

Clementina Saccomanno

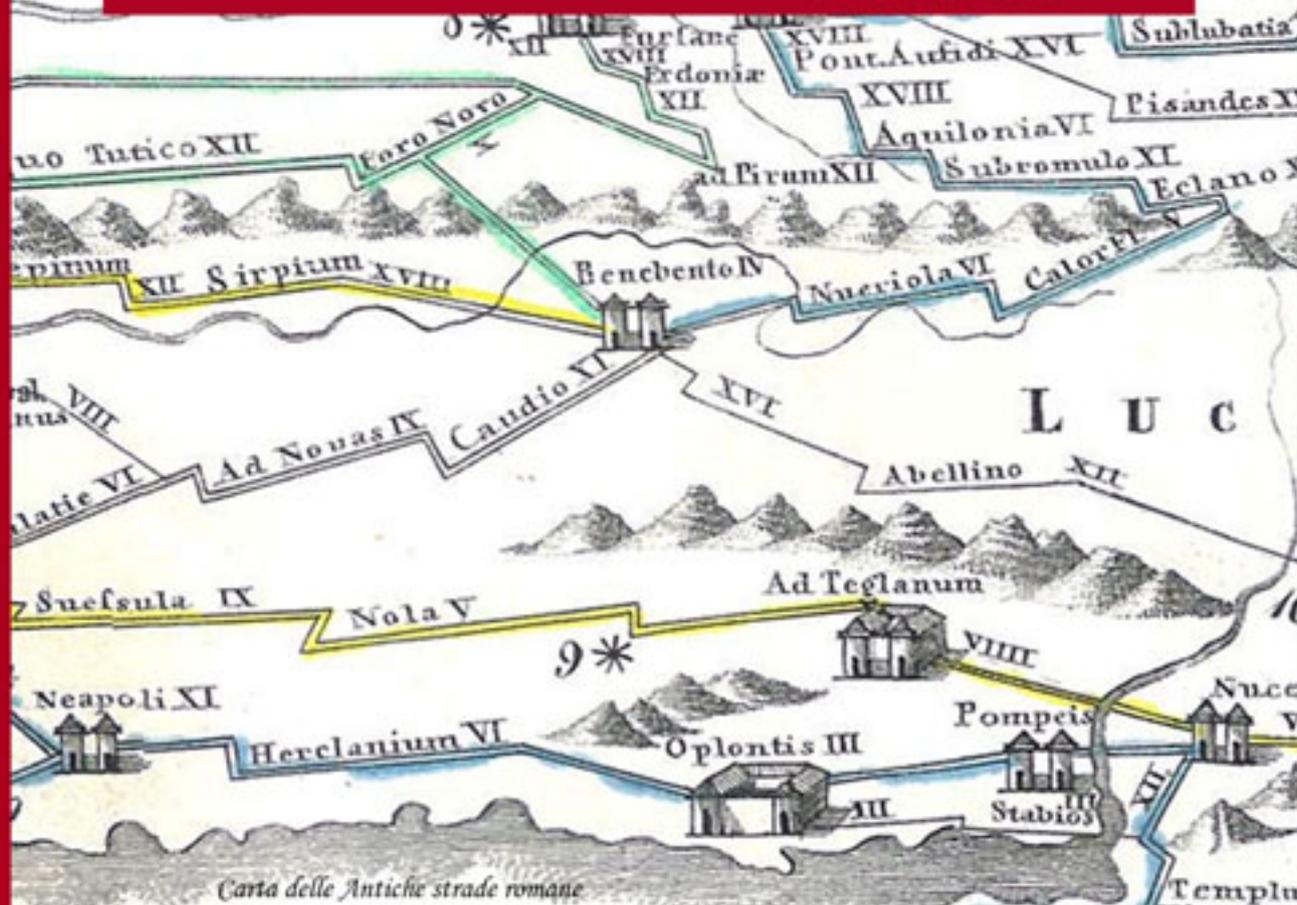
## BENEVENTO ROMANA

# I LUOGHI DELLO SPETTACOLO



*Alcune vetuste città e gloriose contrade, ritornano oggi ad acquistare l'antica importanza. E Benevento, famosa città sannita, fedele alleata di Roma, è tra quelle.*

*Almerico Meomartini*



*Carta delle Antiche strade romane*

---

# INDICE

## IL TEATRO ROMANO

- L'EDIFICIO
- L'ABBANDONO
- I TELAMONI
- LA RICOSTRUZIONE
- LE MASCHERE
- UN GIORNO A TEATRO
- L'ACUSTICA TEATRALE
- BREVI CENNI D' ACUSTICA
- MODELLO VIRTUALE DEL TEATRO ROMANO DI BENEVENTO

## IL TEATRO SECONDO VITRUVIO

- VITRUVIO TRATTATO "DE ARCHITECTURA" LIBRO V,3,6-7
- APPICAZIONE DEGLI ARMONICI "ECHEIA"
- MODI MUSICALI E VASI RISONANTI
- SIMULAZIONE AL COMPUTER CON EFFETTO RISUONATORI
- CONCLUSIONI

## BIBLOGRAFIA

## BIOGRAFIA

---

## INTRODUZIONE

### *Luogo da spettacolo*

I teatri, costruiti nel periodo ellenistico e durante l'espansione dell'impero romano, sono tra i più preziosi e spettacolari esempi di bene artistico architettonico dei paesi mediterranei. Questi edifici, maestosi ed affascinanti, nascondono ancora molti segreti, non solo dal punto di vista architettonico, ma anche per gli spettacoli che si svolgevano al loro interno. Molti studiosi, antichi e moderni, si sono interessati al fenomeno della propagazione del suono all'interno di essi e la scienza è l'acustica. Si è scoperto, che la lunga esperienza dei costruttori e dei progettisti di duemila anni fa, permetteva di sperimentare tecniche e sistemi efficaci, affinché il pubblico riuscisse a comprendere perfettamente i dialoghi, le voci e anche le grida provenienti dallo spazio situato sul palcoscenico. Il più antico trattato di cui abbiamo conoscenza è il *De Architectura di Vitruvio*, scritto nel I secolo a.C. dove vengono enunciate le regole da seguire per ottenere una buona acustica all'

interno dei teatri. Gli architetti romani appresero che le caratteristiche acustiche di questi luoghi erano fortemente influenzate dai materiali costruttivi, dall'angolazione, dalla pendenza e dalla disposizione delle gradinate, nonché dall'altezza del palcoscenico. Per molto tempo, in tempi moderni, si è pensato che il tono di voce degli attori fosse dovuto alle maschere che indossavano, ma esse non avevano alcuna capacità di amplificare la voce, in quanto davano solo espressione al viso e servivano a far capire, anche a quegli spettatori che erano seduti nella cavea nei posti più distanti dalla scena, il personaggio che in quel momento veniva rappresentato. Partendo dal trattato di Vitruvio, e dalle regole in esso contenute per realizzare i teatri, sono state esaminate le caratteristiche acustiche del teatro romano di Benevento, così com'era in epoca imperiale, attraverso una ricostruzione virtuale al fine di valutare le caratteristiche acustiche di tale edificio.

---

## UN GIORNO A TEATRO

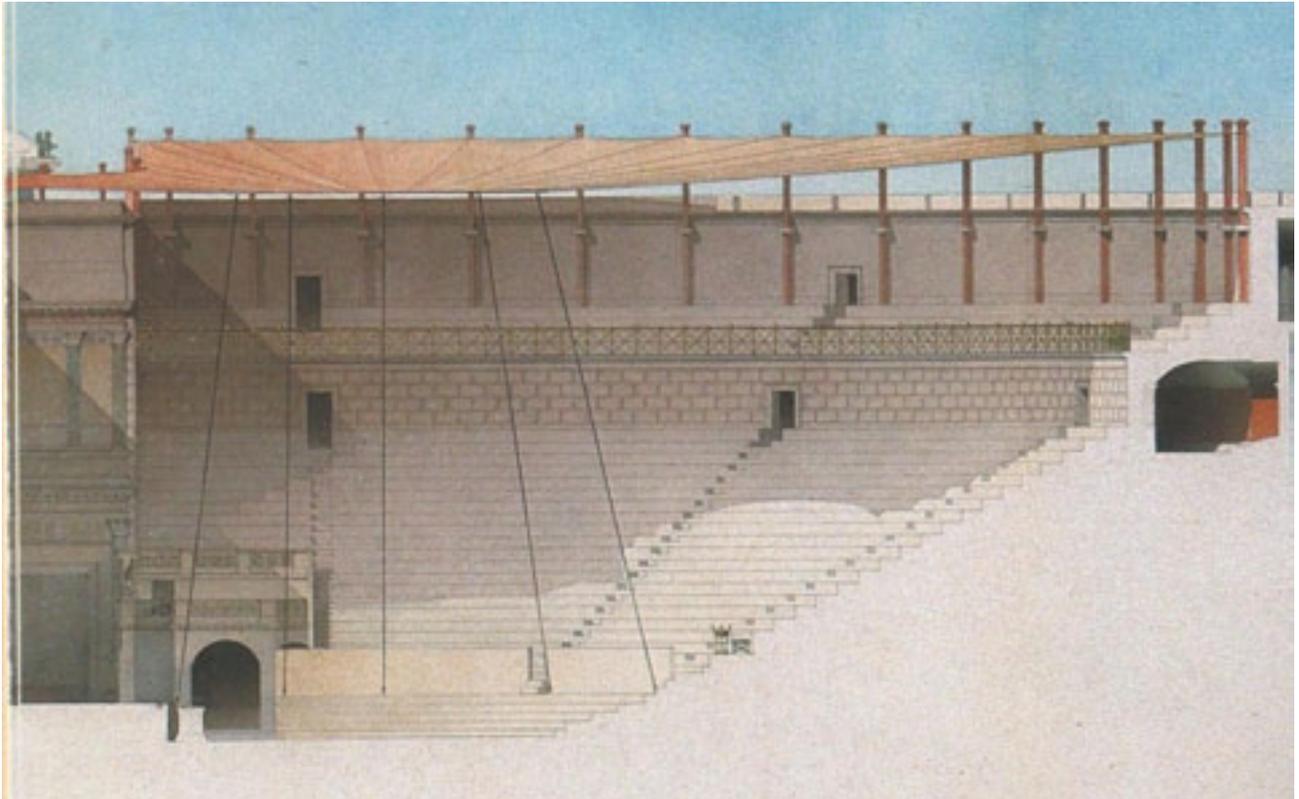
Per un cittadino romano dell'età imperiale, recarsi a teatro di mattina, sedersi nella cavea assolata era un'esperienza festosa. Accanto a migliaia di altri spettatori assistevano agli spettacoli delle pantomime musicali offerti nel grandioso scenario architettonico dei teatri di pietra. L'accesso era gratuito per tutti - liberi e schiavi, uomini e donne, vecchi e bambini, ma era necessario un permesso d'accesso, la tessera *lusoria*, che in genere era una tavoletta d'osso e serviva per controllare il numero degli spettatori, e dirigerli verso il settore loro assegnato. Agli schiavi invece non si rifiutava mai l'accesso. Nonostante l'abbondanza di spazio in teatri costruiti per migliaia di spettatori, la concezione di una società ben ordinata, persino nei suoi divertimenti, fu adottata dai Romani la legge che assegnava i posti in base all'ordine sociale e dunque al censo degli spettatori: i comodi sedili con cuscini di prima fila nell'orchestra e nella cavea erano riservati ai senatori, mentre le retrostanti quattordici file delle gradinate erano per i cavalieri. Seguivano quindi i posti per il pubblico popolare e in cima, più in alto e perciò più lontano dalla scena, si trovavano i posti destinati alle donne, agli schiavi e ai bambini. Al di là dell'ovvia confusione dovuta all'affluenza

di grandi masse, l'attesa dello spettacolo era animata da un certo viavai di faccendieri: c'erano i venditori d'acqua, come afferma Frontino, e quelli di cuscini. C'è da immaginarsi come solo il mormorio di migliaia di persone, che in realtà per lo più si chiamavano gridando e chiacchieravano ad alta voce, si trasformasse ben presto in un baccano infernale. Poiché gli spettacoli avevano luogo da aprile a ottobre, di solito il sole picchiava forte nell'imbutto della cavea producendo così un forte odore di sudore. Ma i romani avevano provveduto anche a questo: abbiamo infatti notizia di pioggerelle artificiali *sparsiones* con acqua di rose o zafferano - famosa l'acqua di croco della Cilicia - che servivano a profumare l'aria, per rendere più sopportabile la calura del giorno agli spettatori accaldati e mitigare gli odori acri della folla assiepata. Per riparare il pubblico dal sole e dalla calura fu introdotto, proprio in epoca imperiale, l'uso di un tendone *velarium* che veniva steso su tutta la cavea (fig.61). Lucrezio nel "*de rerum natura*", così descrive i velari: *generalmente fanno questo i velari gialli e rossi e color di ruggine, quando, tesi su grandi teatri, oscillano e fluttuano, spiegati ovunque tra pali e travi:ivi infatti colorano sotto di sé il pubblico delle*

