



# AUDIO PROCESSING

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA**  
**DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA**  
**LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA**  
**A.A. 2021/22**  
**Prof. Filippo L.M. Milotta**

**ID PROGETTO:** 0B

**TITOLO PROGETTO:** Analizzatore audio avanzato in 2D

**AUTORI:** Caziero Kimberly, Gozzo Leandro

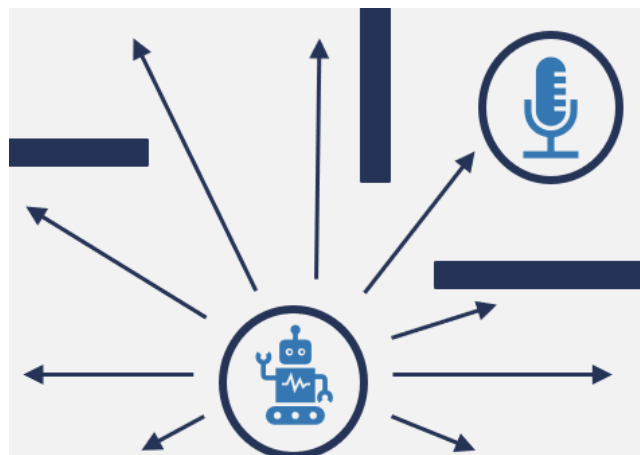
## Indice

<b>1. Obiettivi del progetto</b>	<b>2</b>
1.1 Obiettivo generale	2
1.2 Creazione della stanza 2D	2
1.3 Simulazione della diffusione delle onde	2
<b>2 Metodo Proposto</b>	<b>3</b>
2.1 Studio dei materiali presi in esame	3
Gesso	3
Intonaco	3
Legno scanalato	4
Blocchi di cemento	4
Marmo	4
Mattoni	4
Vetro	4
Acciaio	4
PVC morbido e rigido	4
2.2 Progettazione dell'ambiente 2D	5
2.3 Classi utilizzate	5
Materiale	5
Player	6
Onde	6
Trasmissione	6
Ricevitore	7
2.4 Librerie del suono	7
<b>3. Argomenti teorici trattati e risultati attesi</b>	<b>8</b>

# 1. Obiettivi del progetto

## 1.1 Obiettivo generale

Lo scopo finale del progetto è quello di ottenere un **simulatore realistico** della propagazione delle onde sonore, creato tramite l'utilizzo di Processing, linguaggio scelto per la facile rappresentazione grafica e per la programmazione orientata agli oggetti. Prenderemo come modello semplificato **la superficie parallela ad un ambiente generico**; all'interno saranno presenti vari oggetti di diverso materiale, che utilizzeremo per osservare i fenomeni di **riflessione**, **diffrazione** e **rifrazione** delle onde sonore.



## 1.2 Creazione della stanza 2D

La creazione della stanza è stata codificata con **Processing**, così come gli oggetti all'interno e la sua rappresentazione grafica. Il linguaggio è adatto ad un'interpretazione più immediata del comportamento delle onde; inoltre, potremo far riprodurre dal **monopolo acustico** dei **toni puri** e, tramite un opportuno **microfono** posto all'interno della stanza, capire come il suono verrebbe ricevuto dopo la propagazione.

## 1.3 Simulazione della diffusione delle onde

Il simulatore si occupa di ricreare un ambiente 2D aperto, diviso in quadrati di lato 1 metro e di ampiezza predefinita, all'interno del quale l'utente potrà:

- **Cambiare il mezzo** principale di propagazione scegliendo tra le opzioni presenti all'avvio, interagendo tramite click;
- **Cambiare specifici riquadri** selezionando uno dei materiali presenti in elenco, sempre dopo l'avvio e tramite click;
- **Spostare Bob**, la sorgente sonora che considereremo puntiforme, tramite le quattro frecce;
- **Spostare il microfono** prima dell'avvio della simulazione;
- **Ascoltare le tracce audio** a disposizione prima della simulazione, e sentire la traccia registrata dal microfono in seguito.

I fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione verranno studiati tenendo conto delle seguenti caratteristiche:

- La riflessione avverrà quando un'onda cambierà il suo mezzo di propagazione e di conseguenza, una parte di essa verrà riflessa.
- La rifrazione verrà applicata tenendo conto dell'assorbimento fonico dei materiali contro la quale le onde si scontreranno durante la propagazione.
- La diffrazione dovrebbe avvenire quando un'onda dovrà passare per un'apertura molto più piccola, tuttavia, non è implementabile per via delle specifiche spiegate impiegate, spiegate in seguito nel documento stesso.
- La velocità di propagazione dell'onda sonora sarà strettamente legata al mezzo principale di propagazione scelto, che influirà sulla velocità di trasmissione del suono, tenendo conto della densità del mezzo.
- Seguiremo la legge dell'inverso del quadrato per l'intensità dell'onda propagata.

## 2 Metodo Proposto

### 2.1 Studio dei materiali presi in esame

Gli oggetti che saranno sparsi per la stanza durante la simulazione fanno riferimento anche allo studio condotto per **sale d'orchestra**, tra le quali: *Teatri Bellini di Catania, Verdi, Pollini, Massimo di Palermo*. I seguenti risultati sull'assorbimento sonoro dei materiali presentati sono stati estrapolati dal documento di **Cammarata, G. (2016) "Acustica Applicata"**, al capitolo 13, sezioni 13.9.4 e 13.9.5.

Materiali	Frequenze [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Gesso	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Parquet	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Intonaco	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Moquette	0.05	0.08	0.17	0.30	0.48	0.72
Legno scanalato	0.43	0.40	0.36	0.44	0.33	0.27
Blocchi di cemento	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Poltrone imbottite	0.54	0.66	0.78	0.85	0.83	0.75
Velluto	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65

Queste informazioni sono necessarie per il fenomeno della rifrazione, in quanto durante quest'ultimo una parte dell'intensità dell'onda sonora si converte in energia termica e una parte viene deviata nell'ambiente. In una sala d'orchestra, è essenziale scegliere non solo i materiali giusti, ma anche la grandezza corretta della stessa. Si vuole evitare che le armonie prodotte dai musicisti perdano di qualità a causa di fenomeni di **eco nella riflessione**. Al contrario, si favorisce in piccola parte il **riverbero**, che arricchisce la musica.

D'altro canto, è giusto parlare della capacità di assorbimento di certi materiali in relazione al fenomeno dell'**inquinamento acustico**, il quale oggi giorno riguarda non solo le grandi metropoli, ma anche la vita quotidiana di ognuno di noi. Per legge bisogna limitare questo problema a certe soglie in città, ma non solo. Infatti, **i materiali e le tecniche soundproofing** vengono applicate nel **campo industriale** al fine di proteggere l'udito dei lavoratori, soprattutto laddove lavorare a lungo a contatto con macchinari molto rumorosi può risultare nocivo.

Senza indugiare oltre, vediamo le caratteristiche principali di alcuni dei materiali sopra citati e di altri ancora, che andremo poi ad utilizzare all'interno del nostro simulatore.

#### Gesso

Il gesso, come materiale da costruzione, viene estrapolato dall'omonima formazione rocciosa. Il suo utilizzo è legato principalmente a sculture, pareti divisorie fittizie, lastre per l'isolamento termico e fonico, nonché per miscele per intonaci di fondo e intonaci lisci di pareti interne. Da non confondersi con la calce.



#### Intonaco

L'intonaco è tradizionalmente una malta composta da una parte legante (indurente) che ingloba sabbia granulosa fina. Ci sono molti tipi di intonaco nelle moderne costruzioni in base al legante e alla sabbia di cui è composto, ma il più comune è un composto a secco, detto premiscelato, ed è quest'ultimo che prenderemo in esame.



### Legno scanalato

È costituito da legno massiccio a cui sono state apportate delle modifiche tramite macchinari, i quali dotano i pannelli di scanalature che permettono di incrementare l'assorbimento del suono, disperdendo meglio l'intensità delle onde sonore. Nella simulazione supporremo di poter avere delle pareti costituite da quest'ultimo.



