Francia all'Esposizione Universale di Montreal: un'architettura effimera di cavi installati in uno spazio funzionale, sui quali sono distribuiti altoparlanti che trasmettono musica scritta per quattro gruppi orchestrali identici e 1200 flash di cinque colori (rosso, giallo, bianco, verde, blu). Il controllo – sulla pellicola cinematografica – è regolato al venticinquesimo di secondo, così da poter dare l'illusione di continui movimenti di luce.

Altri progetti simili saranno: il *Polytope de Persepolis* al quinto *Shiraz Arts Festival* nel 1971, tra le rovine del palazzo di Dario;¹⁴ il *Polytope de Cluny* del 1972, e presentato fino al gennaio 1974, uno spettacolo automatico e astratto con luci, laser e flash elettronici che raggiungerà un totale di 90.000 presenze (installato nelle terme romane di Cluny, boulevard Saint-Michel, il dispositivo luminoso, controllato da un computer, mette in gioco 600 lampi bianchi e 400 specchi destinati a riflettere i raggi di laser verdi, rossi e blu; la parte sonora è musica elettroacustica per nastro a 8 tracce prodotto presso lo Studio Acousti); il *Diatope (Polytope de Beauburg)* per l'inaugurazione nel 1978 del *Georges Pompidou Center* a Parigi, caratterizzato dalla musica elettroacustica de *La Légende d'Eer* (composta al C.E.M.A.Mu e al WDR di Colonia) e un dispositivo di illuminazione computerizzato con 1.600 flash, 4 proiettori laser e 400 specchi e prismi mobili; è dello stesso anno il *Polytope de Micene* organizzato tra le rovine dell'antica città greca, in cui oltre all'opera elettroacustica *Mycènes Alpha* composta per l'occasione, vi sono eseguiti *À Hélène*, *À Colone*, *Oresteïa*, *Psappha* e *Persephassa*. Tra questi lavori sono diffuse interpolazioni elettroacustiche di *Mycènes Alpha* ed estratti da Omero letti in tempo reale: lo spettacolo si svolge in cinque serate, accogliendo ogni volta dalle sette alle diecimila persone. Per quest'ultima occasione Xenakis utilizza l'UPIC, un dispositivo computerizzato hardware-software per la composizione musicale creato l'anno prima al C.E.M.A.Mu.

Ma, nonostante la seduzione dei nuovi mezzi tecnologici utilizzati, la scrittura per strumenti acustici rimane una costante per tutta la sua vita: brani per strumento solo, musica da camera, composizioni per ensembles vari, per orchestra e per voci proliferano senza sosta. Durante gli ultimi tre decenni della sua cinquantennale attività compositiva si susseguono senza sosta in tutto il mondo esecuzioni di sue musiche, conferenze e seminari che lo vedono protagonista entusiasta e instancabile ricercatore.

A parte le esecuzioni, ricordiamo alcuni eventi:

- nel 1979 tiene un seminario di composizione presso l'Accademia Musicale Chigiana di Siena;

¹⁴ «Lo spettacolo di Persepoli era davvero un politopo, ma gigantesco, aperto sotto il cielo orientale, e incarnato da bambini, uomini di domani» (Olivier Revault d'Allones, *Xenakis. Les Polytopes*, Paris, Balland, 1975, p. 2).

- nel 1980 è invitato a Varsavia e a Cracovia dall'Unione dei Compositori Polacchi per un ciclo di conferenze sulla musica formalizzata; in Grecia viene eletto membro del Consiglio Nazionale della Resistenza Ellenica;
- nel 1981 partecipa al Congresso Internazionale di Psicoanalisi a New York organizzato dal Movimento freudiano internazionale sul tema «Sesso e linguaggio»; tiene una conferenza presso l'*École Normale Supérieure* in rue d'Ulm, nell'ambito del seminario di filosofia e matematica, sul tema: «Intuizione, teoria, realizzazione in musica»; è nominato Ufficiale dell'Ordine delle Arti e delle Lettere;
- nel 1982 viene nominato Cavaliere della Legion d'Onore;
- nel 1983 viene eletto membro dell'Accademia di Belle Arti di Berlino;
- nel 1984 viene ricevuto all'Accademia di Belle Arti presso la sede di Georges Auric: Olivier Messiaen è l'autore del discorso di accoglienza;
- nel 1986 è al *Nieuwe Muziek Festival* a De Kloveniersdoelen nei Paesi Bassi (Middleburg): Xenakis partecipa a una masterclass organizzata da Morton Feldman durante la quale si svolge un'intervista tra i due compositori. Dirà Feldman:

Quando ascolto la tua musica [...] non la penso mai come una metafora del dramma. Sono affascinato dal suono. Sono coinvolto con la sua spinta dinamica, sono coinvolto con il suo coinvolgimento. In altre parole, divento te quando ascolto Xenakis.¹⁵

- nel 1988 partecipa al simposio « Redécouvrir le temps » presso l'Università di Bruxelles; il suo testo riassume puntualmente le sue idee:

Vediamo come il tempo assorbe la musica ovunque. Il tempo sotto forma di flusso impalpabile o il tempo nella sua forma congelata, fuori dal tempo, resa possibile grazie alla memoria. Il tempo è la lavagna su cui sono iscritti i fenomeni e le loro relazioni senza tempo dell'universo in cui viviamo. Relazioni significa strutture, architetture, regole. Ora, puoi immaginare una regola senza ripetizioni? No, decisamente no. D'altronde, un singolo evento in un'eternità assoluta di tempo e spazio non avrebbe senso. Eppure, ogni evento, come ogni individuo sulla terra, è unico. Ma questa unicità è l'equivalente della morte che lo attende ad ogni passo in ogni momento. Tuttavia, la ripetizione di un evento, la sua riproduzione il più fedele possibile corrisponde a questa lotta contro la scomparsa, contro il nulla. Come se l'intero universo stesse lottando disperatamente per aggrapparsi all'esistenza, agli esseri, con il suo stesso instancabile rinnovamento in ogni momento, ad ogni morte. Unione di Parmenide ed Eraclito. (...) Cambiamento, perché non c'è riposo, la coppia morte e nascita guida l'universo, per duplicazione, copiatura più o meno esatta. Il più o il meno fa la differenza tra un Universo ciclico a pendolo rigorosamente determinato e un Universo non determinato assolutamente imprevedibile.¹⁶

¹⁵ *A conversation on music – Morton Feldman and Iannis Xenakis*, «Res», xv, marzo 1988, p. 178.

¹⁶ Iannis Xenakis, *Sur le temps*, «Revue de l'Université de Bruxelles», II, 1988, p. 200.

- nel 1989 viene nominato Dottore *honoris causa* dell'Università di Edimburgo; nello stesso anno è eletto membro straniero della *Royal Swedish Academy*;
- nel 1990 Xenakis è *Distinguished Resident* presso l'Università della California, San Diego; diciannove sue opere sono date in concerto dagli studenti; lo stesso anno è nominato Professore Emerito dell'Università Paris-I-Sorbonne;
- nel 1991 è stato elevato al grado di Ufficiale della Legion d'Onore e Comandante dell'Ordine delle Arti e delle Lettere;
- nel 1995 viene nominato Cavaliere della Legione Greca della Fenice e Comandante dell'Ordine Nazionale al Merito;
- nel 1999 è vincitore con Stevie Wonder del *Polar Music Prize*; sua figlia Mâkhi lo rappresenta a Stoccolma durante la cerimonia di premiazione.

Morirà alle cinque del mattino del 4 febbraio 2001.

SUONI E NUMERI: LA MUSICA TRA ARTE E SCIENZA

DOMENICO GIANNETTA

La musica dà i numeri

Per aver applicato alle sue composizioni principi di matematica avanzata, che talvolta determinano integralmente la struttura dell'opera, Iannis Xenakis rappresenta senza alcun dubbio una delle figure più emblematiche in grado di esaltare il legame tra suoni e numeri. Il compositore greco arriverà addirittura a concepire una teoria della musica stocastica, derivata a sua volta dalla teoria dei giochi di John von Neumann, in cui l'alea non è soltanto controllata – come tentarono di fare molti compositori a lui coevi per porre un freno alle scelte dettate dalla libera casualità che impedivano di giungere a una struttura formale coerente e riconoscibile – ma addirittura calcolata accuratamente tramite regole ben precise. Al di là di Xenakis, comunque, la storia annovera numerosi casi di interazione fra arte e scienza, e in modo particolare fra musica e matematica, con celebri matematici e fisici che si sono occupati nel corso del tempo di problemi squisitamente musicali, e di contro musicisti pratici e teorici che hanno provato ad addentrarsi in territori che appartengono al regno dei numeri.

A priori, comunque, va considerato che chiunque si occupi di musica sa che non potrà fare a meno di avere a che fare con i numeri.¹ Nella prassi esecutiva i numeri sono adoperati per indicare le diteggiature, oppure per suggerire altre indicazioni esecutive, come – nel caso di uno strumento ad arco o di una chitarra – la corda da utilizzare, oppure (adoperando in questo caso i numeri romani) la posizione che deve occupare la mano dell'interprete sulla tastiera. I numeri venivano inoltre adoperati nelle intavolature per specificare il tasto (negli strumenti a tastiera) o il punto della corda (nel liuto) sul quale deve agire chi suona quel determinato brano, anche senza necessariamente conoscere a quale suono corrisponderà tale operazione.

I numeri, inoltre, erano adoperati nella prassi del basso continuo per cifrare il basso, indicando in questo modo le diverse tipologie di accordi da realizzare di volta in volta. Questa prassi è strettamente collegata a quella di indicare gli intervalli musicali tramite numeri ordinali femminili (una terza, una quinta, un'ottava...), e ciò ci consente quindi di addentrarci nel campo dove probabilmente l'uso dei numeri è più significativo, quello della teoria musicale. Nel 1619 il teorico inglese William Braythwaite fu probabilmente il primo ad assegnare ai suoni della scala un numero, da 1 a 7 [SCHUIJER 2008, 31]. Questa soluzione verrà poi adottata in Italia nel 1711 da Antonio Filippo Bruschi nel suo trattato *Regole per il contrappunto e per*

¹ Su questo argomento cfr. anche PASTICCI 2023, XVII-XVIII.

l'accompagnatura del basso continuo, probabilmente il primo manuale italiano di armonia [AZZARONI 1997, 415-416]. Nel 1800, quindi, l'abate Georg Joseph Vogler ricorrerà ai numeri romani per indicare i gradi fondamentali, e da allora questa è diventata la prassi universalmente adottata.

La consuetudine di impiegare i numeri per indicare i gradi della scala avrà un risvolto inaspettato nel campo della teoria musicale, in particolare per ciò che concerne il calcolo degli intervalli. In linea di principio, la distanza fra *do* e *sol*, ad esempio, dovrebbe essere di quattro suoni, visto che nelle nostre misurazioni siamo soliti non conteggiare anche il punto di partenza. Nella teoria musicale, però, ciò che indica un intervallo non è tanto la distanza che intercorre fra i due suoni, quanto piuttosto la posizione che il secondo suono occupa nella scala costruita sul primo suono: il *sol* è infatti il quinto suono della scala che parte da *do*.

Tutto ciò sarà destinato a cambiare radicalmente quando il sistema teorico tradizionale verrà messo in discussione a causa della crisi e del successivo superamento della tonalità armonica. Nel momento in cui la scala cromatica dodecafonica si imporrà come nuovo sistema sonoro di riferimento, non avrà più alcun senso definire il *sol* il “quinto grado” della scala che parte da *do*, oppure classificare l'intervallo fra i due suoni come una “quinta”. La teoria della musica post-tonale escogita, a partire dal 1946, un nuovo sistema di notazione basato sui numeri da **0** (*do*) a **11** (*si*) per indicare tutte le altezze, semitono per semitono, di una scala cromatica [GIANNETTA 2020, 22]: l'inventore di questa soluzione è un altro personaggio che, come Xenakis, avrà un ruolo-chiave nel favorire un dialogo molto stretto tra musica e matematica, il compositore americano Milton Babbitt (di cui ci occuperemo in seguito).

L'invenzione di Babbitt facilita enormemente il calcolo e l'indicazione degli intervalli: sarà sufficiente operare una semplice sottrazione, per cui l'intervallo che intercorre fra i suoni *re* (**2**) e *sib* (**10**) è $10-2 = i8$. La somma fra due intervalli, inoltre, corrisponde adesso ad una semplice somma aritmetica, per cui se l'intervallo tra *re* (**2**) e *fa* (**5**) è $i3 (= 5-2)$, e l'intervallo tra *fa* (**5**) e *sib* (**10**) è $i5 (= 10-5)$, l'intervallo “somma” *re-sib* si ottiene con la semplice addizione $i3+i5 = i8$. Nella teoria tradizionale, invece, sommando una terza e una quarta non si ottiene una settima ($3+4$), ma una sesta!

Anche nel campo delle indicazioni relative al ritmo, infine, i numeri sono imprescindibili: dalle segnature metriche, che sono espresse sotto forma di frazioni, ai gruppi irregolari, fino alle indicazioni metronomiche, che indicano la frequenza della pulsazione del *tactus* rispetto all'unità di misura fissa rappresentata dal minuto.

Come accordarsi

Ma che ruolo hanno avuto, nel corso della storia, matematici e scienziati in genere nel favorire lo sviluppo della teoria musicale o della prassi esecutiva? E, al contrario, perché alcuni musicisti teorici o pratici si sono interessati di questioni che riguardavano aspetti relativi al mondo dei numeri e della scienza?

Un discorso di questo tipo non può non partire da Pitagora (VI sec. AEV), il mitico matematico-filosofo – non abbiamo la certezza che sia realmente esistito, ma è certamente esistita una scuola che portava avanti le idee a lui attribuite – che per primo si sarebbe interessato dei fenomeni connessi alla produzione del suono. Secondo la leggenda un giorno, incuriosito dai suoni che provenivano dalla bottega di un fabbro, Pitagora si rese conto che più pesante era l’oggetto metallico colpito dal martello, più grave risultava il suono prodotto [ISACOFF 2005, 31]. Costruì quindi un monocordo, la cui corda era fissata a una tavola armonica e affiancata da una scala numerica, per approfondire lo studio del fenomeno. Attraverso i suoi esperimenti Pitagora è stato in grado di stabilire che una combinazione “gradevole” di suoni era la diretta conseguenza di un rapporto matematico semplice: 2:1, 3:2 e 4:3. Si tratta, peraltro, di numeri che ricoprivano un ruolo privilegiato per i pitagorici: la somma dei primi quattro numeri naturali, la cosiddetta *tetraktys* rappresentata sotto forma di un triangolo equilatero di lato quattro, era infatti il simbolo che dava il nome alla scuola e sul quale i suoi adepti dovevano prestare giuramento.

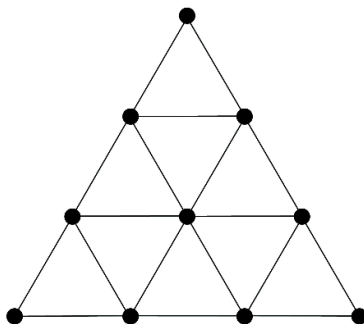


Figura 1: Rappresentazione grafica della *tetraktys* pitagorica

Prendendo come riferimento il rapporto 3:2, corrispondente alla nostra quinta giusta, Pitagora è stato inoltre in grado di costruire la scala musicale che per secoli ha dominato la cultura musicale occidentale. Come prima operazione ha elevato alle diverse potenze il rapporto 3:2, ottenendo una sovrapposizione di quinte:

$$\begin{array}{ccccccc}
 (3:2)^{-1} & (3:2)^0 & (3:2)^1 & (3:2)^2 & (3:2)^3 & (3:2)^4 & (3:2)^5 \\
 2:3 & 1 & 3:2 & 9:4 & 27:8 & 81:16 & 243:32
 \end{array}$$

Moltiplicando quindi per 2:1 (ottava superiore), per 1:2 (ottava inferiore), o per 1:4 (due ottave inferiori) tali rapporti, Pitagora fece in modo che fossero tutti compresi fra 1 e 2 (ovvero posti all’interno di un’unica ottava):

$$\begin{array}{ccccccc}
 2:3 \times 2:1 & 1 & 3:2 & 9:4 \times 1:2 & 27:8 \times 1:2 & 81:16 \times 1:4 & 243:32 \times 1:4 \\
 4:3 & 1 & 3:2 & 9:8 & 27:16 & 81:64 & 243:128
 \end{array}$$

Disponendo infine questi valori in ordine crescente ha ottenuto una scala, la scala pitagorica:

1 9:8 81:64 4:3 3:2 27:16 243:128 2

Il rapporto fra ciascuno di questi valori e quello adiacente può essere solo di due tipi: tono (9:8) o semitono (256:243).

9:8 9:8 256:243 9:8 9:8 9:8 256:243

La scala pitagorica, nella sua semplicità e perfezione matematica, pur essendo rimasta in vigore per secoli, non è affatto intonata rispetto alla sequenza naturale dei suoni armonici: si tratta di una creazione puramente mentale, basata su astratti calcoli matematici. Pitagora si soffermò soltanto sui primi due intervalli (ottava e quinta), e ricavò da questi due l'intera scala, ma in natura tutte le frequenze multiple di quella fondamentale sono ovviamente importanti [MAOR 2018, 26-27].

In ogni caso, l'eredità lasciata dalla scuola pitagorica fu di immensa portata per la teoria musicale. Ancora nel Medioevo la musica faceva parte, insieme all'aritmetica, alla geometria e all'astronomia, del gruppo delle arti liberali afferenti alla matematica che componevano il *Quadrivium*: si trattava in pratica di un percorso di studi – opposto al *Trivium* di impianto umanistico (era infatti formato da grammatica, retorica e dialettica) – che può essere considerato l'antenato delle nostre moderne facoltà scientifiche. Ovviamente la musica che veniva studiata dai pitagorici, e poi dagli studenti delle prime università europee, non era quella pratica, ma quella teorico-speculativa: nel Medioevo, in particolare, i trattati si occupavano delle problematiche connesse agli aspetti ritmico-metrici (si pensi ai modi ritmici, alle *ligaturae*, alle regole per l'alterazione della *brevis*...), ma comincia gradualmente a farsi strada la questione relativa alla corretta intonazione degli intervalli.

Ciò che consentì alla scala pitagorica di rimanere per secoli l'unico indisturbato punto di riferimento per musicisti teorici e pratici, oltre all'autorevolezza del suo inventore – un aspetto che, almeno fino al XVII secolo, rivestirà un ruolo decisivo nel contrastare l'affermarsi di nuove teorie scientifiche, si pensi alla vicenda che riguardò Copernico e Galileo... –, fu sostanzialmente il fatto che soltanto a partire dal XII-XIII secolo la musica polifonica cominciò a diffondersi al di fuori dei monasteri. Fin tanto che la musica era essenzialmente monodica, i problemi connessi all'intonazione pitagorica non emergevano più di tanto. Ma nel momento in cui si cominciarono a sovrapporre due o più linee melodiche, ecco che tutti gli intervalli, tranne la quinta giusta e l'ottava, risultarono terribilmente sgradevoli e innaturali. Per risolvere l'inconveniente, che avrebbe potuto ostacolare irrimediabilmente lo sviluppo della musica polifonica, gli intervalli di terza e di sesta (quelli che più di tutti subivano le conseguenze dell'intonazione pitagorica, e che più di tutti erano indispensabili nella polifonia) vennero leggermente modificati, o "temperati", fino a produrre combinazioni decisamente più eufoniche.

Per avere una sistemazione teorica del problema, tuttavia, occorrerà attendere il XVI secolo, quando il teorico Gioseffo Zarlino (1517-1590) impose l'uso della scala naturale, più in sintonia con le leggi dell'acustica (su cui torneremo in seguito). Per raggiungere il suo scopo, Zarlino prese in considerazione anche i rapporti 5:4 (terza maggiore), 6:5 (terza minore) e 5:3 (sesta maggiore), ottenendo così una scala formata dai seguenti rapporti nei confronti del suono fondamentale:²

1:1 9:8 5:4 4:3 3:2 5:3 15:8 2:1

dalla quale si può ricavare la seguente successione di intervalli:³

9:8 10:9 16:15 9:8 10:9 9:8 16:15

La scala naturale ha il vantaggio di essere basata sui primi sei suoni armonici, ed è quindi più vicina alle leggi dell'acustica rispetto alla scala pitagorica, che è puramente matematica. Ha però il difetto di possedere due diversi intervalli di tono, maggiore (9:8) e minore (10:9), che rendono impossibile la trasposizione, e quindi la modulazione, sugli strumenti a intonazione fissa. La costruzione di strumenti dotati di più di dodici tasti per ogni ottava – come l'archicembalo di Nicola Vicentino – tentò di aggirare l'inconveniente, ma a causa della scarsa praticità della soluzione il problema non venne risolto.⁴

Da questo momento in poi, tuttavia, l'autorità e l'autorevolezza di Zarlino frenarono per qualche tempo l'adozione di eventuali correttivi alla scala naturale. Ma già durante la sua vita Zarlino fu duramente attaccato da un suo ex allievo, Vincenzo Galilei (1520-1591), secondo il quale l'intonazione naturale rappresentava soltanto un ideale, ma nella prassi era inapplicabile per i motivi summenzionati.

² La scala naturale venne teorizzata per la prima volta già nel V-IV sec. AEV (avanti l'era volgare) da Archita di Taranto, per essere poi ripresa e riproposta da Didimo di Alessandria (I sec. AEV) e da Claudio Tolomeo (II sec. EV): prendendo in considerazione anche il rapporto 5:4 (ignorato da Pitagora perché non compreso nella *tetraktys*), venne individuato l'intervallo di terza pura, o terza naturale [AZZARONI 1997, 292]. Per costruire l'intera scala, Zarlino ricavò l'intervallo di tono (9:8) sottraendo dalla quinta (3:2) la quarta (4:3): in termini matematici una sottrazione tra rapporti corrisponde alla divisione tra le due frazioni, o alla moltiplicazione tra la prima frazione e l'inverso della seconda (= $3:2 \times 3:4$); in modo simile viene calcolato l'intervallo di settima maggiore (15:8) sommando alla quinta (3:2) una terza maggiore (5:4), operazione che in termini matematici corrisponde a una moltiplicazione tra le rispettive frazioni (= $3:2 \times 5:4$).

³ L'intervallo di semitono (16:15) si ottiene sottraendo dalla quarta (4:3) la terza maggiore (5:4): in termini matematici ciò corrisponde a $4:3 \times 4:5 = 16:15$.

⁴ Di fatto, uno strumento ad intonazione fissa che viene accordato per preservare le quinte perfette non potrà rendere la dolcezza delle terze pure, mentre se si cerca di conservare le terze pure, non si riusciranno a mantenere le quinte pure [ISACOFF 2005, 67]. Anche la scala pitagorica, del resto, presenta un inconveniente che ostacolava la costruzione di strumenti a intonazione fissa, il cosiddetto "comma pitagorico": sovrapponendo dodici quinte pitagoriche, infatti, si ottiene un risultato – $(3:2)^{12} = 531441:4096 \cong 129,746$ – che differisce sensibilmente da quello ottenuto sovrapponendo sette ottave – $(2:1)^7 = 128$; ciò accade in quanto i numeri su cui si basano i due rapporti (rispettivamente 2 e 3) sono entrambi primi, e due numeri primi non possono avere multipli in comune [ISACOFF 2005, 40].

Galilei fu pertanto fra i primi a proporre l'adozione di un sistema che dividesse l'ottava in dodici parti uguali, anticipando il futuro temperamento equabile. Non si trattava di un'idea del tutto nuova: già Aristosseno di Taranto (IV sec. AEV) aveva messo in discussione i principi pitagorici (che rifiutavano a priori l'esistenza dei numeri irrazionali) sostenendo che in fatto di musica l'orecchio dovesse avere la precedenza sui rapporti matematici, ma le sue idee rimasero in letargo per duemila anni. Galilei, tuttavia, sottolinea un dettaglio estremamente importante: anche i cantanti, cioè coloro che meno di tutti avrebbero in teoria la necessità di abbandonare la scala naturale, apportano continui aggiustamenti alla loro intonazione, alterando impercettibilmente gli intervalli per renderli più piacevoli, e ciò dimostra come l'orecchio umano tenda spontaneamente ad accettare gli intervalli temperati, senza contare che la prassi strumentale aveva già da tempo introdotto, inevitabilmente, un tipo di temperamento che si avvicinava moltissimo a quello temperato con esiti pienamente apprezzati dai musicisti: si tratta del cosiddetto "temperamento mesotonico", che tentava di mediare fra i due intervalli di tono della scala naturale prendendo come riferimento non più la quinta (3:2), ma il rapporto corrispondente alla terza maggiore (5:4) che veniva "diviso" in due (in termini matematici: $\sqrt{5:4}$).

La soluzione proposta da Galilei, in termini matematici, era piuttosto approssimativa: dividere l'ottava in dodici parti uguali, ciascuna delle quali avrebbe dovuto corrispondere al rapporto 18:17. La sovrapposizione di dodici intervalli di questo tipo – $(18:17)^{12} \cong 1,9856$ – dava però come risultato un valore leggermente più piccolo di 2.

Nello stesso periodo, un principe cinese della dinastia Ming, Zhu Zai-Yu (1536-1611), propose una soluzione differente per dividere l'ottava in dodici parti uguali: dato che la quinta pura è pari a 3:2, ovvero 750:500, per far coincidere il circolo delle quinte con quello delle ottave sarebbe stato sufficiente "temperare" tutte le quinte riducendole a 749:500 [ISACOFF 2005, 177]. Moltiplicando tale rapporto per sé stesso dodici volte – $(749:500)^{12} \cong 127,685$ – si ottiene infatti un risultato molto vicino a $(2:1)^7 = 128$.⁵

Per risolvere definitivamente il problema, tuttavia, fu necessario l'intervento di un matematico: l'ingegnere, fisico e matematico fiammingo Simon Stevin (1548-1620) fu infatti il primo a stabilire la funzione $\sqrt[12]{2}$ per calcolare esattamente il semitono equabile. Con Stevin i numeri irrazionali fanno quindi ufficialmente il loro ingresso nel mondo della matematica, dopo che per secoli erano stati considerati assurdi o addirittura impossibili. Dato che $\sqrt[12]{2}$ è un numero irrazionale, però, non verrà conservato nessuno dei rapporti della scala naturale, tranne l'ottava: la quarta ($\sqrt[12]{2}$)⁵ $\cong 1,3348$, ad esempio, è poco più ampia della quarta perfetta $4:3 = 1,3333$, mentre la quinta ($\sqrt[12]{2}$)⁷ $\cong 1,4983$ è leggermente più stretta della quinta pitagorica $3:2 = 1,5$.

⁵ Estraendo la radice settima di 749:500 si ottiene l'ampiezza del semitono ($\sqrt[7]{749:500} \cong 1,0594$), che si avvicina moltissimo al semitono equabile.

	scala pitagorica	scala naturale	temperamento mesotonico
semitono	$256:243 \cong 1,0535$	$16:15 \cong 1,0667$	$(\sqrt[4]{5}:4) \cong 1,0574$
tono	$9:8 = 1,125$	$\left\{ \begin{array}{l} 9:8 = 1,125 \\ 10:9 \cong 1,111 \end{array} \right\}$	$(\sqrt{5}:4) \cong 1,1180$
terza maggiore	$81:64 = 1,265625$	$5:4 = 1,25$	$5:4 = 1,25$
quarta giusta	$4:3 \cong 1,3333$	$4:3 \cong 1,3333$	$4:3 \cong 1,3333$
quinta giusta	$3:2 = 1,5$	$3:2 = 1,5$	$3:2 = 1,5$

	Galilei	Zhu Zai-Yu	temperamento equabile
semitono	$18:17 \cong 1,0588$	$\sqrt[7]{749:500} \cong 1,0594$	$^{12}\sqrt{2} \cong 1,0594$
tono	$(18:17)^2 \cong 1,1211$	$(\sqrt[7]{749:500})^2 \cong 1,1224$	$(^{12}\sqrt{2})^2 \cong 1,1223$
terza maggiore	$(18:17)^4 \cong 1,2569$	$(\sqrt[7]{749:500})^4 \cong 1,2598$	$(^{12}\sqrt{2})^4 \cong 1,2596$
quarta giusta	$(18:17)^5 \cong 1,3308$	$(\sqrt[7]{749:500})^5 \cong 1,3346$	$(^{12}\sqrt{2})^5 \cong 1,3348$
quinta giusta	$(18:17)^7 \cong 1,4920$	$749:500 = 1,498$	$(^{12}\sqrt{2})^7 \cong 1,4983$

La scala equabile, in definitiva, rende tutti gli intervalli imperfetti: per questa ragione, la sua adozione venne fortemente osteggiata dai musicisti, che preferirono mantenere in vigore, per tutto il Seicento, il temperamento mesotonico. Nel 1691, il compositore e teorico tedesco Andreas Werckmeister (1645-1706) provò a suggerire una nuova mediazione: si accorse infatti che, “spalmando” il comma pitagorico su quattro quinte – che venivano pertanto ridotte in modo quasi inavvertibile – e lasciando inalterate le altre otto, era possibile risolvere la gran parte dei problemi lasciati ancora aperti dal temperamento mesotonico, eliminando in modo particolare la famigerata “quinta del lupo” che rendeva impossibile adoperare determinate tonalità. Con il “buon temperamento”, o “temperamento inequabile”, di Werckmeister, diventava adesso possibile suonare in tutte le tonalità senza grossi inconvenienti: a questo sistema di temperamento si ispirò Bach nel concepire il suo *Das Wohltemperirte Clavier*, dove lo scopo non era tanto quello di dimostrare che tutte le tonalità fossero uguali, come accade nel temperamento equabile, quanto piuttosto che ogni singola tonalità possedeva un suo carattere specifico.

Il temperamento equabile venne teorizzato poco prima dell'introduzione in matematica del calcolo logaritmico – che si deve al matematico scozzese John Napier nel 1614 – che avrebbe semplificato la suddivisione dell'ottava in dodici parti uguali, oltre che facilitare il calcolo degli intervalli, come dimostrò, all'inizio del Settecento, il matematico tedesco Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716). Per misurare le differenze minime tra le diverse scale, il matematico e fisico inglese Alexander John Ellis (1814-1890) inventò una misura delle altezze in cui ogni semitono è pari a 100 *cent*, per cui l'ottava è pari a 1200 *cent*. Si tratta di una scala logaritmica, simile a quella basata sui decibel per misurare l'intensità del suono, o alla scala Richter in sismologia. Un rapporto tra le frequenze a/b corrisponde in *cent* a: $1200 \log_2 \times a/b$. Usando i logaritmi decimali, diventa $3986 \log_{10} \times a/b$. Il semitono pitagorico 256:243 è pari a 90 *cent*; il semitono naturale 16:15 a 112 *cent*; il semitono temperato $\sqrt[12]{2}$ a 100 *cent* [MAOR 2018, 75].

Anche alcuni celebri matematici hanno provato ad occuparsi di scale. Isaac Newton (1642-1727), forse il più grande scienziato della storia, era appassionato di teoria musicale, anche se poco interessato alla musica pratica. Inventò anche una “scala palindromica” basata sui rapporti 9:8 – 16:15 – 10:9 – 9:8 – 10:9 – 16:15 – 9:8. Ne era attratto esclusivamente per la sua simmetria numerica, ma l'effetto sonoro che ne risultava era piuttosto sgraziato. Più avanti Newton paragonò i sette gradi della scala ai sette colori dell'arcobaleno, ma mentre i primi sono divisioni discrete dell'ottava, i secondi sfumano naturalmente l'uno nell'altro. Numerosi scienziati sono stati attirati dall'idea di stabilire un legame tra percezione visiva e uditiva (si pensi ai pendoli di Galileo, che dovevano riprodurre visivamente i rapporti semplici fra i suoni), ma in realtà i due fenomeni sono completamente diversi.

In definitiva, una scala musicale è soltanto una struttura. Non esiste a priori una scala migliore delle altre, e comunque l'orecchio si può educare: è per questa ragione che la scala equabile, a lungo osteggiata dai musicisti, oggi viene accettata da tutti senza problemi. Si tratta probabilmente del più grande dono che la matematica abbia fatto alla musica.

Una corda che vibra

Nel 1638 Galileo Galilei, con la sua ultima grande opera (*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*), stabilì che la frequenza f di una corda vibrante non è soltanto inversamente proporzionale alla sua lunghezza l – come aveva già intuito a suo tempo Pitagora – ma è anche direttamente proporzionale alla radice quadrata della tensione T a cui è sottoposta, e inversamente proporzionale alla radice quadrata del peso della corda λ . La funzione è la seguente: $f = 1/(2 \times l) \times \sqrt{T/\lambda}$.

Chiunque abbia mai suonato uno strumento a corde sa infatti che, per innalzare l'altezza del suono emesso da una corda, si può intervenire sulla lunghezza della corda stessa (ad esempio premendola in un punto intermedio), o sulla sua tensione

(stringendo il piolo o la chiave connessa), o ancora adoperando una corda di materiale più leggero.⁶

Nel 1701 il matematico francese Joseph Sauveur (1653-1716), nonostante fosse sordomuto (e per questa ragione preso in giro dai musicisti del tempo), non soltanto intuì il fenomeno dei battimenti, attraverso una pura deduzione matematica, ma scoprì addirittura (ponendo dei pezzetti di carta su una corda vibrante) che le varie parti di una corda vibrano con frequenza differente, e che tali frequenze sono multipli interi di quella fondamentale [MAOR 2018, 39].⁷ Una corda posta in vibrazione, infatti, tende naturalmente a “parcellizzarsi”, ovvero a suddividersi per brevissimi istanti di tempo in parti aliquote (2, 3, 4... n parti uguali). Dato che la frequenza di un suono è inversamente proporzionale alla lunghezza del corpo vibrante che la produce, si ottengono in tal modo istantanee emissioni di suoni con frequenza doppia, tripla, quadrupla... ennesima, rispetto a quella fondamentale [GIANNETTA 2019, 3]. Ciò che Sauveur aveva individuato, quindi, sono i suoni armonici: non è affatto casuale che, in matematica, una serie formata dalla somma infinita di tutti i reciproci dei numeri naturali ($\sum_{n=1}^{\infty} 1/n = 1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + \dots + 1/n$) da Newton in poi prenderà il nome di serie armonica.

Nel Settecento prese il via un acceso dibattito nel mondo scientifico sulla questione della corda vibrante, e in particolare sul modo in cui le infinite onde sinusoidali che producono i diversi suoni armonici risultino impilate l'una sull'altra. Sfruttando le conoscenze matematiche adesso possibili grazie alla scoperta del calcolo differenziale, introdotto da Newton e Leibniz pochi anni prima, quattro matematici diedero vita a una serie di dispute accademiche. Lo svizzero Daniel Bernoulli (1700-1782), padre dell'idrodinamica, ipotizzò che il numero dei suoni armonici potesse essere infinito: l'idea che le armonie prodotte dalle proporzioni matematiche più semplici – 2:1, 3:2, 4:3 e 5:4 – fossero preferite dalla natura, quindi, secondo lui era totalmente infondata [ISACOFF 2005, 205]. Il francese Jean D'Alembert (1717-1783), che collaborò con Diderot nella stesura dell'*Encyclopedie*, affrontò il problema da un punto di vista più astratto, applicandovi il calcolo differenziale [MAOR 2018, 49-50]. Meno significativo fu il contributo degli altri due grandi matematici del tempo: lo svizzero Leonhard Euler (1707-1783), probabilmente colui che dimostrò il maggior numero di teoremi nella storia, e il torinese Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), che trasformò la meccanica newtoniana in una branca della matematica, ma che, essendo significativamente più giovane degli altri tre, giunse sulla scena quando ormai la questione della corda vibrante aveva perso gran parte del suo interesse. Sarà poi Jean Baptiste Joseph

⁶ Per determinare se un intervallo fosse consonante o meno, Galileo propose di paragonarlo al movimento di due pendoli, la cui lunghezza è analoga a quella della corda vibrante: se il rapporto di lunghezza è semplice (2:1, 3:2...) il movimento coordinato dei due pendoli darà origine a un moto complessivo ordinato e piacevole alla vista [MAOR 2018, 33-34].