---

*gradinate e tutto lo sfoggio della scena e la splendida folla dei senatori, e li costringono a fluttuare nei loro colori. E quanto più sono chiuse, tutt'intorno, le*

*pareti del teatro, tanto più ciò che è dentro, soffuso di grazia, ride tutto nella raccolta luce del giorno.*



**Fig.61 – Sistema di montaggio del Velarium.**

---

## LE MASCHERE

Il significato profondo del travestimento e delle maschere coincide con l'idea stessa del teatro. Attore e spettatore vivevano l'evento teatrale come una esperienza divertente e allegra. Le maschere, coprivano il viso ed erano in legno leggero, sughero, stucco, tela, o pelle o altro materiale modellabile, e quindi deperibile, ciò spiega il motivo per cui nessuna maschere ci è pervenuta. Esse erano numerose e caratterizzavano in modo stabile le tipologie dei personaggi, permettendo così al pubblico un facile ed immediato riconoscimento del tipo rappresentato (fig.53). *Aulo Gellio*, così descrive l'attore con maschera: "Il capo e la bocca, ricoperti in ogni parte dalla maschera e aperta solo in un'unica via di emissione della voce, poiché emettono la voce non vagante qua e là, né diffusa, ma raccolta e concentrata in un'unica uscita, fanno dei suoni più chiari e sonori" (fig.54). Si è pensato che le maschere

servissero anche per amplificare la voce degli attori, affinché potesse giungere distintamente agli spettatori, anche se moderne esperienze in tal senso hanno dato esito negativo. In latino la maschera di scena viene detta "persona": il termine, che sembra derivare dall'etrusco, indica anche l'attore o la parte rappresentata sulla scena *personam sustinere* significa "sostenere una parte", ma anche il carattere e la personalità, significato certamente più vicino all'uso attuale della parola. Questa ambiguità del termine rappresenta bene il valore che in genere viene attribuito alla maschere, cioè il potere di trasformare in un altro chi la indossa. Le maschere rendevano anche più verosimili le parti femminili, che erano interpretate solo da uomini. Il loro aspetto è noto dalle riproduzioni in marmo, dai rilievi (fig.55), dalle pitture, dai mosaici e dalle descrizioni del drammaturgiche.

Fig.53 - Ricostruzione di maschere fittili trovate nella necropoli di Lipari.





Fig.54 - Ricostruzione di maschere teatrali.



Fig.55 - Bassorilievo rappresentante una maschera teatrale su sarcofago conservato nel Museo del Sannio.

---

## IL TEATRO ROMANO DI BENEVENTO

### L'EDIFICIO

L'edificio teatrale di epoca imperiale sorge nella zona occidentale della città antica di Benevento, in prossimità del cardo massimo, corrispondente all'attuale via Carlo Torre. Una volta, questa strada si chiamava via dei Macelli Vecchi perché lì era collocato il mercato con portici e botteghe sito all'ingresso del foro romano. In quel luogo, ancora oggi troviamo i resti di un grandioso complesso termale adiacente all'arco del Sacramento, infatti le terme romane facevano parte della vita quotidiana di ogni cittadino. Negli edifici termali, che erano di uso pubblico, i bagni venivano

costruiti in proporzione al numero delle persone che ne facevano uso. Anche i teatri quindi, costruiti in epoca imperiale, erano posti all'interno delle città. La costruzione dell'edificio teatrale di Benevento iniziò al tempo dell'imperatore Adriano. Venne realizzato tra la fine del I e gli inizi del II secolo d.C. e terminato sul finire del II secolo d.C.. Abbellito ed ingrandito da Caracalla all'inizio del III secolo d. C. poteva contenere oltre 10.000 spettatori.



Fig.40.a - Particolare gradinate cavea del teatro.



Fig.40.b - Vista esterna delle arcate del teatro romano.



Fig.42 - Vista interna della summa cavea del teatro romano.

La scena presentava tre porte monumentali, una centrale e due laterali, con delle nicchie semicircolari in cui erano alloggiate le statue. Su di essa si svolgevano le rappresentazioni teatrali, l'orchestra ospitava i senatori e gli equestri, la cavea gli spettatori che si disponevano sulle gradinate dal basso verso l'alto, secondo la classe sociale di appartenenza. La plebe, le donne e gli schiavi infine occupavano la parte più alta della cavea, lontano dalla scena. Il teatro era composto da 25 arcate disposte su tre livelli e un'ampia cavea a pianta semicircolare, sormontata dai tre ordini sovrapposti. L'ordine inferiore doveva

essere il Toscano, al di sopra di esso esistevano gli altri due ordini, ionico e corinzio come nei teatro di *Pompeo* e di *Marcello*. Il raggio della cavea è di circa 40 metri, l' *orchestra* ha un raggio di circa 10 metri e l' ampia scena è lunga 44 metri e larga 3.5 metri (fig.41). Le gradinate erano rivestite interamente in marmo bianco, mentre la *scena* era decorata da stucchi. Ancora oggi sono presenti i resti di tali decorazione sul lato destro della scena dove erano situati i camerini per gli attori. La *ima cavea* è poggiata su due ambulacri semicircolari, i quali comunicano tra di loro per mezzo di corridoi che si alternano con scale che

---

conducono alla parte superiore. Il teatro aveva una “*summa cavea*” , oggi

parzialmente visibile (fig.42).



Fig.41 - Vista interna del teatro.

Alcune maschere del teatro sono state, nel corso degli anni, reimpiegate nella costruzione di edifici in diversi punti della città. Questi elementi teatrali erano di decorazione marmorea della scena. In particolare, nel centro storico in via Salvatore Rampone troviamo infatti due

mascheroni nella costruzione delle mura (fig.55 – fig.56), un altro nella costruzione del campanile del Duomo (fig.57), ed un altro ancora apposto come capitello sulla colonna di piazza Piano di Corte (fig.58). Infine altri mascheroni sono stati disposti a terra, all'interno del teatro (figg.59-60).

Fig.55 Maschera n.1 in via Salvatore Rampone, centro storico.



Fig.56 Maschera n.2



Fig.57 – Maschera inserita nella costruzione del campanile del Duomo



Fig.58 - Maschera teatrale reimpiegata in piazza Piano di Corte



Fig.59-60 – Maschere teatrali all'interno del teatro romano

---

## L'ABBANDONO

Il teatro subì il rovinoso terremoto del 375, e con l'avvento del cristianesimo, fu definitivamente abbandonato; successivamente alluvioni e saccheggi ne comportarono la parziale distruzione. I resti del teatro divennero, nel corso dei secoli, insediamento di umili abitazioni (fig.43 – fig.44). La Fig. 45, mostra il particolare del catasto Gregoriano 1823 ca. della città di Benevento in cui è visibile la forma semicircolare della pianta del teatro, con l'indicazione delle sagome della chiesa e degli edifici che occupavano la cavea. Nel XVIII sec. sul lato destro della cavea fu costruita la chiesa della "Madonna della Verità" utilizzata ancora oggi per funzioni sacre (fig.46-

fig.47). Nelle cripte della Chiesa sono state rinvenute, al di sotto della pavimentazione della *parados*, due muri ortogonali: uno allineato con una fronte della *parados*, l'altro in corrispondenza del muro anulare dell'*ima cavea* del teatro. La tecnica muraria, in opera quasi reticolata, fa pensare ad un impianto teatrale originario anteriore all'età dell'Imperatore Adriano. Nella Fig. 48 e la fig. 49 sono raffigurati due dipinti del XVIII sec., si nota come fossero rimaste solo poche arcate esterne del teatro, mentre il primo livello della cavea era stato completamente coperto di terra a seguito delle esondazioni dei vicini fiumi Sabato e Calore.



Fig.43 - Foto del teatro romano nel 1906

Fig.44 – Particolare del teatro romano, Topografia della Città di Benevento, Casselli 1781.

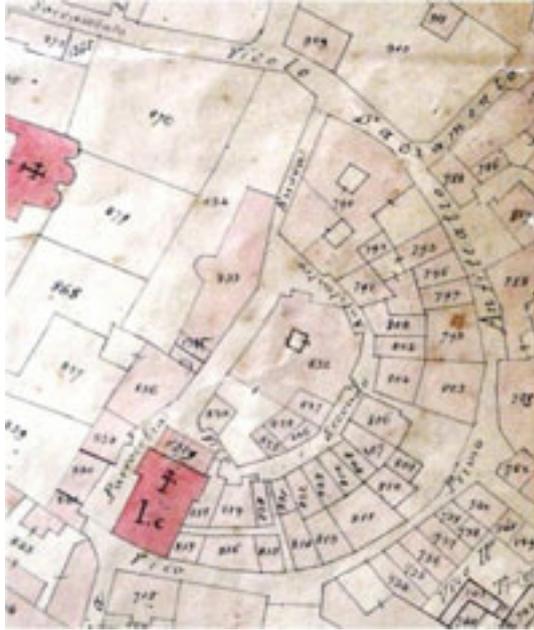
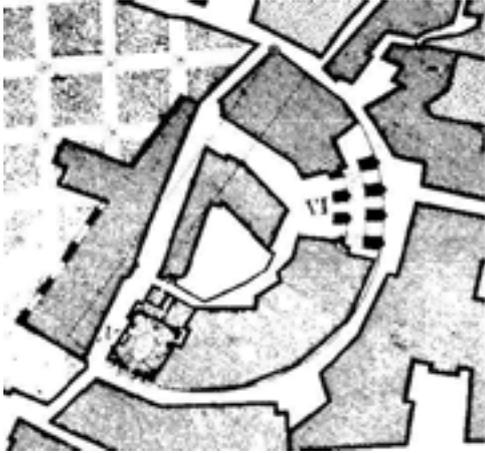


Fig.45 – Particolare del teatro romano, Mappa Pontificia del Mazzarini, 1823.



Fig. 46 - Vista aerea Teatro Romano.