### Blocchi di cemento

Esistono diversi tipi di cemento, differenti per la composizione, per le proprietà di resistenza e durezza e quindi per la destinazione d'uso. Dal punto di vista chimico si tratta di una miscela di silicati di calcio e alluminati di calcio, ottenuti dalla cottura ad alta temperatura di calcare e argilla oppure di marna, con aggiunte di gesso.



### Marmo

Il marmo si forma attraverso un processo metamorfico da rocce sedimentarie. Il colore del marmo dipende dalla presenza di impurità minerali all'interno della roccia sedimentaria originaria. Considereremo un marmo generico al fine delle analisi, in quanto ogni marmo ha proprietà differenti per via della sua composizione specifica.



### Mattoni

Forse il primo materiale edilizio nella storia, il mattone di terracotta è molto diffuso nei cantieri, tuttavia oggi i metodi di cottura della terracotta sono molto più raffinati e standardizzati. Il mattone tradizionale è di laterizio, ed è questo che utilizzeremo nella simulazione 2D.



### Vetro

È ottenuto tramite la cottura a temperature elevatissime di composti a base di silicio, ossia sabbia. Un esempio di vetro naturale è l'ossidiana, prodotta dal magma vulcanico, ma il vetro può anche formarsi dalla caduta di un fulmine sulla sabbia di una spiaggia. I dati si riferiscono al vetro non temperato.



### Acciaio

L'acciaio è una lega ferrosa composta per lo più da ferro e una piccolissima parte di carbonio. Col passare del tempo, le tecniche di produzione dell'acciaio si sono andate perfezionando e diversificando, per cui ai nostri giorni esistono molteplici tipologie di acciai, ciascuna relativa a diverse esigenze progettuali e di mercato.



### PVC morbido e rigido

Il PVC, meglio conosciuto come polivinilcloruro, è la materia plastica più utilizzata per la produzione di tubi per edilizia, cavi elettrici, profili per finestra, pavimenti vinilici, pellicola rigida e plastificata per imballi. Ne esistono di diversi tipi in base al materiale da cui si parte nella produzione.