⁷ Già nel 1673 due studiosi di Oxford, William Noble e Thomas Pigot, avevano scoperto che, una volta posta in vibrazione, una corda si suddivideva in numerosi segmenti, ciascuno dei quali produceva un diverso suono [ISACOFF 2005, 187].

Fourier (1768-1830), matematico e fisico francese vissuto nel secolo successivo, a intuire in che modo un'onda complessa possa essere suddivisa in una somma di infinite onde sinusoidali, che sono definite, non a caso, "armoniche".⁸

Musica delle sfere

Un altro campo che diede origine a un interessante dibattito in merito alle relazioni fra musica e scienza è senz'altro quello relativo alla cosiddetta "armonia delle sfere". Nata come conseguenza delle deduzioni di Pitagora – secondo il quale il moto dei pianeti avrebbe dato origine a un suono continuo, impercettibile all'orecchio umano, che nell'insieme avrebbe prodotto un'armonia –, questa idea venne ripresa da Severino Boezio (V-VI sec. EV), che nel suo *De institutione musica* ipotizzò l'esistenza di una *musica mundana* prodotta dal moto dei corpi celesti.

Il fatto che le due discipline, musica e astronomia, facessero parte del *Quadrivium* – secondo la classificazione suggerita da Marziano Capella (IV-V secolo EV) che ebbe grande fortuna nel Medioevo – non fece che perpetuare questo argomento, tanto che ancora nel XVII secolo continuava ad ossessionare musicisti e scienziati, fino al caso eclatante di Johannes Kepler (1571-1630). Prima di dedicare la seconda parte della sua vita alle tre leggi del moto planetario che lo resero celebre, il grande astronomo tedesco "sprecò" moltissimi anni per tentare di dimostrare scientificamente l'armonia delle sfere. Alla fine, tuttavia, i suoi sforzi furono, almeno in parte, ripagati. Dopo aver dimostrato che il moto dei pianeti intorno al Sole è ellittico (prima legge di Keplero), e che la velocità del loro moto cambiava in base alla distanza rispetto al Sole (seconda legge di Keplero), lo scienziato calcolò che il moto di Saturno passava da un arco di 135" (0° 2' 15") al giorno (quando era più vicino al Sole) ad uno di soli 106" (0° 1' 46") al giorno (quando era più lontano), e fu certamente felice di constatare che la proporzione $135:106 \cong 1,2736$ si avvicinava moltissimo a $5:4 = 1,25$, rapporto che corrisponde a una terza maggiore pura. Dopo aver calcolato la proporzione relativa a Giove individuò una proporzione che si avvicinava alla terza minore (6:5), mentre quella di Marte si avvicinava a una quinta perfetta (3:2). Ciascuno dei pianeti, quindi, si muoveva intorno al Sole secondo rapporti che ricalcavano quelli degli intervalli musicali più semplici, come se Dio avesse costruito l'universo in modo analogo a un'immensa scala musicale: ciò consentì a Keplero di contrapporre alla visione di Vincenzo Galilei – che difendeva la musica monodica in quanto l'unica adoperata dai popoli antichi – l'idea secondo la quale con la musica polifonica l'Uomo aveva compiuto un salto nella sua evoluzione, avvicinandosi a Dio il grande artigiano [ISACOFF 2005, 161].

⁸ Per i toni accesi che raggiunse, e per la statura dei personaggi coinvolti, il dibattito sulla corda vibrante ricorda per certi versi quello che prese forma, negli anni Venti del Novecento, intorno alla natura della meccanica quantistica: l'elettrone andava considerato materia o soltanto energia? Curiosamente molti dei pionieri della teoria dei quanti praticarono la musica: Planck era un abile pianista, Einstein un violinista, e Heisenberg aveva intrapreso una carriera musicale prima di dedicarsi alla fisica teorica [MAOR 2018, 52].

Nel Novecento, poi, si è scoperto che Nettuno e Plutone hanno orbite in rapporto 3:2, nel senso che ogni tre orbite complete di Nettuno si completano due orbite di Plutone: si parla in questi casi di risonanze orbitali. I due satelliti di Giove, Io ed Europa, hanno una risonanza orbitale di 2:1, mentre Titano e Iperione, satelliti di Saturno, sono in relazione 4:3. Le idee di Keplero, in definitiva, vennero in qualche modo dimostrate! [MAOR 2018, 132].⁹

Nel 1957, con la sua opera in cinque atti *Die Harmonie der Welt*, il compositore tedesco Paul Hindemith (1895-1963) volle rendere omaggio a Keplero (che è il protagonista della composizione) e all'armonia delle sfere: i tre movimenti della sinfonia ricavata dall'opera, non a caso, recano come titolo *musica instrumentalis*, *musica humana*, e *musica mundana*, ovvero le tre categorie in cui si articolerebbe la musica secondo il pensiero di Boezio di quattordici secoli prima.

Relatività

In un confronto tra musica e matematica, non si può non dedicare uno spazio alla tecnica compositiva che più di ogni altra sembra fondarsi su principi razionali e assolutamente astratti: il metodo dodecafonico. È interessante, a questo proposito, tracciare un parallelo tra due delle figure più emblematiche del XX secolo, capaci entrambi di stravolgere la nostra percezione del mondo: il compositore Arnold Schoenberg (1874-1951) e il celebre fisico Albert Einstein (1879-1955).

Sono nati e morti a pochi anni di distanza; le rispettive madri, entrambe di nome Pauline, erano pianiste dilettanti; entrambi erano di famiglia ebrea ma piuttosto indifferenti nei confronti della religione (Schoenberg addirittura si convertì al cristianesimo), pronti comunque a tornare all'ebraismo come reazione alle crescenti spinte antisemite; entrambi si sono trasferiti in America negli anni Trenta per sfuggire al nazismo; entrambi si impegnarono per aiutare gli accademici ebrei allontanati dalle università tedesche; entrambi iniziarono la carriera lavorativa come impiegati di basso livello (Schoenberg in una banca di Vienna, Einstein all'ufficio brevetti di Berna); entrambi erano profondamente immersi nel mondo culturale dell'Europa ottocentesca; entrambi furono capaci di allontanarsi marcatamente da quel mondo grazie alle loro idee rivoluzionarie che provocarono un acceso dibattito sia fra gli studiosi che tra il grande pubblico [MAOR 2018, 113-115].

Einstein cominciò a sviluppare la Teoria sulla relatività generale dopo il suo rivoluzionario articolo del 1905 sulla relatività ristretta. L'idea era che lo spazio non fosse piatto, come sostiene la geometria euclidea, ma curvo: in tal modo venivano messi in discussione secoli di teorie scientifiche, comprese quelle di Newton. Le

⁹ Il principio delle risonanze orbitali permise inoltre all'astronomo americano Daniel Kirkwood (1814-1895), già nel 1866, di intuire che il motivo per cui la fascia di asteroidi che si trova tra Marte e Giove – detta anche “fascia principale” – non è occupata in modo uniforme, ma presenta due concentrazioni in corrispondenza dei rapporti orbitali 3:2 e 4:3, era dovuto al fatto che, ruotando intorno al Sole e spinti gradualmente dalla poderosa attrazione gravitazionale di Giove, gruppi sempre più numerosi di asteroidi hanno finito con il concentrarsi proprio in corrispondenza di tali orbite.

leggi della fisica non sono fisse e uguali per tutti, ma dipendono dal punto in cui si trova in un dato momento l'osservatore, che ha quindi un proprio sistema di riferimento relativo.

Negli stessi anni (1908-1909) Schoenberg cominciò ad ipotizzare che si potesse scrivere musica che non avesse più nella tonica il suo punto di riferimento: è la cosiddetta “musica atonale” [GIANNETTA 2020, 6-9]. Nel 1923 il compositore giunse poi all'idea che i dodici suoni della scala cromatica potessero essere disposti secondo una successione, la serie, in modo tale che nessuno di essi fosse ripetuto prima che tutti gli altri venissero esposti, per garantire così una totale equiparazione: combinando i dodici suoni della scala cromatica si possono ottenere $12! = 479.001.600$ combinazioni differenti.

Per certi versi, questa musica potrebbe essere definita “relativistica”: i suoni non sono più messi in relazione con una tonica centrale, ma soltanto fra di loro, così come nella relatività generale non vi è un punto privilegiato per osservare la realtà fisica, ma questa cambia in base al punto di osservazione. Lo stesso Schoenberg definisce in effetti il suo sistema: «metodo di composizione con dodici note poste in relazione soltanto l'una con l'altra». Secondo Boulez, «con il sistema dodecafonico la musica è uscita dal mondo di Newton ed è entrata in quello di Einstein» [MAOR 2018, 117].

La musica di Schoenberg è stata probabilmente influenzata dalla teoria di Einstein: in effetti la relatività ha avuto un profondo influsso non solo tra i fisici, ma anche sul grande pubblico, che spesso comunque fraintese il senso della teoria.¹⁰ Sia la Teoria della relatività che la musica dodecafonica scatenarono reazioni estreme di carattere opposto. Einstein raggiunse la fama improvvisamente nel 1919, quando un'eclissi solare dimostrò la correttezza della sua teoria, ma la maggior parte degli scienziati mantenne un certo scetticismo di fronte a una teoria basata esclusivamente su ragionamenti astratti: soltanto un ristretto numero di fisici in grado di comprenderla rimase colpito ed impressionato dalla sua eleganza matematica, e dal fatto che una pura creazione della mente basata su una matematica sofisticatissima potesse rivoluzionare la nostra comprensione dello spazio e del tempo. In anni più recenti, tuttavia, la dimostrazione dell'esistenza dei buchi neri e di altri fenomeni astronomici ha appurato definitivamente la correttezza della teoria.

In modo analogo, la musica atonale di Schoenberg venne accolta dal pubblico con astio, con eclatanti manifestazioni di dissenso. Schoenberg, in ogni caso, ebbe una lunga schiera di seguaci (diretti e indiretti) che fecero uso della tecnica dodecafonica: anche se il pubblico continuò a dimostrarsi indifferente, tanto da poter oggi dire che «la musica di Schoenberg è più letta che ascoltata», molti compositori, anche insospettabili, vi aderirono nel corso del tempo: il caso più clamoroso fu senz'altro quello di un ormai anziano Stravinskij. Negli anni Cinquanta, quindi, la

¹⁰ Curiosamente, così come Schoenberg non sopportava che la sua musica venisse definita “atonale”, analogamente Einstein non amava l'espressione “relatività”: temeva infatti che il pubblico l'avrebbe percepita nel senso che “tutto è relativo” (come infatti avvenne), e per questa ragione tentò di definirla “Teoria degli invarianti”. Queste espressioni, tuttavia, si imposero contro la volontà dei rispettivi autori, entrando a far parte del lessico del XX secolo.

gran parte dei compositori di musica colta faceva uso del metodo inventato da Schoenberg, pur con tutte le infinite varianti del caso.

Notazione numerica

Fu soltanto nel 1946, tuttavia, che si gettarono le basi per una Teoria della musica seriale. Milton Babbitt (1916-2011), compositore e teorico americano – diventerà in seguito professore di matematica a Princeton, e infine di composizione alla Juilliard School of Music – nella sua tesi di dottorato dal titolo *The Function of Set Structure in the Twelve-Tone System* (pubblicata soltanto nel 1992) adoperò per la prima volta i numeri da **0** a **11** per indicare le dodici classi di altezze che, permutate fra di loro, danno origine a tutte le serie possibili [BABBITT 1992].¹¹

Babbitt assegnò inizialmente il valore **0** al primo suono della serie, e indicò ciascun suono con un doppio codice numerico (x,y), come se si trattasse di coordinate cartesiane, dove x indica il “numero di posizione” nella serie (da 1 a 12) [GIANNETTA 2020, 44], e y la sua altezza: se il primo suono della serie è un *mi*, ad esempio, il codice “2,3” indica che il secondo suono della serie sarà un *sol*, suono che si trova a distanza di tre semitoni dal punto di riferimento. Lo stesso Babbitt, negli anni successivi, giungerà tuttavia alla conclusione che sia tutto sommato preferibile adoperare dei numeri fissi, associando sempre il valore **0** alla nota *do*. La teoria seriale di Babbitt, in ogni caso, creò un fortissimo legame fra la teoria musicale e la teoria dei numeri [SCHUIJER 2008, 33-34].

Ecco dunque come si può trasformare una serie dodecafonica in una sequenza numerica:



Figura 2: Serie dodecafonica della *Suite für Klavier* op. 25 (1923) di Arnold Schoenberg

Attraverso operazioni puramente matematiche si può trasportare la serie sui dodici gradi della scala: sarà sufficiente, infatti, sommare a ciascun valore il numero corrispondente all’intervallo di trasposizione. Tale operazione deve avvenire tuttavia in “modulo 12”, un ramo della matematica che prevede che i numeri si “avvolgano su loro stessi” ogni volta che raggiungono i multipli di un determinato numero, detto modulo. Un tipico esempio di modulo 12 è rappresentato dal quadrante dell’orologio: ogni volta che si completa un giro di lancette si riparte sempre da 12=0 (cfr. figura 3).

¹¹ Una classe di altezze [*pitch-class*] corrisponde a uno dei dodici suoni della scala cromatica, indipendentemente dal modo in cui esso viene notato in partitura (principio di equivalenza enarmonica) e dall’ottava di appartenenza (principio di equivalenza delle ottave) [GIANNETTA 2023, 3-5].

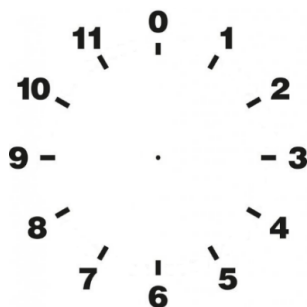


Figura 3: Rappresentazione visiva di un sistema numerico a modulo 12 [GIANNETTA 2023, 7]

Ecco ad esempio come si calcola la trasposizione otto semitoni sopra (T_8) della serie originale, che consente di ottenere una forma-seriale che inizia con il valore 0:

serie originale	4	5	7	1	6	3	8	2	11	0	9	10
	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8
trasposizione T_8	0	1	3	9	2	11	4	10	7	8	5	6

Ed ecco la configurazione musicale a cui corrisponde tale trasposizione:

Figura 4: Rappresentazione della trasposizione T_8 della serie

Per calcolare l'inversione di una serie, invece, si dovrà sostituire ciascun valore numerico con il suo complemento a 12: così come due intervalli, di cui uno è il rivolto dell'altro, nella teoria musicale tradizionale danno come somma 9, nella teoria della musica post-tonale la loro somma sarà sempre 12, per cui l'intervallo complementare di x sarà pari a $12-x$ [GIANNETTA 2020, 38-39]. Ecco dunque come calcolare l'inversione della forma-seriale T_8 individuata in precedenza:

	12-	12-	12-	12-	12-	12-	12-	12-	12-	12-	12-	12-
forma-seriale trasposta T_8	0	1	3	9	2	11	4	10	7	8	5	6
forma inversa	0	11	9	3	10	1	8	2	5	4	7	6

Avendo a disposizione questi dati, possiamo adesso calcolare il “quadrato magico”, una matrice 12×12 che contiene tutte le forme-seriali ricavate dalla serie originale – presentate in senso normale (leggendo i numeri da sinistra verso destra) o in senso retrogrado (leggendo i numeri da destra verso sinistra) – e quelle ricavate dalla forma inversa – presentate in senso normale (leggendo i numeri dall'alto verso il basso) e in senso retrogrado (leggendo dal basso verso l'alto): con il riquadro in

grassetto viene indicata la serie originale, quella con la quale si apre la composizione concepita da Schoenberg.

0	1	3	9	2	11	4	10	7	8	5	6
11	0	2	8	1	10	3	9	6	7	4	5
9	10	0	6	11	8	1	7	4	5	2	3
3	4	6	0	5	2	7	1	10	11	8	9
10	11	1	7	0	9	2	8	5	6	3	4
1	2	4	10	3	0	5	11	8	9	6	7
8	9	11	5	10	7	0	6	3	4	1	2
2	3	5	11	4	1	6	0	9	10	7	8
5	6	8	2	7	4	9	3	0	1	10	11
4	5	7	1	6	3	8	2	11	0	9	10
7	8	10	4	9	6	11	5	2	3	0	1
6	7	9	3	8	5	10	4	1	2	11	0

Figura 5: Quadrato magico relativo alla serie della *Suite* op. 25 di Schoenberg [GIANNETTA 2023, 271]

Combinatorialità

In un secondo momento, tuttavia, Schoenberg cercò di risolvere il problema dovuto alla sovrapposizione di due forme-seriali che rischiano di “duplicare” la medesima classe di altezze a distanza troppo ravvicinata, causando involontariamente il predominio di un determinato suono (come il *reb* in figura 6) che avrebbe compromesso la sensazione di totale equiparazione delle dodici classi di altezze:

Figura 6: Schoenberg, *Suite für Klavier* op. 25 (1923), *Präludium*, bb. 1-3

La soluzione escogitata da Schoenberg fu quella di costruire la serie in modo tale che «l’inversione alla quinta inferiore delle prime sei note, ossia l’antecedente, non doveva dar luogo alla ripetizione di nessuna delle prime sei note già apparse, ma anzi doveva contenere le sei note della scala cromatica non ancora impiegate» [SCHOENBERG 1982, 117].

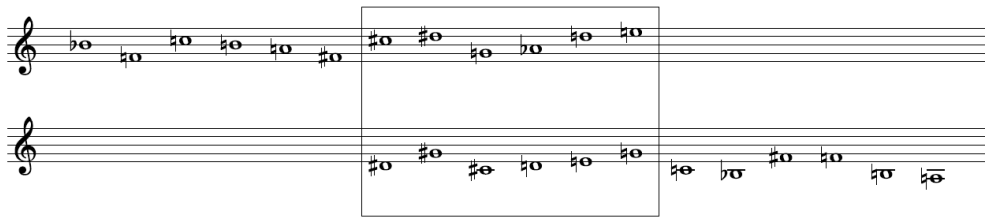


Figura 7: Combinatorialità per inversione - *Klavierstück* op. 33a di Schoenberg [SCHUIJER 2008, 95]

La scelta dell'intervallo di trasposizione (una quinta sotto) ricopriva evidentemente per Schoenberg un valore simbolico, come omaggio alla tradizione tonale (ricalca infatti la relazione dominante-tonica).¹² Questa soluzione suggerì a Milton Babbitt l'adozione dell'espressione “combinatorialità esacordale per inversione” [*hexachordal inversional combinatoriality*], mutuata dalla “combinatoria”, una branca della matematica che si occupa delle combinazioni di oggetti appartenenti a un insieme finito secondo determinati vincoli.

Ciò consentirà a Babbitt di prendere in considerazione non più soltanto l'ordine con cui si presentano le classi di altezze, ma anche e soprattutto il “contenuto” in classi di altezze delle due metà della serie. Introduce a questo proposito il concetto di *source set* per indicare la rappresentazione di un esacordo i cui suoni sono disposti in ordine ascendente [BABBITT 1955, n. 57], concetto che peraltro aveva già anticipato nella sua tesi di dottorato del 1946 [BABBITT 1992, 104-116]:



Figura 8: *Source sets* ricavati dalla serie dodecafonica del *Klavierstück* op. 33a di Schoenberg

Questo approccio suggerirà in seguito a Babbitt e ad altri studiosi di indagare il contenuto intervallare di un insieme di classi di altezze indipendentemente dalla sua appartenenza o meno a una serie dodecafonica: vengono così gettate le basi per l'applicazione in ambito musicale della Teoria degli insiemi (vedi in seguito). Basarsi sugli intervalli piuttosto che sulle classi di altezze, del resto, non è affatto sorprendente: spesso nella teoria musicale, infatti, ci si basa sulle relazioni intervallari per operare una classificazione, come avviene nel caso dei modi o delle diverse tipologie di accordi.

Lo studio del contenuto intervallare ha aperto la strada a nuove relazioni musicali che hanno affascinato compositori e teorici. Si è scoperto, ad esempio, che due

¹² Nell'occasione, peraltro, Schoenberg mostra un atteggiamento un po' ingenuo, sicuramente non da matematico: per illustrare il suo ragionamento, infatti, mostra come esempio la serie del suo *Quintetto per strumenti a fiato* op. 26 (1924), che però non soddisfa pienamente tale requisito applicando l'inversione I_5 (una quarta giusta sopra, o una quinta sotto), mentre l'avrebbe soddisfatto se soltanto Schoenberg avesse applicato l'inversione I_{11} [SCHUIJER 2008, 94, n. 13].

esacordi complementari possiedono sempre il medesimo contenuto intervallare, anche quando non sono correlati per trasposizione e/o inversione: questa relazione, attribuita a Babbitt, è nota come *hexachord theorem*.

Schoenberg non era probabilmente consapevole di tutte le implicazioni che la sua intuizione avrebbe prodotto: i suoi scritti non ne danno alcuna prova. Tuttavia la tecnica compositiva da lui elaborata ha consentito di elevare il contenuto intervallare allo *status* di categoria analitica, con un ruolo determinante nella struttura musicale e nella futura Teoria degli insiemi.

Insiemi

In ambito matematico, la Teoria degli insiemi era stata elaborata da Georg Cantor (1845-1918) fra il 1874 e il 1897, per essere poi utilizzata in tutte le branche della scienza [PASTICCI 1995, 7]. La sua prima applicazione sistematica nel campo dell'analisi musicale si deve probabilmente ad Allen Forte, con l'intenzione di sviluppare una teoria per la musica post-tonale che fosse totalmente svincolata dal serialismo [FORTE 1964]. È soltanto con la pubblicazione di *The Structure of Atonal Music* [FORTE 1973], tuttavia, che lo studioso americano giungerà ad elaborare una teoria definita in tutti i dettagli, che negli anni successivi avrà soltanto bisogno di alcuni piccoli aggiustamenti, e che ancora oggi rappresenta il punto di riferimento irrinunciabile per chiunque abbia intenzione di analizzare la musica post-tonale non seriale.

Un insieme di classi di altezze corrisponde a un dato raggruppamento di suoni, non importa se presentato sotto forma di linea melodica o di aggregato.¹³ Il seguente frammento musicale, ad esempio, è formato esclusivamente dai suoni *sol-la-si-re-mi*: secondo la Teoria degli insiemi esso corrisponde quindi alla configurazione $\{7,9,11,2,4\}$.

Profondément calme

Figura 9: Debussy, *La cathédrale engloutie* (da *Préludes, livre I*), bb. 1-2 [GIANNETTA 2023, 27]

¹³ In ambito non tonale, il termine “aggregato” risulta più appropriato, rispetto a quello tradizionale di “accordo”, per identificare un raggruppamento simultaneo di suoni [GIANNETTA 2020, 7, n. 12].

Così come avviene nel campo della matematica, anche nella Teoria degli insiemi di classi di altezze un elemento x può appartenere o meno ad un insieme: nel caso precedente, ad esempio, $9 \in \{7,9,11,2,4\}$, mentre $8 \notin \{7,9,11,2,4\}$. Oppure un insieme può essere contenuto in uno più grande: $\{7,9,11\} \subset \{7,9,11,2,4\}$; o ancora due insiemi possono unirsi a formare un insieme più grande: $\{7,9,11\} \cup \{2,4\} = \{7,9,11,2,4\}$, o intersecarsi formando un sottoinsieme comune: $\{7,9,11,2\} \cap \{9,11,2,4\} = \{9,11,2\}$.

Le principali operazioni che si possono compiere con gli insiemi di classi di altezze, tuttavia, sono la trasposizione e l'inversione dell'insieme nella sua interezza. Nel primo caso sarà sufficiente sommare ad ogni elemento x dell'insieme di partenza (in mod 12) il valore n corrispondente all'intervallo di trasposizione T_n : ad esempio, $\{7,9,11,2,4\} + T_4 = \{11,1,3,6,8\}$, configurazione peraltro adoperata da Debussy nelle bb. 16-18 della medesima composizione [GIANNETTA 2023, 32].

$$\begin{array}{cccccc} 7 & 9 & 11 & 2 & 4 & \\ +4 & +4 & +4 & +4 & +4 & \\ \hline 11 & 1 & 3 & 6 & 8 & \end{array}$$

Nel caso dell'operazione di inversione I_n , invece, sarà necessario sottrarre (sempre in mod 12) da n ciascuno degli elementi x dell'insieme di partenza: $\{7,9,11,2,4\} + I_0 = \{8,10,1,3,5\}$ (leggendo da destra verso sinistra).

$$\begin{array}{cccccc} 0- & 0- & 0- & 0- & 0- & \\ 7 & 9 & 11 & 2 & 4 & \\ \hline 5 & 3 & 1 & 10 & 8 & \end{array}$$

Il risultato di un'operazione di inversione non corrisponde tuttavia a ciò che emergerebbe realizzando un'inversione in modo empirico (cfr. figura 10): in tal caso, infatti, l'inversione di $\{7,9,11,2,4\}$ sarebbe stata $\{10,0,3,5,7\} \neq \{8,10,1,3,5\}$.



Figura 10: Operazione di inversione realizzata in modo empirico

La differenza tra i due risultati dipende dal fatto che in un primo momento Babbitt ritenne che la soluzione più ovvia fosse quella di scegliere il primo suono dell'insieme (in questo caso *sol*, ovvero 7) come asse di simmetria, intorno al quale far ruotare tutti gli altri [BABBITT 1960, 254]. Col tempo, tuttavia, si rese conto che questo ragionamento avrebbe conferito eccessiva importanza al primo suono, in un contesto in cui invece ciascun suono dovrebbe ricoprire un ruolo simile agli altri, per

cui optò per un asse di simmetria che varia in funzione del valore n di I_n : l'operazione di inversione divenne quindi un'operazione essenzialmente matematica.¹⁴

Relazioni di equivalenza

La Teoria degli insiemi tenta di rispondere anche a un'altra importante esigenza. L'affermazione della scala cromatica dodecafonica come nuovo sistema sonoro di riferimento, e il proliferare di accordi formati da cinque o più suoni, aveva fatto nascere una moltitudine di aggregati che richiedevano adesso di essere in qualche modo classificati, con un lessico indipendente rispetto a quello peculiare dell'epoca tonale, in modo tale che fosse possibile far riferimento a uno di essi in modo inequivocabile qualora se ne fosse presentata la necessità.

Un primo tentativo di classificare tutte le formazioni accordali costituite da un numero di suoni compreso fra uno e dodici venne proposto nel 1925 da Fritz Heinrich Klein (1892-1977), un compositore allievo di Alban Berg, il quale ottenne un totale di 4.096 combinazioni differenti [SCHUIJER 2008, 116]. Per rendere più efficace e pratico il ricorso a un sistema di classificazione di questo tipo si rendeva però necessario ridurre drasticamente il numero di combinazioni possibili, e per farlo era necessario fissare dei precisi criteri di equivalenza fra configurazioni differenti ma in qualche modo affini [PASTICCI 1995, 40].

Fu questo il problema che si pose la nascente Teoria degli insiemi di classi di altezze. La relazione di equivalenza fra due o più elementi, in matematica, presuppone che vengano soddisfatte le seguenti tre proprietà:

- proprietà riflessiva: $A = A$
- proprietà simmetrica: se $A = B$, allora $B = A$
- proprietà transitiva: se $A = B$, e $B = C$, allora $A = C$

Applicata al campo degli insiemi di classi di altezze, questa relazione non dovrebbe valere, quindi, nel caso di due insiemi correlati per trasposizione, in quanto:

- $A + T_n \neq A$ (a meno che $n = 0$)
- se $A + T_n = B$, allora $B + T_n \neq A$ (a meno che $n = 0$, o $n = 6$)
- se $A + T_n = B$, e $B + T_n = C$, allora $A + T_n \neq C$ (a meno che $n = 0$)

Tantomeno tale criterio varrebbe per due insiemi correlati per inversione:

- $A + I_n \neq A$ (tranne rarissimi casi)
- se $A + I_n = B$, allora $B + I_n = A$ (questa operazione è sempre simmetrica)
- se $A + I_n = B$, e $B + I_n = C$, allora $A + I_n \neq C$ (a meno che $A + I_n = A$)

¹⁴ Per ulteriori approfondimenti sull'argomento cfr. GIANNETTA 2023, 42-48.

Dal punto di vista della matematica, quindi, due insiemi sarebbero da considerarsi equivalenti soltanto quando contengono esattamente gli stessi elementi: $\{7,9,11,2,4\} \equiv \{2,4,7,9,11\}$.¹⁵ Applicata in un contesto musicale, tuttavia, l'equazione $\{7,9,11,2,4\} \equiv \{2,4,7,9,11\}$ non si rivela di alcuna utilità. O, meglio, fa riferimento a un assunto che si ritiene acquisito fin dai tempi di Jean-Philippe Rameau (1683-1764), che nel suo *Traité de l'harmonie* (1722) aveva stabilito il principio secondo il quale due accordi formati dagli stessi suoni, anche se disposti secondo un ordine differente, debbano sempre essere considerati due manifestazioni di un unico oggetto sonoro.

Fare in modo che anche due insiemi correlati per trasposizione vengano sempre considerati equivalenti, in ogni caso, era da considerarsi un requisito indispensabile per la nuova teoria, in quanto nella comune esperienza di un musicista pratico tutti gli elementi in relazione di trasposizione si considerano equivalenti: due scale maggiori, due triadi minori, la risposta di una fuga, la trasposizione di un'intera composizione per questioni pratiche, e così via...

La soluzione sembrò allora essere quella di individuare nella successione intervallare il requisito-chiave per poter parlare di relazione di equivalenza: tutti gli insiemi che possedevano una particolare successione intervallare erano quindi da considerarsi equivalenti [CHRISMAN 1971]. La successione intervallare di $\{7,9,11,2,4\}$, ad esempio, è [2-2-3-2], così come quella dell'insieme trasposto T_4 $\{11,1,3,6,8\}$.

Il problema della successione intervallare, tuttavia, è che essa dipende dalla disposizione degli elementi di un insieme, per cui se permutassimo gli elementi di $\{7,9,11,2,4\}$, ottenendo ad esempio $\{2,4,7,9,11\}$, la successione intervallare risultante sarebbe differente: [2-3-2-2]. Ne consegue che due insiemi che hanno la medesima successione intervallare sono sicuramente equivalenti, ma non è detto che due insiemi equivalenti abbiano necessariamente la medesima successione intervallare!

Il vettore intervallare – intuito da David Lewin [LEWIN 1960] e Milton Babbitt [BABBITT 1961], ma definito in modo completo da Donald Martino [MARTINO 1961], un allievo di Babbitt a Princeton – costituì la soluzione a tutti i problemi. Esso rappresenta infatti il contenuto intervallare complessivo di un insieme catalogando tutti gli intervalli che si formano fra tutte le coppie possibili di elementi [GIANNETTA 2020, 32-33]. Il vettore intervallare non soltanto rimane sempre uguale in caso di trasposizione, ma anche di permutazione (a differenza della successione intervallare), e persino in caso di inversione.

Nel momento in cui elaborò la sua teoria, quindi, Allen Forte attribuì proprio al vettore intervallare – unica soluzione che consentiva di soddisfare le tre proprietà necessarie per poter parlare di relazione di equivalenza in termini matematici – la capacità di determinare l'equivalenza o meno fra due insiemi [FORTE 1964]. Tutti

¹⁵ La natura fondamentalmente matematica della Teoria degli insiemi di classi di altezze diventa palese nel manuale di John Rahn, laddove le principali operazioni fra insiemi sono definite in termini di teoremi e dimostrazioni, come se si trattasse di un trattato di geometria [RAHN 1980].

gli insiemi vennero quindi classificati considerando il rispettivo vettore intervallare come se fosse un numero a sei cifre, disponendo tali “numeri” in senso decrescente: prendendo in considerazione i vettori intervallari degli insiemi formati da tre classi di altezze, l’ordine che ne risultò fu **210000**, **111000**, **101100**, **100110**, **100011**, e così via... Nel complesso, Forte fu così in grado di individuare 200 classi di insiemi formati da tre a nove classi di altezze [SCHUIJER 2008, 91-92].

Il punto debole di questa impostazione, tuttavia, era dovuto al fatto che esistono coppie di insiemi di classi di altezze che, pur essendo equivalenti in base alle considerazioni precedenti – in quanto condividono il medesimo vettore intervallare – non sono correlati né per trasposizione, né per inversione. È su questo punto che si soffermarono in particolare le condivisibili critiche formulate alla nuova teoria da John Clough [CLOUGH 1965], che portarono successivamente Forte ad allontanarsi da un approccio esclusivamente matematico. Prima di tutto egli ritenne necessario differenziare le coppie di insiemi che ricadevano in questa casistica, e per raggiungere tale scopo applicò un principio già introdotto in precedenza da David Lewin [LEWIN 1960], ideando il concetto di insiemi Z-correlati [FORTE 1973, 21].¹⁶

Non potendo più considerare il vettore intervallare come criterio univoco di classificazione, Forte introdusse quindi il concetto di “forma primaria” – rappresentazione ideale, e per certi versi astratta, di un insieme di classi di altezze [FORTE 1973, 5] – e il “nome di Forte” – codice numerico doppio che rende conto del numero di classi di altezze che costituiscono un insieme (numero cardinale) e della posizione (numero ordinale) che una determinata classe di insiemi occupa nell’elenco di tutte quelle dotate del medesimo numero cardinale. La classe di insiemi **5-22**, la cui forma primaria è (**01478**), è pertanto la ventiduesima fra tutte quelle formate da cinque classi di altezze.

Nel nuovo elenco degli insiemi di classi di altezze [FORTE 1973, 179-181], formato adesso da 208 classi di insiemi, Forte ha mantenuto la disposizione che prevede i rispettivi vettori intervallari ordinati in senso decrescente. Le coppie di insiemi Z-correlate – come **4-Z15 (0146)** e **4-Z29 (0137)**, il cui vettore intervallare è, in entrambi i casi, **111111** – sono state tuttavia scorporate, per cui le “nuove” classi di insiemi sono state poste in coda rispetto alle precedenti: lo si può evincere osservando come i vettori intervallari che fanno riferimento alle nuove configurazioni non rispettino l’ordinamento in senso decrescente.