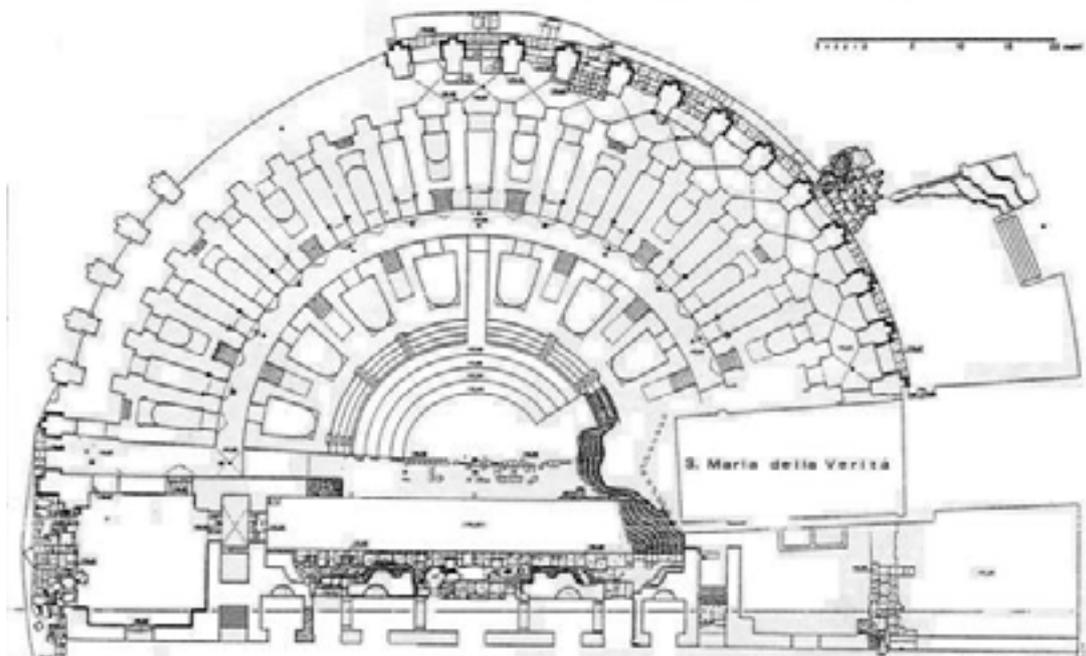


Fig. 47 – Pianta Teatro Romano.



Fig. 48 – Resti del teatro scambiato per l' anfiteatro, Pierre Jacques Gaultier, XVIII sec.



Fig. 49 – Dipinto dei resti del teatro romano Antonio Joli XVIII sec. conservato nella Reggia di Caserta.

---

## LA RICOSTRUZIONE

Il teatro che oggi ammiriamo è frutto di un'opera di scavo e ricostruzione durata circa cinquanta anni, nel periodo compreso tra la fine dell'ottocento e i primi decenni del novecento. I primi sondaggi furono eseguiti nel 1889 dall'architetto da Almerigo Meomartini, che riuscì a disegnare la pianta dei resti nascosti sotto le sovrastrutture moderne,

secondo la costruzione vitruviana (fig.51). Nella ricostruzione in pianta del Meomartini le parti bianche rappresentavano le vie del tempo; le parti leggermente ombrate rappresentavano le moderne costruzioni sovrapposte alle antiche e le parti quasi in nero rappresentavano le costruzioni proprie del teatro antico.

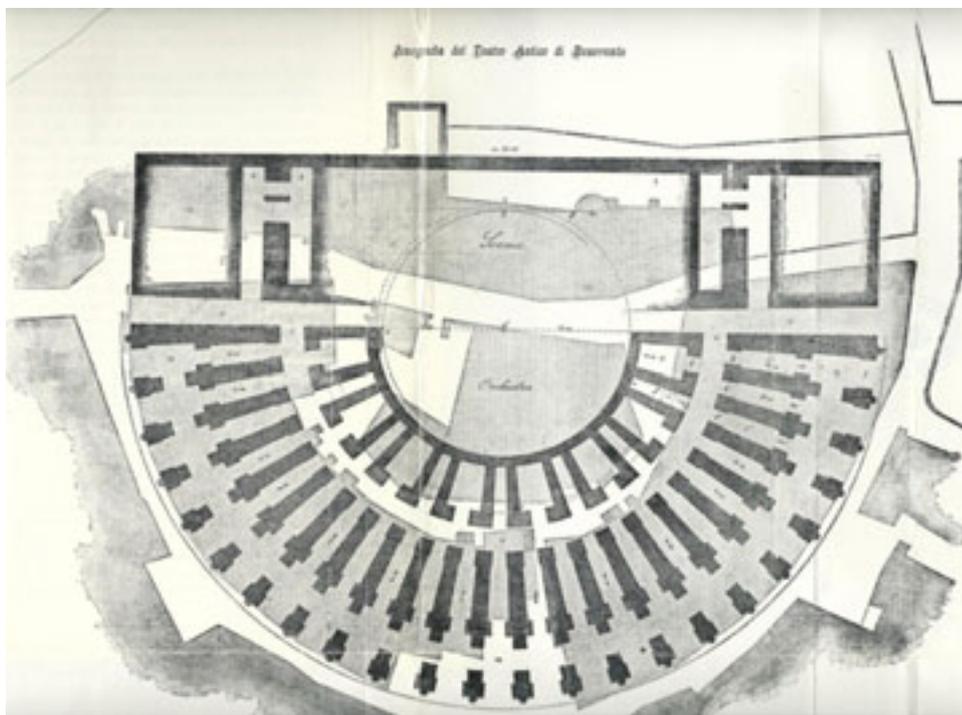


Fig.51 – Pianta del teatro disegnata da A. Meomartini 1889.

Vitruvio consigliava anche di situare un portico alla sommità della cavea, così da impedire la dispersione delle onde sonore che venivano emesse dalla scena. Anche l'orientamento e la convessità del teatro erano proprio quelli consigliati, in modo da non recare fastidio agli spettatori da

mezzogiorno in poi. I lavori di scavo iniziarono nel 1923, ma fu nel 1934 che avvenne la grande svolta ad opera del prof. Alfredo Zazo che, sostenuto da Mussolini, fece demolire le case fatiscenti per avviare la ricostruzione del teatro, completata nel 1950, così come appare

---

allo stato attuale (fig.52.a). Le gradinate della “ima cavea” attualmente sono rivestite in mattoni di terracotta. Della “summa cavea”, non accessibile al pubblico, rimangono solo parte delle arcate.

Fig.52. - Ricostruzione del teatro, completata nel 1950.



---

## ACUSTICA TEATRALE

### L'acustica teatrale del mondo antico

Le informazioni relative alle conoscenze dei costruttori dell'antichità in materia acustica sono piuttosto scarse; il più importante a noi pervenuto, è il *De Architectura* dell'architetto romano Marco Vitruvio Pollione (75 - 25 a.C.) i suoi principi dell'architettura basati sulla proporzione, la simmetria, l'equilibrio e l'armonia, requisiti necessari per la bellezza, la solidità e la sicurezza di una costruzione. Vitruvio nel suo testo, a proposito della realizzazione dei teatri riporta anche osservazioni riguardanti gli aspetti acustici: *“Si deve avere cura particolare affinché il sito non sia sordo ma sia un luogo in cui la voce può viaggiare con la massima chiarezza. Ciò può essere conseguito, se si sceglie un sito dove non esistono elementi che generano eco.”*

Vitruvio distingue inoltre i luoghi per la loro acustica in: luoghi dissonanti (*catecuntes*), circumsonanti (*periecuntes*), risonanti (*antecuntes*) e consonanti (*sunecuntes*). *“ Sono dissonati quei luoghi in cui il primo suono emesso, che è portato in alto, impatta contro corpi solidi in alto e, essendo rinviato indietro, si*

*arresta in quanto blocca sul fondo la salita del suono successivo. I circumsonanti sono quelli nei quali la voce si espande in tutto l'intorno e poi è forzata verso il centro dove si dissolve. La sua fine non si ode ma si estingue lì in suoni di significato indistinto. I risonanti sono quelli in cui viene in contatto con qualche sostanza solida e si riavvolge, producendo così un'eco e rendendo il suo suono finale doppio. I consonanti sono quelli in cui esso è supportato da sotto, aumenta nel procedere verso l'alto e raggiunge le orecchie in parole distinte e di tono chiaro. Pertanto, se il sito è scelto con cura, con questa precauzione, l'effetto della voce sarà perfettamente idoneo per gli scopi di un teatro”.*

Queste definizioni e raccomandazioni di Vitruvio sono, secondo W.C. Sabine: *“un'analisi ammirevole del problema dell'acustica dei teatri [...] comprensibili nei termini della nomenclatura moderna, sostituendo la parola interferenza a dissonanza, la parola riverberazione a circumsonanza ed eco a risonanza”.* La parola consonanza, nel senso usato da Vitruvio, corrisponde invece al concetto

---

attuale che la sovrapposizione del suono diretto con la riflessione, non produce confusione ma è percepito come un

evento unico di intensità maggiore di quella del solo suono diretto.

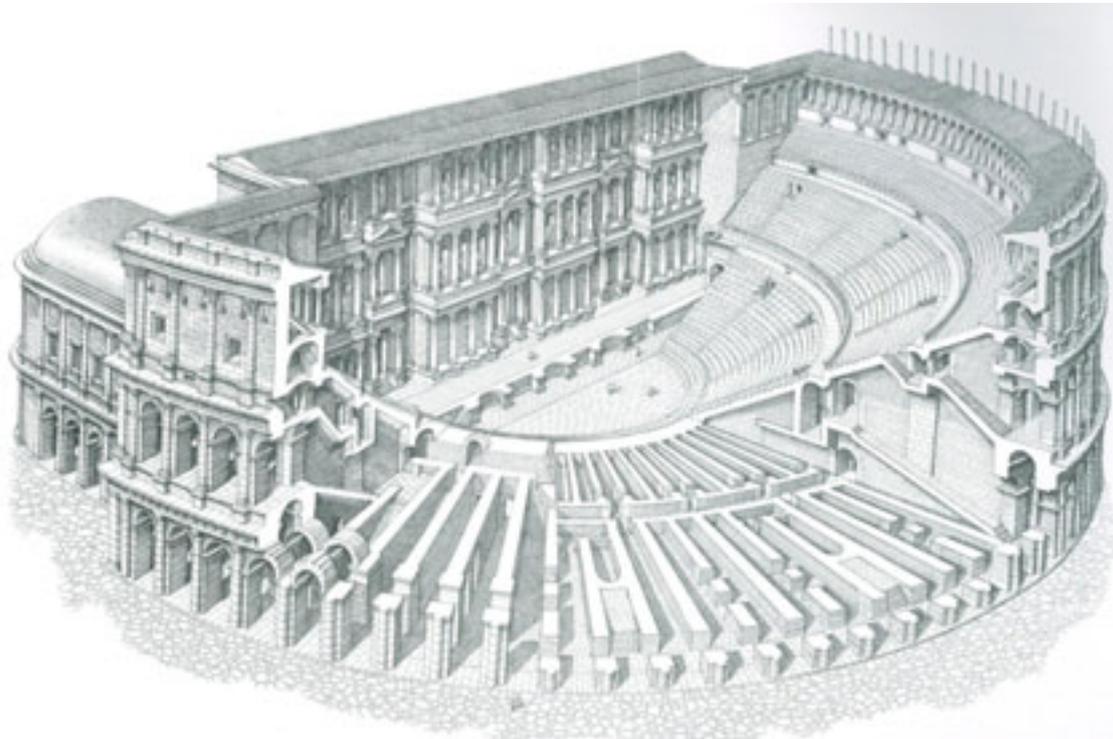


Fig.62 – Ipotesi ricostruttiva di un edificio teatrale di età imperiale.

### **L'acustica teatrale moderna**

Il suono generato all'interno di un ambiente produce un campo acustico che è il risultato della combinazione di onde dirette e riflesse, che condizionano, con la loro modalità di sovrapposizione in termini di frequenza, sfasamento temporaneo ed energia, ovvero la qualità acustica dell'ambiente stesso. Soprattutto a partire dalla seconda metà del secolo approfonditi studi hanno permesso di

definire alcune grandezze fisiche, facilmente misurabili grazie al contemporaneo sviluppo dei sistemi di acquisizione elettronici e delle tecniche digitali, correlabili alla valutazione della qualità acustica di un ambiente, in relazione alla sua destinazione d'uso. Queste grandezze sono i *descrittori acustici*.