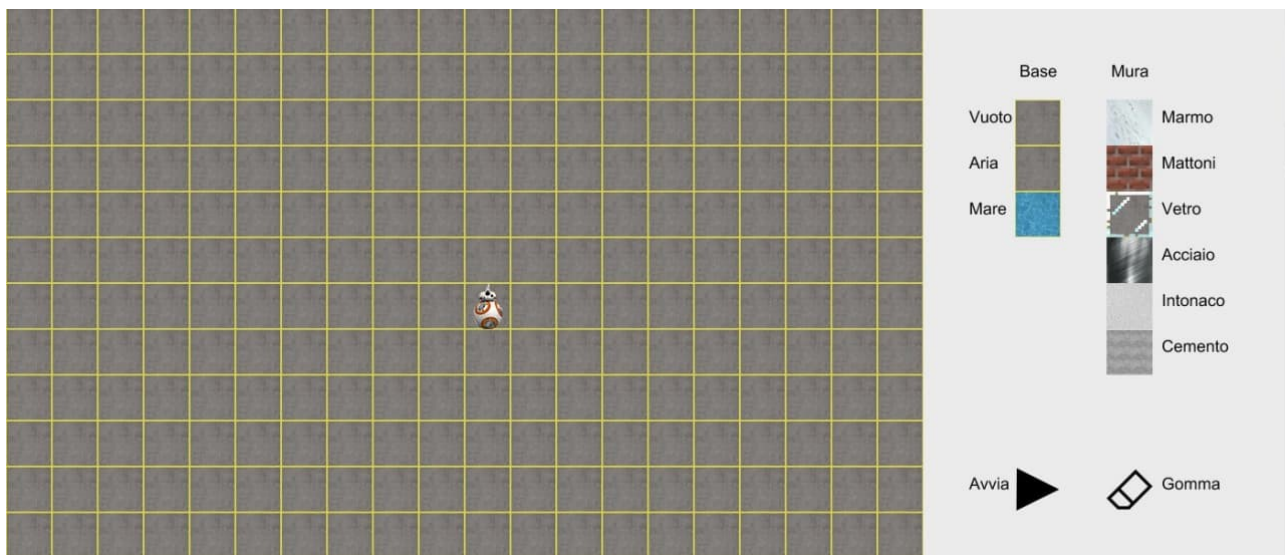


## 2.2 Progettazione dell'ambiente 2D

La mappa è uno spazio in cui il Player può muoversi liberamente, vincolato solo dalle collisioni con le pareti inserite dall'utente stesso. Nello sketch è presente la costruzione visiva dell'ambiente interattivo e modificabile. Possiamo dividere ciò in diverse sezioni:

- **Mappa:** è una matrice di materiali con dimensione fissa 20x20;
- **Liste di elementi:** sono posti lateralmente, ad ognuno di essi è associato accanto un testo che ne specifica il nome. Sono disposti in maniera analoga a come vengono istanziati negli array opportuni dei materiali (*base* e *wall*).
- **Pulsanti di utilità:** servono per rendere la mappa più funzionale e permettono cancellare un singolo materiale inserito, riportando al mezzo base, di mandare in esecuzione la simulazione e infine di terminarla.

Qui a seguito un'immagine estrapolata dall'avvio dello sketch, dove sono presenti tutte le funzioni elencate sopra e Bob, il nostro piccolo (50x50 pixel) monopolista acustico.



## 2.3 Classi utilizzate

Le classi create per la realizzazione del simulatore sono **Materiale**, **Player**, **Onde**, **Trasmissione** e **Ricevitore**, tutte dotate di metodi costruttori appositi.

### Materiale

La classe **Materiale** è quella che utilizzeremo sia visivamente che a scopo di calcolo per l'audio risultante, e per questo motivo contiene 4 parametri interni che riguardano entrambi gli aspetti appena citati, ovvero:

- una stringa contenente il nome del materiale;
- un float che rappresenta la celerità del suono all'interno del materiale;
- una PImage 50x50 pixel che sarà la texture del materiale su schermo;
- un boolean che indicherà se il player può passare o meno al suo interno.

I materiali saranno ordinati in due array creati nel main, di cui uno serve per selezionare il principale mezzo di propagazione (vuoto, aria, acqua) e l'altro per selezionare il materiale che si vuole collocare su determinati punti della mappa. Come detto in precedenza, sarà presente anche un pulsante **gomma** che permetterà di riportare una casella alla condizione di mezzo di trasmissione base. È chiaro che il materiale "Vuoto" non permetterà la propagazione del suono, ma ci è sembrato interessante inserirlo.

## Player

La classe **Player** genererà nel main del codice un solo oggetto, che sarà denominato Bob per comodità. Bob è un monopolo acustico dotato dei seguenti attributi:

- due int per la sua posizione nella mappa 2D;
- una PImage 50x50 pixel che sarà il suo segnaposto grafico nella simulazione, anche detta skin.

L'unica funzione al di fuori del costruttore è **isHere()** la quale prende in input due interi per determinare la posizione nella griglia e restituisce un boolean che ci informa se Bob è su quella determinata casella o meno. Il suo utilizzo è legato principalmente all'evitare che l'utente, in fase di preparazione e posizionamento degli ostacoli, ponga un materiale non calpestabile sul Player.

Tramite la funzione specifica di processing chiamata **keyPressed()** è stato possibile implementare il movimento di Bob verso le quattro direzioni corrispondenti ai tasti *LEFT*, *UP*, *DOWN*, *RIGHT*. Inoltre, dalla posizione dell'oggetto, una volta avviata la simulazione, si propagheranno le onde.