Voicing

La Teoria degli insiemi ha risolto molti dei problemi che erano emersi con l’adozione del totale cromatico come nuovo sistema sonoro di riferimento, consentendo la classificazione di tutte le possibili combinazioni di suoni, comprese – soprattutto –

¹⁶ Secondo Forte la lettera “Z” non possedeva un significato particolare, ma si trattava di una semplice convenzione; Joseph Straus, invece, ritiene che essa potrebbe far riferimento al concetto di *zygotic*, e quindi al parto gemellare, come per suggerire l’esistenza di coppie di insiemi simili ma non identiche [STRAUS 2016, 112].

quelle che risultavano molto distanti dagli accordi tradizionali del periodo tonale. Per impostazione, tuttavia, questa teoria tende ad annullare le differenze che intercorrono fra due aggregati che, pur essendo formati dalle medesime classi di altezze, prevedono una diversa disposizione [*voicing*] di tali suoni, nonostante l'effetto sonoro completamente differente che ne risulta. Una situazione del genere, del resto, si verifica anche in ambito tonale, soprattutto nel caso di quegli accordi complessi che si riconoscono come tali soltanto quando rispettano precisi criteri di disposizione dei suoni: è il caso degli accordi di sesta aumentata – per i quali tale intervallo si deve necessariamente formare tra il basso e uno dei suoni superiori – o degli accordi di nona – per i quali la nona deve trovarsi necessariamente a distanza di nona dalla fondamentale.

A ben guardare, la contrapposizione tra contenuto e disposizione delle classi di altezze di un aggregato ricorda quella che intercorre – nell'ambito delle tecniche per la cifratura degli accordi – fra la Teoria dei gradi fondamentali e la Teoria del basso numerato [GIANNETTA 2019, 13-16]. La prima riconduce sempre e comunque un accordo a una disposizione *standard*, costituita nella stragrande maggioranza dei casi dalla sovrapposizione di intervalli di terza su un “basso fondamentale”, relegando tutte le altre disposizioni possibili a “varianti” (rivolti) della prima. La seconda, invece, conferisce grande importanza al suono più grave, il cosiddetto “basso reale”, che funge quindi da punto di riferimento, e calcola pertanto le distanze intervallari che intercorrono fra questo suono e quelli superiori.

Traslando questo ragionamento in ambito post-tonale, possiamo affermare che la classificazione degli aggregati proposta nel 1925 da Fritz Heinrich Klein – già discussa in precedenza – applicava sostanzialmente un principio mutuato dalla Teoria dei gradi fondamentali: tutte le disposizioni possibili di un aggregato venivano infatti ricondotte a un'unica configurazione di riferimento, l'unica effettivamente censita nel suo elenco. Nello stesso anno, tuttavia, un altro teorico – Bruno Weigl (1881-1938) – aveva proposto una classificazione alternativa che elencava tutte le combinazioni possibili basate sul suono *do*, considerando pertanto tutte le altre come trasposizioni, e quindi “equivalenti” alle precedenti: ciò consentirà a Weigl di giungere a un totale di 2.106 configurazioni differenti, un numero sensibilmente inferiore rispetto alle 4.096 di Klein [GIANNETTA 2023, XLIV-XLV].

Per rendere più chiaro il ragionamento, la figura 11 mostra due coppie di aggregati. La prima coppia è formata da due aggregati costituiti dalle medesime classi di altezze – **2, 4, 6 e 10** – disposte però in modo differente, come se si trattasse di due rivolti di un unico accordo: secondo la classificazione di Klein si tratterebbe pertanto di un'unica configurazione, mentre secondo Weigl il primo aggregato andrebbe considerato come la trasposizione di *do-re-fa#-sib*, mentre il secondo come la trasposizione di *do-mi-lab-sib*. La seconda coppia è formata invece da due aggregati costituiti da classi di altezze differenti – rispettivamente {**4,6,10,2**} e {**7,9,1,5**}: secondo Klein si tratterebbe pertanto di due distinte configurazioni, mentre paradossalmente Weigl riconduce entrambi gli aggregati a un'unica configurazione, visto che corrisponderebbero a due diverse trasposizioni di *do-re-*

fa#-sib.¹⁷ Per renderci conto che i due aggregati della seconda coppia appartengono ad un'unica configurazione (secondo il criterio di Weigl) risulta utile calcolare la rispettiva successione intervallare, che in entrambi i casi è pari a [2-4-4].



Figura 11: Confronto tra coppie di aggregati

Partendo da questi presupposti, Robert Morris si è domandato se la Teoria degli insiemi rappresenti effettivamente la soluzione ideale per classificare gli aggregati, visto che non tiene affatto conto dell'effetto sonoro prodotto da ciascuna combinazione di suoni [MORRIS 1987]. Nel tentativo di aggirare questo inconveniente, il teorico americano propone allora di far rivivere l'antica prassi del basso numerato, che calcolava le distanze intervallari fra il basso e le voci superiori sintetizzandole sotto forma di pratici codici numerici – 3^5 , 3^6 , 4^6 , 5^6 , e così via... – che peraltro rappresentano uno dei più noti esempi di impiego dei numeri in ambito musicale.

La soluzione escogitata da Morris, ottenuta applicando il calcolo degli intervalli possibile con la notazione numerica, è la *figured-bass class* (FB-class) [MORRIS 1995], che peraltro a livello concettuale è molto simile a quella proposta da Weigl settant'anni prima. Tornando alla figura 11, i due aggregati della seconda coppia corrispondono entrambi alla FB-class **26A**, dove il numero **2** indica l'intervallo *i2* che si forma fra *mi* e *fa#* (o fra *sol* e *la* nel secondo aggregato della coppia); il numero **6** l'intervallo *i6* fra *mi* e *sib* (o fra *sol* e *do#*); e la lettera **A**, infine, l'intervallo *i10* fra *mi* e *re* (o fra *sol* e *fa*).¹⁸ Due aggregati formati da classi di altezze completamente differenti, quindi, secondo Morris risultano simili all'ascolto per via della comune disposizione intervallare, analogamente a ciò che accade con due accordi simili, anche se appartenenti a tonalità differenti, in ambito tonale (ad esempio due accordi di sesta francese).

Di contro, però, i due aggregati della prima coppia, pur essendo formati dalle medesime classi di altezze, corrispondono a due diverse FB-class, rispettivamente **26A** e **48A**. È vero che questi due aggregati producono un diverso effetto sonoro, ma qualunque ascoltatore che abbia un orecchio musicale sufficientemente educato non farà fatica a riconoscere la comune appartenenza di queste due configurazioni a un'unica tipologia. È fondamentalmente questo il punto debole della soluzione

¹⁷ Secondo la Teoria degli insiemi, che combina insieme i criteri di classificazione proposti da Klein e Weigl, tutti gli aggregati presenti nella figura 11 appartengono a un'unica classe di insiemi: **4-24 (0248)**; nel caso della prima coppia, si tratta di due diverse permutazioni circolari – $\{4,6,10,2\}$ e $\{6,10,2,4\}$ – del medesimo insieme di classi di altezze, mentre la seconda coppia di aggregati è formata da due insiemi correlati per trasposizione: $\{4,6,10,2\} + T_3 = \{7,9,1,5\}$.

¹⁸ Nella cifratura impiegata da Morris gli intervalli *i10* e *i11*, per evitare equivoci, sono indicati rispettivamente con le lettere **A** e **B** [SCHUIJER 2008, 124, n. 35].

proposta da Morris – che le ha presumibilmente impedito di affermarsi soppiantando, o quando meno affiancando, la Teoria degli insiemi – tanto più considerando che nella maggior parte della musica post-tonale risulta più significativo individuare il contenuto di un aggregato – le classi di altezze che ne fanno parte – piuttosto che il modo in cui sono effettivamente disposti i suoni: lo dimostra il fatto che molto spesso troviamo lo stesso aggregato disposto in modi continuamente differenti, per cui deduciamo che i compositori non dovessero dare particolare importanza a quest'ultimo aspetto.

Simmetria

Una disamina sui rapporti fra musica e matematica non può considerarsi esaustiva senza citare Johann Sebastian Bach (1685-1750) e Anton Webern (1883-1945), entrambi capaci di dar vita a configurazioni musicali dotate di sofisticate proprietà geometriche: ne sono un chiaro esempio gli straordinari artifici contrappuntistici del primo, e la costruzione simmetrica delle serie dodecafoniche del secondo.¹⁹

L'*Arte della fuga* [*Die Kunst der Fuge* BWV 1080] è una raccolta di diciannove composizioni polifoniche – non tutte sono fughe, sono presenti anche quattro canoni e un corale a quattro voci – che Bach concepì negli ultimi anni della sua vita, senza tuttavia riuscire a completarla. Si tratta di un'opera che non prevede una destinazione strumentale ben precisa, in quanto non si tratta di musica pensata per l'esecuzione da concerto – per quanto si possa comunque eseguire – ma per assecondare un desiderio di speculazione logico-matematica. Della raccolta fanno parte, in modo particolare, due coppie di fughe a specchio, in cui il compositore inverte la direzione di tutti gli intervalli presenti nelle tre voci ottenendo una nuova composizione.

La figura 12 mostra un estratto ricavato dal *Contrapunctus XVI* (bb. 9-12) nella duplice versione *rectus* e *inversus*: come si può facilmente constatare, la voce segnata in chiave di violino (della versione *rectus*) si riflette verticalmente nella voce in chiave di basso (della versione *inversus*), e così avviene per le altre due coppie di voci. In sostanza, è la stessa cosa che accade quando osserviamo un paesaggio montano riflettersi specularmente sulla superficie di un lago: in termini geometrici, si parla di riflessione lungo un asse orizzontale.

¹⁹ Esiste una nutrita letteratura in merito alla presenza di divertenti e curiose coincidenze numeriche nella produzione e nella vita di Johann Sebastian Bach: si pensi al numero 14, ricavato dalle quattro lettere del suo cognome – secondo la gematria, B(=2), A(=1), C(=3) e H(=8), per cui: 2+1+3+8=14 – e al fatto che il soggetto della *Fuga in do maggiore* (la prima) dal primo libro del *Clavicembalo ben temperato* è costituito da 14 suoni, mentre la somma di tutte le note del Preludio (549) e della Fuga (743) è pari a 1283 (“anagramma” di 2138 = BACH); divertente è anche l'aneddoto secondo il quale Bach decise di aderire alla Società per le Scienze Musicali [*Correspondierende Societät der musicalischen Wissenschaften*] – fondata nel 1738 a Lipsia dal suo ex allievo Lorenz Mizler (1711-1778) – soltanto nel 1747, in modo tale da esserne il quattordicesimo membro: il motto della società era «la musica è il suono della matematica».



Figura 12: Bach, *Die Kunst der Fuge* BWV 1080, *Contrapunctus XVI*, bb. 9-12

La serie su cui si basa il *Konzert* per nove strumenti op. 24 (1934) di Webern, d'altra parte, mostra come il medesimo frammento motivico formato da tre suoni possa dare origine, per inversione e/o retrogradazione (ovvero, in termini geometrici, per riflessione verticale e/o orizzontale), alla serie nella sua interezza, che è formata da $\alpha+\beta+\gamma+\delta$ [GIANNETTA 2023, 345-350].

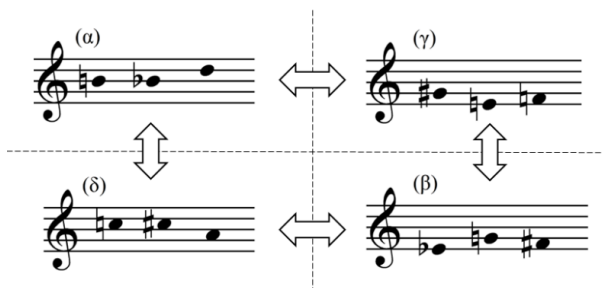


Figura 13: Relazioni simmetriche tra le quattro sotto-serie della serie del *Konzert* op. 24 di Webern

Conclusioni

In definitiva possiamo affermare che Iannis Xenakis – capace di integrare procedimenti matematici estremamente complessi nelle sue creazioni musicali – non ha fatto altro che accodarsi a una lunga tradizione di interscambi fra due mondi che, per tutta una serie di ragioni, sono sempre stati intimamente legati fra di loro.

Riferimenti bibliografici

ANDREATTA 2019

Moreno Andreatta, *On Two Computational Models of the Pitch-Rhythm Correspondence. A Focus on Milton Babbitt's and Iannis Xenakis's Theoretical Constructions*, «Atti del XV Jahreskongress der Gesellschaft für Musiktheorie, Berlin 2015», 2019, pp. 249-259.

AZZARONI 1997

Loris Azzaroni, *Canone infinito. Lineamenti di teoria della musica*, Bologna, CLUEB, 1997.

BABBITT 1955

Milton Babbitt, *Some Aspects of Twelve-Tone Composition*, «The Score and IMA Magazine», XII, 1955, pp. 53-61.

BABBITT 1960

Milton Babbitt, *Twelve-Tone Invariants as Compositional Determinants*, «Musical Quarterly», XLVI, 1960, pp. 246-259.

BABBITT 1961

Milton Babbitt, *Set Structure as a Compositional Determinant*, «Journal of Music Theory», V, 1961, pp. 72-94.

BABBITT 1992

Milton Babbitt, *The Function of Set Structure in the Twelve-Tone System*, Tesi di dottorato, 1946, Princeton University.

CHRISMAN 1971

Richard Chrisman, *Identification and Correlation of Pitch-Sets*, «Journal of Music Theory», XV, 1971, pp. 58-83.

CLOUGH 1965

John Clough, *Pitch-Set Equivalence and Inclusion (A Comment on Forte's Theory of Set-Complexes)*, «Journal of Music Theory», IX/1, 1965, pp. 163-171.

FORTE 1964

Allen Forte, *A Theory of Set-Complexes for Music*, «Journal of Music Theory», VIII/2, 1964, pp. 136-183.

FORTE 1973

Allen Forte, *The Structure of Atonal Music*, New Haven, Yale University Press, 1973.

GIANNETTA 2019

Domenico Giannetta, *Elementi di armonia e contrappunto*, Firenze, Phasar, 2019.

GIANNETTA 2020

Domenico Giannetta, *Breve guida per l'analisi della musica post-tonale*, in *Quaderni di analisi*, vol. I: *Introduzione all'analisi della musica post-tonale* (a cura di Domenico Giannetta), Vibo Valentia, Edizioni del Conservatorio di Musica Fausto Torrefranca, 2020, pp. 3-60.

GIANNETTA 2023

Domenico Giannetta, *Tecniche per l'analisi della musica post-tonale*, Lucca, LIM, 2023.

HOWE 1965

Hubert S. Howe, *Some Combinatorial Properties of Pitch Structures*, «Perspectives of New Music», IV/1, 1965, pp. 45-61.

ISACOFF 2005

Stuart Isacoff, *Temperamento. Storia di un enigma musicale*, Torino, EDT, 2005.

LEWIN 1960

David Lewin, *The Intervallic Content of a Collection of Notes, Intervallic Relations between a Collection of Notes and its Complement: An Application to Schoenberg's Hexachordal Pieces*, «Journal of Music Theory», IV/1, 1960, pp. 98-101.

MAOR 2018

Eli Maor, *La musica dai numeri. Musica e matematica, da Pitagora a Schoenberg*, Torino, Codice, 2018.

MARTINO 1961

Donald Martino, *The Source Set and its Aggregate Formations*, «Journal of Music Theory», V/2, 1961, pp. 224-273.

MORRIS 1987

Robert D. Morris, *Composition with Pitch-Classes: A Theory of Compositional Design*, New Haven, Yale University Press, 1987.

MORRIS 1995

Robert D. Morris, *Equivalence and Similarity in Pitch and their Interaction with Pcset Theory*, «Journal of Music Theory», XXXIX/2, 1995, pp. 207-243.

PASTICCI 1995

Susanna Pasticci, *Teoria degli insiemi e analisi della musica post-tonale*, «Bollettino del GATM», II/1, 1995.

PASTICCI 2023

Susanna Pasticci, *Prefazione*, in GIANNETTA 2023, XV-XXV.

RAHN 1980

John Rahn, *Basic Atonal Theory*, New York, Longman, 1980.

SCHOENBERG 1982

Arnold Schoenberg, *Composizione con dodici note*, in Arnold Schoenberg, *Stile e idea*, Milano, Feltrinelli, 1982, pp. 105-140 [ed. orig.: *Style and Idea*, London, Faber and Faber, 1950].

SCHUIJER 2008

Michiel Schuijjer, *Analyzing Atonal Music. Pitch-Class Set Theory and Its Contexts*, Rochester, University of Rochester Press, 2008.

STRAUS 2016

Joseph N. Straus, *Introduction to Post-Tonal Theory*, New York, Norton, 2016 (quarta edizione riveduta e ampliata).

XENAKIS AL COMPUTER (1959-1994). IL COMPOSITORE E L'INFORMATICA MUSICALE NEL LORO TEMPO STORICO

AGOSTINO DI SCIPIO

*Il faut être constamment un immigré.*¹

Preludio

Il 18 ottobre 1991, alla Pollack Hall dell'Università McGill di Montreal, ebbi la fortuna di ascoltare la prima esecuzione di *Gendy301* di Iannis Xenakis (1922-2001), un brano musicale interamente generato mediante computer. Seppi in seguito che il ricorso a mezzi di calcolo elettronico era stato immaginato (solo immaginato) da Xenakis già nel 1959, per la lavorazione di un brano poco noto ma di grande interesse – e dal destino particolare – intitolato *Analogique B*.

Qui vorrei ricostruire le tappe che hanno segnato il rapporto di Xenakis coi mezzi informatici, richiamandone anche i principali elementi di contesto (di contesto biografico e storico-musicale, certo, ma in qualche misura anche storico-scientifico).

La produzione informatico-musicale di Xenakis è sicuramente esigua rispetto al corpus di musica cameristica e orchestrale, eppure mostra bene come egli abbia affrontato questa specifica frontiera creativa in modo ricorrente e approfondito, certamente più di altri compositori della sua generazione (nati negli anni Venti del Novecento). Per verificarlo occorre esaminare tracce materiali eterogenee, non solo partiture e registrazioni ma anche codici di programmazione, macchine e apparati multimediali, istituzioni, manoscritti, progetti grafici, libri... Alcune di queste tracce materiali hanno uno statuto molto particolare: vanno considerate “prodotti di ricerca artistica”, come si potrebbe direbbe oggi. Nell'insieme, esse hanno goduto e godono dell'attenzione di musicisti e di studiosi di tutto il mondo, come si evince da molteplici pubblicazioni su Xenakis “elettroacustico” o “informatico”.²

Ritengo che l'eredità di una figura come quella di Xenakis vada individuata, prim'ancora che nel valore estetico-musicale delle opere, in una più generale attitudine di libertà progettuale, in una sistematica tensione verso l'appropriazione o riappropriazione di mezzi, forme e contesti della propria pratica creativa. Un'attitudine che oggi – in una fase storica di ancor più radicale riconfigurazione

¹ Parole di Iannis Xenakis che fanno da titolo per una serie di interviste [Delalande 1997].

² Si vedano approfondimenti tematici [Di Scipio 1995, Solomos-Hoffmann 1998, Hoffmann 2001, Harley 2002, Di Scipio-Solomos 2023] e altri contributi raccolti in [Di Scipio 2004, Paland-Blumenroeder 2009, Solomos 2015, Weibel-Brümmer-Kanach 2020, Georgaki-Solomos 2022]. Per alcuni temi toccati in queste pagine, cfr. anche [Grintsch 2009].

tecnologica ed ecologica dell'esistente – assume senso speciale per chi si interroghi sull'attuale condizione (post)umana.³

Esordi. Elementi di contesto biografico

Tra 1946 e 1949 in Grecia imperversa la guerra civile, ricaduta regionale degli eventi bellici europei e mondiali degli anni precedenti. Dopo aver già vissuto la resistenza greca antifascista (1941), il giovane Xenakis è ora coinvolto in azioni di contrasto al protettorato inglese appena instaurato (dicembre 1944) e viene gravemente ferito al volto (1° gennaio 1945). Entrato in clandestinità, nel 1947 lascia il suo paese: attraversa lo Ionio, attraversa l'intera penisola italiana, si ferma brevemente a Torino, infine passa in Francia. Egli mira a proseguire verso gli Stati Uniti, seguendo un flusso migratorio che da tempo porta molti greci oltre Atlantico. Le circostanze però lo inducono a fermarsi a Parigi. In patria intanto viene condannato a morte per terrorismo politico (potrà tornare liberamente in Grecia solo nel 1974). Non sono elementi biografici trascurabili: se Xenakis sarà detto “profeta dell'insensibilità” [Kundera 1988] e se la sua musica sarà considerata strana e violenta (perfino “un male necessario”, secondo Pierre Boulez), ciò sarà anche perché – come scrive in altro contesto la filosofa Bruna Peyrot – «chi vive sulla sua pelle il totalitarismo non coltiva idee slegate dal corpo che ne subisce violenza fisica e psicologica» [Peyrot 2019, 16].

A Parigi il venticinquenne immigrato mette a frutto gli studi di ingegneria condotti prima della guerra: nel dicembre 1947 inizia a lavorare nell'atelier del celebre architetto franco-svizzero Le Corbusier (1887-1965), “archistar” dell'epoca e bandiera internazionale del modernismo artistico (figura 1). Nel 1949 si avvicina ad Arthur Honegger, tornando alla musica dopo studi privati intrapresi in Grecia undici anni prima. Secondo alcune ricostruzioni cerca anche, senza riuscirci, di accedere alle lezioni di Darius Milhaud [Harley 2001].

Gli incontri musicalmente più decisivi avvengono tempo dopo: prima con Olivier Messiaen (nel 1951), poi con Edgard Varèse, Pierre Schaeffer e Hermann Scherchen (tutti nel 1954). In particolare Scherchen, celebre direttore d'orchestra ma anche fondatore e responsabile del laboratorio sperimentale di ricerca elettroacustica e musicale di Gravesano (Ticino), sarà per Xenakis un mentore importante. Nel 1957 il giovane compositore e ingegnere-architetto è accolto da Schaeffer nei laboratori del GRM (Groupe de Recherche Musicale, presso l'ente radiotelevisivo nazionale francese ORTF, a Parigi). Al GRM – accanto all'inventore della “musica concreta” – agiscono varie figure interessanti, tra cui Abraham Moles, fisico e promotore della teoria dell'informazione. Occorre rammentare che la teoria dell'informazione (anche intesa come “teoria matematica della comunicazione”) riveste enorme centralità

³ Con “condizione (post)umana” si allude, deformatandolo, a un celebre titolo di Hanna Arendt (*La condizione umana*). E cioè, più in generale, alla profonda riconfigurazione antropologica ed ecologica che si accompagna all'impatto pervasivo delle tecnologie contemporanee [Braidotti-Bignall 2019, Braidotti 2022].

negli orizzonti di pensiero dell'epoca, diventando terreno decisivo per la celere generalizzazione della cibernetica quindi per le tecniche computazionali e le tecnoscienze che innervano in profondità le strutture sociali e psicologiche della modernità matura e della post-modernità.⁴



Figura 1: L'atelier dell'architetto Le Corbusier (in primo piano). Xenakis è il primo a sinistra.

In questi anni Xenakis sviluppa una personalità compositiva particolare, molto originale e anche difforme non solo rispetto all'eredità musicale storica, ma anche rispetto alle tendenze della musica contemporanea in quella fase. Messi da parte gli stilemi di tradizione popolare greca e balcanica delle primissime prove, Xenakis scrive presto pagine orchestrali già estremamente rappresentative: *Metastaseis* (1953-54), *Pithoprakta* (1955-56) e *Achorripsis* (1957).

Per *Metastaseis* si serve di schemi grafici e di loro semplici trasformazioni nello spazio altezza/tempo – quasi il riflesso diretto del suo impegno di ingegnere e

⁴ Nei suoi primi scritti Xenakis cita il fondamentale *The Mathematical Theory of Communication* [Shannon-Weaver 1949].

architetto (figura 2).⁵ Per *Pithoprakta* e *Achorripsis* elabora i procedimenti compositivi della “musica stocastica”, cioè di una musica costruita secondo leggi e funzioni probabilistiche, con tutto un armamentario di formalismi matematici tipici della termodinamica e delle scienze statistiche (e limitrofi alle basi stesse della teoria dell’informazione). Procedimenti simili sono applicati anche in passaggi della sua prima opera elettroacustica, *Diamorphoses* (1957), realizzata al GRM.

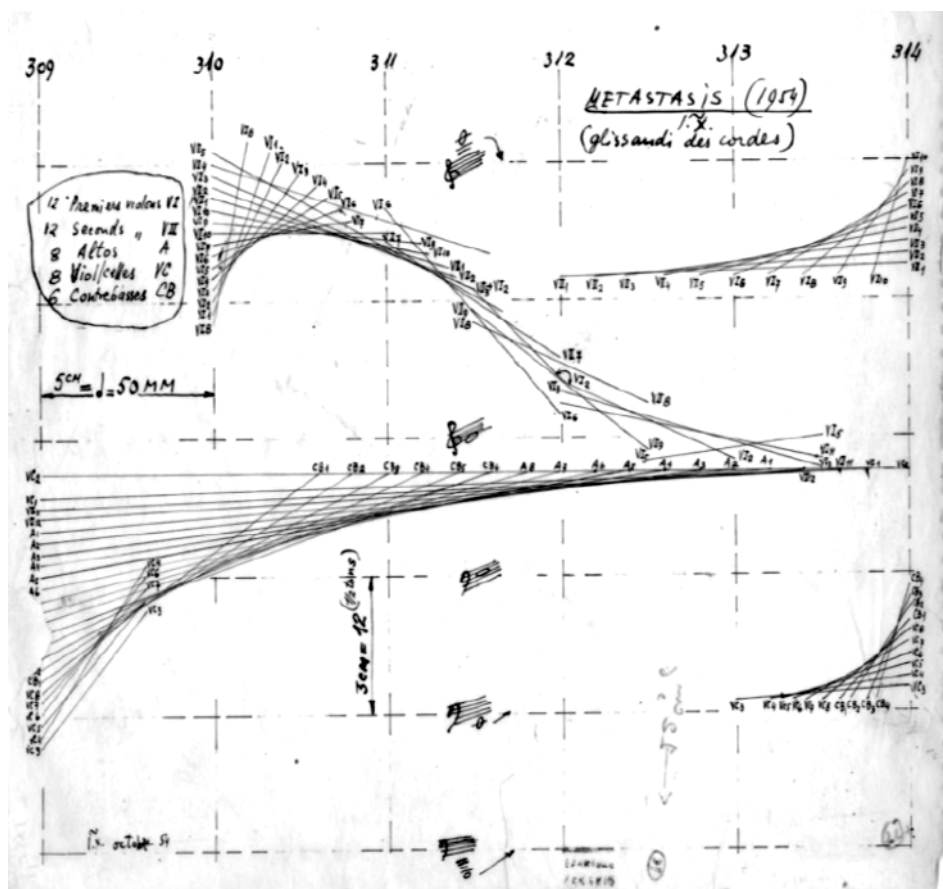


Figura 2: Bozza manoscritta di una parte di *Metastaseis* (Bibliothèque Nationale de France)

⁵ Fa eccezione la seconda parte di *Metastaseis*, che segue criteri di composizione seriale simili a quelli adottati da molti coetanei di Xenakis (alludo a Pierre Boulez, Karlheinz Stockhausen, Bruno Maderna e molti altri). La parte seriale di *Metastaseis* rimane un caso pressoché unico nell’opera complessiva di Xenakis, il quale già a metà degli anni Cinquanta intitola il suo primo contributo teorico-musicale *La crisi della musica seriale* [Xenakis 1955].

Formalizzazione musicale e progettazione del suono

Xenakis frequenta il GRM fino al 1962, impegnandosi in progetti personali e collettivi. Ha scambi proficui con Moles e coi compositori François Bernard Mâche e Michel Philippot. Di quest'ultimo, in particolare, condivide una certa inclinazione auto-riflessiva, una propensione a ragionare sul processo creativo come pratica progettuale che si esplica secondo ipotesi, modelli, piani di verifica e di revisione. Ciò lo porta a pensare la pratica di composizione mediante modelli formalizzabili, compiutamente descritti da funzioni e condizioni note, insomma mediante "algoritmi" riassumibili anche come *flow charts* o "diagrammi di flusso" (figura 3) [Xenakis 1963, 33-34].

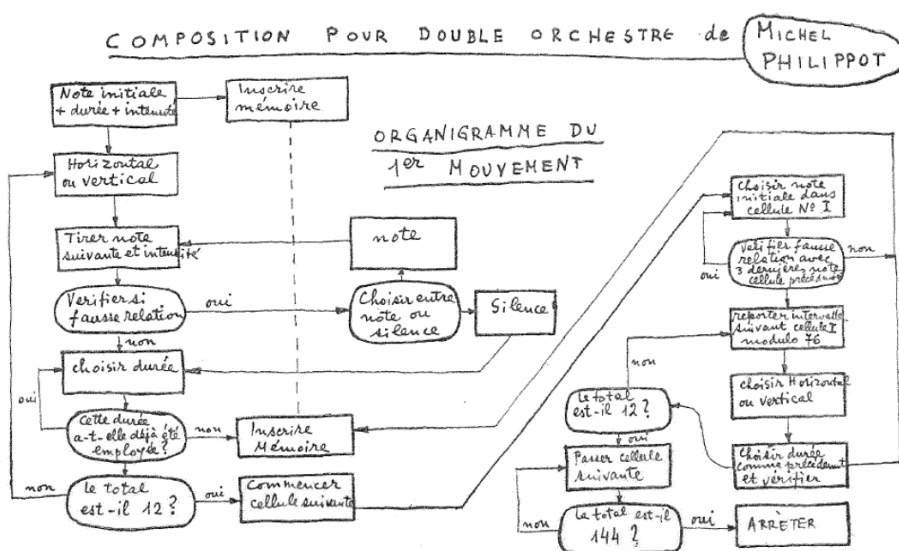


Figura 3: Diagramma di flusso per Michel Philippot, *Composition pour double orchestre* (1959), ripreso in [Xenakis 1963]

In questi anni il compositore si trova talvolta a operare anche in altri laboratori musicali. La densa e graffiante texture sonora di *Concret PH*, fatta del crepitio di braci ardenti, viene forgiata nei primi mesi del 1958 allo studio DMS (*Diffusion Magnétique Sonore*, di proprietà del ramo francese dell'azienda olandese Philips). Alcuni mesi dopo, le "nuvole sonore" di *Analogique B* sono abbozzate nel laboratorio di Scherchen a Gravesano. Entrambi i lavori conosceranno ritocchi e revisioni più o meno importanti negli studi del GRM. Sono due lavori tra loro molto diversi, accomunati però da un linguaggio inedito, con agglomerati di micro-eventi sonori a densità variabile, con strati sonori sovrapposti e screziati, ricchi di minuscoli dettagli cangianti, gestiti con relativa semplicità di gesto formale.

Concret PH nasce come breve "interludio" all'interno della grande installazione multimediale del *Poème électronique*, ideata da Le Corbusier per il padiglione

Philips all'Expo 1958 di Bruxelles, su disegno architettonico dello stesso Xenakis (figura 4), con musica elettronica di Edgard Varèse e immagini di Jean Petit e Philippe Agostini. Nell'occasione i tecnici Philips predispongono complicati apparati elettro-meccanici per il controllo automatizzato dei mezzi di proiezione di luci e di immagini fotografiche, sincronizzati ai mezzi di riproduzione del suono da magnetofono (con diffusione su più di quattrocento piccoli altoparlanti raccolti in ventisette gruppi, irregolarmente disposti lungo le pareti curve del padiglione, all'interno). Xenakis ha così modo di osservare come tutti gli apparati siano fra loro interdipendenti e predisposti per operare in autonomia nelle ore di apertura dell'installazione, ogni giorno per diversi mesi (da maggio a ottobre 1958): tutto lo spettacolo è in qualche modo “programmato” con mezzi elettromeccanici asserviti l'uno all'altro secondo un particolare piano d'azione.



Figura 4: Il Padiglione Philips all'Expo di Bruxelles (1958), fotografia di Wouter Hagens

La lavorazione di *Analogique B* ha altri spunti d'interesse. Alla base c'è l'ipotesi teorica che ogni suono sia rappresentabile come agglomerato di innumerevoli puntini o “grani” di energia acustica, ciascuno avente propria frequenza, intensità e durata (nell'ordine dei centesimi di secondo). Le “nuvole sonore” che Xenakis intende realizzare sono infatti trame più o meno fitte di minuscole particelle sonore. Gli

espedienti tecnici messi in campo a tal fine possono essere visti come una tecnica di sintesi del suono a base di *quanta* sonori; anni dopo sarebbero stati considerati una forma antesignana di “sintesi granulare del suono” [Roads 1978, Truax 1988].

Qui occorre tralasciare gli aspetti tecnici ed epistemologici di una concezione “quantistica” del suono, che in effetti era stata elaborata a fine anni Quaranta dall’ingegnere e fisico anglo-ungherese Dennis Gabor.⁶ Neppure possiamo guardare al retroterra teorico-matematico dei procedimenti probabilistici di Xenakis.⁷ Ci preme evidenziare, invece, che il tentativo di realizzare una forma di sintesi granulare non può che costituire, nel 1959, un compito davvero improbo. Sia perché ovviamente i mezzi analogici praticabili in studio sono al tempo ancora inadeguati; sia perché Xenakis intende gestire il tutto con procedimenti stocastici (peraltro sviluppati a mano, solo con l’ausilio di una calcolatrice da tavolo). Grazie ad alcune brillanti soluzioni di montaggio su nastro magnetico, egli riesce a semplificarsi un poco le cose, giungendo a produrre trame granulari a densità più o meno elevata (da pochi grani al secondo a circa 300 grani al secondo). Le trame ottenute riflettono otto differenti tipologie di distribuzione statistica dei parametri frequenza, ampiezza, densità (se ne osserva uno schizzo manoscritto, in forma di notazione musicale, in figura 5). La successione temporale delle trame è gestita con meccanismi probabilistici del tipo “catena di Markov” (il compositore parla di “musica stocastica markoviana”).⁸ Nel volume che raccoglie i suoi primi scritti (*Musiques Formelles*, 1963), Xenakis si sofferma a lungo su tali aspetti. Osservando bene le fonti documentali,⁹ questi meccanismi markoviani sembrano quasi ricalcati da quelli illustrati tempo prima dal celebre Claude Shannon – ingegnere statunitense, tra le principali figure della teoria dell’informazione – lavorando su semplici modelli statistici del linguaggio naturale [Shannon 1948] (figura 6).

⁶ Xenakis apprese della “teoria dei quanti acustici” [Gabor 1947] proprio mentre lavorava su *Analogique B*, forse da Abraham Moles e sicuramente dalle ricerche del fisico e ingegnere tedesco Werner Meyer-Eppler (fondatore dello Studio di Musica Elettronica della WDR di Colonia nel 1951, figura importante per Karlheinz Stockhausen e altri). Sull’impatto della teoria di Gabor sulle tecnologie del suono mi permetto di rinviare a [Di Scipio 2016]. Ricordiamo che Dennis Gabor va annoverato tra i grandi pionieri della teoria dell’informazione e delle comunicazioni elettroniche, e che avrebbe in seguito ricevuto il premio Nobel 1971 per le sue ricerche sulle tecniche di olografia.

⁷ Per un’ampia trattazione informata sul piano storico-scientifico ed epistemologico si veda [Orcalli 1993].

⁸ Gli odierni algoritmi di Intelligenza Artificiale sfruttano forme di analisi statistica del tipo “catena di Markov”, ma applicate su enormi database dinamici. Per un quadro delle applicazioni di modelli markoviani in musica, cfr. [Nierhaus 2009, 69-81].

⁹ Tra le quali i manoscritti presenti all’Archivio Xenakis della Bibliothèque Nationale de France, per l’accesso ai quali devo ringraziare Makis Solomos.