---

## BREVI CENNI D'ACUSTICA

### Campo acustico diretto e riflesso

Un *campo acustico diretto* è prodotto dal suono che si trasmette direttamente dalla sorgente al ricevitore e lo si studia essenzialmente per valutare la distanza massima *sorgente-ricevitore*, che consente una corretta percezione del segnale sonoro in assenza di dispositivi di elettroamplificazione. Il livello di pressione sonora dell'onda diretta che raggiunge l'ascoltatore dipende da vari fattori: *potenza della sorgente*, per una voce umana si può assumere un livello di potenza di 75 dB per la voce maschile e 73 dB per la voce femminile, per un fortissimo orchestrale invece, in livello è di circa 100 dB; *direttività della sorgente*; *rumore di fondo*, il quale difficilmente sarà contenibile sotto i 30-35 dB; *distanza sorgente-ricevitore*, per una sorgente puntiforme l'attenuazione dell'onda sonora è di 6 dB per ogni raddoppio della distanza; *assorbimento acustico lungo la linea di propagazione*. Tenendo conto di questi fattori, la distanza massima accettabile tra sorgente e ricevitore si aggira sui *25-30 metri per il parlato* non amplificato e sui *45-50 metri per la musica*. Un *campo sonoro riverberante* è prodotto dalle riflessioni delle onde sonore sulle superfici che delimitano

l'ambiente. L'onda sonora riflessa raggiungerà il ricevitore dopo l'onda diretta, il cui ritardo dipende dalla lunghezza del percorso che ha compiuto a causa delle riflessioni. Le prime riflessioni possono essere utili a rafforzare il livello del suono diretto, migliorando l'intelligibilità della parola e la qualità della musica, oppure dannose. Il primo caso si verifica quando il tempo di ritardo dell'onda riflessa, rispetto a quella diretta, e la differenza tra i rispettivi livelli non superano certi valori; in caso contrario può verificarsi un eccessivo prolungamento della coda sonora o addirittura il fenomeno dell'eco: onda diretta ed onda riflessa vengono percepite separatamente come due suoni distinti. Questo avviene quando il contenuto energetico del suono riflesso è almeno il 10% di quello del suono diretto ed il tempo di ritardo supera i 50 millisecondi nel caso del parlato, ed i 75 millisecondi nel caso della musica. Oltre alle prime riflessioni esistono anche le riflessioni successive che hanno la loro importanza nel determinare la qualità acustica della sala, esse danno luogo alla cosiddetta coda sonora, vale a dire al prolungamento del suono diretto, alla sua

permanenza nell'ambiente dopo l'interruzione dell'emissione. Nel caso delle sale per concerti è desiderabile un prolungamento della coda sonora senz'altro maggiore che per altre tipologie di auditori; il suono non deve essere

troppo "secco", ovvero la coda sonora non deve essere troppo corta.

Il decadimento sonoro in prossimità della sorgente è controllato esclusivamente dal suono diretto, mentre a distanze superiori prevale il suono riflesso.

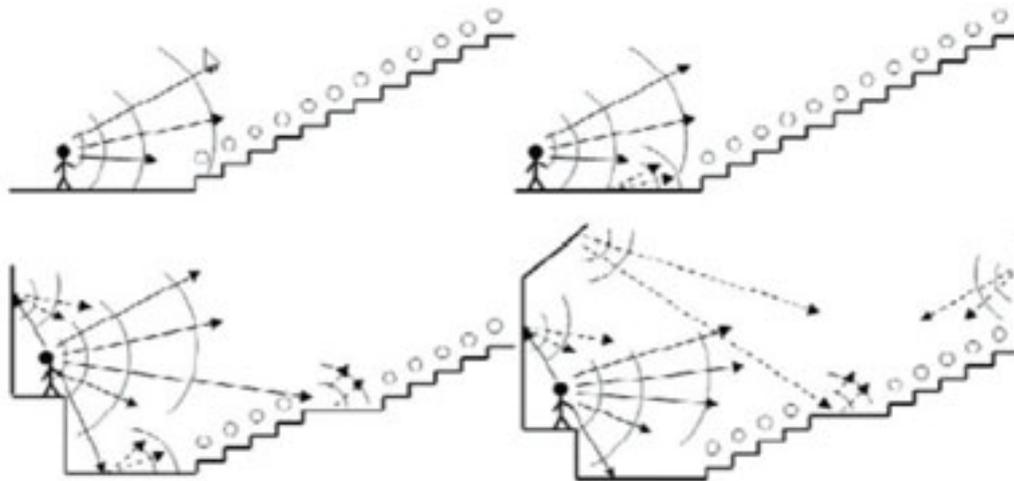


Fig.65 – Distribuzione dei campi sonori diretti e riflessi.

## Descrittori acustici

Mentre negli ambienti destinati all'ascolto della parola risulta abbastanza facile definire lo scopo che si vuole raggiungere, che consiste in una accettabile comprensione della parola, nel caso della musica la valutazione della qualità acustica è in genere più difficile, essendo basata su grandezze soggettive difficilmente quantizzabili, perché più strettamente vincolate ad esigenze di natura più squisitamente estetica.

I primi indici di valutazione della qualità acustica percepita dal pubblico, sono

incentrati essenzialmente sui livelli di pressione SPL (sound power level) e sul tempo di durata della riverberazione, ad esempio EDT (early decay time), T30 (reverberation time), successivamente sono stati integrati con quelli basati sui rapporti acustici che tengono conto dei successivi arrivi dell'onda sonora, ad esempio per il parlato l'indice di definizione D50, e per la musica l'indice di chiarezza C80. Questi ultimi possono essere essenzialmente ricondotti all'osservazione per cui le onde riflesse

---

contribuiscono al campo sonoro utile quando arrivano all'ascoltatore con tempi di ritardo, rispetto all'onda diretta, inferiori ai 50 ms nel caso di ambienti destinati alla parola, e 80 ms nel caso di musica. In particolare i principali indici di valutazione sono:

*Tempo di Riverberazione (RT)*, il primo descrittore fisico, che rappresenta un parametro significativo della qualità acustica di una sala, è senza dubbio lo RT definito dal fisico statunitense Sabine già alla fine dell'800 come, "il tempo necessario affinché, dopo l'interruzione dell'emissione sonora da parte di una sorgente, il livello di pressione sonora nella sala diminuisce di 60 dB". Il valore di questo parametro è in funzione del volume della sala e dell'assorbimento totale delle superfici, e dal momento che l'assorbimento dei materiali varia con la frequenza, anche il tempo di riverberazione va calcolato alle varie frequenze.

*Tempo di Riverberazione iniziale (T20)*, è il tempo che si ottiene estrapolando, dalla curva di decadimento del livello di pressione sonora a -60 dB, la pendenza media dei primi 20 dB (per un intervallo tra -5 e -25 dB). Estrapolando dalla stessa curva di decadimento una

pendenza media di 30 dB (per un intervallo tra -5 e -35 dB) si ottiene, invece, il *T30*. E' importante escludere i primi 5 dB di decadimento dalla misura del tempo di riverberazione per evitare l'influenza del contributo diretto.

*Tempo di Primo Decadimento (EDT)*, è il tempo corrispondente a un decremento di 10 dB della curva di decadimento del livello di pressione sonora, quando il suono viene interrotto bruscamente o si emette un segnale impulsivo. Questo tempo di riverberazione si ottiene interpolando i primi 10 dB del Tracciato livello-tempo con una retta. L'EDT si dimostra un parametro particolarmente sensibile al posizionamento del microfono rispetto alla distanza della sorgente. Infatti, diminuisce con l'allontanarsi del microfono dalla sorgente, diventando un parametro particolarmente significativo nel confronto tra i diversi punti di uno stesso ambiente.

*Definizione (D50)*, è un parametro che si ottiene dal rapporto tra l'energia che arriva al punto di ricezione nei primi 50 ms di emissione del suono, e l'energia dell'intero segnale, cioè sino alla fine del suo decadimento. E' espresso dalla seguente formula:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

Dove: D50 è calcolato in sec.,  $p(t)$  è la pressione sonora intesa come risposta all'impulso emesso da una sorgente omnidirezionale,  $t=0$  è l'istante in cui il suono diretto giunge nel punto ricevente. I risultati sperimentali confermano che l'energia delle prime riflessioni, sommandosi a quella del suono diretto, apporta un contributo positivo alla percezione nitida del parlato in una sala.

Dove: C80 è calcolato in dB,  $p(t)$  è la pressione sonora intesa come risposta all'impulso emesso da una sorgente omnidirezionale.

*Speech Trasmission Index (STI)*, è un criterio che caratterizza l'intelligibilità del parlato. Lo STI è un indicatore che prende in considerazione tutte le cause possibili delle alterazioni dell'intelligibilità eccetto l'effetto non lineare. Lo STI ci consente anche di misurare la distanza critica ( $d_c$ ) per la quale l'intelligibilità del parlato non è di qualità. In effetti essa

*Chiarezza a 80 ms (C80)*, è un descrittore ottenuto dal rapporto tra l'energia che giunge all'ascoltatore entro i primi 80 ms di emissione del suono, (comprensiva di energia diretta ed energia delle prime riflessioni), e l'energia che perviene negli istanti successive (ovvero l'energia delle successive riflessioni). E' un parametro espresso dalla seguente formula:

$$C_{80} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} \right)$$

decade relativamente veloce a breve distanza dall'oratore, quindi, a partire dalla distanza critica, l'intelligibilità diventa più o meno costante essendo predominanti i riflessi sonori.

*Rapid Speech Trasmission Index (RASTI)*, il metodo RASTI ci permette di effettuare misure obiettive delle qualità dell'intelligibilità del parlato. La tecnica di calcolo è simile a quella dello STI.

I criteri STI e RASTI variano da 0 a 1. I criteri dell'intelligibilità secondo il loro valore sono i seguenti:

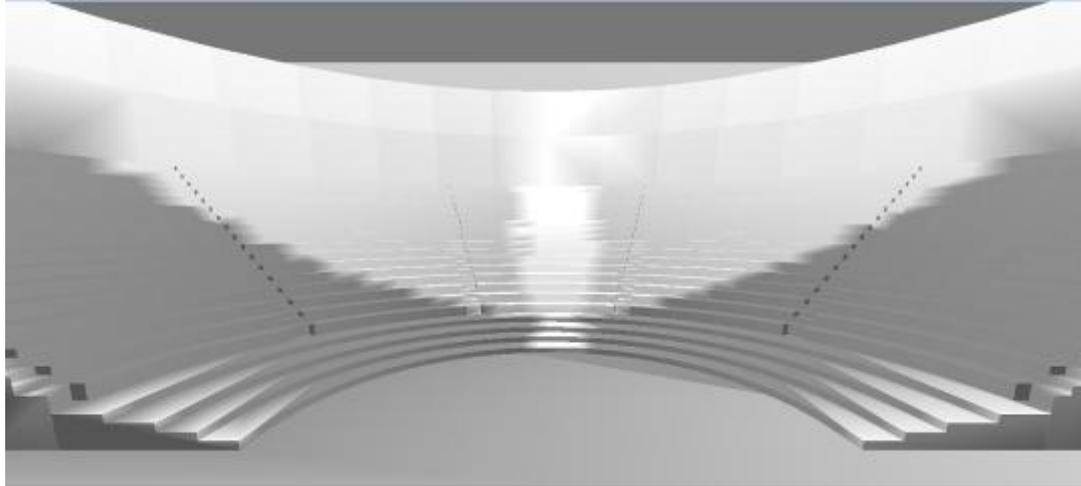
QUALITA'	STI	RASTI
Pessima	< 0,2	< 0,32
Scadente	0,2 - 0,4	0,32 - 0,45
Discreta	0,4 - 0,6	0,45 - 0,60
Buona	0,6 - 0,8	0,60 - 0,75
Eccellente	> 0,8	> 0,75