## Onde

La classe **Onde** è responsabile del comportamento grafico della trasmissione sonora. Per la sua rappresentazione abbiamo optato per istanziare un "cerchio" composto da 360 cerchietti pieni che partono da Bob, i quali andranno inseriti subito in una coda designata per la loro gestione. Quest'ultimi saranno dotati di:

- un certo angolo di propagazione iniziale che, tuttavia, potrà mutare in caso di riflessione;
- un float che indicherà la velocità attuale della propagazione, anch'esso soggetto ai cambiamenti per via del mezzo di trasmissione;
- un color che indicherà la sua intensità e che andrà a sbiadire (la sua opacità diminuirà) man mano che l'intensità dell'onda diminuirà.

Per la rifrazione è necessario creare un metodo apposito che chiameremo **rifrazione()** e che sarà invocato al cambiamento di mezzo. Il metodo prenderà in input un punto d'onda, e potrà interagire sulla coda aggiungendo altri punti che avranno intensità minore del punto originario e direzioni proprie.

Gli oggetti verranno inseriti in una coda poiché, dopo un certo lasso di tempo, il suono si indebolirà a tal punto da non risultare più udibile. In quel caso verranno eliminati dalla coda. Non è stato utilizzato un array o una lista poiché la dimensione potrebbe crescere dato il comportamento del metodo **rifrazione()**. L'eliminazione degli elementi verrà eseguita quando l'opacità dell'oggetto raggiungerà lo zero.

## Trasmissione

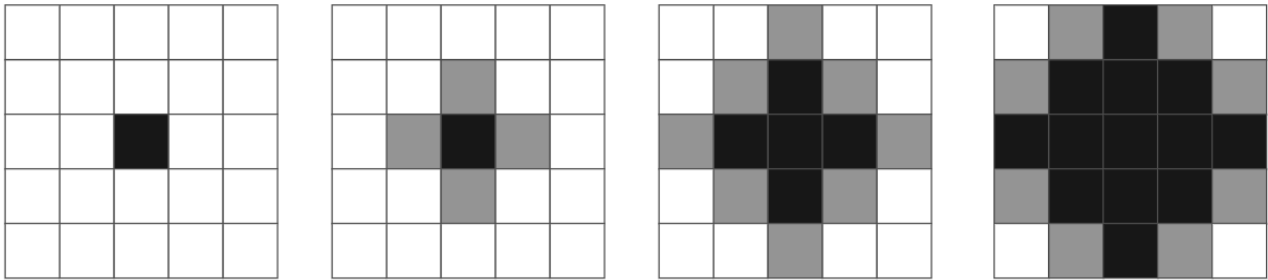
La classe **Trasmissione** è responsabile della parte di calcolo relativa alla simulazione attiva. Una volta creato l'ambiente da parte dell'utente, alla pressione del pulsante *AVVIA*, creato appositamente a lato della griglia, non sarà più possibile modificare l'ambiente di simulazione. In quel momento verrà creato il primo e unico oggetto di questa classe: un grafo che ha come nodo fondamentale la posizione di Bob, e che si collegherà a tutti gli altri nodi (ossia posizioni di griglia) in maniera opportuna.

Il grafo sarà basato sull'aspetto grafico del simulatore, in cui ogni nodo è doppiamente connesso ai suoi quattro più vicini. Ogni nodo sarà dotato dei seguenti attributi:

- due int per indicare la sua posizione;
- un float per l'intensità;
- un int per indicare il suo turno al metodo BFS;
- un colore che di default che sarà bianco, del quale spiegheremo la presenza a breve;
- un int che rappresenterà l'identificativo del suo materiale, corrispondente alla posizione che occupa nell'array apposito.

Per tenere conto degli archi creati all'inizio della simulazione verrà utilizzata una lista di adiacenza fatta da boolean. La propagazione del suono sarà svolta tramite questi archi e più in particolare dall'utilizzo di un metodo **BFS()** che svolgerà una visita in ampiezza del grafo, aggiornando i nodi con i nuovi dati.