Emmanuelle
Étude de 26/5/149
magnétique

ANALOGIQUE "B"

Musique électromagnétique à base de sons sinusoïdaux faite par I. XENAKIS
 Durée environ 2 min. 40 sec. 1959

Dédiée à Olivier MESSIAEN

La partition est constituée par une alternance (issue d'un processus en chaîne Markovien) de huit figures sonores de base (voir ci-dessous) désignées par les lettres A, B, C, D, E, F, G, H. Ces figures sonores se composent de superpositions de tremolos qui ont une signification spéciale définie comme suit: sont exécutées les notes de la gamme chromatique comprise entre les deux notes extrêmes.

Les notes de la gamme chromatique seront exécutées en ordre dispersé (avec répétitions éventuelles) et choisies d'une manière aléatoire. La vélocité (densité) du jeu est indiquée par la valeur temporelle qui relie les deux notes extrêmes. Exemple d'exécution:

Sans
 qui peut également être exécuté: ou bien ou bien etc...
 ou bien ou bien etc...

Pour la clarté de cette partition nous remplaçons la notation musicale des huit figures sonores par les lettres A, B, C, D, E, F, G, H, qui les désignent. Nous conservons toutefois les bords de mesure avec leur numéro d'ordre.

$\text{♩} = 120 \text{ MM}$

A B C D

E F G H

XENAKIS

Figura 5: Bozza manoscritta per *Analogique B* (Bibliothèque Nationale de France)

Xenakis, *Musique Formelle* (1963), p.119

D'après ce qui précède, l'état à l'équilibre E sera exprimé par une suite de trames telles que :

Protocole E (Z)

ADFFECBDBCFEFADGCHCCHBEDFEFFECFEHBFFF
 BCHDBABADDBADADAHHBGADGAHDADGFBEBGABEBB...

Shannon, *A mathematical theory of communication* (1948), p.385-386

Suppose we have five letters A, B, C, D, E which are chosen each with probability .2, successive choices being independent. This would lead to a sequence of which the following is a typical example.

B D C B C E C C C A D C B D D A A E C E E A
 A B B D A E E C A C E E B A E E C B C E A D

Using the same five letters let the probabilities be .4, .1, .2, .2, .1 respectively, with successive choices independent. A typical message from this source is then:

A A A C D C B D C E A A D A D A C E D A
 E A D C A B E D A D D C E C A A A A A D

Figura 6: Confronto tra i “protocolli” di trame granulari prodotti da Xenakis per *Analogique B* (in alto) e le sequenze di lettere prodotte da Claude Shannon secondo l’analisi statistica di campioni del linguaggio inglese comune (in basso)

Nonostante gli sforzi, le difficoltà della lavorazione tecnica per *Analogique B* restano notevoli e Xenakis prende atto, alla fine, che i risultati non sono proprio soddisfacenti. Decide allora di riciclare il materiale sonoro prodotto e di farne la parte elettronica di *Analogique A et B* (per nove archi e nastro magnetico quadrifonico, 1958-59). Per la partitura di *Analogique A*, alcuni mesi prima, egli aveva usato processi in tutto simili a quelli di *Analogique B*, ma finalizzati ad articolare il gioco delle nove parti strumentali.¹⁰ La decisione di sovrapporre i due lavori ha un suo importante plusvalore: con essa, uno stesso nucleo di criteri costruttivi viene reso esperibile e confrontabile all’ascolto sia come gesto musicale (parti strumentali), sia come pulviscolo sonoro alquanto magmatico e “gassoso” (suoni su nastro magnetico). Insomma, da un unico nucleo teorico-generativo prendono forma fenomenologie musicali diverse. È un esito significativo, frutto di un emblematico misto di intuizione e calcolo [Di Scipio 2003].

¹⁰ Nell’insieme, i processi compositivi di *Analogique A et B* sono stati analizzati e discussi in [Orcalli 1993, Di Scipio 2006, Di Scipio 2015] e sono stati modellati e in parte anche implementati in software in [Hagan 2005, Arcella-Silvestri 2015].

Una soglia critica

Le difficoltà di *Analogique B* sono per Xenakis una vera e propria soglia critica. Egli comprende che la formalizzazione di modelli compositivi richiede un'operatività diversa, da pensare come concreta automazione dei vari processi. Nel 1960, descrivendo le differenti fasi compositive di *Analogique B*, Xenakis immagina di ricorrere al computer – cioè a mezzi che al tempo sono ancora pienamente connotati come “calcolatori elettronici”, e ai quali egli non può ancora accedere. Egli scrive: «i grani andrebbero realizzati a partire da forme d'onda debitamente programmate seguendo la teoria di Gabor, accoppiando al calcolatore un convertitore di segnale numerico-analogico» [Xenakis 1963, 72]. Servirebbe poi «un secondo programma» per organizzare grandi quantità di grani sonori» [*Ibid.*].

Questo passaggio, molto conciso, implica in realtà un impegno di ricerca davvero notevole, che possiamo così riassumere:

- sintesi del suono – il modello granulare va implementato come un programma per computer, ma a quel fine servono anche dispositivi atti a convertire il segnale digitale (computer) in segnale analogico (altoparlanti). In quel momento storico, nessuno in Europa dispone di sistemi del genere, ne sono dotati solo pochissimi centri di ricerca negli Stati Uniti;
- sintesi della partitura (“composizione algoritmica”) – l'articolazione dei suoni nel tempo va a sua volta codificata in un programma di livello più astratto, che produca i dati da passare in ingresso al programma per la sintesi del suono;
- entrambi i programmi dovranno implementare funzioni probabilistiche.

Notiamo che “sintesi del suono” e “composizione algoritmica” sono due ambiti generali dell'informatica musicale (un terzo, non pertinente in questo contesto, è l'uso di mezzi computazionali a fini performativi). Di solito i due ambiti presentano problematiche distinte e vengono trattati in modo separato, benché debbano poi entrare in relazione, nella concreta pratica compositiva. Anni dopo, lo stesso Xenakis li avrebbe trattati separatamente; ma, come vediamo, nel 1959 egli li concepisce come parti di un unico sistema multi-livello. E peraltro ciò accade proprio nel momento di immaginare il ricorso al computer. Vedremo che Xenakis realizzerà finalmente questa simbiosi di sintesi del suono (micro-composizione) e gesto formale (macro-composizione) solo trent'anni più tardi.

Elementi di contesto storico-informatico

Cosa si intende per “computer”, in questo contesto di discorso? Che significa “calcolatore elettronico” a fine anni Cinquanta? Parliamo di una tipologia di sistemi di calcolo detti *mainframe*, mastodontici apparati dotati di un'unità centrale di processamento (CPU), di vari dispositivi di memoria a breve e lungo termine (su particolari nastri magnetici, di solito) e di molteplici terminali (ogni terminale

implica l'accesso di un utente diverso). Sono dunque generiche “macchine di von Neumann” che si presentano fisicamente come un insieme di diverse apparecchiature collocate in una o più stanze spaziose (molte decine di metri quadrati), tra loro collegate da un reticolo di cavi (*bus*) che trasportano e smistano dati. Alle operazioni della CPU accedono vari utenti terminali “simultaneamente”, o meglio a turno ma in rapidissima sequenza (si parla di *time sharing*, ovvero di condivisione di tempo).¹¹

Non possiamo soffermarci su dispositivi di calcolo così differenti dagli attuali da apparire incomprensibili. Va detto però che quei pachidermi informatici – di così complicata gestione e così costosi da essere installati solo in grandi centri di ricerca privati e pubblici, oppure nelle più facoltose sedi universitarie – erano macchine sufficientemente generali e programmabili da sollecitare applicazioni in tanti campi diversi. Capita pertanto che, a metà anni Cinquanta, Lejaren Hiller e Leonard Isaacson programmino il computer ILLIAC (*Illinois Automatic Computer*, una macchina in funzione dal 1952 all'Università dell'Illinois di Urbana-Champaign, costituita da 2800 valvole elettroniche, con una memoria RAM di “ben” 5 Kbyte e una memoria di massa di “ben” 64 Kbyte, dal peso complessivo di cinque tonnellate...) e ne ricavano lunghe stringhe di numeri che, tradotti manualmente e pazientemente su pentagramma, diventano nel 1957 un quartetto d'archi in quattro movimenti intitolato *ILLIAC Suite* (figura 7).

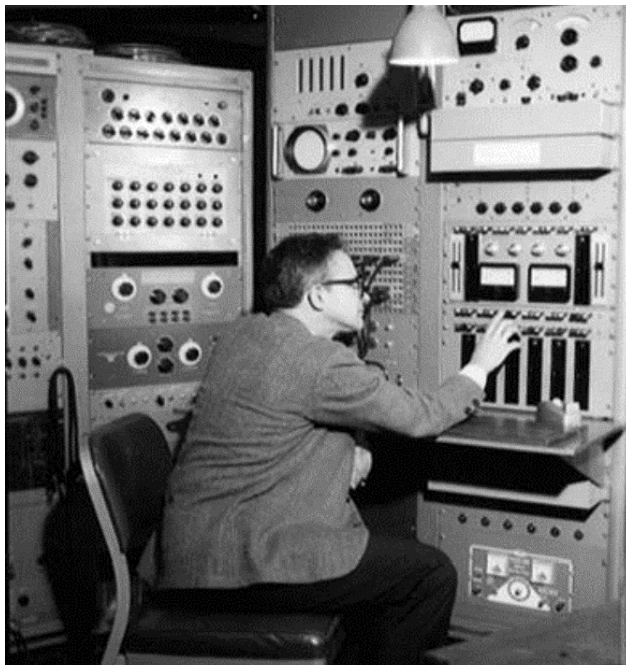


Figura 7: Lejaren Hiller al computer ILLIAC dell'Università di Illinois, Urbana-Champaign

¹¹ In contesti informatici successivi si sarebbe parlato di *multi-tasking*, ma con implicazioni di senso diverso.

È il primo esempio di “musica algoritmica” nel senso stretto di “composta con algoritmi operanti su computer”. È qualcosa di complessivamente piuttosto scolastico, ma con aspetti interessanti soprattutto in certi passaggi ottenuti mediante funzioni probabilistiche e processi stocastici markoviani. Tutto lo sforzo viene descritto in *Experimental Music. Composing with an Electronic Computer* [Hiller-Isaacson 1959], un libro che destò molta curiosità ma che fu reputato d’interesse più musicologico che creativo-compositivo, nel senso che rispecchiava per lo più l’analisi statistica di repertori musicali stilisticamente molto semplici.

In quegli anni vi furono varie iniziative simili, messe in campo più spesso per curiosità che per serie motivazioni musicali o musicologiche. Già intorno al 1950, John Pierce (padre delle comunicazioni satellitari) ed Elisabeth Potter Shannon (moglie di Claude) si erano divertiti a codificare sequenze di accordi musicali utilizzando a loro volta funzioni stocastiche, sui computer dei laboratori Bell (nel New Jersey, non lontano da New York).¹² Ma il lavoro di Hiller e Isaacson fu senza dubbio il più sistematico e fertile. Tra l’altro fu descritto, nel 1959, in un articolo pubblicato dal quotidiano francese *Le Figaro*. Non è dato sapere se Xenakis lo abbia letto, ma sappiamo che scrivendo di “musica stocastica al computer” egli cita debitamente il libro di Hiller e Isaacson [Xenakis 1963, 166]. Sappiamo poi che proprio nel 1959 il compositore francese Pierre Barbaud fonda a Parigi il GMAP (*Groupe de Musique Algorithmique de Paris*) col supporto della Compagnie des Machines Bull (principale costruttore di computer *mainframe* in Francia). L’anno dopo Barbaud usa il computer Bull Gamma 3 (figura 8) per comporre *Factorielle 7*, musica per ensemble da camera eseguita al Festival de la Recherche organizzato da Pierre Schaeffer. Xenakis è al corrente delle iniziative di Barbaud [Xenakis 1963, 165] già prima che questi descriva pubblicamente i propri sforzi [Barbaud 1965 e 1969, Viel 2007].

¹² Una descrizione di quegli esperimenti è poi apparsa in [Pierce 1961]. Per altri casi “preistorici” di composizione algoritmica e automatizzata si veda [Nierhaus 2009, Ariza 2011] e il breve quadro riassuntivo in [Di Scipio 2021, 367-373].



Figura 8: Computer Bull Gamma 3 (ca. 1959)

Nel maggio del 1957 Max Mathews e Newman Guttman, dei laboratori Bell, avevano programmato un *mainframe* IBM 704 (figura 9) per generare segnali audio-numeric. Il programma, indicato come MUSIC I, non offriva praticamente nulla in termini di controllo del suono e di gestione musicale. Ma era pur sempre la prima volta in assoluto che un calcolatore produceva sequenze numeriche equivalenti a segnali sonori – la prima vera “sintesi digitale del suono”! Decisiva era stata la disponibilità di sistemi di conversione digitale-analogico (DA).¹³ Le ricerche di Mathews sarebbero presto diventate un riferimento fondamentale per gli sviluppi dell’informatica musicale e delle tecnologie audio digitali. Intanto però iniziavano a destare curiosità nella comunità musicale: il 26 aprile 1959 un breve segmento musicale composto da Guttman viene ascoltato al Greenwich Village di New York in un concerto presentato da Edgard Varèse e John Cage.¹⁴

¹³ Certe iniziative precedenti – come quelle dovute al team di Alan Turing a Manchester (1950) oppure ai tecnici e ricercatori del *Council for Scientific and Industrial Research* di Sidney (1951) – non vengono considerate come esempi di vera e propria sintesi digitale del suono, essendo legate al controllo diretto da parte dei registri del computer di appositi “cicalini” elettromeccanici (*buzzer* elettrici). Almeno fino alla fine degli anni Sessanta, la disponibilità di convertitori DA sufficientemente performanti (e ancor più quella di convertitori AD) sarebbe stata appannaggio di un pugno di laboratori universitari e centri di ricerca statunitensi. Ai laboratori Bell seguiranno le Università di Princeton, Stanford e Urbana-Champaign.

¹⁴ Nel concerto furono ascoltati anche *Poème électronique* di Varèse e lavori su nastro magnetico di John Cage e di Richard Maxfield, oltre ad alcune pagine di musica strumentale da camera di Cage,



Figura 9: Computer IBM 704, Bell Labs (1957)

La svolta si avrà l'anno successivo, con MUSIC III, non più un programma ma “un programma per scrivere programmi”, ovvero un “linguaggio di programmazione” (“compilatore”) per la sintesi del suono e la composizione al computer, operante su IBM 7094 – uno dei primi computer con elettronica transistorizzata, non più valvolare! È appunto con MUSIC III che le possibilità della sintesi digitale sollevano l'interesse di vari giovani compositori, come per esempio il canadese James Tenney (1934-2006) e il francese Jean-Claude Risset (1938-2016), che saranno entrambi attivi accanto a Mathews ai Bell labs negli anni successivi.¹⁵

Nel 1960, in un convegno a Gravesano, Guttman fa ascoltare alcuni esempi sonori sintetizzati insieme a Mathews: è verosimilmente la prima volta che si ascoltano suoni generati mediante computer in Europa. Xenakis in quel periodo è una presenza abituale a Gravesano, ma non è dato sapere se sia stato presente. Sappiamo che nei suoi primi scritti cita il lavoro portato avanti ai Bell labs [Xenakis 1963, 165] ma anche che in seguito, pur apprezzandolo, *non* lo farà mai proprio.

Earle Brown e Morton Feldman (qualche dettaglio in una lettera del 30 aprile 1959 di John Cage a Luciano Berio, in [Kuhn 2016, 202]).

¹⁵ Al tempo Risset era un giovane pianista e laureando in fisica all'Università di Marsiglia. Dopo essersi affacciato brevemente al GRM di Parigi, decise di proseguire i suoi studi ai laboratori Bell con Max Mathews. Dalla collaborazione prese forma un percorso decisivo per la sintesi digitale del suono e per l'informatica musicale in genere, culminante nella creazione di MUSIC V a fine anni 1960 (un vero e proprio standard di programmazione per l'audio, per almeno tre decenni). Per una ricostruzione dello sviluppo dei sistemi MUSIC di Mathews, cfr. [Di Nunzio 2009].

Sviluppi: musica stocastica mediante computer

Come detto, in Europa negli anni Sessanta non ci sono convertitori di segnale digitale-analogico: ogni ipotesi circa l'utilizzo del computer in musica deve prendere la strada della composizione algoritmica, cioè della "sintesi della partitura", come talvolta si diceva al tempo.

Il 9 gennaio 1962 Xenakis accede al "nuovissimo" *mainframe* 7090 della IBM di Parigi (32 Kb di memoria, 400 kHz di velocità di calcolo) (figura 10). Vi fa girare un programma da lui stesso scritto in linguaggio FORTRAN II ricalcando le operazioni che aveva svolto a mano per suoi precedenti lavori orchestrali di musica stocastica, in particolare *Achorripsis*.

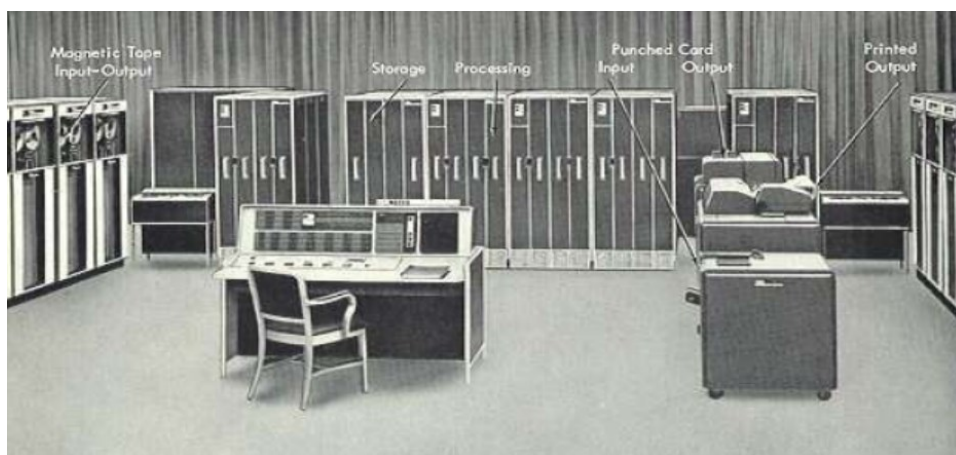


Figura 10: Computer IBM 7090 (da una brochure dell'epoca)

Ottiene così dal computer un corpus di dati da cui – con innumerevoli aggiustamenti o adattamenti empirici – trae la partitura di *ST/4* per quartetto d'archi (figura 11) e altre pagine strumentali (per esempio *ST/10* per ensemble da camera e *ST/48* per un'orchestra di quarantotto elementi). Il 24 maggio 1962 la sede IBM di Parigi apre le porte al pubblico invitato all'esecuzione di *ST/10* (figura 12). Negli scritti in cui descrive il programma ST, Xenakis pubblica anche il codice del programma stesso [*Ibid.*, 175 e 177]. Dovremmo considerarlo un caso davvero antesignano di codice *open source*!

L'IBM 7090 utilizzato da Xenakis in quella occasione era stato installato nel luglio del 1961, per conto del *Centre de Calcul Scientifique Européen* di Parigi. Al tempo ne esistevano una ventina di esemplari negli Stati Uniti. Tra 1963 e 1964 ne sarebbe stato installato uno anche al Centro Nazionale Universitario per il Calcolo Elettronico (CNUCE) di Pisa [Bonfanti 2012]. Fu uno dei primi "cervelli elettronici" – come si usava dire – noti al grande pubblico e compare in alcune scene del film *Dottor Stranamore* di Stanley Kubrick, del 1964 (figura 13).

$\text{♩} = 60\text{MM en moyenne}$

IANNIS XENAKIS
(1922-)

J.W.4

1^{er} Violon

2^d Violon

Alto

Violoncello

Figura 11. Prima pagina di ST/04 (1962)

IBM
FRANCE

*La direction d'IBM France,
et Monsieur Iannis Xenakis, compositeur,
prient _____
de bien vouloir assister à la présentation et à
l'audition d'une œuvre de musique stochastique
instrumentale, qui aura lieu le 24 mai, à 18 h. 15,
au siège d'IBM France, 5 place Vendôme.*

R.S.V.P. 5, place Vendôme

Figura 12: Invito al concerto del 24 maggio 1962, presso la sede della IBM di Parigi



Figura 13. L'attore Peter Sellers alle prese con l'IBM 7090 nel film di Stanley Kubrik *Dr. Strangelove* (Dottor Stranamore), 1964

La collaborazione di Xenakis con l'IBM di Parigi non ha sviluppi ulteriori, ma negli anni seguenti porta ad associare il suo nome a quello di altri pionieri della composizione computerizzata. Oltre al già citato Barbaud, vanno ricordati almeno Pietro Grossi (attivo prima all'Università di Firenze, poi al CNUCE di Pisa) e due "reduci" dello Studio di Musica Elettronica della WDR di Colonia come Gottfried Michael Koenig (che studia informatica a Bonn nel 1961 prima di spostarsi in Olanda, dove collabora con Electrologica – principale costruttore di calcolatori in quell'area tra 1956 e 1968 – e dove infine diventa direttore dell'Istituto di Sonologia di Utrecht, nel 1963) ed Herbert Brün (che nel 1964 si trasferisce negli Stati Uniti, all'Università di Urbana-Champaign, dove collabora con Lejaren Hiller e Robert Baker allo sviluppo del sistema MUSICOMP su IBM 7090 [Baker 1963]).

Va osservato che, forse proprio avendo ormai individuato nel computer il medium più congeniale alle istanze teorico-compositive perseguite fino a quel momento, in realtà Xenakis negli anni Sessanta allarga il proprio campo d'azione in molteplici direzioni: la sua produzione compositiva perde la connotazione di "musica stocastica" o comunque composta secondo criteri probabilistici. Da un lato, Xenakis sperimenta modelli formali ma gestibili in modi più empirici e diretti,¹⁶ dall'altro, si apre al teatro greco antico (a partire da *Polla ta dhina*, del 1962, per coro di bambini e orchestra, da Sofocle, su commissione di Scherchen) e allo stesso tempo mira a nuove forme multimediali (a partire da *Polytope de Montreal*, 1967).

¹⁶ Per esempio operazioni di logica Booleana (*Herma*, per pianoforte, 1962), gruppi di trasformazioni geometriche (*Nomos Alpha*, per violoncello, 1964), oppure la cosiddetta "teoria dei setacci" (a partire dal 1963 [Exharchos 2007]).

Sviluppi: alla ricerca del “suono stocastico”

Xenakis deve attendere fino al 1971 per disporre di un convertitore digitale-analogico e riprendere l'idea di creare suoni con metodi stocastici. Quel primo convertitore gli è fornito – anzi gli viene appositamente costruito, non senza grandi difficoltà – dai dirigenti e dai tecnici dell'Università di Bloomington (Indiana), dove il compositore insegna più o meno regolarmente per qualche anno (1967-1972) e dove prova ad attivare il CMAM (*Centre for Mathematical and Automated Music*), con relativa fortuna [Turner 2014].

A Bloomington, con l'aiuto di studenti e assistenti, Xenakis riprende il programma ST che aveva scritto nel 1962. Nell'estate 1968 Wilson Allen riscrive il programma in FORTRAN VI per un *mainframe* Control Data 3600 del centro di calcolo dell'Università. Tempo dopo il programma viene probabilmente perfezionato da Yuji Takahashi (compositore e collaboratore di Xenakis a Bloomington, fratello del pianista Aki Takahashi). Un altro assistente, Bruce Rogers, ne prepara la documentazione. Il programma viene ora chiamato STOCHOS. In un primo momento, Xenakis non può far altro che inviare i dati in uscita dal programma ai *plotter* dell'Università, producendo un insieme di grafici ondulati da considerare come segnali sonori di struttura stocastica. Idealmente si tratta di “sintesi stocastica del suono”. Poiché il convertitore promesso dall'Università non è ancora pronto, tuttavia, Xenakis deve contentarsi di stampare questi tracciati grafici senza tradurli in suono! Alcuni di tali esempi grafici, insieme al codice stesso di STOCHOS, sono pubblicati in *Formalized Music* [Xenakis 1971] nelle pagine dedicate a “nuove proposte nella microstruttura del suono” (figure 14, 15 e 16).

In quegli anni, la costruzione di un sistema di conversione digitale-analogico ha costi impegnativi, nell'ordine delle decine di migliaia di dollari. Oltre a queste risorse, per il convertitore di Bloomington vengono messi in campo sforzi importanti che coinvolgono anche aziende esterne all'università (tra cui Ampex). Quando nel gennaio 1971 il convertitore viene reso operativo (8 bit di quantizzazione e 25 kHz di frequenza di campionamento), presenta ancora problemi che ne ritardano l'effettiva utilizzabilità. Entra davvero in funzione solo nella primavera del 1972. Così finalmente Xenakis riesce ad ascoltare gli esiti dei suoi esperimenti. Cosa fa, esattamente? Utilizza STOCHOS per produrre campioni digitali da convertire in segnale analogico. Questo significa, in pratica, che gli algoritmi adoperati dieci anni prima per comporre brani strumentali (col computer IBM di Parigi) sono ora utilizzati per generare segnali audio! Gli esiti (ascoltabili in registrazioni conservate all'Archivio Xenakis della Bibliothèque Nationale de France) sono per lo più sonorità statiche di spettro molto ricco, tendenzialmente prive di strutture armoniche – fasce di “rumore modulato” o di “rumore colorato”, si potrebbe dire.

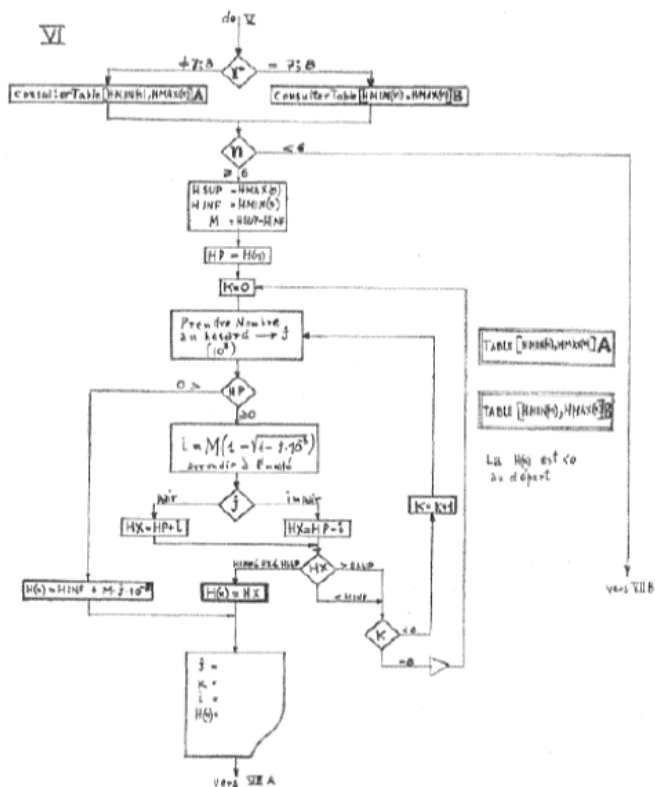


Figura 14: Diagramma di flusso del programma ST, sesta sezione (*Musiques Formelles*, 1963, p. 168)

La sintesi del suono qui dunque non è che un procedimento compositivo operato a scala dei campioni audio digitali. Xenakis parla infatti di “micro-composizione”.¹⁷ Questo approccio al suono esula da standard ingegneristici e informatici attendibili: al confronto con le tecniche di sintesi più note e adoperate (sintesi additiva, sottrattiva, per modulazione di frequenza, ecc.), si tratta di una tecnica del tutto arbitraria, rispondente a scelte individuali e non generalizzabili. Tra anni Sessanta e Settanta, anche Koenig, Brün e altri sperimentano forme di sintesi altrettanto personali. Nell’insieme, si sarebbe parlato di metodi di “sintesi non-standard” [Holtzman 1979].

¹⁷ Questi e altri spunti sugli esperimenti con la sintesi del suono da parte di Xenakis, riflettono uno studio più ampio e articolato che qui non posso riassumere [Di Scipio 1997, 2009 e 2022]. Su tecniche e strategie di “micro-composizione” nella musica elettroacustica più in generale, cfr. [Di Scipio 1994, Roads 2001].

```

      PROGRAMME XENAKIS STOCHASTIC MUSIC
                                                    9/01/62
C
C   READ CONSTANTS AND TABLES
C   DIMENSION Q(12),S(12),E(12,12),PN(12,50),SPN(12,50),NT(12),
C   IHMIN(12,50),HMAX(12,50),HBMIN(12,50),HBMAX(12,50),GN(12,50),HI(12
C   2,50),TEYA(250),VIGL(13),MOD(17),Z1(6),Z2(6),ALFA(13),AMAX(12)
C
C   I=1
C   DO 36 IX=1,7
C   IX=0-IX
C   MOD(IX*8)=I
C   I=I+1
C   36 CONTINUE
C
C   READ INPUT TAPE 5,114,(TEYA(I),I=1,250)
C   READ INPUT TAPE 5,113,(Z1(I),Z2(I),I=1,6)
C
C   3000 READ INPUT TAPE 5,110,DELTA,V3,A10,A20,A17,A30,A35,BF,SQPI,EPSI,VI
C   ITLIM,ALEA,ALIM
C   READ INPUT TAPE 5,109,KT1,KT2,KM KNL,KTR,KTE,KR1,GTNA,GTNS,(NT(I),
C   I)=1,KTR)
C   READ INPUT TAPE 5,115,KTESTS,KTEST1,KTEST2
C
C   IF (KTESTS)2000,2001,2000
C   2000 PRINT 110
C   2001 K=KTE-1
C   A10=A10+SQPI
C   A20=A20+SQPI/R
C   A30=A30+SQPI
C   DO 92 I=1,KTR
C   Y=0.
C   KTS=NT(I)
C   READ INPUT TAPE 5,112,(IHMIN(I,J),HMAX(I,J),HBMIN(I,J),HBMAX(I,J)
C   I,GN(I,J),PN(I,J),J=1,KTS)
C   DO 95 J=1,KTS
C   Y=Y+PN(I,J)
C   SPN(I,J)=Y
C   95 CONTINUE
C   IF (ABS(Y-1.)-EPSI)92,9,9
C   92 CONTINUE
C
C   DO 90 I=1,KTR
C   READ INPUT TAPE 5,111,(E(I,J),J=1,KTE)
C   90 CONTINUE
C   DO 88 J=1,KTE
C   Y=0.
C   DO 83 I=1,KTR
C   Y=Y+E(I,J)
C   83 CONTINUE
C   IF (ABS(Y-1.)-EPSI)88,9,9
C   88 CONTINUE
C   DO 30 I=1,KTR
C   AMAX(I)=1./E(I,1)
C   DO 30 J=2,KTE
C   AJ=J-1
C   AX=1./((E(I,J)+EXP(AJ)))

```

Figura 15: Segmento del codice FORTRAN II del programma ST (*Musiques Formelles*, 1963, p. 175)

In merito alla singolarità del suo approccio, Xenakis spiega che le tecniche di sintesi usuali – direttamente o indirettamente ispirate all’analisi armonica di Fourier – non riescono a produrre sonorità lontane da condizioni di oscillazione periodica, cioè di spettro armonico. Per la percezione uditiva, sono importanti le inflessioni aleatorie, le micro-modulazioni statistiche che ogni suono naturale in qualche misura presenta. A supporto egli cita varie ricerche scientifiche (tra cui quelle di Werner Meyer-Eppler),¹⁸ e richiama la complessità acustica di fenomeni meteorologici e di altri eventi naturali che tutti ben conosciamo. Ciò comunque non rende meno arbitrario il ricorso a meccanismi probabilistici: la sintesi stocastica nasce per esigenze che possono essere generalmente valide, ma resta un’invenzione personale, l’esito di un’individuale esigenza compositiva.

¹⁸ In particolare [Meyer-Eppler 1958 e 1959].

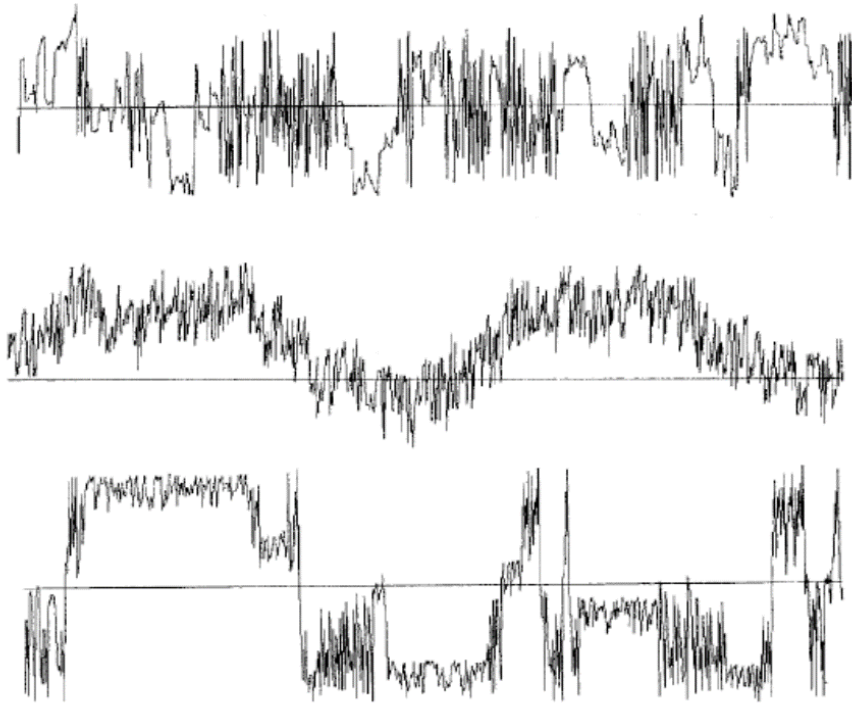


Figura 16: Esempi dei profili grafici (segnali numerici) generati col programma STOCHOS, 1972
[Xenakis 1992, 252-253]

Xenakis alla fine non fa alcun uso dei materiali sonori sintetizzati a Bloomington col programma STOCHOS. In realtà, a quel punto egli aveva già “il piede in due staffe”, come si dice. Nel 1966, a Parigi, aveva fondato l’EMAMu (*Équipe de Mathématique et d’Automatique Musicales*) insieme a studiosi e tecnici del *Centre de Mathématiques Sociales* (École Pratique des Hautes Etudes, EPHE). Tra maggio e giugno 1972 ai membri dell’EMAMu viene accordato l’uso di un convertitore audio digitale (50 kHz, 16 bit) costruito al CNET (*Centre National d’Études des Télécommunications*).¹⁹ La circostanza è decisiva: Xenakis torna a Parigi e trasforma l’EMAMu in CEMAMu (*Centre de Mathématique et Automatique Musicales*). Della nuova équipe fanno parte anche Bruce Rogers e Cornelia Coyer, già suoi assistenti negli Stati Uniti. Grazie al convertitore CNET, il compositore può rivendicare che i suoni sintetizzati al CEMAMu sono i primi generati via computer in Francia [Fleuret 1988].