---

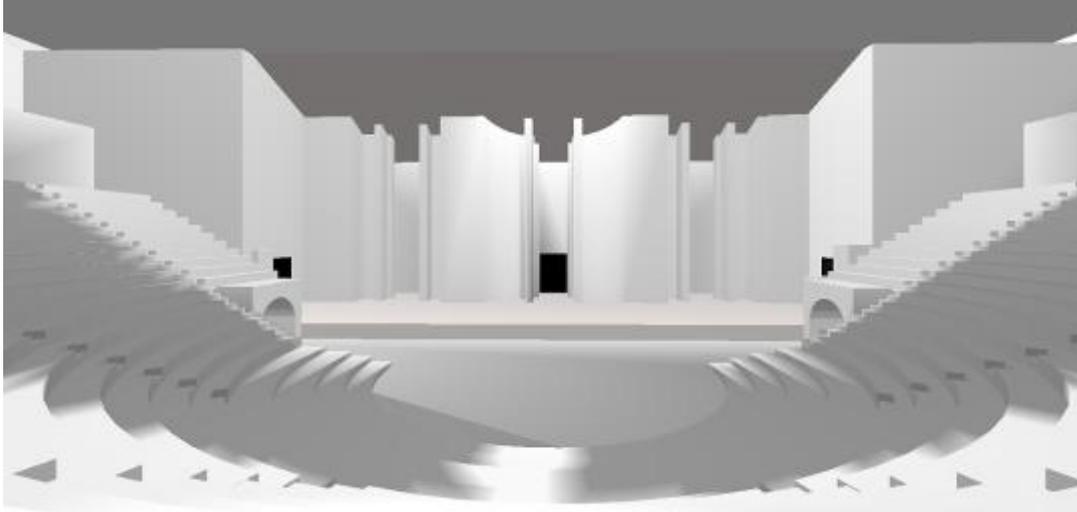
## Modello virtuale del teatro romano di Benevento

Partendo dal trattato di Vitruvio, e dalle regole in esso contenute per realizzare i teatri, sono state esaminate le caratteristiche acustiche del teatro romano di Benevento, così com'era in epoca imperiale, attraverso una ricostruzione virtuale al fine di valutare le caratteristiche acustiche di tale edificio. È stato realizzato un modello di calcolo per la simulazione al computer con il programma per l'acustica architettonica "Odeon 10", mentre il modello geometrico è stato realizzato con l'ausilio di un software Cad in base a misure geometriche effettuate in sito (fig.68-fig.69-fig.70-fig.71). Nel software di simulazione Odeon è stato applicato il valore dei coefficienti di assorbimento dei materiali in uso, in funzione delle caratteristiche superficiali dei materiali con cui era costruito il teatro: il materiale scelto per la scena è il *Marble*  $\alpha = 0,1$  (*marmo*) con un elevato coefficiente riflettente per la cavea del teatro, e  $\alpha = 1,0$  ad un alto coefficiente di assorbimento per le superfici di confine del modello (il teatro è stato chiuso da una scatola, accorgimento per lo studio acustico di luoghi aperti). Per ogni direzione sono stati scelti quattro punti di

misura lungo la cavea distanziati tra loro. È stata poi posizionata la sorgente sonora nella cavea, ovvero una fonte dodecaedrica dal suono omnidirezionale è stato immesso sulla scena (fig.72 - fig.73). L'altezza della sorgente sonora sulla scena è di 1,60 metri. Nella simulazione virtuale viene individuato con il punto rosso il punto in cui è stata posizionata la sorgente sonora, mentre con il colore blu sono definiti i punti microfonic, simulando così l'ascolto in diverse posizioni (fig.74). I parametri acustici, valutati nella simulazione virtuale del teatro romano di Benevento, sono stati ISO 3382: RT, EDT, C80, D50 e RASTI. Le posizioni di misura sono stati scelti secondo due assi radiali della cavea, la prima linea è stata collocata nella parte destra del teatro (visto dal pubblico), la seconda linea sulla linea centrale (fig.75). Per ogni direzione sono stati scelti quattro punti di misura lungo la cavea, (punto blu) ad una distanza diversa dalla posizione sorgente sonora. Una fonte dodecaedrica suono omnidirezionale è stato immesso sulla scena. L'altezza della sorgente sonora sulla scena è di 1,60.



**Fig. 66 - Render del modello virtuale della cavea del teatro ricostruito in epoca imperiale.**



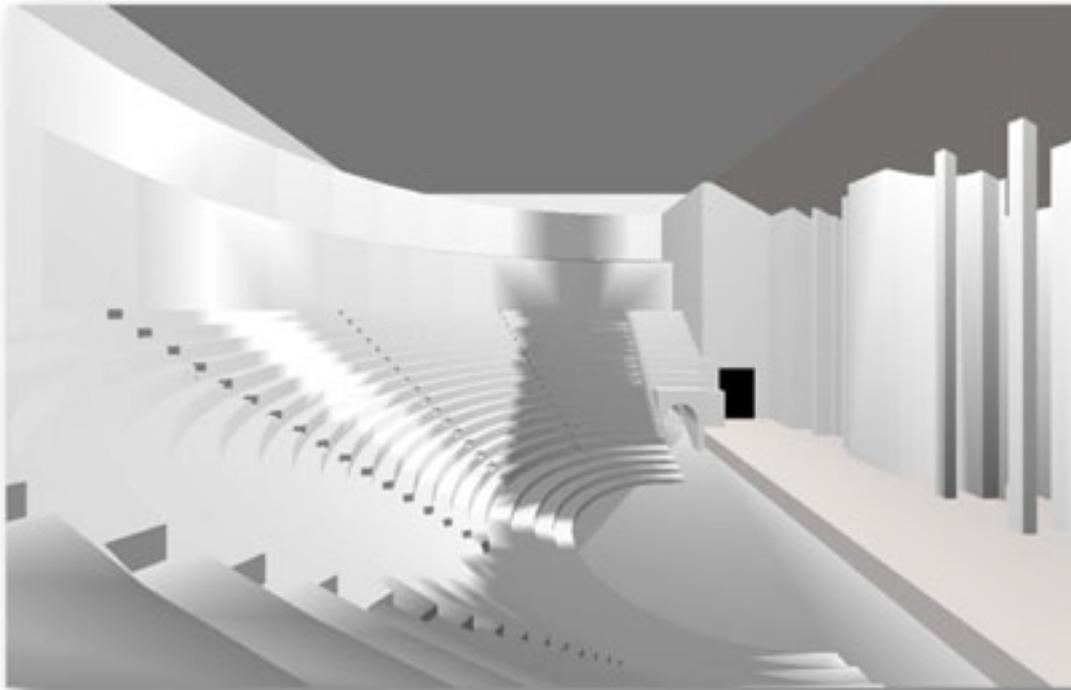
**Fig. 67 - Render del modello virtuale della scena del teatro ricostruito in epoca imperiale.**

---

Fig. 68 - Teatro romano allo stato attuale della cavea.



Fig. 69 - Teatro romano ricostruzione virtuale della cavea.



---

**Fig. 70 - Teatro romano allo stato attuale della scena.**



**Fig. 71 - Teatro romano allo stato attuale della scena.**

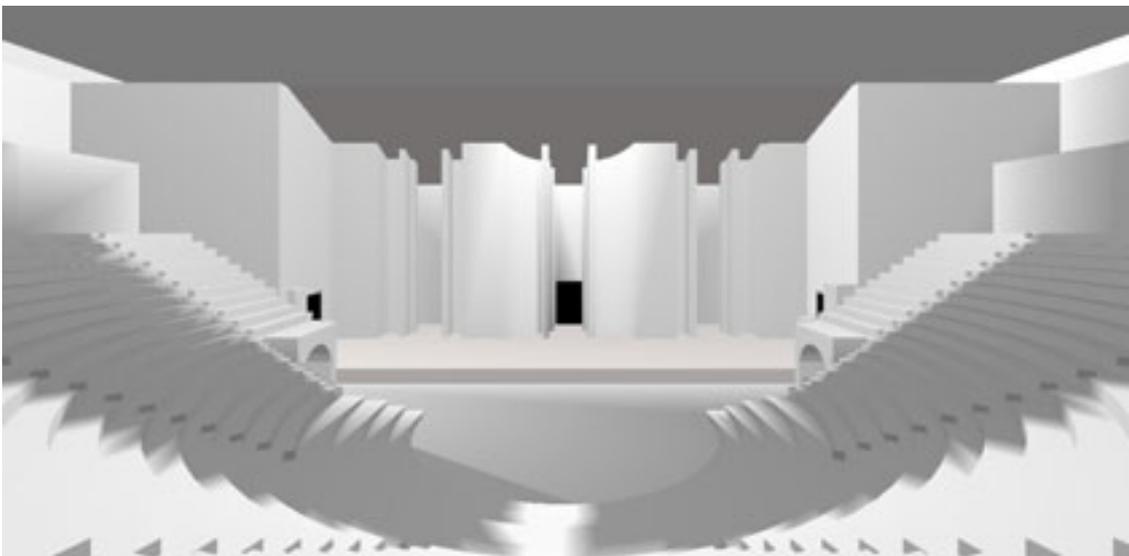




Fig. 72 - Fonte dodecaedrica posizionata nella scena.

Fig. 73 - Punti microfonici.



Fig.74 - Strumenti per lo studio acustico del teatro.

Fig.75 - Modello virtuale con il programma di simulazione "odeon": punto sorgente e n.8 punti ricevitori.

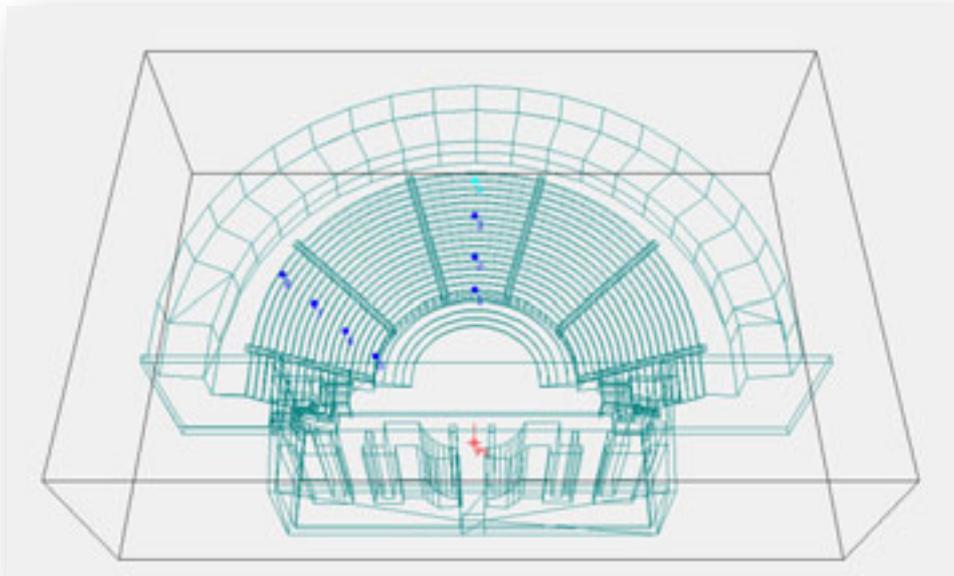
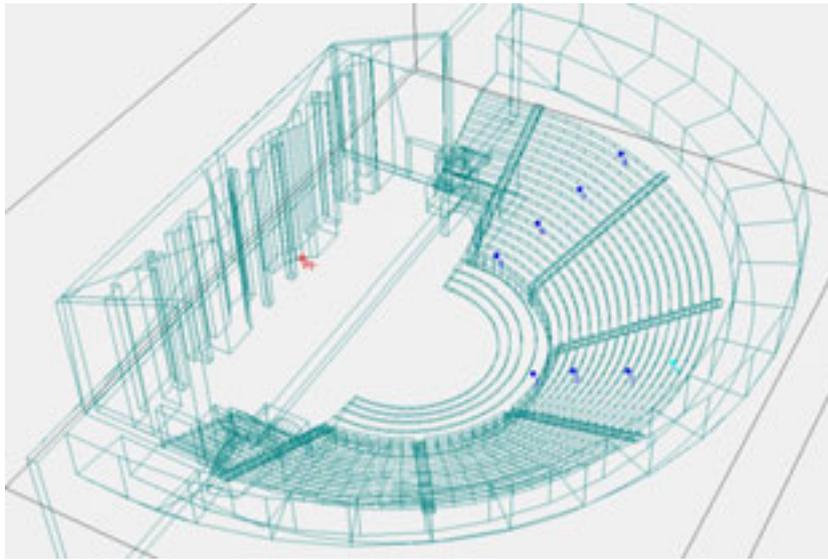


Fig.75 - Modello virtuale con il programma di simulazione "odeon": punto sorgente e n.8 punti ricevitori.



## CONCLUSIONI

Nello studio dell'acustica del teatro, è stato considerato il tempo di riverberazione. Questo parametro è definito come il tempo necessario affinché, dopo l'interruzione dell'emissione sonora da parte di una sorgente, il livello di pressione sonora nell'ambiente decada almeno di 60 decibel (dB). Il valore di questo parametro varia in funzione del volume nella sala e dell'assorbimento totale delle superfici. Variando l'assorbimento dei materiali al variare

della frequenza, anche il tempo di riverberazione e va calcolato alle diverse frequenze. Le simulazioni ottenute con l'impiego di software "Odeon" hanno restituito un tempo di riverberazione medio di circa 2,0 secondi. Un valore comunque eccessivo qualora il teatro fosse utilizzato solo per il parlato (secondo i criteri moderni negli sale per conferenze per una comprensione del parlato il tempo di riverberazione è dell'ordine di 1,0 secondi).

---

### Vitruvio trattato “de architectura” libro V, 3, 6-7

La voce è un respiro d’aria fluente, percepibile all’orecchio per contatto. Si muove in un numero infinito di giri circolari come le innumerevoli onde circolari che appaiono quando un sasso è lanciato in uno specchio d’acqua calma e che si espandono senza fine dal centro

se non sono interrotte da confini ristretti o da un’ostruzione che impedisce a queste onde di raggiungere il loro obiettivo nell’assetto dovuto. Quando sono interrotte da ostruzioni, le prime onde, fluendo all’indietro, rompono la formazione di quelle che seguono.



Fig. 76 - Analogia della propagazione del suono con la propagazione dell’acqua nello stagno.

“Allo stesso modo la voce esegue i suoi movimenti in cerchi concentrici; ma mentre nel caso dell’acqua i cerchi si muovono orizzontalmente su una superficie piana, la voce non solo si muove orizzontalmente ma ascende verticalmente per stadi regolari [...]

Così, se non esistono ostruzioni che interrompono la prima onda, non si rompono la seconda onda e le successive, ma tutte raggiungono gli orecchi degli spettatori, sia quelli che sono seduti più in basso sia quelli più in alto, senza eco.”

---

## Correzioni acustiche nell'antichità

A tal fine vengono individuate alcune correzioni acustiche che Vitruvio riferisce nel *De Architectura* ovvero che la sezione della cavea di un teatro doveva essere fatta in modo tale che tutti gli spigoli dei gradoni potessero essere collegati da un filo teso, oppure che avesse un profilo sferico come le onde

sonore. In seguito a questa interazione, l'energia viene rinvia e prosegue il suo percorso interagendo nuovamente con l'ambiente e ripetendo il fenomeno fintanto che sia i confini, sia l'aria in esso contenuta, non fanno decadere l'energia stessa.

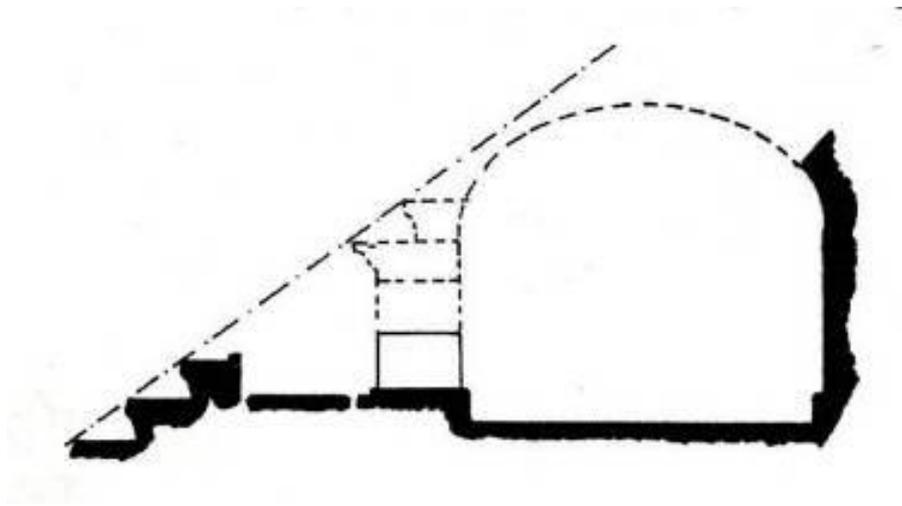


Figura 72. Particolare per la correzione acustica.

---

## Geometria del teatro romano

La geometria dei teatri romani si componevano di quattro triangoli o tre quadrati inscritti in una circonferenza che danno origine a dodici vertici da cui si traevano le scale della cavea, i margini dell'orchestra, il palcoscenico e gli accessi pertinenti l'edificio scenico. I

vertici superiori definiscono le scale della cavea che racchiudono i cunei in cui sono suddivisi i gradoni. Quando si arriva al diazoma, le scale ed i cunei da esse formate si raddoppiano a causa dell'ampliarsi della cavea.

Rif. Vitruvio, *de Architectura*.

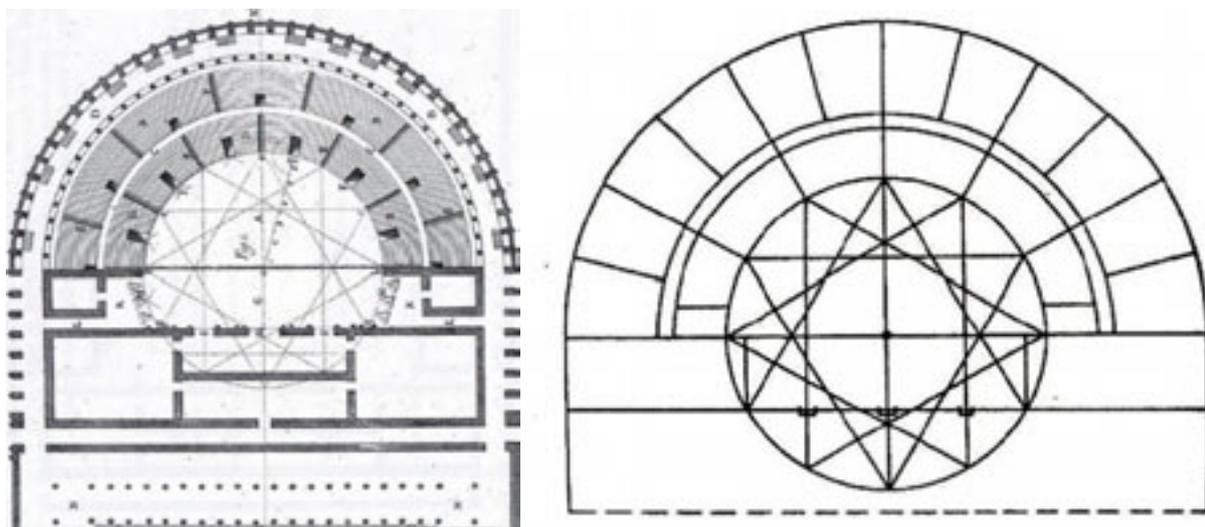


Fig.63 – Pianta e costruzione geometrica del teatro romano tratte dal *De Architectura di Vitruvio*.

---

## Applicazione degli armonici “echeia”

Di seguito sono riportate le caratteristiche acustiche del teatro con l’inserimento degli armonici “echeia”, secondo quanto riportato dall’architetto romano *Marco Vitruvio Pollione*, vissuto nel I secolo a.C., nel trattato il “*De Architectura*” (libro V, 3, 6-7). Laddove si presentavano problemi di acustica, i greci ed i romani costruivano celle acustiche al di sotto dei gradoni in modo da porvi dei vasi bronzei “echeia”, ossia dei risonatori che “accordavano” il suono emesso sul palcoscenico con quello riflesso dalla cavea, riducendo così il riverbero (fig.80) . Studiando le teorie del suono di *Aristotele* e *Aristosseno*, *Vitruvio* riprese il diagramma di quest’ultimo per la collocazione delle celle acustiche. Questa teoria, secondo *Vitruvio*, si basava sulla scala musicale pitagorica e prevedeva la collocazione di 13 celle, ognuna in grado di amplificare una determinata nota (fig.82). *Vitruvio nel De Architectura* ha descritto anche i principi elementari su come i teatri dovessero essere costruiti. Sempre secondo *Vitruvio*, i Greci dell’antichità riconoscevano l’insufficienza della potenza acustica della voce degli attori

nei teatri di grandi dimensioni. *Knudsen* riporta che la parola “armonici” corrisponde all’accezione della parola moderna risonanze. Citando anche *Aristosseno* di Taranto (364-304 a.C.), allievo di *Aristotele* ed autore del più antico “*Trattato dell’armonia*” pervenuto ai posteri in buono stato, riporta che queste risonanze erano ottenute distribuendo con regolarità un grande numero di vasi di bronzo con la funzione di risonatori acustici in tutto il teatro. Nei teatri più grandi erano collocati in tre ranghi orizzontali, di 12 risonatori ciascuno, equispaziati lungo la direzione verticale. Essi erano accordati con cura per rispondere a particolari note secondo i sistemi musicali. L’energia sonora re-irradiata in poche decine di millisecondi dopo l’istante di eccitazione per via aerea poteva enfatizzare componenti spettrali particolari della voce e degli strumenti musicali. Un gruppo era accordato per l’enarmonico, un altro per il cromatico ed il terzo per il sistema diatonico, le tre classi principali di modi usati nella Grecia antica.

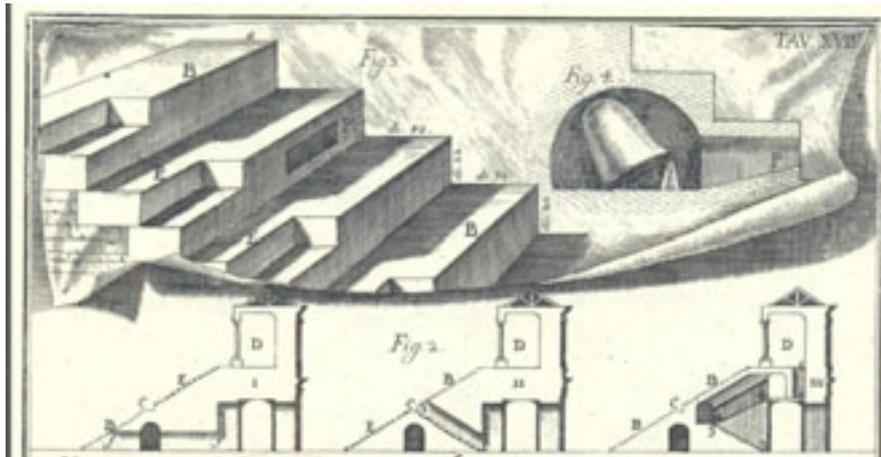


Fig.80 - Vasi bronzei "echeia", Vitruvio.