Inizialmente Xenakis pensa di inserire suoni di sintesi stocastica nel montaggio preparato per l’installazione multimediale *Polytope de Cluny* (musica su nastro

¹⁹ In seguito, anche Pierre Barbaud e il suo gruppo di lavoro si serviranno del convertitore del CNET.

magnetico 7 piste, 1972-73). Non vi è però riscontro che lo abbia fatto davvero.²⁰ Solo qualche anno dopo egli utilizza i curiosi ronzii prodotti dalla sintesi stocastica dando loro un ruolo importante in *La Légende d'Eer* (nastro 7 piste, 1977), lavoro concepito come parte musicale del *Diatope* (installazione di suoni, luci, raggi laser, in uno spazio disegnato dallo stesso compositore – figura 17). Nel montaggio finale di quel lavoro (effettuato allo Studio WDR di Colonia) tali suoni costituiscono una delle varie categorie di materiale aventi origine sia concreta sia elettronica [Solomos 2006, Solomos 2010]. *La Légende d'Eer* sarà però l'ultimo brano elettroacustico di Xenakis con materiali misti: tutti i lavori successivi del genere sono fatti con suoni sintetizzati al computer.



Figura 17: Un'immagine dell'interno del *Diatope* (Parigi 1977)

²⁰ L'osservazione, in contrasto con le dichiarazioni di Xenakis, è data come certa da vari autori [Turner 2014, Carré 2022]. In sostanza: è vero che nel nastro magnetico originale di *Polytope de Cluny* (seconda versione, 1973) vi sono alcuni suoni di sintesi, ma questi *non* sono udibili dal mixaggio effettuato per incisioni e ascolti pubblici [Di Scipio-Solomos 2023].

Nuovi sistemi di calcolo. Il progetto UPIC

A metà anni Settanta, Xenakis avvia un altro progetto informatico-musicale, che prenderà la forma del sistema UPIC (*Unité Polyagogique Informatique du CEMAMu*). Si tratta, in breve, di un computer avente come dispositivo d'ingresso dati una tavola da disegno del tipo usato in architettura (*Computer-Aided Design*, CAD). Attraverso il software, e naturalmente mediante un sistema di conversione digitale-analogico (16 bit di quantizzazione, 50 kHz di frequenza di campionamento), le linee disegnate diventano un oggetto sonoro o una struttura sonora articolata nel tempo. Sul piano storico, non è il primo approccio di sintesi del suono su base grafica.²¹ Ciò non diminuisce l'interesse del sistema UPIC, date le implicazioni creative di cui diremo tra breve, nonché il suo potenziale in contesti didattici, cioè come piattaforma interattiva per familiarizzare attivamente con concetti acustici e musicali attraverso il disegno [Nelson 1997, Deprés 2020]. In ogni caso, UPIC permette effettivamente di affrontare il lavoro musicale al computer in modi più intuitivi e interattivi di quelli che Xenakis si era dato in precedenza.

Il primo prototipo è del 1977 (figure 18 e 19). È l'esito di due anni di lavoro preliminare condotto insieme a Patrick Saint-Jean, giovane ingegnere interessato a sfruttare al meglio le possibilità offerte dai *mini-computer* all'interazione uomo-macchina [Saint-Jean 1977]. I "mini-computer" sono una nuova tipologia di calcolatori, non esattamente "piccoli" come la locuzione suggerisce, ma molto più agili e performanti dei *mainframe*, facilmente programmabili e interfacciabili. La nuova tipologia si diffonde in innumerevoli settori di lavoro produttivo, nel corso degli anni Settanta, compresi molti laboratori di ricerca e produzione musicale elettronica. Al centro del prototipo UPIC c'è un computer Solar 16-65 dell'azienda francese Télémécanique. Benché la sintesi del suono sia, in una prima fase, ancora "in tempo differito" (velocità di calcolo troppo contenuta per prestazioni "in tempo reale"), le modalità grafiche e l'interfaccia software permettono una certa flessibilità nel predisporre i dati in ingresso e nel verificarne prontamente gli esiti sonori. La collaborazione di Saint-Jean si interrompe presto, ma il progetto viene portato avanti e sviluppato da altri collaboratori (Cornelia Colyer e Guy Médigue, in seguito Gérard Marino, Jean-Michel Raczinski e altri [Marino-Serra-Raczinski 1993]).

²¹ Si possono ricordare varie iniziative del genere, da quelle dell'anglo-australiano Percy Grainger col suo sistema elettromeccanico *Free Music Machine* (tardi anni Quaranta) al *Convertidor Gráfico Analógico* di Fernando von Reichenbach del Laboratorio de Musica Electronica di Buenos Aires (fine anni Sessanta, con controllo da schermo di moduli di sintesi Moog). In epoca informatizzata, si ricordano sviluppi condotti all'Università di Ottawa e ai laboratori Bell qualche anno prima del progetto UPIC [Mathews-Rosler 1969]. L'elenco dei precedenti sarebbe fin troppo esteso se poi considerassimo i cosiddetti metodi di "sintesi ottica" del suono, cioè su pellicola di tipo cinematografico, sperimentati in Unione Sovietica, Germania e Stati Uniti già prima della Seconda Guerra Mondiale. Per una concisa rassegna cfr. [Smirnov 2020].



Figura 18: Sistema UPIC (1978)

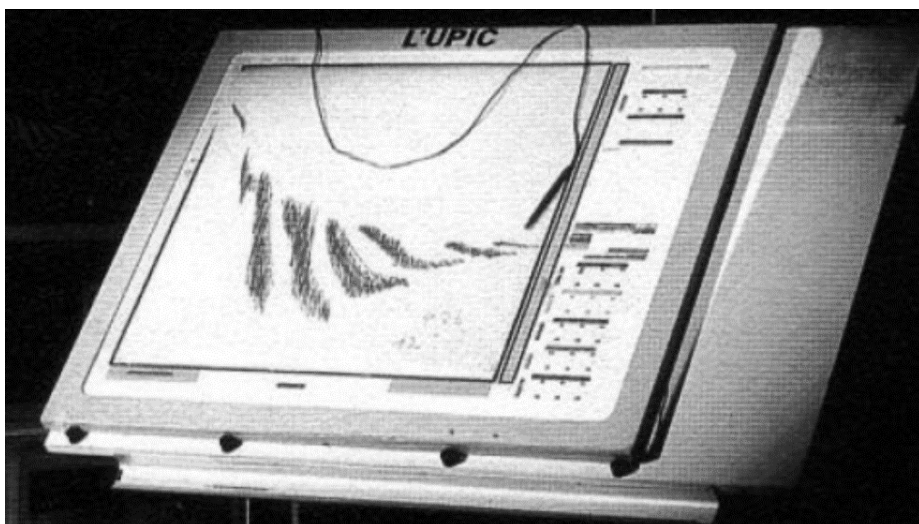


Figura 19: Tavoletta di input grafico del sistema UPIC

Xenakis comincia a esplorare il potenziale di UPIC con *Mycènes Alpha* (nastro magnetico mono, 1978), suo primo lavoro realizzato esclusivamente con sintesi digitale. Naturalmente il montaggio finale (su nastro magnetico) è realizzato ancora con usuali tecniche di studio analogico. Concepito come parte dell'evento multimediale *Polytope de Mycènes* (1978), il brano è poi presentato come lavoro autonomo. Tre anni dopo Xenakis utilizza UPIC per tutte le parti elettroniche di *Pour la paix*, una sorta di radiodramma con voci recitanti, coro, e suoni di sintesi (1981).

Nel 1987 viene presentata una versione di UPIC, riprogettata per fare sintesi in tempo reale [Raczinski-Marino 1988]. Stavolta tutto ruota attorno a un IBM AT 80386, un *micro-computer*, ovvero un tipo di sistema di calcolo più noto come *personal computer*, con sistemi operativi basati su *graphical user interface* di comune uso commerciale (figura 20). Il processo di sintesi in realtà viene svolto da un processore esterno, unicamente dedicato a implementare 64 oscillatori digitali tra loro sommati (sintesi additiva) o modulati (modulazione di frequenza), con quattro uscite audio (convertitori di segnale digitale-analogico) e due ingressi audio (convertitori analogico-digitale).

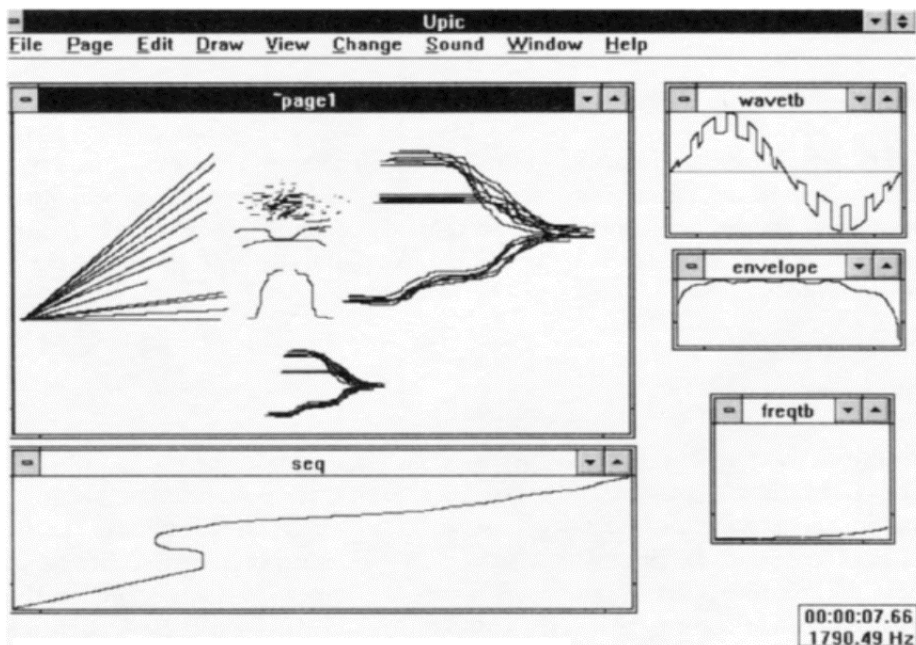


Figura 20: Interfaccia grafica software UPIC (1987)

Xenakis intende portare il nuovo sistema UPIC in situazioni di performance dal vivo. L'idea però si scontra con complicazioni operative. Dopo la problematica prima esecuzione di *Taurhiphanie* (dal vivo nell'arena romana di Arles, 1988), Xenakis torna sui suoi passi e fissa la versione finale di quel brano su nastro magnetico. Intanto ipotizza di usare UPIC dal vivo per il *Ballet des robots émancipés*, un progetto futuribile su cui torna a più riprese nel corso degli anni Ottanta [Lohner 2020], centrato sull'uso di almeno tre bracci robotizzati che disegnano in modo autonomo sulla tavola grafica di UPIC. Per disporre dei bracci robotici viene considerata la collaborazione del laboratorio COMAU di Torino (specializzato nel costruire catene di montaggio automatico per la FIAT). Alla fine però il progetto, troppo ambizioso e costoso, si arena nei primi anni Novanta. Nel

frattempo Xenakis ha realizzato il suo quarto e ultimo brano musicale con UPIC, *Voyage des Unari vers Andromède* (nastro magnetico stereo, 1989).

Nel sistema UPIC, l'algoritmo-base della sintesi del suono è il cosiddetto "oscillatore digitale" (ovvero un *table look-up oscillator*). Nello specifico ambito tecnico, si tratta di un processo del tutto standard. Diversamente da altri sistemi, la forma d'onda dell'oscillatore viene però disegnata a mano, oppure (nel "nuovo" UPIC del 1987) viene campionata dagli ingressi audio.²² Ciò in fondo non costituisce una novità per la ricerca informatico-musicale degli anni Ottanta. La peculiarità di UPIC sta in altri aspetti che ne segnano il progetto sin dall'inizio. Una volta disegnata una singola linea (retta o curva), oppure un'intera configurazione di linee, il segno grafico non corrisponde a un suono di durata specifica: può valere poche frazioni di secondo, oppure alcuni minuti (fino a dodici minuti); nel primo caso, il segno determina il profilo del segnale sonoro, cioè la forma d'onda (quindi, indirettamente, le qualità spettrali e il timbro); nel secondo caso, determina la struttura temporale di uno o più oggetti sonori di altezza, dinamica e timbro variabili. Insomma, la durata è determinata indipendentemente dalla lunghezza del segno sulla superficie grafica. Inoltre una certa configurazione di segni in teoria può essere utilizzata a tempi diversi, dal micro-livello del segnale sonoro al macro-livello di un'intera frase o di un'intera sezione musicale. Si possono esperire fenomenologie diverse di una medesima costruzione (un'idea adombrata già in *Analogique A et B*, come s'è visto). Poiché suono e struttura musicale sono elaborati in un unico spazio progettuale, cioè mediante un'unica interfaccia software, si possono studiare e mettere in relazione più configurazioni temporali tra loro sovrapposte. Il compositore può muoversi con continuità fra suono e struttura musicale, studiando l'eventuale correlazione tra le scelte effettuate ai due livelli. Vi è dunque una dimensione progettuale "multi-temporale", un'operatività che può attraversare scale temporali diverse [Pelé 2012, Pietruszewski 2020].

Nel 1985 Xenakis fa di UPIC il fulcro di un nuovo laboratorio, una sorta di *spin-off* del CEMAMu indicato prima come Les Ateliers UPIC e poi (dal 2000) come CCMIX (*Centre Création Musicale Iannis Xenakis*), con sede ad Alfortville, a sud-est di Parigi. Questo laboratorio gli sopravviverà per qualche anno restando in funzione fino al 2007, come sede di attività didattiche e di produzione musicale, frequentato da compositori e ricercatori di tutto il mondo. Vi si lavora anche a rendere UPIC un'applicazione interamente software [Bokesoy e Pape 2003].

In anni successivi, UPIC ha ispirato un certo numero di applicazioni software simili, commerciali o di pubblico dominio [Baudel 2006, Jacquemin-Coduys-Ranc 2012, Georgaki 2015, Scordato 2020]. Le implementazioni più recenti hanno la forma di *app* per dispositivi di telefonia mobile [Bourotte 2022].

²² Nella prima versione di *Taurhiphanie*, il suono da campionare dal vivo era il muggito di tori debitamente microfonati!

Verso un'arte sonora pienamente automatizzata

A metà anni Ottanta la sede francese della Hewlett-Packard fornisce al CEMAMu un computer HP 9000 Series 500, al tempo considerata una “stazione di lavoro” multimediale molto potente [Colyer 1986]. È l'occasione per Xenakis di tornare sulla sintesi stocastica in maniera più approfondita e soddisfacente. Tempo dopo vi sviluppa un nuovo programma, GENDYn, che implementa la “sintesi stocastica dinamica”. Le differenze rispetto agli esperimenti fatti a Bloomington e al CEMAMu negli anni Settanta sono notevoli, ma il nuovo progetto riprende comunque le funzioni probabilistiche usate da Xenakis sin dalla fine degli anni Cinquanta. Senza scendere in dettagli,²³ si tratta di fornire al computer una forma d'onda iniziale e di sottoporla a rapide variazioni stocastiche di frequenza e ampiezza. La forma d'onda iniziale è specificata da una sequenza di valori di ampiezza e durata tra loro linearmente interpolati, viene vista dunque come una successione di segmenti di retta di varia lunghezza. Rispetto alle esperienze precedenti, il punto decisivo sta proprio nel fatto che l'interpolazione lineare introdotta costituisce un aspetto deterministico prima mai considerato da Xenakis (figura 21).

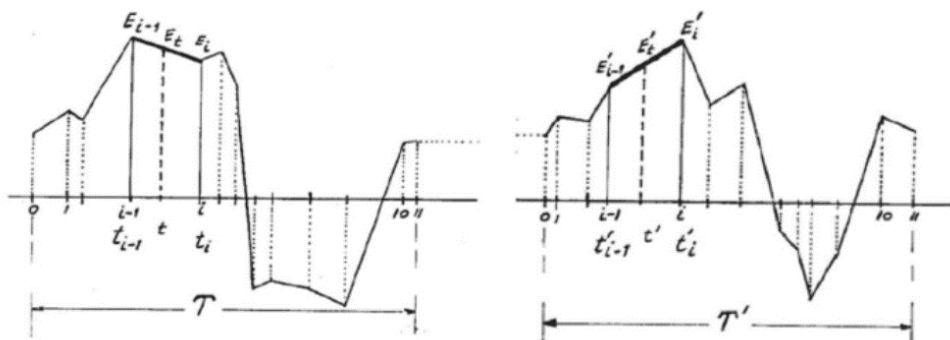


Figura 21: Sintesi stocastica dinamica: esempio di trasformazione di una sequenza di segmenti di retta (segnale numerico)

Il programma GENDYn viene scritto da Xenakis in BASIC, linguaggio di programmazione già obsoleto al tempo (il codice è disponibile in [Xenakis 1992, 304-321]). In seguito viene rielaborato da collaboratori in linguaggi più professionali e flessibili. Vi è poi un secondo programma, PARAG3 [Ibid., 300-304], che serve a richiamare fino a sedici istanze parallele di GENDYn, ciascuna con propri dati iniziali. Naturalmente i dati forniti da PARAG3 sono a loro volta calcolati con funzioni probabilistiche. Pur con importanti differenze, questo secondo programma

²³ Rinvio naturalmente a [Xenakis 1992, 289-300]. Si vedano analisi e ricostruzioni in [Di Scipio 1995, Hoffmann 2000, Hoffmann 2004, e Di Scipio 2022].

riprende in forma computerizzata il quadro statistico macro-strutturale applicato a mano nel comporre *Achorripsis* ormai vari decenni prima.

Si materializza così l'idea di un programma "di basso livello" che si occupa della sintesi del suono e di un programma "di alto livello" che si occupa della gestione del primo e ne orienta lo sviluppo musicale complessivo. Possiamo considerarlo un caso emblematico e forse anche paradigmatico di "composizione algoritmica", un automa stocastico che da sé sviluppa e porta a completamento le fasi compositive descritte in forma di codice di programmazione: una volta avviato, il sistema produce una delle infinite possibili istanze del brano, con tutto un insieme mutevole di morfologie sonore dinamiche – da suoni continui ad altezza determinata (spettro armonico), di intonazione fissa o in glissando, fino a fasce di rumore (spettro estremamente largo e continuo). Sul piano storico-musicale si tratta di uno degli esiti di maggiore efficacia e specificità estetica della creatività musicale computerizzata, quasi il paradigma di un'arte sonora in cui "il software è l'opera".

Xenakis ne trae *Gendy3* (1991) e *S.709* (1994), due lavori interamente sintetizzati che circoleranno prima su nastro digitale (DAT, *Digital Audio Tape*, formato di registrazione che in quegli anni iniziava a sostituire il vecchio nastro magnetico) e poi su supporti digitali generici. Il lavoro ascoltato a Montreal nell'ottobre del 1991, evocato all'inizio di queste pagine, viene considerato una versione preliminare di *Gendy3*.

Nonostante la radice comune, *Gendy3* e *S.709* hanno differenze rilevanti, sia nelle sonorità sia nell'articolazione complessiva. Il primo ha una durata di 19 minuti, il secondo una durata di 7 minuti. *Gendy3* presenta un'ampia gamma di gesti e sonorità, alcune caratterizzate da intervalli musicali ricorrenti, ovvero da "campi armonici" inizialmente non previsti da Xenakis – da considerare pertanto fenomeni musicali emergenti del processo di sintesi del suono. Questo lavoro sfrutta appieno la polifonia dei processi di sintesi – cioè di "parti musicali" indipendenti – resa possibile dal nuovo approccio e dalle nuove condizioni tecnologiche, decisamente più performanti di quelle degli enormi *mainframe* di trent'anni prima. *S.709* si concentra al contrario su poche figure ricorrenti (a metà tra scale discendenti e suoni in glissando), con sonorità povere e residuali, quasi incerte nel loro avanzare, ma anche molto artefatte e "macchiniche".

Postludio

La sintesi stocastica dinamica si apre a mondi sonori deliberatamente anti-naturalistici, abitati da enti o agenti non umani che manifestano voci diafane e mutevoli, del tutto ignote, spesso molto aggressive, altre volte più simili a singulti di macchine disfunzionali sul punto di azzittirsi. In questo ultimo impegno di ricerca tecnologico-musicale, assume grande evidenza estetica la libertà raggiunta da Xenakis in termini di progettazione del suono e della struttura musicale. Inoltre l'identità dell'opera si concretizza ormai non tanto o non solo in un'oggetto specifico, in una data configurazione linguistico-formale, ma nell'insieme delle

condizioni operative prese in carico dal compositore e dai suoi collaboratori – cioè, in questo caso, nel software stesso, nel codice di programmazione! Ciò peraltro ha permesso sorprendenti contatti con esperienze musicali più recenti o anche molto più recenti, successive alla stagione gloriosa della ricerca informatico-musicale (1960-1990), in particolare laddove il software è visto come artefatto culturale la cui “materialità” e la cui dimensione “virtuale” sono dialetticamente intrecciate [Di Scipio 2021, 499 e sgg.].

La personalità artistica di Xenakis ha un profilo sfaccettato e altamente interdisciplinare, che lo connota in modo importante nel novero dei compositori più celebri del secondo Novecento. Per scelta, qui abbiamo fortemente circoscritto l’indagine: all’alba di trasformazioni epocali che hanno condotto alla digitalizzazione di ogni forma di comunicazione umana, il rapporto di Xenakis con le tecnologie del suo tempo esemplifica un’attitudine di responsabilità del fare creativo e delle tracce che esso lascia nel mondo, cioè un impegno a elaborare le condizioni di pensiero e di azione, nel tentativo più volte perseguito di “comporre le condizioni di produzione” prima di far musica *con* esse. In definitiva, questo è uno degli insegnamenti più significativi della sua prassi estetica – probabilmente il più significativo, date le indicazioni che possiamo derivarne come artisti e ricercatori nell’affrontare responsabilmente il presente, e nell’immaginare e costruire creativamente il futuro.



Riferimenti bibliografici e sitografici

[Arcella-Silvestri 2015] Andrea Arcella - Stefano Silvestri, *Analogique B. A Computer Model of the Compositional Process*, in [Solomos 2015], pp. 71-82.

[Ariza 2011] Christopher Ariza, *Two Pioneering Projects from the Early History of Computer-Aided Algorithmic Composition*, «Computer Music Journal», xxxv/3, 2011, pp. 40-56.

[Baker 1963] Robert Baker, *MUSICOMP: Music-Simulator for Compositional Procedures for the IBM 7090 Electronic Digital Computer*, in «Technical Report n. 9», University of Illinois-Urbana, Experimental Music Studio, 1963.

[Braidotti-Bignall 201] Rosi Braidotti - Simone Bignall (a cura di), *Posthuman Ecologies. Complexity and Process after Deleuze*, London, Rowman & Littlefield, 2019.

[Braidotti 2022] Rosi Braidotti, *Il postumano vol. 2: Saperi e soggettività*, Roma, Derive Approdi, 2022.

[Barbaud 1965] Pierre Barbaud, *Initiation à la composition automatique*, Paris, Dunod, 1965.

[Barbaud 1969] Pierre Barbaud, *La Musique algorithmique*, Paris, Bull-General Electric, 1969.

[Baudel 2006] Thomas Baudel, *From Information Visualization to Direct Manipulation: Extending a Generic Visualization Framework for the Interactive Editing of Large Datasets*, «Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology», 2006.

Link: <https://doi.org/10.1145/1166253.1166265>

[Bokesoy-Pape 2003] Sinan Bokesoy - Gerard Pape, *Stochos: Software for Real-Time Synthesis of Stochastic Music*, «Computer Music Journal», xxvii/3, 2003, pp. 33-43.

[Bonfanti 2012] Corrado Bonfanti, *Information Technology in Italy: the Origins and the Early Years (1954 - 1965)*, in *Reflections on the History of Computing* (a cura di A. Tatnall), Berlin, Springer, 2012, pp. 320-347.

[Bourotte 2022] Rodolphe Bourotte, *UPISketch User Manual*, 2022.

Link: <https://rodolphebourotte.info/wp-content/uploads/2022/01/UPISketchUserManual-Desktop.html> (ultimo accesso 18 marzo 2023)

[Carré 2022] Pierre Carré, *The Polytope de Cluny: Towards a Reconstitution*, in [Georgaki-Solomos 2022], pp. 454-466.

[Colyer 1986] Cornelia Colyer, *Studio Report: CEMAMu*, «Proceedings of the International Computer Music Conference», L'Aia, 1986, pp. 317-319.

[Deprés 2020] Alain Deprés, *The UPIC: Towards a Pedagogy of Creativity*, in [Weibel-Brümmer-Kanach 2020], pp. 142-159.

[Di Nunzio 2009] Alex Di Nunzio, *Genesi, sviluppo e diffusione del software "Music N" nella storia della composizione informatica*, Tesi di laurea, Università di Bologna, 2009.

[Di Scipio 1994] Agostino Di Scipio, *Micro-Time Sonic Design and the Formation of Timbre*, «Contemporary Music Review», x/2, 1994, pp. 135-148.

[Di Scipio 1995] Agostino Di Scipio, *Da Concret PH a Gendy301. Modelli compositivi nella musica elettroacustica di Xenakis*, «Sonus», XIV, 1995. Trad. inglese: *Compositional Models in Xenakis's Electroacoustic Music*, «Perspectives of New Music», XXXVI/2, 1998, pp. 201-243.

[Di Scipio 1997] Agostino Di Scipio, *The Problem of 2nd-order Sonorities in Xenakis' Electroacoustic Music*, «Organised Sound», II/3, 1997, pp. 165-178.

[Di Scipio 2003] Agostino Di Scipio, *Métaphore, formalisation et intuition dans Analogique A et B de Xenakis*, in *Iannis Xenakis, Gérard Grisey. La Métaphore Lumineuse* (a cura di Makis Solomos), Paris, L'Harmattan, 2003, pp. 181-192.

[Di Scipio 2004] Agostino Di Scipio (a cura di), *Perspectives on Xenakis*, «Journal of New Music Research» (numero speciale), XXXIII/2, 2004.

[Di Scipio 2006] Agostino Di Scipio, *Le nubi di suono ed i loro meccanismi. Uno studio di Analogique A et B*, in *Iannis Xenakis. Musicista scienziato architetto*. Quaderni di Ricerca, IRMus n. 2 (a cura di A. Melchiorre), Edizioni Scuole Civiche di Milano, 2006, pp. 129-160.

[Di Scipio 2009] Agostino Di Scipio, *The Notion of Synthesis in Xenakis Music*, in *Iannis Xenakis: Das elektroakustische Werk* (a cura di R. Paland e C. von Blumenroeder), Wien, Der Apfel Verlag, 2009, pp. 74-81.

[Di Scipio 2015] Agostino Di Scipio, *Stochastics and Granular Sound in Xenakis' Electroacoustic Music*, in [Solomos 2015], pp. 277-296.

[Di Scipio 2016] Agostino Di Scipio, *I quanta acustici di Gabor nelle tecnologie del suono e della musica*, «Musica/Tecnologia», X, 2016, pp. 17-42.

Link: <https://oajournals.fupress.net/index.php/mt/article/view/7468> (ultimo accesso 17 marzo 2023)

[Di Scipio 2021] Agostino Di Scipio, *Circuiti del suono. Un percorso storico-critico nella creatività musicale elettroacustica e informatica*, Lucca, LIM, 2021.

[Di Scipio 2022] Agostino Di Scipio, *La sintesi del suono in Xenakis. Indagine di una ricerca compositiva*, «Musica/Tecnologia», XVI, 2022, pp. 77-101.

[Di Scipio-Solomos 2023] Agostino Di Scipio - Makis Solomos, *La musique électroacoustique de Xenakis*, Paris, Salabert, 2023.

[Delalande 1997] François Delalande, *Il faut être constamment un immigré. Entretiens avec Xenakis*, Paris, Buchet/Chastel, 1997.

[Exharchos 2007] Dimitris Exharchos, *Iannis Xenakis and Sieve Theory. An Analysis of the Late Music (1984-1993)*, Tesi di dottorato, London, Goldsmiths College, University of London, 2007.

[Fleuret 1988] Meurice Fleuret, *Il teatro di Xenakis*, in *Xenakis* (a cura di Enzo Restagno), Torino, EDT, 1988, pp. 159-188.

[Gabor 1947] Dennis Gabor, *Acoustical Quanta and the Theory of Hearing*, «Nature», CLIX, 1947. Trad. italiana: *I quanta acustici e la teoria dell'udito*, «Musica/Tecnologia», X, 2006, pp. 9-16.

Link: <https://oajournals.fupress.net/index.php/mt/article/view/7467> (ultimo accesso 17 marzo 2023)

[Georgaki 2015] Anastasia Georgaki, *Sound Pedagogy through Polyagogy*, in [Solomos 2015], pp. 141-154.

[Georgaki-Solomos 2022] Anastasia Georgaki - Makis Solomos (a cura di), «Proceedings of the Centenary International Symposium Xenakis 22», Athens, Kostarakis Scientific, 2022.

[Grintsch 2009] Jan Simon Grintsch, *Random Control. Xenakis and Early Mainframe Computers*, in [Paland-von Blumenröder 2009], pp. 54-63.

[Hagan 2005] Kerry Hagan, *Genetic Analysis of Analogique B*, «Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network, Montréal 2005».

Link: <http://www.ems-network.org/spip.php?article150> (ultimo accesso 18 marzo 2023)

[Harley 2001] James Harley, *Iannis Xenakis. A Personal Memorial*, «Open Space», III, 2001, pp. 199-201.

[Harley 2002] James Harley, *The Electroacoustic Music of Iannis Xenakis*, «Computer Music Journal», XXVI/4, 2002, pp. 33-57.

[Hiller-Isaacson 1959] Lejaren Hiller - Leonard Isaacson, *Experimental Music. Composing with an Electronic Computer*, McGraw-Hill, 1959.

[Hoffmann 2000] Peter Hoffmann, *The New GENDYN Program*, «Computer Music Journal», XXIV/2, 2000, pp. 31-38.

[Hoffmann 2001] Peter Hoffmann, *L'électroacoustique dans l'œuvre de Iannis Xenakis*, in *Portraits de Iannis Xenakis* (a cura di François-Bernard Mâche), Paris, Bibliothèque Nationale de France, 2001, pp. 171-184.

[Hoffmann 2004] Peter Hoffmann, *Something Rich and Strange. Exploring the Pitch Structure of Gendy3*, «Journal of New Music Research», XXXIII/2, 2004, pp. 137-144.

[Holtzman 1979] Steven Holtzman, *An Automated Digital Synthesis Instrument*, «Computer Music Journal», III/2, 1979, pp. 53-61.

[Lohner 2020] Henning Lohner, *Iannis Xenakis, Robots, and the UPIC – the Greatest Robot Show the World never Saw*, in [Weibel-Brümmer-Kanach 2020], pp. 460-485.

[Jacquemin-Coduys-Ranc 2012] Guillaume Jacquemin - Thierry Coduys - Matthieu Ranc, *IANNIX 0.8*, «Actes des Journées d'Informatique Musicale, Mons 2012».

Link : <https://hal.science/hal-03041777/> (ultimo accesso 19 marzo 2023)

[Kuhn 2016] Laura Kuhn (a cura di), *Selected letters of John Cage*, Middletown, Wesleyan University Press, 2016.

[Kundera 1988] Milan Kundera, *Xenakis, 'profeta dell'insensibilità'*, in *Xenakis* (a cura di E. Restagno), Torino, EDT, 1988, pp. 73-76.

[Marino-Serra-Raczinski 1993] Gérard Marino - Marie-Hélène Serra - Jean-Michel Raczinski, *The UPIC System: Origins and Innovations*, «Perspectives of New Music», XXXI/1, 1993, pp. 258-269.

[Mathews-Rosler 1969] Max Mathews - Laurence Rosler, *Graphical Language for the Score of Computer-Generated Sound*, in *Music by Computer* (a cura di H. von Foerster e J. Beauchamp), New York, Wiley, 1969, pp. 84-115.

[Meyer-Eppler 1958] Werner Meyer-Eppler, *Statistic and Psychologic Problems of Sound*, «Die Rehe», I, 1958, pp. 55-61.

[Meyer-Eppler 1959] Werner Meyer-Eppler, *Grundlagen und Anwendungen der Informations Theorie*, Berlin, Springer-Verlag, 1959.

[Nelson 1997] Peter Nelson, *The UPIC System as an Instrument of Learning*, «Organized Sound», II/1, 1997, pp. 35-42.

[Nierhaus 2009] Gerhard Nierhaus, *Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation*, Berlin, Springer, 2009.

[Orcalli 1993] Angelo Orcalli, *Fenomenologia della musica sperimentale*, Potenza, Sonus Edizioni, 1993.

[Paland-von Blumenroeder 2009] Ralph Paland - Christoph von Blumenröder (a cura di), *Iannis Xenakis: Das Elektroakustische Werk*, «Internationales Symposium Musikwissenschaftliches Institut der Universitaet zu Koeln, Oktober 2006», Wien, Der Apfel Verlag, 2009.

[Pelé 2012] Gérard Pelé, *Pour un fétichisme éclairé*, «Actes du Symposium International "Xenakis. La musique électroacoustique"», Université Paris 8, 2012».

Link: <http://www.cdmc.asso.fr/fr/actualites/saison-cdmc/xenakis-musique-electroacoustique> (ultimo accesso 17 marzo 2023).

[Peyrot 2019] Bruna Peyrot, *La resistenza del silenzio. Per una proposta politica e democratica*, Sesto San Giovanni, Mimesis, 2019.

[Pierce 1961] John Robinson Pierce, *Symbols, Signals, and Noise. The Nature and Process of Communication*, New York, Harper, 1961. Trad. italiana: *Simboli, codici, messaggi. La teoria dell'informazione*, Milano, ETS, 1963.

[Pietruszeswki 2020] Marcin Pietruszeswki, *The Digital Instrument as an Artifact*, in [Weibel-Brümmer-Kanach 2020], pp. 610-627.

[Raczinski-Marino 1988] Jean-Michel Raczinski - Gérard Marino, *A Real Time Synthesis Unit*, «Proceedings of the International Computer Music Conference, Cologne», Ann Arbor, Michigan Publishing, 1988, pp. 90-100.

[Roads 1978] Curtis Roads, *Automated Granular Synthesis of Sound*, «Computer Music Journal», II/2, 1978, pp. 61-62.

[Roads 2001] Curtis Roads, *Microsound*, Cambridge, MIT Press, 2001.

[Saint-Jean 1977] Patrick Saint-Jean, *Conception d'un système informatique de laboratoire opérationnel pour le Centre d'Études de Mathématique et Automatique Musicale*, Paris, École Supérieure d'Informatique, d'Électronique et d'Automatique, 1977.