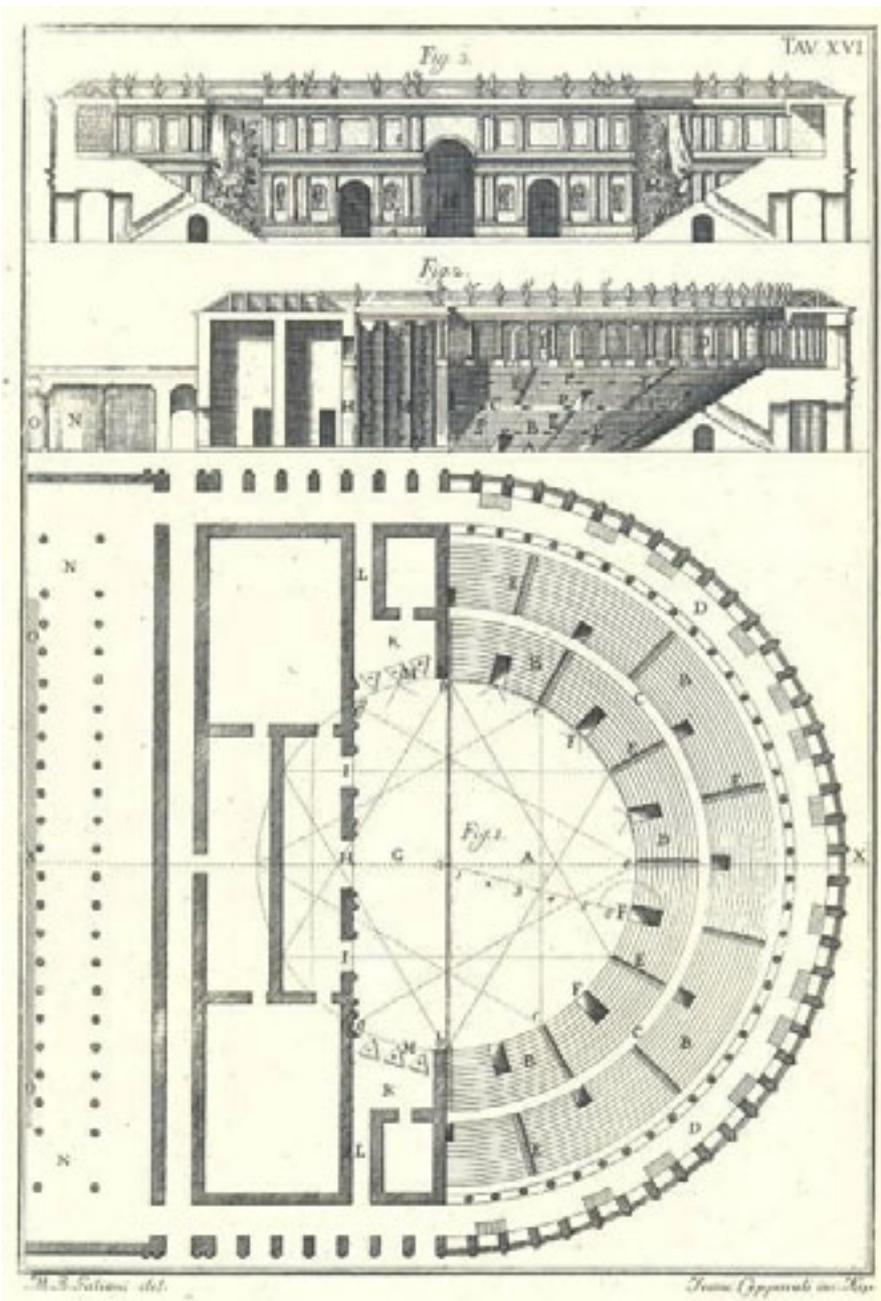


Fig.81 - Posizione dei vasi risonanti nella cavea del teatro romano

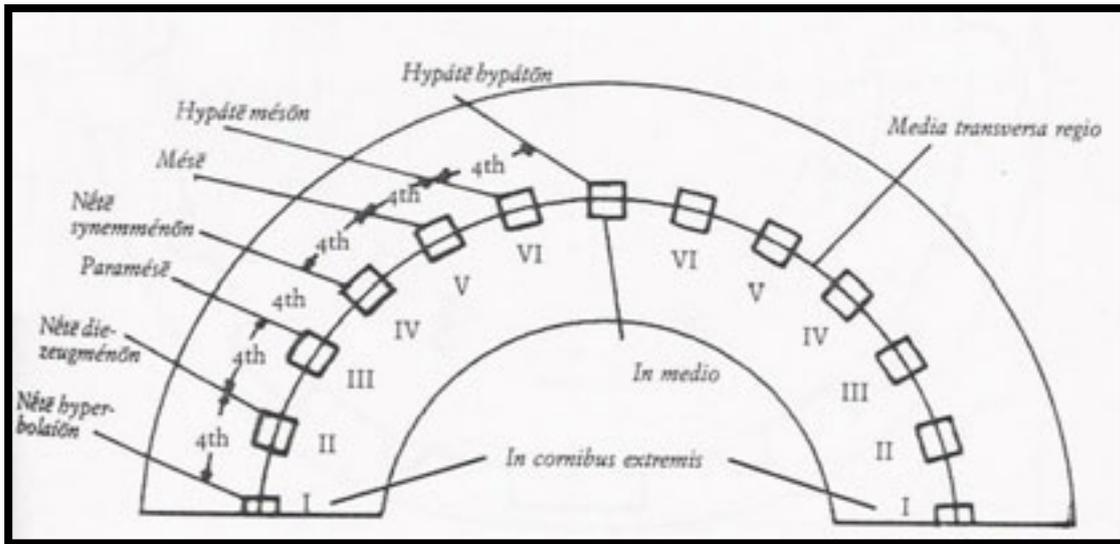


Fig.82 - Risuonatori secondo Aristosseno.

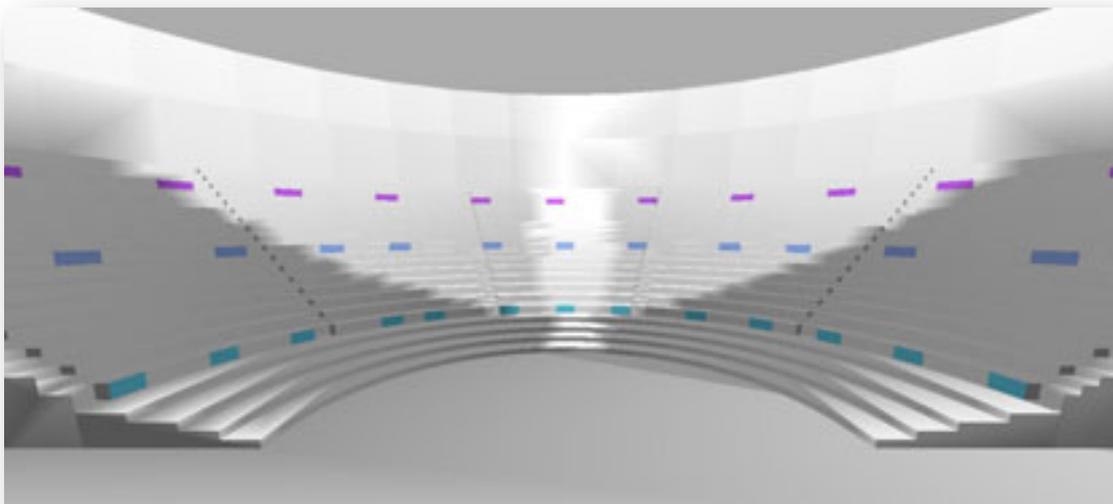


Fig.83 - Disposizione degli armonici, "echeia" nella scena.

---

## Modi musicali e vasi risonanti

Negli anni '50 P.V. Bruel, studioso di acustica, seguendo la teoria di Vitruvio ipotizzò un numero di vasi di bronzo con la funzione di risonatori. L'ipotesi riportata da P.V. Bruel è stata basata sulla distribuzione dei risonatori, sulle

frequenze fondamentali a cui potevano essere presumibilmente accordati, sulla forma e sulle dimensioni dei vasi risonanti. Questo studio, però, non ha dato delle risposte certe.



Fig.84 - Vasi bronzei, P.V. Bruel anni 50.

---

## SIMULAZIONE AL COMPUTER CON EFFETTO RISUONATORI

Di seguito viene riportato lo studio del teatro romano di Benevento con l'applicazione dell'effetto "risuonatori" simulato con Odeon" 10, software per l'acustica. Simuliamo l'effetto risuonatori modificando il coefficiente di assorbimento in 39 punti specifici, situati nelle alzate dei gradini. Le caratteristiche delle proprietà acustiche della scena, dell'orchestra e della cavea nella zona alta "summa cavea" non sono state cambiate rispetto al modello precedente. È stato applicato il valore dei coefficienti

di assorbimento dei materiali in uso, in funzione delle caratteristiche superficiali dei materiali di cui era costruito il teatro: il materiale scelto per la scena è il *Marble*  $\alpha = 0,1$  (*marmo*) con un elevato coefficiente riflettente per la cavea del teatro, e  $\alpha = 1,0$  ad un alto coefficiente di assorbimento sia per le superfici che simulano la celle dei vasi risuonatori "echeia", che per le superfici di confine del modello (il teatro è stato chiuso da una scatola, accorgimento per lo studio acustico di luoghi aperti).

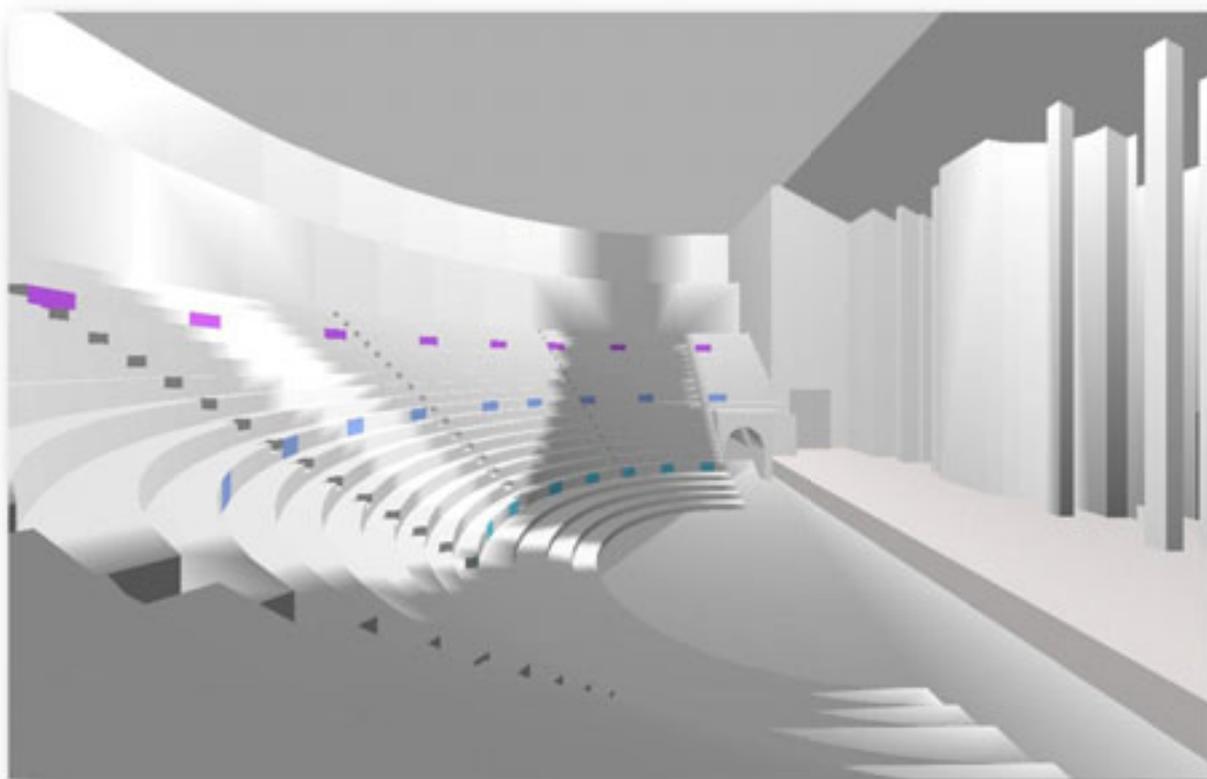


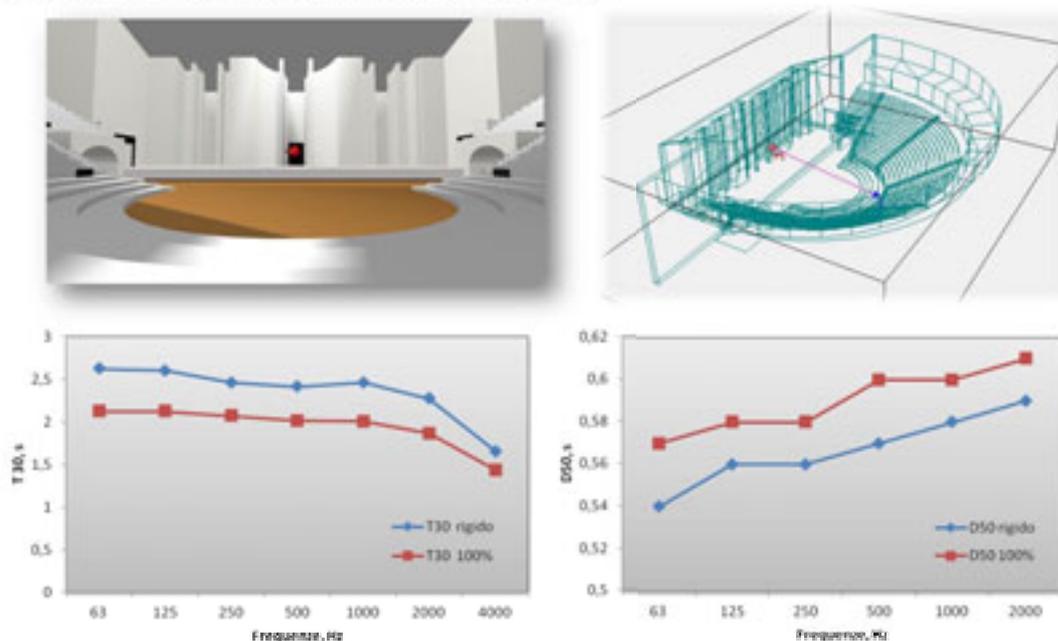
Fig.85 - Disposizione degli armonici, "echeia" nella scena.

## Parametri acustici.

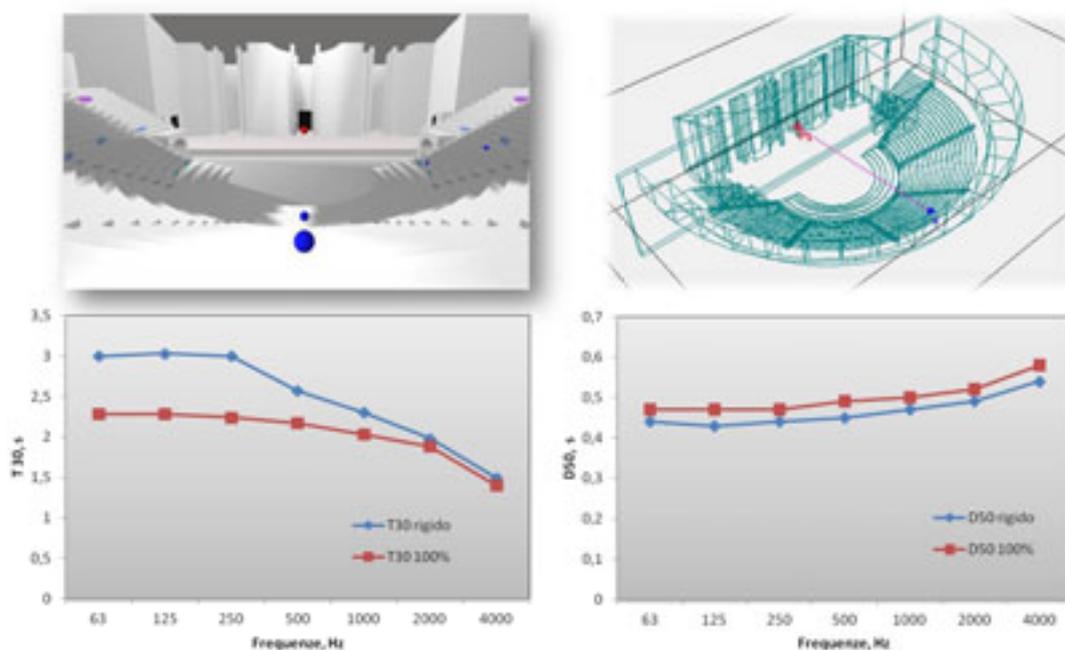
Nel grafico sono stati analizzati i risultati del modello virtuale con e senza l'applicazione degli armonici "echeia" disposti in diversi punti nella cavea del

teatro. Il calcolo numerico senza i risuonatori viene rappresentato con la linea blu, quello con l'inserimento dell'effetto risuonatori con linea rossa.

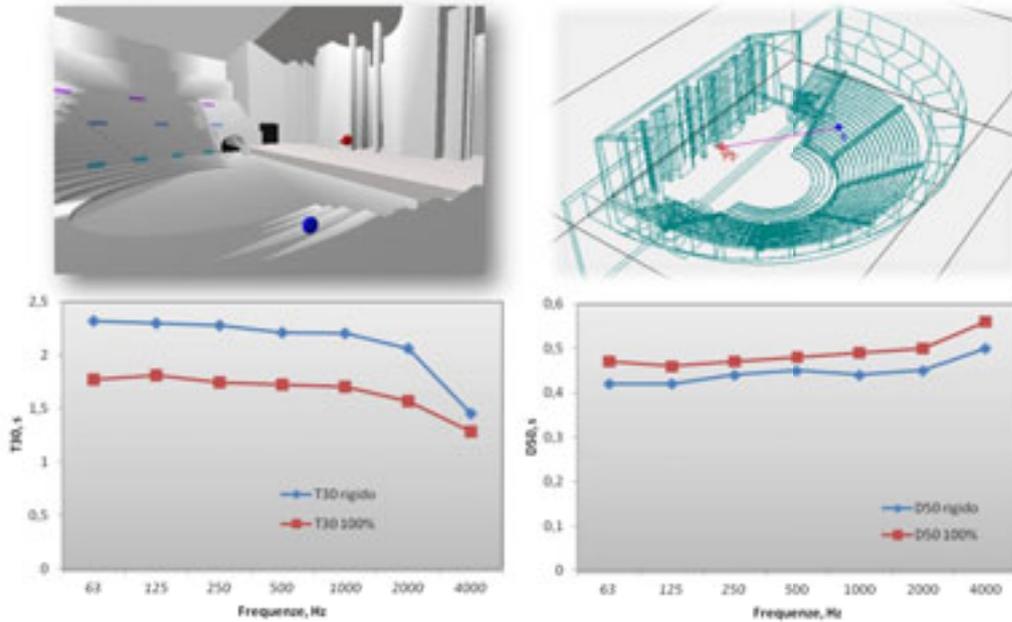
PUNTO RICEVITORE N° 1: GRAFICI T30 (Tempo di riverbero), D50 (Definizione del parlato)



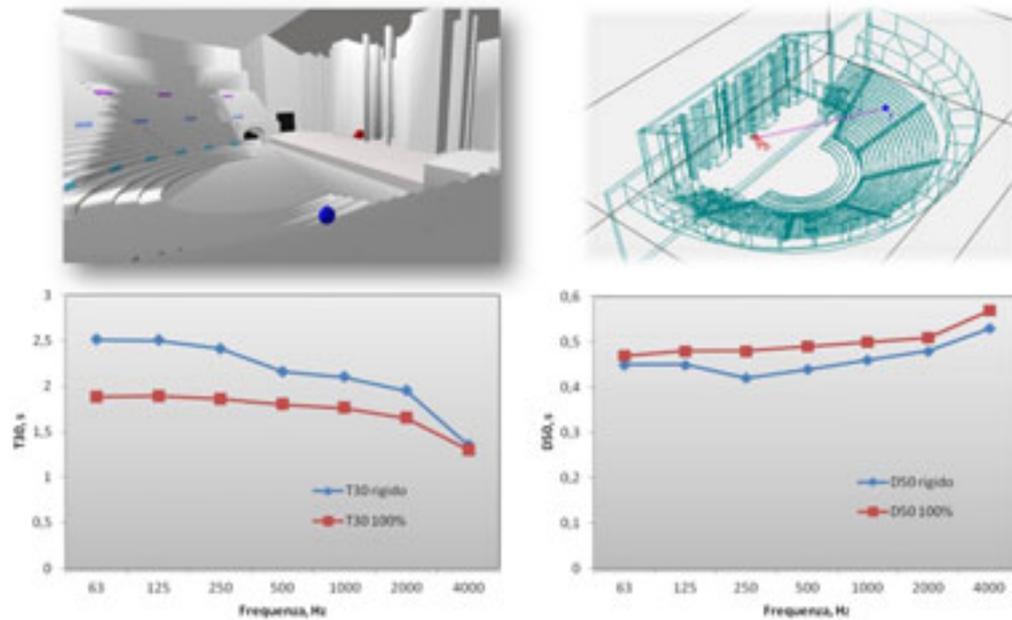
PUNTO RICEVITORE N° 4: GRAFICI T30 (Tempo di riverbero), D50 (Definizione del parlato).



PUNTO RICEVITORE N° 6: GRAFICI T30 (Tempo di riverbero), D50 (Definizione del parlato).



PUNTO RICEVITORE N° 7: GRAFICI T30 (Tempo di riverbero), D50 (Definizione del parlato).



## CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati e della rappresentazione grafica dell'andamento dei tempi di riverberazione sia con gradinate rigide, sia con l'inserimento di materiale assorbente e dalla simulazione dei risuonatori si evince che la presenza

di questi comporta una riduzione del tempo di riverbero e quindi un miglioramento delle caratteristiche acustiche del teatro, confermando così la teoria dell'architetto romano *Marco Vitruvio Pollione*.

---

## **BIBLIOGRAFIA**

L' ARCHITETTURA DEL MONDO ROMANO Paolo Morachiello. Vincenzo Fontana

PANEM ET CIRCENSES Carl W. Weber.

BENEVENTO NELLA TARDA ANTICHITA' Marcello Rotili.

IL COLOSSEO ARENA DELLA MORTE Peter Connoly.

LA ROMANISATION DU SAMNIUM AUX I ET II SECLES AV. J.-C. BENEVENTO Daniela Giampaola.

ARCHIVIO MUSEO DEL SANNIO RILIEVI GLADIATORI U. Scerrato.

LA CITTA' ANTICA LA VITA QUOTIDIANA A ROMA E ATENE  
Peter Connoly Hazel Dodge.

MONUMENTI DELLA CITTA' DI BENEVENTO Almerico Meomartini.

TRATTATO DE ARCHITECTURA (dal libro I-VII). Vitruvio

TRA I SANNITI IN TERRA BENEVENTANA Elio Galasso.

RICERCHE ARCHEOLOGICHE NELL'AREA DELL'ARCO DEL SACRAMENTO Rotili.

CULTURA FIGURATIVA IN AREA IRPINA Stefania Adamo Muscettola.

ACOUSTICS OF THE ROMAN THEATRE OF BENEVENTUM (ITALY).  
Gino Iannace, Luigi Maffei, Francesco Aletta. The Acoustics of Ancient Theatres  
Conference Patras, September 18-21, 2011

LA SCOPERTA DEL TEATRO ANTICO: IL TEATRO ROMANO DI BENEVENTO.  
Discovering the ancient theatre: the Roman Theatre of Benevento. Gino Iannace, Luigi  
Maffei, Massimiliano Masullo.

L'ACUSTICA DEGLI AUDITORI: ARTE, SCIENZA O MITO? I TEMPI DEI TEATRI GRECI  
E ROMANI. Carmine Ianniello.

---

## BIOGRAFIA

Clementina Saccomanno. Laureata in architettura presso la seconda Università di Napoli, ha conseguito la tesi sperimentale in Acustica Applicata all'architettura presso il Dipartimento di Architettura, con il prof. ing Gino Iannace

e co-relatore prof. ing. Fabio Sicurella. Nel lavoro di tesi ha approfondito tematiche riguardanti lo studio acustico di teatri secondo Vitruvio, e anfiteatri romani con particolare attenzione rivolta al teatro ed anfiteatro romano di Benevento.