- [Scordato 2020] Julian Scordato, *Novel Perspectives for Graphic Notation in Iannix*, in [Weibel-Brümmer-Kanach 2020], pp. 574-589.
- [Shannon 1948] Claude Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, «The Bell System Technical Journal», XXVII/3, 1948, pp. 379-423.
- [Shannon-Weaver 1949] Claude Shannon - Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, Champaign, University of Illinois Press, 1949. Trad. italiana: *La teoria matematica delle comunicazioni*, Milano, Etas Compass, 1971.
- [Solomos 2006] Makis Solomos, *Le Diatope et La Légende d'Eer de Iannis Xenakis*, in *Musique, instruments, machines. Autour des musiques électroacoustiques* (a cura di Bruno Bossis, Anne Veitl e Marc Battier), Université de Paris 4, 2006.
- [Solomos 2010] Makis Solomos, *Xenakis, il Diatope e La Légende d'Eer*, «Le arti del suono», III, 2010, pp. 11-60.
- [Solomos 2015] Makis Solomos (a cura di), *Iannis Xenakis, la musique électroacoustique*, Paris, L'Harmattan, 2015.
- [Solomos-Hoffmann 1998] Makis Solomos - Peter Hoffmann, *The Electroacoustic Music of Iannis Xenakis*, «Proceedings of the Symposium in Music and Computers, Corfu, 1998», pp. 86-94.
- [Smirnov 2020] Andreij Smirnov, *UPIC's Precursors*, in [Weibel-Brümmer-Kanach 2020], pp. 94-117.
- [Turner 2014] Charles Turner, *Xenakis in America*, New York, One Block Avenue, 2014.
- [Truax 1988] Barry Truax, *Real-Time Granular Synthesis with a Digital Signal Processing Computer*, «Computer Music Journal», XII/2, 1988, pp. 14-26.
- [Viel 2007] Nicolas Viel, *Pierre Barbaud et la naissance de la musique par ordinateur en France: de la cybernétique à l'algorithmique*, Electroacoustic Music Studies Network, De Montfort/Leicester 2007.
- [Weibel-Brümmer-Kanach 2020] Peter Weibel - Ludger Brümmer - Sharon Kanach (a cura di), *From Xenakis's UPIC to Graphic Notation Today*, Berlin, Hatje Cantz Verlag, 2020.
- [Xenakis 1955] Iannis Xenakis, *La crise de la musique sérielle*, «Gravesaner Blätter», I, 1955, pp. 2-4. Trad. italiana: *La crisi della musica seriale* in [Xenakis 2003], pp. 27-30.
- [Xenakis 1963] Iannis Xenakis, *Musiques formelles*, «La revue musicale» (numero speciale), CCLIII-CCLIV, 1963.
- [Xenakis 1971] Iannis Xenakis, *Formalized Music. Thought and Mathematics in Music*, Bloomington, Indiana University Press, 1971. Revisione ed ampliamento di [Xenakis 1963].
- [Xenakis 1992] Iannis Xenakis, *Formalized Music. Thought and Mathematics in Music*, Hillsdale, NY, Pendragon Press, 1992. Revisione ed ampliamento di [Xenakis 1971].
- [Xenakis 2003] Iannis Xenakis, *Universi del suono. Scritti e interventi 1955-1994* (a cura di A. Di Scipio), Lucca, LIM, 2003, ristampa 2023.

METASTASEIS: ARCHITETTURA SONORA NELLA MUSICA DI XENAKIS

MICHELE ARENA

Nomen omen

Metastaseis è il primo lavoro per orchestra di Xenakis e rappresenta anche quello che richiede il numero maggiore di musicisti, per la precisione sessantuno. Scritto tra il 1953 e il 1954, quest'opera rappresenta una sorta di manifesto programmatico dell'architettura musicale di Xenakis applicata alle grandi masse orchestrali. Il titolo stesso ci aiuta a comprendere il pensiero del compositore. Non a caso, le sue origini elleniche hanno sicuramente spinto Xenakis a riflettere attentamente sul nome da dare a questa composizione di cui l'intestazione in partitura è scritta, appunto, in greco. *Metastaseis*, infatti, deriva da *meta* = al di là, e *stasis* = stato (inteso come zona, posizione), e rappresenta lo spostamento e la successiva trasformazione del materiale sonoro.

In particolare, tramite *Metastaseis* Xenakis dà inizio a quel processo che lo porterà negli anni successivi a concepire la musica stocastica. Per “musica stocastica” si intendono le sonorità che, in questo caso, le grandi masse orchestrali producono attraverso processi matematici dati dal calcolo probabilistico – ossia dall'applicazione della scienza dei numeri al mondo dei suoni – che ne stabiliscono il movimento. L'andamento compositivo, quindi, non passa più da processi armonici prestabiliti dal compositore, ma dai calcoli effettuati da quest'ultimo. Tutto ciò trova una naturale applicazione nel ritmo e nell'impasto timbrico dell'orchestra, che diventa strumento della mente scientifica del compositore.

Composizione dell'orchestra e note in partitura

L'imponente partitura, della durata di sette minuti circa, richiede l'impiego di 61 orchestrali. A prima vista, verrebbe da pensare ad un'orchestra “a due”, quindi con il raddoppio dei fiati. In realtà, Xenakis richiede degli specifici strumenti a fiato, una considerevole sezione di percussioni, e una ben nutrita sezione di archi.

Di seguito l'elenco della composizione dell'orchestra:

LEGNI
Ottavino
Flauto
2 Oboi
Clarinetto basso

OTTONI
3 Corni
2 Trombe
2 Tromboni

PERCUSSIONI
Xilofono
Triangolo
Wood-block
Tom
Timpano
Rullante

ARCHI
12 Violini I
12 Violini II
8 Viole
8 Violoncelli
6 Contrabbassi

Anche il numero degli archi segue una disposizione non convenzionale, in quanto ai 12 Violini I dovrebbero corrispondere 10 Violini II, 6 Viole, ecc... invece Xenakis richiede un numero specifico di archi in funzione dei calcoli basati sulla parabola iperbolica di cui tratteremo più avanti.

Le note poste sul lato sinistro del frontespizio indicano che le note sormontate dall'apposito segno debbano essere eseguite un quarto di tono più in alto o più in basso. I *glissandi* devono essere eseguiti in modo rigorosamente continuo. La partitura, infine, è scritta interamente in note reali.

B METASTASEIS B' IMPORTANT NOTICE
The unauthorized copying
of the whole or any part of
this publication is illegal

DUREE 7 MINUTES
IANNIS XENAKIS
1953-54

METASTASEIS

NOTA : Dédiés à Maurice Le Roux

UNE NOTE SURMONTÉE DU SIGNE σ EST JOUÉE 1/4 TON PLUS HAUT.
" " " " " P " " " " " BAS.
LES GLISSANDI, D'UN MOUVEMENT RIGOREUSEMENT
CONTINU.
LA PARTITION EST ENTIEREMENT ECRITE EN
J de 50 M.M. NOTES REELLES.

COMPOSITION DE L'ORCHESTRE.

1 PETITE FLUTE	2 TROMPETTES	1 TAMBOR	12 sec. VIB (H)
1 GRANDE FLUTE	2 TROMBONES	1 TIMBALE	0 ALTOS (A)
2 HAUT-BOIS	1 XYLOPHONE	1 CAISSE CL.	8 1/2 CELLES (C)
1 CLAR. BASSE	1 TRIANGLE	1 QR. CAISSE	6 C/BASSES (B)
3 CORN	1 WOOD-BLOCK	12 PREH. VIOL (V)	

TOTAL: 61 EXECUTANTS

Figura 1: Iannis Xenakis, *Metastaseis*, frontespizio della partitura

Progettazione

La *forma mentis* di Xenakis non era quella di un compositore che di mestiere fa il compositore, ma di un ingegnere che è “anche” compositore. La conseguenza più ovvia è che Xenakis ragioni e concepisca le sue opere con un approccio diverso rispetto ad un compositore tradizionale. Dunque, la costruzione della partitura viene pianificata in modo differente, in modo ingegneristico, e quindi con le proporzioni esatte che possano reggere la struttura che si vuole realizzare.

Come trovare le proporzioni giuste per costruire perfettamente una partitura musicale così come viene fatto per un edificio? Xenakis stesso ci fornisce la risposta:

Nella mia composizione *Metastaseis* il ruolo dell'architettura è diretto e fondamentale in virtù del Modulor.¹

Dunque, il processo di progettazione di un'architettura musicale perfetta si basa sui principi dell'architetto franco-svizzero Le Corbusier (ideatore del *Modulor*), il quale a sua volta fonda la sua scala antropometrica sulle intuizioni di Vitruvio, Da Vinci, Fibonacci, Leon Battista Alberti e le loro teorie sull'armonia delle proporzioni umane e sul rapporto aureo che si riscontrano in natura e, quindi, applicabili in architettura e in musica.

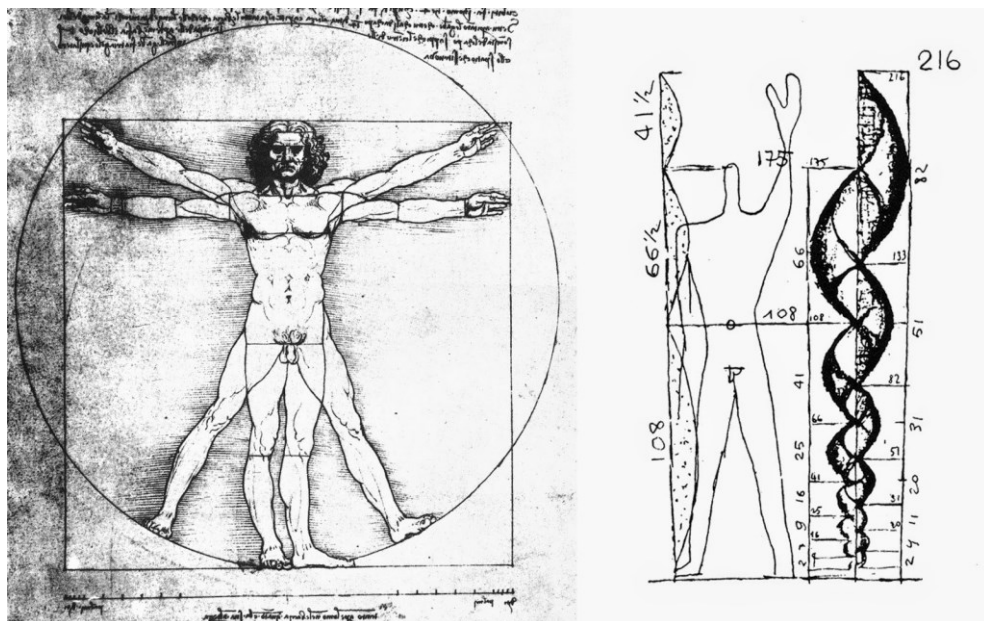


Figura 2: a sinistra: Leonardo da Vinci, *Uomo vitruviano*; a destra: Le Corbusier, appunti sul *Modulor*

¹ Bálint András Varga, *Conversations with Iannis Xenakis*, London, Faber and Faber, 1996, p. 78.

Già in Bach alcuni analisti, attraverso l'uso di grafici, hanno riscontrato un equilibrio perfetto di proporzioni riscontrabili in natura solo grazie all'applicazione dei calcoli che riconducono alla sezione aurea. Ma, quando si parla di Bach, viene quasi per scontato pensare alla perfezione musicale in campo contrappuntistico, e quindi il risultato più essere associato a qualsiasi tipo di teoria metafisica che riconduca all'armonia e all'equilibrio. È dunque la musica perfetta di Bach che sfocia naturalmente verso un equilibrio superiore, ma non il contrario. Xenakis invece applica il metodo inverso: creare musica partendo dall'equilibrio delle proporzioni.

Il passo successivo riguarda la continuità: è indispensabile non interrompere mai la continuità passando da un punto all'altro. Musica e architettura sono la stessa cosa per Xenakis, come si evince dalle sue parole:

Nel Padiglione Philips ho realizzato l'idea di base di *Metastaseis*: come nella musica, anche in questo caso ero interessato alla questione se fosse possibile passare da un punto all'altro senza interrompere la continuità. In *Metastaseis* questo problema portava ai glissandi, mentre nel Padiglione alle forme della parabola iperbolica.²

Ciò significa che Xenakis ha applicato l'uso dei *glissandi* degli archi, presenti in *Metastaseis*, alla progettazione del Padiglione Philips. Già nello schizzo della composizione musicale, del resto, invece di usare la notazione musicale, Xenakis aveva disegnato un grafico per coordinare i diversi strumenti. L'asse orizzontale rappresentava il tempo, l'asse verticale l'altezza, e le linee rette rappresentavano i suoni ascendenti o discendenti di ogni strumento. La figura 3 ne propone un estratto.

² Iannis Xenakis-Sharon Kanach, *The Philips Pavilion 1956-58*, in «Music and Architecture: Architectural Projects, Texts, and Realizations», Hillsdale, NY, Pendragon Press, 2008, p. 99.

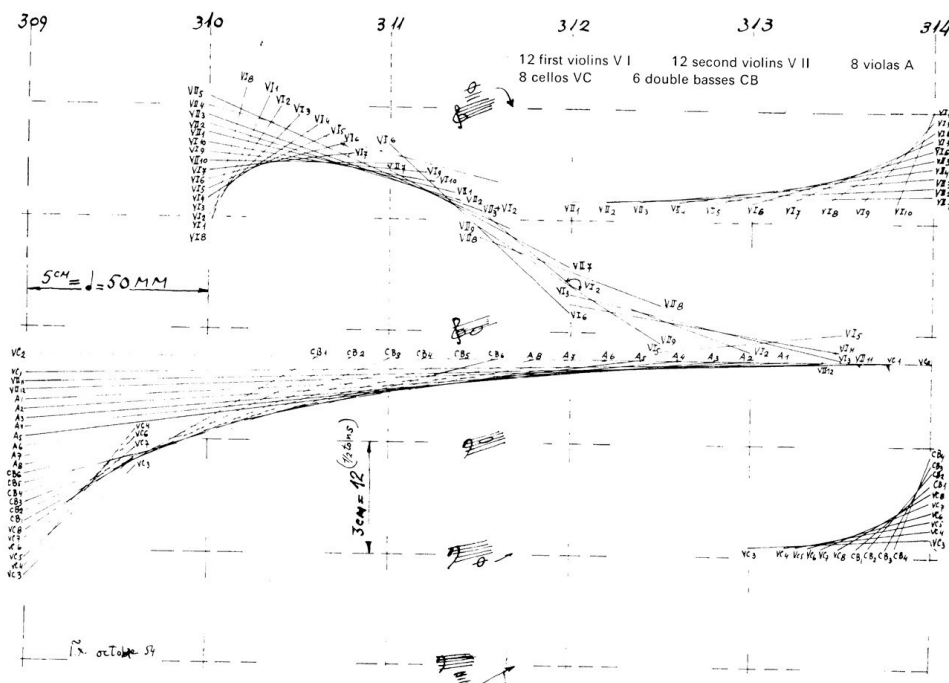


Figura 3: Schizzo grafico per indicare i *glissandi* in *Metastaseis*, bb. 309-314, tratto da Iannis Xenakis, *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition*, Hillsdale, NY, Pendragon Press, 2001, p. 3

La chiave di lettura dello schizzo di Xenakis è relativamente semplice, una volta interpretato con i parametri giusti. Le linee in verticale rappresentano l'*altezza* dei suoni. Parallelamente, per calcolare precisamente ogni nota suonata da ogni singolo strumento, basta partire dalla nota di riferimento (cfr. i diversi *mi* disposti al centro dello schizzo) e salire, o scendere, di semitono.

Le linee in orizzontale rappresentano lo *spazio* fisico e il *tempo*. Molto visibile è l'indicazione metronomica di 50 alla semiminima, che corrisponde a 5 centimetri. Dunque, l'indicazione iniziale in partitura di "eseguire i glissati in modo rigoroso" non è da prendere alla leggera, in quanto Xenakis calcola esattamente non solo il movimento, la partenza e l'arrivo del *glissando* di ogni singolo strumento ad arco, ma anche lo spazio da percorrere, che in architettura viene calcolato in centimetri, mentre in musica in battute da 1/4 al tempo di 50 alla semiminima.

Le sigle ai lati dello schizzo rappresentano gli strumento ad arco divisi. Ad esempio, il terzo violoncello viene abbreviato con la sigla "VC3", indicando quindi in numeri arabi la posizione a leggio. I numeri romani identificano invece, come da tradizione, i due gruppi di violini. Dunque, per calcolare il *glissando* del quinto violino appartenente alla sezione dei secondi, troveremo l'abbreviazione "VII5".

Le linee che partono da ogni strumento indicano la direzione che il *glissando* deve compiere. Tra i due *mi* indicati a distanza di ottava, ci deve essere una differenza di intonazione: ecco perché la nota esplicativa presente nel frontespizio della partitura richiede l'esecuzione di alcune note un quarto di tono più in alto o più in basso. Infine, il numero delle misure (309, 310, 311, 312, 313, 314) è indicato sopra ogni linea verticale.

Dallo schizzo alla partitura

Prendiamo in esame soltanto la prima sezione di strumenti, e vediamo come dalla progettazione Xenakis abbia ricavato la partitura orchestrale considerando lo strumento che esegue la nota più bassa, cioè il violoncello 3.

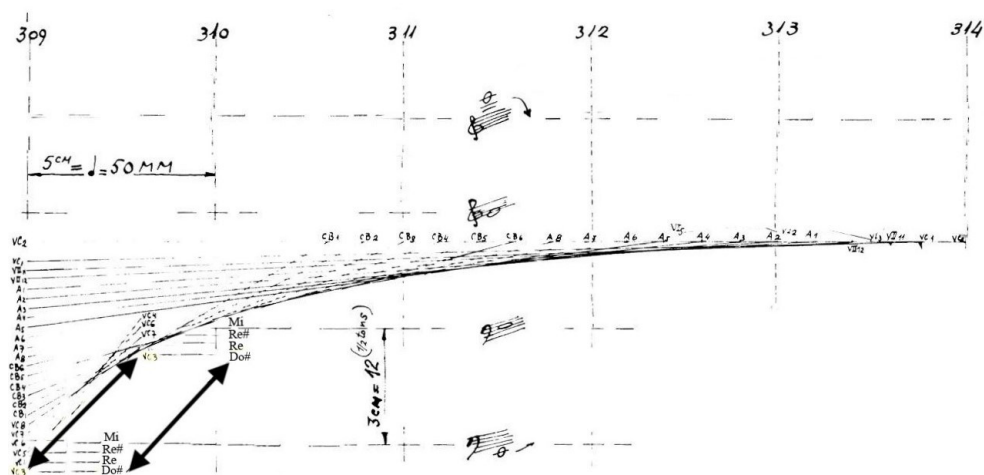


Figura 4: Xenakis, schizzo per *Metastaseis*, bb. 309-314 (*glissando* del violoncello 3)

Focalizzando la nostra attenzione sul violoncello 3, e applicando le linee dell'altezza utilizzata da Xenakis, è stato possibile calcolare la nota che verrà eseguita, ossia il $do\#$ posto al di sotto del mi_1 indicato al centro del grafico. Per comodità di lettura, al posto delle linee scritte da Xenakis, sono state utilizzate le frecce per focalizzare l'attenzione sulla nota presa come riferimento, e sul punto di arrivo del *glissando*. Si può notare che il violoncello 3 si muove nell'ambito di un'ottava e in uno spazio di poco inferiore all'intera battuta che, ricordiamo, corrisponde ad una semiminima. La figura 5 mostra come viene riportato in partitura questo specifico passaggio.

Figura 5: Xenakis, *Metastaseis*, bb. 309-314 (violoncelli)

Attraverso questo procedimento, Xenakis realizza in partitura tutti i *glissandi* degli archi.

Orchestratura

Lo schizzo di Xenakis per la progettazione dei *glissandi* degli archi non è solo una sapiente prova di bravura tecnica fine a sé stessa, ma soprattutto il necessario passaggio propedeutico alla realizzazione della dimensione sonora che le masse orchestrali dovevano rendere. Osservando attentamente lo schizzo e la partitura, si comprende la ragione per la quale Xenakis richiede così tanti esecutori, e anche perché abbia diviso gli archi assegnando una parte ad ogni singolo strumento.

Per realizzare l'effetto di spostamento continuo del suono, Xenakis pensa ad ogni strumento e alla sua posizione scrivendo le note in base ai parametri stabili nel progetto, ossia l'altezza, il tempo e la direzione dei *glissandi*, che possono essere ascendenti o discendenti. Ecco perché il sesto violino della fila dei secondi si ritrova a suonare la nota più acuta, prassi del tutto insolita in quanto qualsiasi altro compositore, seguendo i consueti principi di orchestratura, avrebbe assegnato questa nota all'intera fila dei primi violini.

Anche le entrate sono insolite, in quanto le rette presenti nello schema, e quindi i singoli strumenti, si muovono seguendo il principio del movimento in base ai calcoli stabiliti. Pertanto, troveremo una massa di strumenti che si muovono in poco meno di una battuta, mentre un'altra si sposta molto più lentamente. La figura 6 mostra un esempio di come Xenakis disponga tre note, poste su altezze differenti, affidandone l'esecuzione non a un'intera sezione, ma a singoli strumenti.

Figura 6: Xenakis, *Metastaseis*, bb. 309-314 (schema ricavato dalla partitura)

Infine, è da notare come, per effetto della continuità della parabola iperbolica, i *glissandi* iniziano e/o terminano in un grande unisono di tutti gli archi: da tanti punti sparsi si converge verso un unico punto in comune.

Riferimenti bibliografici e sitografici

Makis Solomos, *Du projet bartókien au son. L'évolution du jeune Xenakis*, in «Présences de Iannis Xenakis», Paris, Centre de documentation de la musique contemporaine (CDMC), 2001, pp. 15-28.

Dmitri Tymoczko, *The Geometry of Music*, New York, Oxford University Press, 2011.

Bálint András Varga, *Conversations with Iannis Xenakis*, London, Faber and Faber, 1996.

Iannis Xenakis, *Metastaseis B for orchestra*, London, Boosey and Hawkes, 1967.

Iannis Xenakis, *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition*, Hillsdale, NY, Pendragon Press, 2001.

Iannis Xenakis-Sharon Kanach, *The Philips Pavilion 1956-58*, in *Music and Architecture: Architectural Projects, Texts, and Realizations*, Hillsdale, NY, Pendragon Press, 2008.

**

Ron Squibbs, *Aspects of Compositional Realization in Xenakis's Pre-Stochastic and Early Stochastic Music*, «Proceedings of the Xenakis International Symposium, Southbank Centre, London, 1-3 April 2011».

Link: https://www.academia.edu/3529886/Aspects_of_Compositional_Realization_in_Xenakis_s_Pre_Stochastic_and_Early_Stochastic_Music_Iannis_Xenakis_International_Symposium_Goldsmiths_University_of_London_England_October_2010_Xenakis_Arts_Science_McGill_University_Montréal_April_2011 (data di accesso: 27 settembre 2022).

Robert Wannamaker, *Mathematics and Design in the Music of Iannis Xenakis*, in «Xenakis Matters», a cura di Sharon Kanach, Hillsdale, Pendragon Press, 2012.

Link: https://www.researchgate.net/publication/317790128_Mathematics_and_Design_in_the_Music_of_Iannis_Xenakis (data di accesso: 1° ottobre 2022).

Zeynep Özcan, *Intersection of Architecture and Music as Gesamtkunstwerk in Iannis Xenakis's Selected Works*, Thesis for the Degree of Master of Arts, Graduate School of Social Sciences of Middle East Technical University, January 2013.

Link: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12615539/index.pdf> (data di accesso: 2 ottobre 2022).

RIFLESSIONI SU *À R. (HOMMAGE À RAVEL)* DI IANNIS XENAKIS

LUIGI SASSONE

À R. (Hommage à Ravel) è un brano per pianoforte di Iannis Xenakis. Fu commissionato al compositore nel 1987 per il Festival Internazionale di Montpellier in Francia, nell'ambito delle celebrazioni per il cinquantesimo anniversario della morte di Ravel. Sebbene il titolo indichi che si tratta di un omaggio al compositore francese, l'opera presenta poche somiglianze con i suoi lavori: stilisticamente è molto più vicina alle opere da camera dello stesso periodo di Xenakis, come *XAS* (1987) e *Waarg* (1988). Viene tutt'oggi considerata da esecutori e teorici come una delle numerose miniature per strumento solo realizzate dal compositore greco: pur contando solo ventuno battute e poco più di due minuti di durata, si tratta di una delle opere più dense e sviluppate dal punto di vista formale e sonoro di Xenakis.

Tra gli studi più recenti sull'argomento ricordiamo quelli di Dimitrios Exarchos (sulla produzione musicale dell'ultimo periodo di Xenakis) e di Constantine Soteriou (che fa riferimento all'analisi di quest'opera insieme ad altre analisi di opere per pianoforte del compositore), ma di particolare rilevanza sono soprattutto i lavori di Ronald J. Squibbs, che fungono peraltro da punto di riferimento per gli studi precedenti.¹ Squibbs esamina ampiamente la struttura da tre prospettive diverse: la prima comprendente texture, segmentazione e struttura formale; la seconda con la "teoria dei setacci" [*sieve theory*] e gli insiemi di altezze [*pitch-sets*]; e infine la terza che corrisponde alla struttura temporale della composizione. In questa sede verrà riproposta e commentata l'analisi di Squibbs con un'attenzione particolare riservata alla sezione relativa agli insiemi di altezze, che verrà esplicitata maggiormente dal punto di vista grafico.

Prima di trattare l'analisi dell'opera, tuttavia, è bene tener presenti alcuni termini e concezioni conosciuti dallo stesso Xenakis, che sono stati ripresi e utilizzati appositamente a scopi analitici da Squibbs. In particolare, nella concezione musicale del compositore gli "eventi sonori" [*sonic events*] sono considerati come punti in uno spazio astratto, dove gli attributi come altezza, durata e intensità costituiscono le dimensioni. Gli attributi specifici, come grave/acuto e piano/forte, coincidono con

¹ Dimitrios Exarchos, *Iannis Xenakis and Sieve Theory. An Analysis of the Late Music (1984-1993)*, Tesi di dottorato, London, Goldsmiths College University of London, 2009; Constantine Soteriou, *Iannis Xenakis: The Analysis of Four Works for Piano Solo*, Tesi di dottorato, Prague, Charles University, 2011; Ronald James Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Iannis Xenakis: Studies of Recent Works*, Tesi di dottorato, New Haven, Yale University, 1996; Ronald James Squibbs, *Xenakis in Miniature: Style and Structure in À R. (Hommage à Ravel) for Piano (1987)*, «Perspectives of New Music», xli/1, 2003, pp. 120-153.

posizioni lungo le dimensioni corrispondenti. La misurazione dei gradi degli attributi in questo caso avviene utilizzando valori unitari appropriati lungo un asse, così che più coordinate possano descrivere lo stato generale di un evento sonoro (ad esempio attraverso attributi più comuni come altezza, durata e intensità) creando un modello univoco nello spazio musicale. Il numero delle dimensioni nel modello di coordinate non è fisso, e non è necessario includere tutti gli attributi possibili: essi possono variare a seconda delle esigenze compositive o analitiche.

La tabella 1 riporta un elenco degli attributi più rilevanti associati agli eventi sonori, la dimensione a cui appartengono, i due valori estremi e la relativa unità di misura.²

<i>attribute</i>	<i>dimension</i>	<i>relative position</i>		<i>unit(s)</i>
		<i>low</i>	<i>high</i>	
<i>pitch</i>	<i>p-space</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>semitone, quarter-tone</i>
<i>sequential time</i>	<i>st-space</i>	<i>before</i>	<i>after</i>	<i>ordinal number</i>
<i>time-point</i>	<i>tp-space</i>	<i>early</i>	<i>late</i>	<i>beat, second</i>
<i>duration</i>	<i>d-space</i>	<i>short</i>	<i>long</i>	<i>beat, second</i>
<i>intensity</i>	<i>i-space</i>	<i>soft</i>	<i>loud</i>	<i>level (pp, p, ..., f, ff)</i>

Tabella 1: dimensione di riferimento, gradi di misurazione e unità di misura relativi ai diversi attributi associati agli eventi sonori

Un altro termine utilizzato spesso come attributo dallo stesso compositore è quello di densità, la quale viene determinata numericamente come la media di eventi sonori per una precisa unità di tempo (suono al secondo s/s). La misura della densità dipende sia dal numero di eventi sonori in un segmento, sia dalla durata del segmento stesso.

Nel presente saggio verrà utilizzata principalmente la dimensione delle altezze [*p-space*], e l'unità di misura saranno i semitoni. In particolare, si tenga presente che il sistema di nomenclatura delle altezze è quello suggerito dalla *Acoustical Society of America*: in questo sistema le altezze sono indicate con la lettera della nota (notazione alfabetica anglosassone) seguita da un numero che indica l'ottava di appartenenza, per cui il *do* più grave sulla tastiera del pianoforte standard è indicato con C1, il *do* più acuto con C8, mentre il *do* centrale con C4. A ciascuna altezza viene quindi attribuito un valore numerico (positivo o negativo) calcolato in base alla distanza in semitoni a partire dal punto di origine del *p-space* (C4 = 0).

La tabella 2 ricalca l'estensione del pianoforte, dal suono più acuto al più grave, mostrando i valori numerici corrispondenti alle singole altezze [*pitch-numbers*] all'interno del *p-space* per facilitare la lettura dell'analisi che segue.

² La tabella è ricavata da Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Iannis Xenakis*, cit., p. 30; di solito, *p-space*, *tp-space*, *i-space* e *d-space* sono sufficienti per rappresentare gli eventi sonori in modo quanto più oggettivo ed utile all'analisi.

altezza	<i>pitch-number</i>	altezza	<i>pitch-number</i>
C8	48	E4	4
B7	47	D#4/Eb4	3
A#7/Bb7	46	D4	2
A7	45	C#4/Db4	1
G#7/Ab7	44	C4	0
G7	43	B3	-1
F#7/Gb7	42	A#3/Bb3	-2
F7	41	A3	-3
E7	40	G#3/Ab3	-4
D#7/Eb7	39	G3	-5
D7	38	F#3/Gb3	-6
C#7/Db7	37	F3	-7
C7	36	E3	-8
B6	35	D#3/Eb3	-9
A#6/Bb6	34	D3	-10
A6	33	C#3/Db3	-11
G#6/Ab6	32	C3	-12
G6	31	B2	-13
F#6/Gb6	30	A#2/Bb2	-14
F6	29	A2	-15
E6	28	G#2/Ab2	-16
D#6/Eb6	27	G2	-17
D6	26	F#2/Gb2	-18
C#6/Db6	25	F2	-19
C6	24	E2	-20
B5	23	D#2/Eb2	-21
A#5/Bb5	22	D2	-22
A5	21	C#2/Db2	-23
G#5/Ab5	20	C2	-24
G5	19	B1	-25
F#5/Gb5	18	A#1/Bb1	-26
F5	17	A1	-27
E5	16	G#1/Ab1	-28
D#5/Eb5	15	G1	-29
D5	14	F#1/Gb1	-30
C#5/Db5	13	F1	-31
C5	12	E1	-32
B4	11	D#1/Eb1	-33
A#4/Bb4	10	D1	-34
A4	9	C#1/Db1	-35
G#4/Ab4	8	C1	-36
G4	7	B0	-37
F#4/Gb4	6	A#0/Bb0	-38
F4	5	A0	-39

Tabella 2: valori numerici associati ai singoli tasti del pianoforte [*pitch-numbers*] calcolati in base alla distanza in semitoni a partire dal *do* centrale (C4).

Operazioni con gli insiemi

A differenza degli “insiemi di classi d’altezze” [*pitch-class sets*], peculiari della teoria degli insiemi, in questo contesto ricorreremo piuttosto al concetto di “insieme di altezze” [*pitch-set*, o semplicemente *set*], che fornisce un modo pratico per rappresentare il contenuto di un evento sonoro in termini di altezze.³ In senso lato, un insieme corrisponde a una collezione non ordinata di elementi: per convenzione, le altezze contenute in un insieme – identificate con i relativi *pitch-numbers* – sono elencate in ordine crescente, con gli elementi duplicati considerati ciascuno soltanto una volta.⁴

$$A = \{-5 -2 \mathbf{1} \mathbf{3} \mathbf{7} \mathbf{11} \mathbf{13} \mathbf{16} \mathbf{17}\}$$

Una “sequenza” [*sequence*, o *seq*] è invece un insieme “ordinato” di elementi. Gli elementi sono elencati nell’ordine in cui appaiono in una qualche dimensione, e sono posti fra parentesi angolari:

$$B = \langle \mathbf{8} -\mathbf{3} \mathbf{4} \mathbf{6} \mathbf{4} \mathbf{19} \mathbf{23} -\mathbf{7} \rangle$$

Poiché l’ordine è una proprietà delle sequenze, in questo caso gli elementi duplicati vengono mantenuti nell’elenco: si deduce che le sequenze che contengono gli stessi elementi, ma con un ordine differente, non sono equivalenti.

$$B = \langle \mathbf{8} -\mathbf{3} \mathbf{4} \mathbf{6} \mathbf{4} \mathbf{19} \mathbf{23} -\mathbf{7} \rangle \neq C = \langle \mathbf{4} \mathbf{6} \mathbf{19} \mathbf{4} \mathbf{23} -\mathbf{3} -\mathbf{7} \mathbf{8} \rangle$$

La “spaziatura di un insieme” [*spacing of a set*], abbreviata SP, è l’elenco ordinato degli intervalli calcolati tra gli elementi adiacenti di un insieme.⁵

$$SP(A) = \langle 3 \mathbf{3} \mathbf{2} \mathbf{4} \mathbf{4} \mathbf{2} \mathbf{3} \mathbf{1} \rangle$$

La “successione intervallare di una sequenza” [*interval succession of a seq*], abbreviata INT, è invece l’elenco ordinato degli intervalli calcolati tra gli elementi successivi di una sequenza.⁶

$$INT(B) = \langle -\mathbf{11} \mathbf{7} \mathbf{2} -\mathbf{2} \mathbf{15} \mathbf{4} -\mathbf{30} \rangle$$

³ Si tenga presente che i termini tecnici presentati di seguito sono ricavati da Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Iannis Xenakis*, cit., pp. 28-67, laddove sono ampiamente trattati e discussi.

⁴ Le parentesi graffe che circondano l’elenco degli elementi indicano che l’ordine non è una proprietà dell’insieme; in base a questa assunzione, due elenchi che contengono gli stessi elementi ordinati in modo differente, con o senza duplicati, sono equivalenti.

⁵ La spaziatura di un insieme contiene solo numeri interi positivi, perché gli elementi di un insieme sono convenzionalmente elencati in ordine crescente e non sono previsti elementi duplicati; la spaziatura di un insieme contiene un elemento in meno rispetto al numero di elementi dell’insieme.

⁶ Le successioni intervallari di una sequenza contengono numeri interi positivi e negativi, perché elencano intervalli melodici (ascendenti o discendenti) tra gli elementi successivi di una sequenza: sulle diverse modalità di calcolo degli intervalli nel contesto della notazione numerica cfr. Domenico Giannetta, *Tecniche per l’analisi della musica post-tonale*, Lucca, LIM, 2023, pp. 7-16.

Se la spaziatura di un insieme, o la successione intervallare di una sequenza, mostrano un modello ripetuto di intervalli, l'insieme o la sequenza viene definita "modulare", come ad esempio:

$$SP(D) = \langle 1 \ 1 \ 3 \ 2 \ 3 \ 4 \ 2 \ 1 \ 1 \ 3 \ 2 \ 3 \ 4 \ 2 \rangle$$

Nel caso in cui l'elemento iniziale dell'insieme D fosse **0**, il *set* corrispondente sarebbe:

$$D = \{0 \ 1 \ 2 \ 5 \ 7 \ 10 \ 14 \ 16 \ 17 \ 18 \ 21 \ 23 \ 26 \ 30 \ 32\}$$

Lo schema degli intervalli ripetuti in questo caso è $\langle 1 \ 1 \ 3 \ 2 \ 3 \ 4 \ 2 \rangle$. Sommando gli intervalli di questo schema si ottiene il valore del modulo:

$$1 + 1 + 3 + 2 + 3 + 4 + 2 = 16$$

Un "insieme modulare" può essere abbreviato con *m-set*, mentre con *m-seq* viene indicata una "sequenza modulare". Poiché un *m-set/m-seq* contiene uno o più periodi di una serie potenzialmente infinita di cicli periodici, ciascuno di essi può essere rappresentato in modo conciso indicando soltanto uno dei suoi periodi, ad esempio:

$$M_D = \{0 \ 1 \ 2 \ 5 \ 7 \ 10 \ 14 \ (16/0)\}$$

L'elemento finale (in realtà una coppia di elementi) è racchiuso tra parentesi tonde per indicare il completamento di un periodo in quel punto. Il valore più grande della coppia di elementi racchiusi tra parentesi tonde indica l'entità del modulo: in questo caso si tratta di un modulo 16, per cui $16 \bmod 16 \equiv 0$.⁷

Le operazioni desunte dalla teoria degli insiemi possono essere applicate sia agli insiemi che alle sequenze, che siano modulari o meno. Le tre operazioni fondamentali sono l'unione (\cup), l'intersezione (\cap) e il calcolo dell'insieme complementare. Per brevità, gli esempi seguenti saranno limitati ai soli insiemi.

L'unione di due insiemi produce un terzo insieme che contiene gli elementi che appartengono all'uno o all'altro dei due insiemi di partenza. Per esempio, se $A = \{-5 \ -2 \ 1 \ 3 \ 7 \ 11 \ 13 \ 16 \ 17\}$, ed $E = \{-10 \ -4 \ -2 \ 0 \ 5 \ 7 \ 12 \ 16 \ 19\}$, allora:

$$A \cup E = \{-10 \ -5 \ -4 \ -2 \ 0 \ 1 \ 3 \ 5 \ 7 \ 11 \ 12 \ 13 \ 16 \ 17 \ 19\}$$

L'intersezione di due insiemi dà invece vita ad un terzo insieme che contiene soltanto gli elementi che appartengono ad entrambi gli insiemi originali:

$$A \cap E = \{-2 \ 7 \ 16\}$$

Il complemento di un insieme, infine, è l'insieme che contiene gli elementi non contenuti nell'insieme originale, ma che appartengono a un insieme di riferimento che include l'insieme originale. Per esempio, se l'insieme di riferimento U contiene

⁷ La rappresentazione delle sequenze modulari è simile a quelle degli *m-set*, tranne per il fatto che si usano le parentesi angolari per racchiudere gli elementi delle *m-seq*.

tutti i numeri interi da -5 a 20 , il complemento di A rispetto a U (che chiameremo \bar{A}) sarà:

$$\bar{A} = \{-4 -3 -1 0 2 4 5 6 8 9 10 12 14 15 18 19 20\}$$

Ricavate dalla teoria degli insiemi sono inoltre le relazioni di inclusione: un insieme è incluso, cioè è un sottoinsieme [*subset*] di un altro, se tutti i suoi elementi sono membri dell'altro insieme, e viceversa. Se $A = \{-5 -2 1 3 7 11 13 16 17\}$, e $F = \{1 7 13 16\}$, ad esempio:

$$F \subset A, \text{ e contestualmente } A \supset F$$

La trasposizione di un insieme, attuata tramite l'operatore T_n , si ottiene sommando a ciascun elemento il valore numerico corrispondente all'intervallo di trasposizione n , per cui se $G = \{0 2 3 5 7 10 12 15 17 19 20\}$, e $n = 10$,

$$T_{10}(G) = \{10 12 13 15 17 20 22 25 27 29 30\}$$

Nel caso in cui l'insieme sia modulare, tuttavia, l'operazione T_n dovrà essere calcolata in mod m . Nel caso dell'insieme modulare $M_H = \{0 3 5 7 11 16 19 22 24 (27/0)\}$, ad esempio, si ricava $m = 27$, mentre la sua spaziatura è pari a $SP(M_H) = \langle 3 2 2 4 5 3 3 2 3 \rangle$. Prendendo in considerazione un insieme che rappresenta un singolo periodo di questo m -set, ovvero $H = \{0 3 5 7 11 16 19 22 24\}$, l'applicazione dell'operazione T_8 darebbe origine a:

$$T_8(H) = \{8 11 13 15 19 24 27 30 32\}$$

Tuttavia, dato che ci troviamo in un contesto di calcolo mod 27, ciascun elemento di valore pari o superiore a 27 dovrà essere rimpiazzato dal suo equivalente in mod 27, in modo tale da rimanere circoscritti all'interno di un singolo periodo. Pertanto, $T_8(H) \pmod{27} = \{8 11 13 15 19 24 0 3 5\}$, da cui si ottiene, riordinando i valori in senso ascendente: $T_8(M_H) = \{0 3 5 8 11 13 15 19 24\}$.

La spaziatura di quest'ultimo insieme, $\langle 3 2 3 3 2 2 4 5 (3) \rangle$, infine, corrisponde ad una rotazione in avanti di tre posizioni degli stessi intervalli presenti in $SP(M_H)$; l'ultimo intervallo è posto fra parentesi tonde in quanto si tratta dell'intervallo che si forma quando il periodo viene reiterato.

La teoria dei setacci

La "teoria dei setacci" [*sieve theory*] si riferisce a un metodo di individuazione o conteggio degli elementi all'interno di un insieme più grande attraverso l'uso di regole di inclusione ed esclusione. Questo approccio è particolarmente utile quando si desidera trovare determinati elementi che soddisfino una certa proprietà all'interno di un vasto insieme di oggetti. Il metodo dei setacci può essere utilizzato in vari contesti, come nella teoria dei numeri per trovare i numeri primi, nella combinatoria per contare oggetti, e in molti altri campi della matematica e dell'informatica: un

esempio classico della teoria dei setacci è l'algoritmo di Eratostene per trovare i numeri primi fino a un certo valore limite.⁸

In generale, la teoria dei setacci è un approccio potente per individuare e contare elementi in modo efficiente e sistematico. Può essere applicata a una vasta gamma di problemi matematici, ed è un concetto di fondamentale importanza in diversi campi della matematica e della scienza. Invece di contare le cose in modo preciso, i setacci servono ad ottenere un buon risultato approssimativo, con il vantaggio di essere molto più elastici e rapidi. Ed è proprio questa flessibilità che ha portato Xenakis a sviluppare, circa a metà degli anni '60, una tecnica compositiva incentrata sugli stessi.

Xenakis iniziò ad utilizzare questa teoria nel 1963, per comporre durante il suo soggiorno a Berlino dopo aver ricevuto una sovvenzione dalla *Ford Foundation* per vivere e lavorare in Germania. Nel caso del compositore greco, la teoria è principalmente usata per la creazione di scale e, anche se più raramente, di ritmi.⁹ I setacci sono stati implicitamente definiti da Xenakis come segue:

Since we are dealing with a sieving of the basic scale (elementary displacement by one semitone), each residual class forms a sieve allowing certain elements of the chromatic continuity to pass through. [...] Starting from these elementary sieves we can build more complex scales – all the scales we can imagine – with the help of the three operations of the Logic of Classes: union [...], intersection [...], and complementation.¹⁰

Nella pratica, un setaccio è una selezione tra i punti disponibili lungo l'asse di una qualche dimensione, come *p-space* o *tp-space*. Il tipo più semplice di setaccio è chiamato “modulo” [*module*]. Un modulo è indicato da una coppia ordinata (*m*, *r*) che indica un modulo e una classe di residui all'interno di quel modulo. Quando *m* = 3 e *r* = 0, ad esempio:

$$(3, 0) = \{ \dots -12 \ -9 \ -6 \ -3 \ 0 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ \dots \}$$

⁸ L'algoritmo di Eratostene è fondato su principi basilari: si inizia con un elenco di numeri che va da 2 fino a un certo valore massimo *n*, e poi si cominciano ad eliminare i multipli di ogni numero primo trovato: si inizia con il numero 2, eliminando i suoi multipli (4, 6, 8, ...) fino a *n*; poi si passa al numero primo successivo, che è il 3, e si eliminano i suoi multipli (6, 9, 12, ...) fino a *n*; si continua in questo modo con i numeri primi rimanenti, eliminando i loro multipli, finché non si è esplorato tutto l'insieme di numeri. L'algoritmo di Eratostene si basa sul fatto che se un numero è multiplo di un altro numero, allora automaticamente lo stesso non può essere un numero primo, per cui, eliminando gradualmente i multipli, si riescono a identificare tutti i numeri primi.

⁹ «Xenakis developed his *sieve theory* in the mid-1960s. Since then it has provided him with a way of constructing modular pitch sets (m-psets) and modular time-point sequences (m-tpseqs)» (Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Iannis Xenakis*, cit., p. 57).

¹⁰ Iannis Xenakis, *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition*, New York, Pendragon Press, 1992, p. 196.

Un modulo, quindi, è un insieme molto semplice che contiene un solo elemento per ogni periodo, per un numero indefinito di periodi. Setacci più complessi possono essere ottenuti tramite l'unione (+) o l'intersezione (-) di due o più moduli. Il periodo di un setaccio è uguale al minimo comune multiplo del valore dei due moduli.

Alcune semplici illustrazioni serviranno come introduzione alla formazione dei setacci. Consideriamo i due moduli (3, 0) e (4, 0): il loro minimo comune multiplo è 12, che è quindi il periodo dei setacci che si possono formare con essi. Partendo da **0**, un singolo periodo dell'unione di questi due moduli è

$$(3, 0) + (4, 0) = \{\mathbf{0\ 3\ 4\ 6\ 8\ 9}\}$$

Questo rappresenta l'unione di $(3, 0) = \{\dots \mathbf{0\ 3\ 6\ 9} \dots\}$ e $(4, 0) = \{\dots \mathbf{0\ 4\ 8} \dots\}$ per valori che vanno da **0** a **11** (le classi di altezze mod 12). Partendo da $J = \{\mathbf{0\ 3\ 4\ 6\ 8\ 9}\}$ si ottiene

$$SP(J) = \langle 3\ 1\ 2\ 2\ 1\ (3) \rangle$$

L'intervallo finale in $SP(J)$ è indicato tra parentesi tonde perché collega l'elemento finale dell'insieme modulare J con il primo elemento del periodo successivo. Si noti la disposizione simmetrica degli intervalli in $SP(J)$: gli intervalli sono disposti simmetricamente attorno a un asse situato tra la coppia di intervalli 2 2 posta al centro. Le spaziature simmetriche sono una caratteristica generale dei setacci formati dall'unione di due o più moduli.

Si possono infine applicare ulteriori trasformazioni (definite *metaboliae* dal compositore) come ad esempio l'intersezione o semplicemente l'aggiunta di un valore alla classe residua ad entrambi i setacci precedenti: $(3, 2) + (4, 2) = \{\mathbf{2\ 5\ 6\ 8\ 10\ 11}\}$, ed in questo caso si possono ottenere moduli equivalenti ma con valori diversi all'interno. I setacci utilizzati dal compositore sono ulteriormente complicati dall'uso di più *metaboliae* all'interno degli insiemi di altezze derivanti.

José L. Besada individua una certa affinità fra i modi a trasposizione limitata di Messiaen e la teoria dei setacci applicata dal compositore greco:

For me, these modes of limited transposition were modes like others, as any we can build. Only one thing haunted my mind, the fact that he named them "of limited transposition". [...] After, I told myself, why not inventing too? I reflected a lot about a more theoretical approach [...] based on logic operations and wrote Herma [...]. But I felt that the introduction of probabilities I did was not enough and it was just a first attempt, a deeper dialectic of order and disorder was needed, etc. And I built sound classes for piano, and next [performed] logical operations with these classes. Messiaen used his modes of limited transposition as a coloration above all [...]. A scale may serve however to any feature of sound [...], on condition that these features [...] form an absolutely ordered set [...]. What shall we make of the fact that these utterances clash with the lack of evidence in the sketches above relating to Messiaen's ideas, particularly against the backdrop of a sieve which matches with an octatonic scale in terms of their shared pitch-class set? It is important to remember here that composers' *a posteriori* mental reconstruction of their compositional choices or theoretical reasonings often diverge significantly from their actual practices [...]. My

hypothesis is that Xenakis connected his sieves with Messiaen's modes after he had already gained some experience with his technique. Perhaps this link biased his memories about the process, as no explicit reference is found in his first documented attempts in Berlin.¹¹

Come già accennato, gli insiemi di altezze utilizzati in *À R.* sono stati individuati secondo i principi della teoria dei setacci e, sebbene le specificità di tale teoria siano state trattate a lungo nella tesi di Squibbs, l'analisi proposta dallo studioso nel saggio dedicato a questa composizione considera i setacci come insiemi di classi d'altezze il cui modulo è tuttavia un numero considerevolmente maggiore rispetto al canonico 12.¹² Questo approccio analitico si concentra sul contenuto, sulla struttura intervallare e sulla trasposizione dei setacci utilizzati. Xenakis spiega la connessione tra le due teorie nella prefazione alla partitura di *Mists* per pianoforte (1980), dove afferma che una delle idee principali di quell'opera è l'esplorazione delle serie di altezze (scale) e delle loro trasposizioni cicliche.¹³

Oltre ai cambiamenti ravvisabili nel processo compositivo, la presenza di varianti locali all'interno degli insiemi complica ulteriormente la loro interpretazione analitica: queste varianti locali si manifestano come sostituzioni o interposizioni occasionali all'interno di una struttura di insiemi prevalente. Un'ulteriore complicazione è data dal fatto che gli insiemi di altezze raramente appaiono in forma completa: è spesso necessario, quindi, costruire insiemi di altezze completi per metterli poi a confronto con sottoinsiemi le cui strutture intervallari possiedono una successione intervallare analoga. Le successioni intervallari che si riscontrano nella maggior parte dei sottoinsiemi possono essere utilizzate come base per la costruzione di una forma standard dell'insieme completo. Una volta stabilita la struttura intervallare della forma standard di un insieme completo, diventa poi possibile determinare come tutte le configurazioni presenti sulla superficie musicale derivino, direttamente o indirettamente, da tale insieme: i pochi frammenti isolati che non rientrano fra le trasposizioni degli insiemi standard possono comunque essere identificati come sostituzioni o interpolazioni locali.

Squibbs ha adoperato questo metodo per determinare la forma standard delle due famiglie di insiemi di altezze che appaiono in *À R.* La prima famiglia di insiemi viene classificata in questa sede con il numero "1": essa si estende per l'intera tastiera del pianoforte (88 semitoni), e possiede pertanto un periodo pari a 88.¹⁴

¹¹ Josè L. Besada, *Xenakis' Sieve Theory*, «Music Theory Online», XXVIII/2, 2022.

¹² Esistono alcuni punti di contatto tra la teoria dei setacci e la teoria degli insiemi di classi di altezze, ma esistono anche alcune importanti differenze concettuali e terminologiche tra le due teorie.

¹³ «...by the time *À R.* was composed Xenakis appears to have developed a preference for a particular type of pc set, variants of which appear in several works from the 1980s» (Squibbs, *Xenakis in Miniature*, cit., p. 133).

¹⁴ Squibbs adoperava inizialmente la lettera "A" per classificare tale famiglia di insiemi (Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Xenakis*, cit., p. 136).

Famiglia di insiemi 1 (periodo = 88)
{-39 -37 -36 -35 -32 -30 -29 -26 -25 -23 -22 -18 -16 -14 -10 -9 -7 -5 -4 -1 0 4 5 8 9 13 14 18 19 20 23 24 27 28 30 33 34 38 39 43 47 48 (49/-39)}
SP = < 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 >

La sigla “1.0” viene invece adoperata da Squibbs per identificare la forma standard di tale insieme:¹⁵

Insieme 1.0 = $T_0(1.0)$
{-39 -37 -36 -35 -32 -30 -29 -26 -25 -23 -22 -18 -16 -14 -10 -9 -7 -5 -4 -1 0 4 5 8 9 13 14 18 19 20 23 24 27 28 30 33 34 38 39 43 47 48}
SP = < 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 >

La figura 1 elenca le altezze che costituiscono l'insieme 1.0:

set 1.0

< 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 >

Figura 1: contenuto in altezze dell'insieme 1.0

Il primo dei due numeri che identificano un insieme indica la famiglia di appartenenza (in questo caso: 1), mentre il secondo numero rappresenta il livello di trasposizione: nel caso in specie, il numero “0” indica che questo insieme è disposto secondo la sua forma standard (ovvero con trasposizione T_0). La successione delle altezze inizia con A0 (ovvero -39 secondo il sistema di classificazione illustrato nella tabella 2), e segue pedissequamente la spaziatura SP(1.0). Se considerassimo invece il secondo insieme in ordine di apparizione all'interno dell'opera, ovvero 1.64, potremmo verificare che si tratta della trasposizione $T_{64} \pmod{88}$ rispetto alla configurazione standard:

Insieme 1.64 = $T_{64}(1.0) \pmod{88}$
{-38 -34 -33 -31 -29 -28 -25 -24 -20 -19 -16 -15 -11 -10 -6 -5 -4 -1 0 3 4 6 9 10 14 15 19 23 24 25 27 28 29 32 34 35 38 39 41 42 46 48}
SP = < 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 >

¹⁵ Squibbs, *Xenakis in miniature*, cit., pp. 133-134.

set 1.64

< 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 >

Figura 2: contenuto in altezze dell'insieme 1.64

Da notare come, a partire da C#6, si presenti la medesima successione intervallare della configurazione standard: la spaziatura di 1.64 è infatti uguale alla spaziatura di 1.0 che inizia da A#2. Sulla natura ciclica delle successioni intervallari, Squibb scrive:

On an instrument with a range wider than that of the standard piano, the interval succession of this set could potentially unfold multiple times. Upon completion of each modulus, the set's interval succession would repeat itself cyclically. Because of the potentially cyclic nature of this interval succession, it may be regarded as a cyclic interval succession (CINT).¹⁶

Gli insiemi appartenenti alla famiglia "2" sono realizzati secondo gli stessi principi, ma contengono 90 semitoni (per cui $m = 90$), superando così l'estensione del pianoforte. In generale, i valori intervallari tra le altezze adiacenti degli insiemi di questa famiglia sono maggiori rispetto a quelli degli insiemi di tipo 1, per cui nel complesso gli insiemi di tipo 2 contengono un numero inferiore di suoni.

Famiglia di insiemi 2 (periodo = 90)
{-39 -38 -33 -32 -28 -24 -22 -19 -18 -14 -11 -9 -5 -3 0 2 8 10 13 16 21 23 27 30 36 38 41 43 44 49 (51/-39)}
SP = < 1 5 1 4 4 2 3 1 4 3 2 4 2 3 2 6 2 3 3 5 2 4 3 6 2 3 2 1 5 2 >

La forma standard "2.0" di tale insieme sarà:

Insieme 2.0 = $T_0(2.0)$
{-39 -38 -33 -32 -28 -24 -22 -19 -18 -14 -11 -9 -5 -3 0 2 8 10 13 16 21 23 27 30 36 38 41 43 44}
SP = < 1 5 1 4 4 2 3 1 4 3 2 4 2 3 2 6 2 3 3 5 2 4 3 6 2 3 2 1 >

La figura 3 mostra le altezze che costituiscono l'insieme 2.0:

¹⁶ *Ibid.*, p. 133.



Figura 3: contenuto in altezze dell'insieme 2.0

Dalle due forme standard 1.0 e 2.0, riconducibili alle due famiglie di insiemi 1 e 2, derivano, direttamente o indirettamente, tutti gli insiemi presenti nella composizione.

Analisi di *À R. (Hommage à Maurice Ravel)*

Prima di esaminare gli insiemi e il loro posizionamento, è opportuno elencare le caratteristiche di superficie dell'opera. Ad un primo sguardo notiamo l'assenza di una segnatura metrica: Xenakis riporta due indicazioni metronomiche, la prima all'inizio del brano (46 mm alla semiminima), e la seconda a b. 10 (36 mm alla semiminima). Anche da un punto di vista visivo ed editoriale, il brano sembra essere strutturato e scritto in 4/4 con una configurazione ritmica formata prevalentemente da terzine di trentaduesimi nella prima parte, duine di sessantaquattresimi nella seconda con la comparsa di gruppi irregolari e ribattuti, ed un ritorno alla configurazione delle terzine nell'ultima parte con una breve interpolazione di quartine di semibiscrome.

Nella composizione si ravvisano fondamentalmente due diverse tipologie di texture:¹⁷

- aggregati (definiti da Squibbs come *simultaneities* o "simultaneità")
- *random walks*, veloci passaggi pianistici che ricordano a grandi linee delle scale, la cui traduzione letterale risulterebbe però tutt'altro che intuitiva ("passeggiate casuali" non rende infatti il concetto).¹⁸

¹⁷ Il termine texture risulta difficile da tradurre in italiano: con esso si indica l'aspetto generale, sonoro e visivo, di un episodio musicale per come si intuisce a livello superficiale.

¹⁸ Squibbs nota questa caratteristica nella musica di Xenakis degli anni Settanta e Ottanta; a tal proposito, scrive infatti lo studioso: «In contrast to the transformation of sound masses into simultaneities, the stylistic evolution of the random walk in Xenakis's music is not so simple, and therefore requires a more detailed explanation. A general definition of a random walk is "the movement of something in successive steps, the direction, length, or other property of each step being governed by chance independently of preceding steps." Random walks are used as models of physical processes such as Brownian motion, which is "the ceaseless erratic motion of fine particles in suspension." Xenakis has used both terms interchangeably to describe a type of sinuous melodic contour introduced into his instrumental music in the early 1970s» (Squibbs, *Xenakis in Miniature*, cit., p. 122).

A proposito delle *random walks*, Squibbs scrive:

There are many types of stochastic processes that can be described as random walks. Xenakis has used the term rather loosely to refer to stochastically generated waveforms in his electroacoustic music, to long glissando lines in his music for strings, and even to stochastic configurations in his music for piano. Use of the term here will be limited to configurations whose events are presented in a continuous manner, either in a single line or in two or more independent lines.¹⁹

Squibbs utilizza a scopi analitici una suddivisione del *continuum* in “segmenti” [*segments*] per identificare differenti eventi sonori chiaramente percepibili: a causa della differenziazione dal punto di vista superficiale, gli stessi elementi si pongono come contenitori delle diverse masse sonore utilizzate dal compositore.²⁰

Inizialmente le *random walks* sono presentate in coppia, una alla mano sinistra e l'altra alla mano destra, stabilendo così una texture a due voci: il segmento 1, ad esempio, contiene la prima coppia di *random walks*. Entrambe sono ritmicamente identiche, costituite interamente da terzine di trentaduesimi, ma ognuna di esse cambia direzione indipendentemente dall'altra: quella nel pentagramma inferiore cambia altezza ad ogni nota, mentre quella nel pentagramma superiore passa inizialmente da A4 a G#4, dove rimane per gran parte del primo tempo di battuta. Allo stesso modo, una volta che la linea melodica superiore raggiunge G6, verso la fine del secondo tempo, vi rimane per tre terzine di trentaduesimi.²¹ Entrambe le *random walks* sono poi seguite dal raggiungimento di una simultaneità a b. 2: in particolare, il segmento 2 coincide con la prima simultaneità dell'opera.²²

¹⁹ Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Iannis Xenakis*, cit., p. 110.

²⁰ Sui segmenti all'interno della musica del compositore greco, scrive ancora Squibbs: «In Xenakis's instrumental works, large numbers of individual sounds tend to coalesce into textures that are homogeneous with respect to rhythm, density, dynamics, articulation, and pitch collection. Relative homogeneity is maintained even when the temporal intervals between the sounds are randomized, as in the process of stochastic composition, for in such cases the average density of the resultant texture remains constant. Sudden changes in any of these characteristics have the effect of setting off a given texture from other, surrounding textures, thus dividing the musical surface into clearly perceptible segments. These segments are the containers for the sound masses for which Xenakis is well known, and they serve as the primary structural units upon which the form of a work is based. As such, they are subject to hierarchical groupings that form the basis for larger structural units.' Segments group together to form sections and sections, in turn, group together to form parts. A small work will typically divide into no more than two or three parts» (Squibbs, *Xenakis in Miniature*, cit., p. 122).

²¹ La reiterazione delle medesime altezze prefigura l'uso esteso di articolazioni ripetute che si paleserà più avanti nel corso del brano. A causa di queste ripetizioni di suoni, nella *random walk* superiore vi è una differenza nella velocità con cui il materiale sonoro viene esposto, seppur con una figurazione ritmica costante; ciononostante, come vedremo a breve, le due *random walks* sono sviluppate nell'ambito del medesimo *set*.

²² Un altro fattore di coordinamento fra le due *random walks* è la dinamica, in quanto i segni presenti in partitura indicano cambiamenti simultanei per entrambe le mani; è da notare, inoltre, la divisione netta dei segni di dinamica, che spaziano dal *p* al *ff* per le *random walks*, mentre si mantengono sul *mf-ff-fff* per le simultaneità.

La giustapposizione delle *random walks* del segmento 1 con la simultaneità del segmento 2 dà inizio a un'alternanza di texture contrastanti. Tale configurazione viene mantenuta fino a b. 6 in corrispondenza del segmento 10, laddove l'alternanza si interrompe: l'interruzione del modello di alternanza dei tipi di texture che si verifica dopo il segmento 10 costituisce la prima articolazione formale della composizione (la cui struttura formale verrà illustrata in seguito tramite la tabella 3).

Dal punto di vista degli insiemi, un punto di demarcazione è rappresentato dal segmento 7: i segmenti 1, 3 e 5, infatti, condividono insiemi derivati da 1.0, mentre il segmento 7 è il primo imparentato con la famiglia 2 (si tratta di un quasi-sovrainsieme di 2.0).²³

Insieme 2.0
{-39 -38 -33 -32 -28 -24 -22 -19 -18 -14 -11 -9 -5 -3 0 2 8 10 13 16 21 23 27 30 36 38 41 43 44}
SP = < 1 5 1 4 4 2 3 1 4 3 2 4 2 3 2 6 2 3 3 5 2 4 3 6 2 3 2 1 >

Segmento 7 (quasi-sovrainsieme di 2.0)
{-39 -38 -34 -33 -32 -28 -24 -22 -19 -18 -14 -11 -9 -8 -5 -4 -3 0 2 3 5 6 7 8 10 13 16 19 20 21 23 24 27 28 29 30 36 38 41 43}
SP = < 1 4 1 1 4 4 2 3 1 4 3 2 1 3 1 1 3 2 1 2 1 1 1 2 3 3 3 1 1 2 1 3 1 1 1 6 2 3 2 >

Il successivo segmento 9, invece, è ricavato dall'insieme 2.62:

Insieme 2.62 = $T_{62}(2.0) \pmod{90}$
{-39 -37 -33 -31 -28 -26 -20 -18 -15 -12 -7 -5 -1 2 8 10 13 15 16 21 23 24 29 30 34 38 40 43 44 48}
SP = < 2 4 2 3 2 6 2 3 3 5 2 4 3 6 2 3 2 1 5 2 1 5 1 4 4 2 3 1 4 >

set 2.62

< 2 4 2 3 2 6 2 3 3 5 2 4 3 6 2 3 2 1 5 2 1 5 1 4 4 2 3 1 4 >

Figura 4: contenuto in altezze dell'insieme 2.62

²³ Per "quasi-sovrainsieme" si intende un insieme più grande rispetto a quello di riferimento, che condivide con esso "quasi" tutti gli elementi, ma che contiene al contempo uno o più elementi non contenuti nel precedente. Una spiegazione analoga vale per il concetto opposto di "quasi-sottoinsieme". In questa tabella e nelle successive, gli elementi estranei rispetto all'insieme di riferimento sono indicati in corsivo.

In particolare, si tratta anche in questo caso di un quasi-sovrainsieme:

Segmento 9 (sovrainsieme di 2.62)
{-39 -37 -33 -31 -28 -26 -23 -20 -18 -16 -15 -14 -12 -11 -8 -7 -5 0 2 8 10 13 14 15 16 21 23 24 29 30 34 38 40 43 44 48}
SP = < 2 4 2 3 2 3 3 2 2 1 1 2 1 3 1 2 5 2 6 2 3 1 1 1 5 2 1 5 1 4 4 2 3 1 4 >

Andando avanti con l'analisi dei segmenti, l'impressione di un cambiamento strutturale radicale viene rafforzata dalla successione di due ulteriori simultaneità nei segmenti 12 e 13. L'esatta ripetizione del contenuto di altezze del segmento 10 in 12 divide efficacemente la successione di quattro simultaneità in coppie in base al loro contenuto di altezze: il contenuto differente dei segmenti dispari contrasta con il contenuto identico dei segmenti pari (figura 5).

Figura 5: Iannis Xenakis, *À R.*, bb. 6-7 (segmenti 10-13)

In questo modo l'alternanza di elementi strutturali contrastanti continua nella sezione successiva (classificata come **S1** nella tabella 3), ma ora è temporaneamente trasferita dal parametro della texture a quello delle altezze. Con l'arrivo del segmento 14 (bb. 7-8), tuttavia, ci si pone il problema dell'ambiguità della texture: questo segmento, infatti, è composto da quindici simultaneità (figura 6).

Figura 6: Iannis Xenakis, *À R.*, bb. 7-8 (segmento 14)

I brevi valori di durata di queste simultaneità, e il loro contorno complessivamente ondulatorio, tuttavia, richiamano caratteristiche simili alle *random walks*. Il segmento 14 è quindi, da un certo punto di vista, una *random walks of simultaneities*, così come la definisce Squibbs; inoltre, a favorire l'interpretazione di simultaneità è anche il mantenimento della dinamica *fff*, che è associata principalmente ad esse.²⁴

Dopo l'interruzione creata dal segmento 14, il susseguirsi di simultaneità iniziato nel segmento 10 riprende nel segmento 15, riportando successivamente alla texture peculiare delle *random walks* in occasione dei segmenti 16 e 17. L'inclusione di questi due segmenti nella sezione **S1** è però messa in discussione da diversi fattori. Innanzitutto, l'alternanza di *random walks* e simultaneità, con cui l'opera era iniziata, ritorna solo nei segmenti dal 17 al 21: il ritorno di questo schema familiare dà un'idea di come il lavoro possa essere stato concepito, e fornisce inoltre una base su cui raggruppare questi segmenti per formare la sezione successiva (classificata come **A2**). Inoltre, la ripresa di uno schema di texture alternate è preannunciata da cambiamenti di tempo e di articolazione, ovvero il cambio di indicazione metronomica accennato all'inizio dell'analisi e, contestualmente, il cambio di articolazione delle note delle *random walks*, che diventano adesso tutte ribattute. Questi cambiamenti avvengono mentre il segmento 16 è ancora in corso, rendendo così più labile il confine con il segmento 17, tanto più che il *sib3* della mano sinistra, con cui inizia il segmento 17, si sovrappone al frammento *mi6-fa6* della mano destra, con cui termina il segmento 16 (figura 7).

Figura 7: Iannis Xenakis, *À R.*, b. 10 (segmenti 16-17)

²⁴ «Textural ambiguities in Xenakis's music tend to serve as signposts for structural characteristics of global importance in addition to lending variety to the musical surface locally. In *À R.*, the “random walk of simultaneities” turns out to be a miniature reflection of the large-scale, wavelike descent articulated by the long-held simultaneities over the course of the work. This descent is illustrated in Example 3, where the simultaneities are lifted out of their immediate musical contexts and are shown with unspecified durations. The contour of this succession of simultaneities is more complex than the contour of segment 14 [...], but both successions move generally in a descending direction with doublings-back along the way. On the global level, the large-scale descent of the long-held simultaneities is clearly perceptible over the course of the two-minute composition and contributes to the conclusiveness of the work's ending. This descent thus constitutes an event of major structural significance, to which attention is aptly directed by the appearance of a similar event in miniature form in segment 14» (Squibbs, *Xenakis in Miniature*, cit., p. 127).

Il contenuto in termini di altezze dei segmenti 16 e 17, inoltre, è strettamente imparentato con l'insieme 2.82 (figura 8).

Insieme 2.82 = $T_{82}(2.0) \pmod{90}$
{-36 -32 -30 -27 -26 -22 -19 -17 -13 -11 -8 -6 0 2 5 8 13 15 19 22 28 30 33 35 36 41 43 44}
SP = < 4 4 2 3 1 4 3 2 4 2 3 2 6 2 3 3 5 2 4 3 6 2 3 2 1 5 2 1 >

set 2.82



Figura 8: contenuto in altezze dell'insieme 2.82

Segmento 16 (quasi-sottoinsieme di 2.82)
{-25 -22 -19 -17 -13 -11 -8 -6 -2 0 2 5 8 13 15 19 22 28 29 30 33 35 36 41 43}
SP = < 3 3 2 4 2 3 2 4 2 2 3 3 5 2 4 3 6 1 1 3 2 1 5 2 >

Segmento 17 (quasi-sottoinsieme di 2.82)
{-36 -32 -30 -27 -26 -22 -20 -19 -17 -13 -11 -8 -6 -2 0 2 5 8 13 15 19 22 28 29 30 33 35 36}
SP = < 4 2 3 1 4 2 1 2 4 2 3 2 4 2 2 3 3 5 2 4 3 6 1 1 3 2 1 >

Nel successivo segmento 19, all'inizio della corrispondente *random walk*, si palesa invece un insieme imparentato con 2.52 (figura 9).

Insieme 2.52 = $T_{52}(2.0) \pmod{90}$
{-38 -36 -30 -28 -25 -22 -17 -15 -11 -8 -2 0 3 5 6 11 13 14 19 20 24 28 30 33 34 38 41 43 47 49}
SP = < 2 6 2 3 3 5 2 4 3 6 2 3 2 1 5 2 1 5 1 4 4 2 3 1 4 3 2 4 2 >

set 2.52



Figura 9: contenuto in altezze dell'insieme 2.52

Segmento 19 (quasi-sottoinsieme di 2.52)
{-38 -36 -30 -28 -25 -22 -21 -17 -15 -11 -8 -2 0 3 5 6 11 13 14 19 20 24 28 29 30 33 34 38 41 43 47}
SP = < 2 6 2 3 3 1 4 2 4 3 6 2 3 2 1 5 2 1 5 1 4 4 1 1 3 1 4 3 2 4 >

Anche se il ribattuto aveva assunto un significato strutturale maggiore nel segmento 17 – dato che in esso vi si trova la prima coppia di *random walks* completamente articolata in questo modo – il segmento 19 riprende questo tipo di articolazione, che pertanto mette in connessione i segmenti 17 e 19 come membri della stessa sezione **A2**.

La coppia di *random walks* contenute nel segmento 21 ritorna infine alle articolazioni singole e alle terzine di trentaduesimi presenti in precedenza nella sezione **A1**. Il ritorno alle articolazioni singole è legato a un cambiamento nell'organizzazione delle altezze dell'opera: elencando e riassumendo gli insiemi in gioco fino ad ora, infatti, si hanno i segmenti 1, 3 e 5 che appartengono rispettivamente agli insiemi 1.0, 1.64 e 1.0, la cui struttura è quindi *aba'*. Gli stessi insiemi fanno parte, a loro volta, di una forma ternaria più grande *ABA'*, in cui la parte A è formata da insiemi appartenenti alla famiglia 1, mentre la parte B da insiemi appartenenti alla famiglia 2: gli insiemi nei segmenti 1, 3 e 5 derivano da 1.0, e la loro durata complessiva è pari al 14% della durata dell'intera opera; la parte B comprende i segmenti 7, 9, 16, 17 e 19, e la loro durata è pari al 38% della durata totale; A', infine, comprende i segmenti 21, 26, 27, 28, 29, 34, 35, 36, 37 e 39, e costituisce il restante 48% della durata complessiva.²⁵

Tale strutturazione richiama una visione ternaria per quanto riguarda l'uso dei due insiemi di riferimento 1.0 e 2.0, ma anche una visione formalmente a se stante dal punto di vista della superficie musicale. In tal senso, ripercorrendo la musica discussa finora, si può osservare uno schema di alternanza delle sezioni, come illustra la tabella 3:²⁶

²⁵ Nella sua tesi di dottorato, e in particolare nell'appendice, Squibbs fornisce un elenco completo degli insiemi utilizzati in questa composizione (Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Xenakis*, cit., pp. 136-140); in questa sede si aggiunge anche la resa grafica, mentre per gli insiemi derivati si indicheranno soltanto le altezze tra parentesi graffe con la corrispettiva spaziatura per una più agevole consultazione.

²⁶ La tabella seguente è liberamente ricavata da quella pubblicata in Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Xenakis*, cit., p. 131; i simboli che identificano le diverse tipologie di texture stanno per *random walks* (*r*) e *simultaneities* (*s*); il punto interrogativo, inoltre, indica una situazione ibrida (*random walks of simultaneities*), mentre il trattino segnala una pausa generale.

sezioni	segmenti	battute	alternanza texture
A1	segmenti 1-9	1-6	<i>rsrsrsrsr</i>
S1	segmenti 10-16	6-10	<i>ssss(?)sr</i>
A2	segmenti 17-21	10-13	<i>rsrsr</i>
S2	segmenti 22-29	13-15	<i>ssssr-rr</i>
S3	segmenti 30-36	16-18	<i>ssssrrr</i>
A3	segmenti 37-40	18-20	<i>rsrs</i>

Tabella 3: articolazione formale della composizione

La rigorosa alternanza di tipologie di texture contrastanti che si verifica all'interno delle sezioni **A1** e **A2** si interrompe tuttavia durante la sezione **S1**, formata prevalentemente, anche se non totalmente, da simultaneità. Questo principio di alternanza prosegue quando **A2** è seguito da **S2**, la cui struttura è comunque più semplice rispetto a quella della sua precedente controparte **S1**: essa consiste in una successione di quattro simultaneità seguite da tre coppie di *random walks*, le prime due delle quali sono separate da una pausa di ottavo (segmento 27). Questo schema di sezioni alternate si interrompe, tuttavia, quando **S2** è seguito direttamente da **S3**, sezione che, come **S2**, presenta una successione di quattro simultaneità seguite da tre coppie di *random walks* (figura 10).

Figura 10: Iannis Xenakis, *À R.*, bb. 15-18 (segmenti 26-36)

La semplificazione della struttura delle sezioni di tipo “S” si accompagna a una semplificazione dei disegni melodici delle *random walks*: tutte le *random walks* accoppiate delle sezioni **S2** e **S3** procedono infatti in senso ascendente per moto

parallelo, e inoltre sono man mano più brevi rispetto alle precedenti presenti nelle sezioni **A1**, **S1** e **A2**. L'impressione di brevità è ulteriormente rafforzata dall'uso di semibiscrome, che restituiscono la sensazione di velocità persa durante il cambio di indicazione metronomica. Tutti questi fattori contribuiscono a dare la sensazione che tali episodi siano più veloci, e che siano dei frammenti piuttosto che delle strutture complete: così come avviene con i frammenti motivici in un contesto musicale tradizionale, queste *random walks* semplificate e abbreviate danno l'impressione di muoversi in modo accelerato verso un obiettivo strutturale. Lo slancio in avanti, tuttavia, è inizialmente frenato dal fatto che le tre coppie di *random walks* in **S2** sono identiche per quanto riguarda i loro contenuti sonori.²⁷ Anche il silenzio (la pausa d'ottavo) del segmento 27, peraltro, interferisce con il senso di avanzamento.²⁸

Lo slancio è ulteriormente frenato dall'arrivo delle quattro simultaneità all'inizio di **S3**. Il movimento in avanti riprende, tuttavia, con le *random walks* della seconda metà di **S3**. La prima coppia di questa sezione ha un'estensione verso l'acuto che raggiunge picchi più elevati rispetto a quelli presenti nelle *random walks* di **S2**, e le due coppie successive proseguono di conseguenza, con ciascuna delle due che sale più in alto rispetto alla precedente.

L'energia accumulata dalle *random walks* nelle sezioni **S2** e **S3** viene dissipata all'inizio della sezione finale **A3** (segmenti 37-40): il segmento 37, in particolare, contiene la coppia di *random walks* più lunga e complessa dell'intero lavoro. Non a caso, Squibbs suddivide, tramite lettere alfabetiche, il segmento 37 in sei sotto-segmenti (cfr. figura 11), ciascuno dei quali abbinato a un insieme imparentato con 1.0.

Figura 11: Iannis Xenakis, *A R.*, bb. 18-19 (segmenti 37-38)

²⁷ Quindi, seppur in modo un po' forzato, la concezione di ritmo armonico che rallenta è associabile a questo passaggio.

²⁸ Ciò ricorda molto l'idea di *antidrop*, ovvero il contesto musicale che tende a raggiungere il punto culminante dell'intera opera senza poi raggiungerlo, e quindi soddisfare le aspettative dell'ascoltatore; esso è solitamente seguito dal *drop* (o dalla cadenza, detto in termini più tradizionali) vero e proprio.

set 1.83

< 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 2 1 1 >

Figura 12: contenuto in altezze dell'insieme 1.83

Sotto-segmento 37a (sottoinsieme di 1.83)

{13 14 15 18 19 22 23 25 28 29 33}

SP = < 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 >

set 1.7

< 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 >

Figura 13: contenuto in altezze dell'insieme 1.7

Sotto-segmento 37c (quasi-sottoinsieme di 1.7)

{-3 -1 2 3 6 7 11 12 15 16 18 20 25 26 27 30 31 34 35 37}

SP = < 2 3 1 3 1 4 1 3 1 2 2 5 1 1 3 1 3 1 2 >

Sotto-segmento 37d (quasi-sottoinsieme di 1.7)

{-38 -34 -33 -32 -30 -29 -28 -25 -23 -22 -19 -18 -16 -15 -11 -8 -7}

SP = < 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 3 1 >

set 1.19

< 3 1 4 1 4 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 >

Figura 14: contenuto in altezze dell'insieme 1.19

Sotto-segmento 37f (sottoinsieme di 1.19)

{-22 -21 -20 -18 -17 -16 -13}

SP = < 1 1 2 1 1 3 >

set 1.9

< 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 >

Figura 15: contenuto in altezze dell'insieme 1.9

Sotto-segmento 37b (quasi-sottoinsieme di 1.9)
{-36 -32 -31 -30 -28 -27 -26 -23 -21 -20 -17 -16 -14 -13 -9 -6 -5}
SP = < 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 3 1 >

Sotto-segmento 37e (quasi-sottoinsieme di 1.9)
{-1 0 4 5 8 9 13 14 17 18 22 23 27 28 29 32 33 36 37 39 42 43 45 47}
SP = < 1 4 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 2 2 >

Dopo l'accumulo di energia nelle sezioni S2 e S3, e il conseguente rilascio nella coppia di *random walks* del segmento 37, il livello di energia della musica diminuisce costantemente. Questa diminuzione di energia si manifesta tramite un graduale spostamento verso il registro grave nelle ultime due simultaneità, nei segmenti 38 e 40; quest'ultima, in particolare, è la simultaneità più grave dell'opera, ed è inoltre preceduta dal ritorno a valori di durata più lenti (terzine di trentaduesimi) nella coppia finale di *random walks* del segmento 39. Il dissiparsi dell'energia è ulteriormente rafforzato dall'indicazione *ralentir*, che si estende dal segmento 39 fino alla fine dell'opera.

La tabella 4 mostra un prospetto riassuntivo degli insiemi e dei corrispettivi segmenti formali:

Segmenti	1	3	5	7	9	16	17	19	21
Insiemi	1.0	1.64	1.0	2.0	2.62	2.82	2.82	2.52	1.24
Segmenti	26	27	28	29	34	35	36	37	39
Insiemi	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.9	1.13	1.9 1.83 1.7 1.19	1.64

Tabella 4: relazione tra i segmenti formali e gli insiemi di altezze

Dei rimanenti insiemi non esposti durante l'analisi precedente, allego le relative rappresentazioni grafiche e gli insiemi derivati dagli stessi ricavati dalle corrispettive *random walks*:

set 1.5

< 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 >

Figura 16: contenuto in altezze dell'insieme 1.5

Insieme 1.5 = $T_5(1.0) \pmod{88}$

{-36 -35 -34 -32 -31 -30 -27 -25 -24 -21 -20 -18 -17 -13 -11 -9 -5 -4 -2 0 1 4 5
9 10 13 14 18 19 23 24 25 28 29 32 33 35 38 39 43 44 48}

SP = < 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 4 >

Segmento 34 (quasi-sottoinsieme di 1.5)

{-21 -20 -19 -17 -13 -11 -9 -5 -4 -2 0 9 10 13 14 18 19 23 24 25 28 29}

SP = < 1 1 2 4 2 2 4 1 2 2 9 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 >

set 1.9

< 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 >

Figura 17: contenuto in altezze dell'insieme 1.9

Insieme 1.9 = $T_9(1.0) \pmod{88}$

{-36 -32 -31 -30 -28 -27 -26 -23 -21 -20 -17 -16 -14 -13 -9 -7 -5 -1 0 2 4 5 8 9
13 14 17 18 22 23 27 28 29 32 33 36 37 39 42 43 47 48}

SP = < 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 4 1 >

Segmento 35 (quasi-sottoinsieme di 1.9)

{-20 -17 -16 -15 -13 -9 -7 -5 -1 0 2 4 9 13 14 17 18 22 23 27 28 29 32 33}

SP = < 3 1 1 2 4 2 2 4 1 2 2 5 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 >

set 1.13

< 1 4 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 3 1 2 3 1 >

Figura 18: contenuto in altezze dell'insieme 1.13

Insieme 1.13 = $T_{13}(1.0) \pmod{88}$
{-37 -36 -32 -28 -27 -26 -24 -23 -22 -19 -17 -16 -13 -12 -10 -9 -5 -3 -1 3 4 6 8 9 12 13 17 18 21 22 26 27 31 32 33 36 37 40 41 43 46 47}
SP = < 1 4 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 1 3 1 3 1 2 3 1 >

Segmento 36 (quasi-sottoinsieme di 1.13)
{-16 -13 -12 -11 -9 -5 -3 -1 3 4 6 8 13 17 18 21 22 26 27 31 32 33 36 37}
SP = < 3 1 1 2 4 2 2 4 1 2 2 5 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 >

set 1.24

< 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 >

Figura 19: contenuto in altezze dell'insieme 1.24

Insieme 1.24 = $T_{24}(1.0) \pmod{88}$
{-37 -36 -34 -31 -30 -26 -25 -21 -17 -16 -15 -13 -12 -11 -8 -6 -5 -2 -1 1 2 6 8 10 14 15 17 19 20 23 24 28 29 32 33 37 38 42 43 44 47 48}
SP = < 1 2 3 1 4 1 4 4 1 1 2 1 1 3 2 1 3 1 2 1 4 2 2 4 1 2 2 1 3 1 4 1 3 1 4 1 4 1 1 3 1 >

Segmento 21 (quasi-sottoinsieme di 1.24)
{-31 -30 -26 -25 -21 -19 -17 -16 -15 -13 -12 -11 -9 -8 -6 -4 -1 1 2 6 9 10 14 15 19 20 23 24 28 29 32}
SP = < 1 4 1 4 2 2 1 1 2 1 1 2 1 2 2 3 2 1 4 3 1 4 1 4 1 3 1 4 1 3 >

Per quanto riguarda invece gli insiemi ricavati dalle simultaneità, la loro individuazione è più complessa, per cui si rimanda ai lavori già citati di Squibbs riportando in questa sede soltanto lo schema riassuntivo realizzato dallo stesso studioso (figura 20) con l'elenco di tutte le simultaneità in ordine di apparizione.²⁹

²⁹ Squibbs, *Xenakis in Miniature*, cit., p. 126; da notare come molti aggregati si ripetano, in particolare in corrispondenza dei segmenti 2, 6 e 15; 4 e 20; 8 e 13; 10, 12, 18, 23 e 32; 11 e 22.

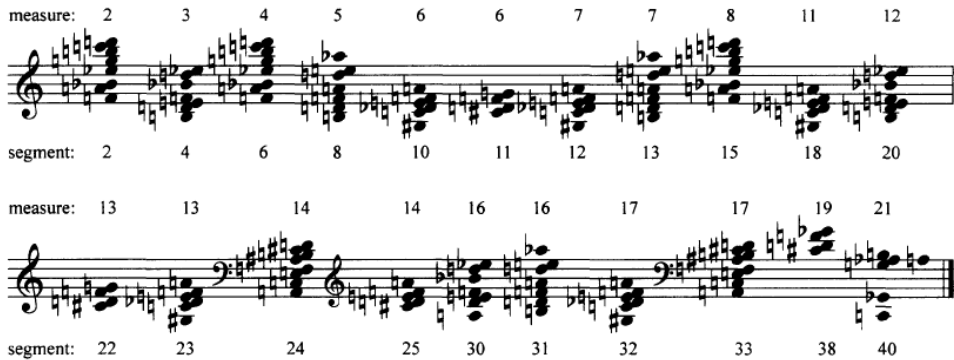


Figura 20: elenco delle simultaneità

Conclusioni

La segmentazione del *continuum* proposta in questa sede non si basa sui tradizionali strumenti di articolazione formale: se da un lato non ci si aspetta di trovare cadenze in questa musica, dall'altro non ci sono nemmeno ritardi, pause o fermate per marcare la fine delle sezioni, come accade spesso nella musica di altri compositori post-tonali. In effetti, l'unico punto di riposo presente in tutta la composizione si verifica sotto forma di un silenzio drammatico nel bel mezzo di una sezione (il segmento 27 in S2), mentre l'unico ritardando è quello che si verifica alla fine della sezione finale per chiudere l'opera nel suo complesso.

La mancanza di mezzi specifici per marcare le articolazioni formali è direttamente correlata alla natura generalmente non tematica della musica di Xenakis, una musica in cui i segmenti si susseguono direttamente l'uno dopo l'altro, spesso senza alcuna attenuazione o sfumatura che indichi che un segmento sta per finire e un altro sta per iniziare. La creazione di confini netti tra i segmenti attraverso improvvisi cambiamenti nella texture, nella dinamica, nella densità, nel registro o in altri fattori, è tipica di gran parte della sua musica. Questa miniatura mostra l'abilità di Xenakis nel creare la struttura temporale della composizione, ma palesa anche l'applicazione di una complessa teoria matematica che può essere compresa soltanto dopo un'analisi approfondita.

Al lettore non sarà sfuggito, tuttavia, come la gran parte delle *random walks* presenti nella composizione contenga uno o più suoni estranei rispetto ai due insiemi principali 1.0 e 2.0, e alle loro numerose trasposizioni. Si denota, in tal senso, una certa dicotomia tra il "matematico" Xenakis, che rigorosamente crea i suoi materiali sonori tramite sofisticati calcoli matematici, e il "compositore" Xenakis, che invece "piega" questi materiali alle proprie esigenze squisitamente espressive, ponendo sempre il suo istinto musicale al primo posto. Tutto ciò ricorda il lavoro di un grande architetto, che prima progetta un edificio tramite scrupolosi calcoli ingegneristici per

assicurarsi che esso sia strutturalmente conforme, e poi apporta tutte quelle modifiche di carattere estetico-superficiale che lo possano rendere artisticamente più interessante, senza però comprometterne la struttura: si pensi, ad esempio, alle invenzioni di Gaudi, oppure alla *Casa danzante* di Praga. I calcoli probabilistici che guidano il pensiero precompositivo di Xenakis si basano su regole che vengono perlopiù rese esplicite negli schizzi o nelle prefazioni alle sue opere (come nel caso di *Mist*). Al contempo, tuttavia, il compositore raggiunge un punto di equilibrio tra ordine e caos – tra la prevedibilità strutturale data dagli insiemi e le situazioni aleatorie determinate dal ricorso a note estranee – solo tramite una scrupolosa sperimentazione all'interno dello spazio musicale da lui stesso creato.

La sfida che l'interprete di *À R.* deve affrontare è grande. Il pianista deve padroneggiare le difficoltà tecniche del brano, ma soprattutto deve comprenderne la forma. Rispetto alle composizioni pianistiche precedenti dell'autore – *Herma*, *Evryali* e *Mists* – *À R.* è la più breve per durata, e forse la meno impegnativa in termini di lettura della partitura, e quindi di esecuzione. I valori ritmici e la continuità delle linee melodiche sono sicuramente più familiari al pianista rispetto alla notazione delle altre composizioni per pianoforte solo. In *À R.* il pianista deve suonare le scale con brillantezza, precisione e velocità. Gli accordi devono essere suonati con forza e con grande energia, così da rendere maggiormente l'idea di *forte* improvviso dopo ciascuna *random walks*. La piena consapevolezza formale e sonoriale può rivelarsi estremamente utile nel momento in cui l'esecutore decide di interpretare un'opera simile a memoria, e questo, in parte, è lo scopo che si prefigge di raggiungere questo saggio.

Riferimenti bibliografici e sitografici

Josè L. Besada, *Xenakis' Sieve Theory*, «Music Theory Online», XXVIII/2, 2022 (consultabile su: <https://www.mtosmt.org/issues/mto.22.28.2/mto.22.28.2.besada.html>).

Dimitrios Exarchos, *Iannis Xenakis and Sieve Theory. An Analysis of the Late Music (1984-1993)*, Tesi di dottorato, London, Goldsmiths College University of London, 2009.

Domenico Giannetta, *Tecniche per l'analisi della musica post-tonale*, Lucca, LIM, 2023.

Constantine Soteriou, *Iannis Xenakis: The Analysis of Four Works for Piano Solo*, Tesi di dottorato, Prague, Charles University, 2011.

Ronald James Squibbs, *An Analytical Approach to the Music of Iannis Xenakis: Studies of Recent Works*, Tesi di dottorato, New Haven, Yale University, 1996.

Ronald James Squibbs, *Xenakis in Miniature: Style and Structure in À R. (Hommage à Ravel) for Piano* (1987), «Perspectives of New Music», XLI/1, 2003, pp. 120-153 (consultabile anche su: <https://www.jstor.org/stable/25164508>).

Iannis Xenakis, *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition*, New York, Pendragon Press, 1992.

LO SPAZIO ARCHITETTONICO AL SERVIZIO DELLA MUSICA

LUIGI TOMMASO ACHILLE

Non sono poche le definizioni che si danno dell'architettura, alcune davvero improprie, come quella, per esempio, che le attribuisce il compito di abbellire le strutture. Certo il concetto di bello ricorre spesso nelle definizioni, ma si tratta di un parametro troppo soggettivo per essere preso seriamente in considerazione.

In effetti definire l'architettura è tutto sommato più semplice di quanto si possa pensare. Essa infatti è, sintetizzando con efficacia, quella «disciplina che crea, o modifica spazi». Tale operazione di conseguenza delinea, ma non sempre, un contenitore per detti spazi.

Due esempi, fra tutti.

Lo spazio nel quale si svolgono le attività di una scuola è contenuto, appunto, in un involucro fatto di muri, porte, finestre, da un tetto, un contenitore le cui forme sono definite non solo dalle funzioni che vengono svolte al suo interno, ma anche dalla personalità e dalla visione dell'architetto.

Un parco giochi, al contrario, non ha, di solito, un involucro che lo contenga e le attività previste si svolgono in sua assenza.

Un'operazione di "modifica degli spazi" invece, solitamente avviene in presenza di un contenitore già esistente, come per esempio è il caso dello Spirito Santo a Vibo Valentia, con la quale un'ex chiesa è stata trasformata in auditorium.

Per meglio leggere, e così capire l'opera una volta realizzata, bisognerebbe tenere conto dei condizionamenti, almeno di quelli più importanti, che in essa hanno agito: la volontà della committenza, il costo previsto, le esigenze strutturali legate alla sua funzione, il numero dei fruitori, il contesto ambientale e viario, la normativa vigente, i tempi previsti per la realizzazione dell'opera.

Appare chiaro così che l'ambito entro il quale il progettista ha libertà di manovra si restringe, e la forma del contenitore, e anche gli spazi presenti al suo interno, non possono essere determinati solo dalla creatività dell'architetto, ed è proprio la sua bravura nell'operare una sintesi tra i suddetti condizionamenti e la sua visione creativa a rendere bella, e qui l'aggettivo è usato in modo proprio, l'opera in questione.

Ciò è particolarmente vero se si pensa alla progettazione di edifici destinati all'ascolto, come ad esempio teatri e, ancor più, auditorium.

In particolare, lo studio dell'acustica nella progettazione degli edifici già da tempo occupa uno spazio sempre più ampio, e non mi riferisco solo a opere specificamente destinate all'ascolto musicale, ma anche a quelle ad uso abitativo, essendo stato individuato nel comfort acustico degli ambienti, una delle esigenze delle nuove utenze.

Ma progettare tenendo conto dell'acustica, cioè, genericamente, del modo in cui i suoni si propagano nello spazio, vuole già sottintendere che fra la costruzione architettonica e la musica non può non esistere uno stretto rapporto. Del resto, molti sono i principi comuni a queste due discipline, la musica e l'architettura: senza voler considerare che alla base di qualunque progetto architettonico ci devono essere precisi calcoli numerici, così come la musica è basata su rapporti tra numeri, si può fare riferimento anche ad altri principi, come la proporzione, il ritmo, la scansione, ma anche la ricerca e la sperimentazione.

Non per caso, ad esempio, per descrivere un'opera di architettura, o per indicarne il rapporto con quanto la circonda, si ricorre al concetto di armonia: un edificio dalle forme armoniche, o la sua armonizzazione con il paesaggio circostante; così come si utilizza il concetto di architettura in relazione a composizioni musicali.

Già da epoca antica gli spazi architettonici destinati alla musica, e ad altre attività artistiche, avevano ruoli di rilievo, il più importante di essi è il teatro greco e romano all'aperto. Costruiti su siti paesaggisticamente suggestivi, hanno un'acustica di tutto rispetto, a conferma delle notevoli conoscenze empiriche che i loro costruttori avevano al riguardo. Essi costituiscono esempi di creazione di spazi senza l'involucro che contenga le funzioni che vi si svolgono.

Le arene, al contrario, avevano spesso i loro contenitori, in muratura per la parte inferiore, e con una struttura rimovibile di grandi teli per riparare dal sole, nella parte superiore.

Sia per gli antichi teatri all'aperto, che per le arene, al giorno d'oggi si assiste al loro riuso per accogliere eventi quasi sempre musicali, superando egregiamente ogni eventuale problema di acustica e di disciplinamento dei flussi degli spettatori, e aggiungendo inoltre la particolare atmosfera che si vive in queste architetture.

Ma il rapporto tra musica e architettura può costituire un interessante approccio anche per comprendere alcuni importanti aspetti della progettazione architettonica del secolo scorso, in cui assai numerosi sono gli esempi di edifici destinati ad essere veri e propri "templi" della musica, solo per fare pochi esempi il Sidney Opera House del danese Yorn Utzon, il Walt Disney Concert Hall a Los Angeles di Frank O. Gehry e, naturalmente, l'Auditorium Vaticano Aula Paolo VI e il Parco della Musica di Roma dei nostri Pier Luigi Nervi e Renzo Piano.

Il Parco della Musica progettato dall'architetto Renzo Piano è un edificio composto da tre sale per concerti impiantate su un basamento e coperte da un tetto-giardino. In un edificio lineare affiancato da un portico sono ubicati gli uffici e la sale di registrazione, una libreria, un ristorante e uno spazio per esposizioni. Oltre il portico si accede ad una cavea all'aperto, attorno alla quale sono disposte le tre sale da concerto.

Queste hanno una capienza diversa, essendo anche destinate ad eventi diversi; hanno però in comune le caratteristiche che ne fanno luoghi massimamente destinati all'ascolto musicale: concepite infatti come casse armoniche, sono foderate all'interno con legno di ciliegio americano e all'esterno con lastre di piombo su

pannelli di fibrocemento, sorrette da un'impalcatura di travi lamellari in compensato marino.

Anche gli arredi interni, dalle tende in materiale fonoassorbente alle poltrone progettate dallo stesso Renzo Piano, sono finalizzati a garantire la migliore acustica possibile, con grande attenzione al tempo di riverberazione, che infatti è diverso per le tre sale, in relazione alla loro volumetria.

Un esempio ancor più calzante, e direi paradigmatico del connubio strettissimo che si può realizzare tra musica e costruzione architettonica, è costituito dal Padiglione Philips progettato da Le Corbusier per l'Esposizione Universale di Bruxelles del 1958. Le Corbusier, a cui era stato affidato il disegno del padiglione, impose la presenza dell'architetto-ingegnere-musicista Iannis Xenakis, all'epoca suo disegnatore tecnico. L'opera fu concepita al fine di offrire agli spettatori uno spettacolo estremamente coinvolgente ed avvolgente, nel quale suoni, colori e forme architettoniche si combinavano in modo quasi inestricabile. In particolare la struttura, affidata appunto all'architetto greco, era composta prevalentemente da superfici continue, curve e convesse, che si estendevano dal pavimento verso l'alto, riducendo al minimo le superfici parallele e gli angoli retti, per ottimizzare la riflessione dei suoni.

Il Padiglione fu costruito con gusci sottili nervati in cemento precompresso (circa 2.000), realizzando particolari superfici a curvatura variabile, dette paraboloidi iperbolici, che potevano soddisfare contemporaneamente le esigenze tecniche legate alla diffusione dei suoni musicali e alla visione delle immagini. A Xenakis fu affidata anche la sinossi delle sequenze delle immagini, dei suoni e delle luci, nonché la composizione di un breve interludio musicale che avrebbe accompagnato i visitatori lungo il percorso.

Fu poi ancora Xenakis che come consulente tecnico per il suono si occupò del progetto per la collocazione dei 350 altoparlanti, disponendoli diversamente a seconda che fossero per i suoni medio-acuti o gravi.

“Architetto della musica” è la definizione che forse meglio si attaglia a Iannis Xenakis, ingegnere, architetto e musicista, di cui voglio riportare alcune parole a conclusione del mio breve intervento.

«È chiaro che musica e architettura sono entrambe arti che non hanno bisogno di imitare le cose; sono arti in cui materia e forma hanno tra loro un rapporto più intimo che altrove; l'una e l'altra si rivolgono alla generale sensibilità. Entrambe ammettono la ripetizione, mezzo onnipotente; entrambe ricorrono agli effetti fisici della grandezza e dell'intensità, con cui possono stupire i sensi e la mente sino all'annichilimento. Infine, la loro rispettiva natura permette un'abbondanza di combinazioni e sviluppi regolari che le collegano o le confrontano con la geometria e l'analisi».

Architetto Luigi Tommaso Achille

Vice Presidente della Fondazione degli Architetti di Vibo Valentia

NOTIZIE SUGLI AUTORI

Michele Arena

Oboista e compositore, ha lavorato con artisti quali Nicola Piovani e Riccardo Muti (concerto trasmesso su RaiUno), e ha suonato in luoghi prestigiosi in Italia e all'estero. Ha studiato presso i Conservatori di Milano e di Vibo Valentia, diplomandosi in Oboe e Composizione. È vincitore di numerosi concorsi, tra cui il prestigioso "Premio Vincenzoni", la Call "De Institutione Naturae" della SIMC (Società Italiana Musica Contemporanea), "Perusia Harmonica", "Great Music Event", "Città di Stresa", "Apulia Metropolitan Contest". Compositore eclettico, scrive dalla musica pop alla colta contemporanea. Gli sono state commissionate musiche per il cinema, tra cui *Scilla la ninfa* (in gara al David di Donatello 2023), *Una giornata senza colori*, *Il frutto proibito*, *La pazzia di Cecilia*, *Paura Fuori*, *Il viaggio di Elsa*. Appassionato di letteratura classica e moderna, ha l'hobby della scrittura: ha pubblicato il romanzo dal sapore musicale *Sinfonia per un amore*.

Agostino Di Scipio

Compositore, studioso, sound artist, è 'dottore di ricerca' dell'Università Parigi VIII (*École Doctorale Sciences et Technologies des Arts*), docente e collaboratore di varie istituzioni italiane e internazionali. Artista residente del DAAD Künstler-programm di Berlino, influente autore di musica per strumenti ed elettronica, e di installazioni sonore basate su reti di interazioni sonore tra performers, macchine e ambienti (noto internazionalmente il ciclo intitolato *Ecosistemico Udibile*, 2003-2014). Vive a L'Aquila, dove insegna Composizione musicale elettroacustica al Conservatorio "A. Casella". È autore di *Pensare le tecnologie del suono e della musica* (2013, nuova edizione 2022), *Polveri sonore. Prospettiva ecosistemica della composizione* (2014) e *Circuiti del tempo. Un percorso storico-critico nella creatività musicale elettroacustica e informatica* (2021).

Domenico Giannetta

Insegna Teoria dell'armonia e analisi al Conservatorio "Fausto Torrefranca" di Vibo Valentia. Come teorico si occupa delle relazioni fra modalità e tonalità, della teoria e didattica dell'armonia, dell'analisi delle forme classiche, e delle metodologie analitiche peculiari della musica post-tonale. Ha pubblicato la monografia *I Nocturnes di Claude Debussy. Uno studio analitico* (2007) e, di recente, il manuale *Tecniche per l'analisi della musica post-tonale* (2023). È inoltre autore di volumi dedicati alla didattica dell'armonia e dell'analisi musicale, e di numerosi saggi di argomento teorico e analitico. Per le Edizioni del Conservatorio di Musica Fausto Torrefranca ha ideato la collana editoriale *Nicola Antonio Manfredi – Le Opere*, di cui è direttore, e i *Quaderni di analisi*, iniziativa, quest'ultima, nata per dare visibilità

ai lavori più interessanti prodotti dagli studenti che frequentano i suoi corsi. All'attività di teorico affianca quella di compositore: suoi lavori sono stati eseguiti in Italia e all'estero a cura di affermati solisti, gruppi da camera ed ensembles orchestrali.

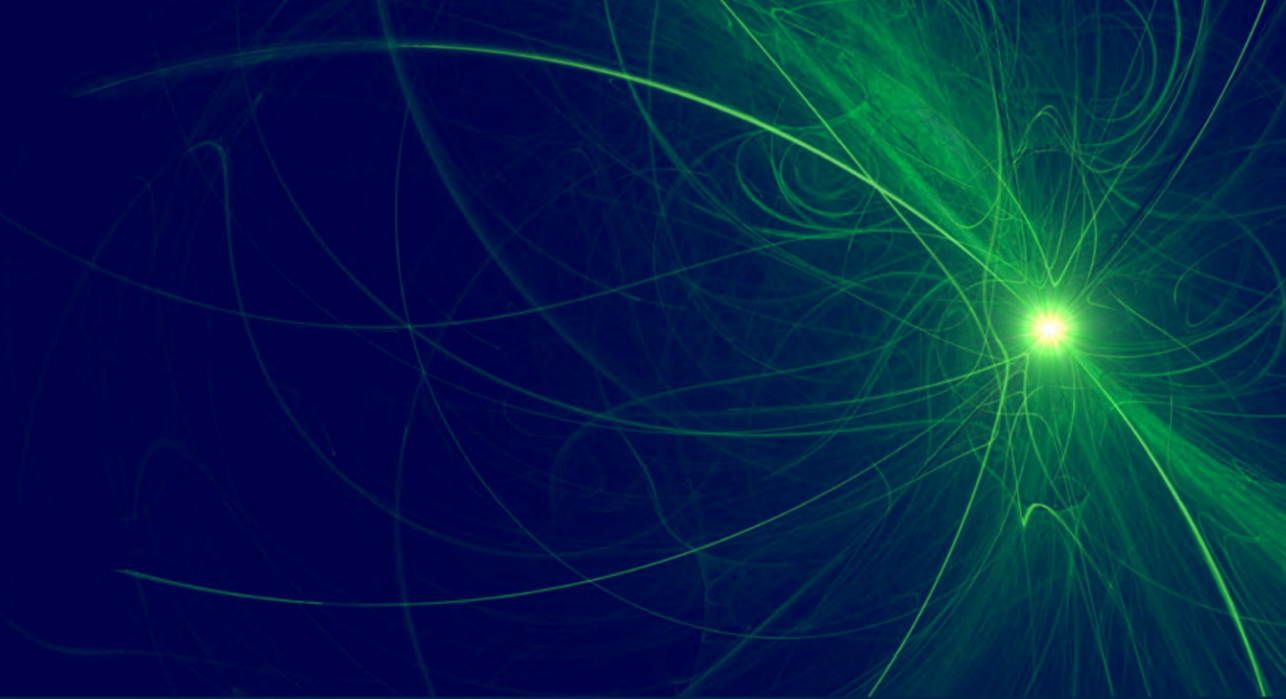
Luigi Mogrovejo

Pianista, compositore e direttore d'orchestra di scuola napoletana, si è formato con Irene Kirgis, Silvano Carella, Francesco d'Avalos, ed inoltre con Francesco De Masi, Walter Baccile, Fabrizio Maria Carminati e Francesco Vizioli al Conservatorio di Napoli. Dal 1996 al 2000 ha fatto parte della Bottega di composizione di "S. Pietro a Majella" diretta da Roberto De Simone. Ha collaborato, tra gli altri, con i musicisti Stefan Anton Reck, Marko Letonja, Maria Agresta, Patrizia Ciofi, Enzo Gragnaniello, Shunza; i coreografi e ballerini Luciano Cannito, Ambra Vallo, Stephane Fournial; gli attori Lidia Kozlovich, Vanessa Redgrave, Sebastiano Somma, Enzo De Caro. Insegna Composizione al Conservatorio di Vibo Valentia.

Luigi Sassone

Ha iniziato gli studi pianistici a tredici anni sotto la guida di Luciano Posteraro, per poi proseguirli con Eduardo Franco Rondina e Antonio Condino. Ha seguito diversi corsi di perfezionamento pianistico, in particolare con la famosa pianista Edith Murano. Si è esibito, inoltre, in diverse occasioni come solista per varie associazioni musicali in Calabria. Nel 2018 inizia gli studi presso il Conservatorio di Vibo Valentia. Nel settembre 2019 ha partecipato ad un workshop tenuto dal grande pianista bebop Barry Harris a Roma. Nel 2021 ha conseguito la laurea triennale in Pianoforte con lode e menzione, ed ha pubblicato il saggio *Procedimenti seriali in The turn of the Screw di Benjamin Britten* nel primo volume dei *Quaderni di analisi*. Al momento sta concludendo gli studi in Pianoforte presso il medesimo conservatorio, dove ha contestualmente iniziato, a partire dal 2021, gli studi in Composizione con Karen Odobna Gerardi, Giulia Lorusso e Luigi Mogrovejo.

Finito di stampare
nel mese di settembre 2023
presso Digital Team srl
Via dei Platani, 4
61032 Fano (PU)



ISBN 978-88-945943-2-4



9 788894 594324