Il metodo andrà a modificare il colore dei nodi facendoli passare da bianco, a grigio e infine a nero. Segue un'immagine esplicativa di come funzionerà l'algoritmo su un esempio di mappa di caselle 5x5, mostrando la fase dell'inizializzazione e i successivi tre passi. Si suppone che al centro ci sia il vertice di partenza, che corrisponderà alla posizione di Bob.



Per evitare di perdere il fenomeno della riflessione, verrà implementato un altro metodo chiamato **riflessione()** che si occuperà di prendere in input il nodo che la genera, un int che segnerà quanti metri ha già percorso l'onda e l'arco che dovrà espanderla. Verrà richiamato non appena ci sarà un cambio di mezzo. Tramite l'int sarà possibile sommare alle caselle un valore di intensità che sarà effetto di **riverbero** se nell'aria ci saranno meno di 34 passi dalla sua prima interazione, o **eco** se saranno 34 o più.

### Ricevitore

La classe **Ricevitore** è rappresentativa del ricevitore posto nella mappa sia graficamente che praticamente, e perciò sarà dotata dei seguenti attributi:

- due int per indicare la sua posizione;
- un float per l'intensità, il quale verrà ricopiato a fine simulazione dal float corrispondente al nodo nella stessa posizione.

Per dare la possibilità all'utente di ascoltare ciò che ha registrato il ricevitore, all'interno di esso verrà utilizzato il metodo **amp()**, proveniente dalla libreria audio standard di Processing. Questo prende in input un audio e ne modifica l'intensità. La modifica verrà fatta al termine della simulazione su una copia dell'audio in input sulla base dei parametri ricevuti dalla casella dove si trova il ricevitore, in modo da poter confrontare le due tracce.

## 2.4 Librerie del suono

Arrivati a questo punto della progettazione e scrittura del codice le due librerie audio più utili per incorporare la componente sonora al simulatore sono quella standard di processing e una open-source chiamata Minim.

La prima libreria valutata per poter ascoltare e modificare l'audio è **processing.sound.\***, che ci permette di importare tutti i metodi utili alla realizzazione. Con questa libreria gli oggetti audio saranno di tipo **SoundFile**, il quale prende come parametri un puntatore (generalmente **this**) e un **path relativo all'oggetto**. È facile creare un audio in uscita, ma non lo è altrettanto far sì che sia coerente con la simulazione.

La seconda libreria citata è **ddf.minim.\***, che consente di caricare dei file e riprodurli. Per prima cosa si deve istanziare un oggetto di tipo **Minim** e uno di tipo **AudioPlayer**. All'interno di quest'ultimi, tramite il metodo **loadFile()** inseriremo l'audio da caricare, nel nostro caso suoni puri, basterà passarlo come parametro alla funzione. Il formato dell'audio caricato verrà preso generalmente come mp3 o come wav. Una volta avviata la simulazione verrà riprodotta la traccia audio, tramite la funzione **play()**.

Il problema di questa libreria è che non presenta metodi utili per calcolare l'audio in output, ma solo modi per diminuire il volume di quello in entrata. Inoltre, non è possibile utilizzare una combinazione di entrambe per sopperire ai problemi singoli, in quanto i due tipi di dato sono differenti e incompatibili.

### 3. Argomenti teorici trattati e risultati attesi

Gli argomenti teorici trattati sono strettamente legati **all'acustica** e ai fenomeni che la interessano. Come ben noto, **la propagazione del suono può avvenire solo se c'è un mezzo di propagazione**, per questo motivo abbiamo aggiunto il **vuoto** tra i mezzi base selezionabili, come controesempio.

Per il resto dei casi possibili abbiamo fatto uno studio dei materiali da prendere in esame e stabilito che, durante la simulazione, potranno essere utilizzati solo dei **toni puri** come suoni di test. Un tono puro è un suono composto da una sola frequenza ed è periodico.

Nonostante siano per lo più impossibili da ritrovare in natura, la scelta di operare con essi è stata condizionata dal fatto che i dati dell'assorbimento sonoro, relativi ai materiali, sono stati ricavati tramite test con toni puri, ed in questo modo sarà possibile avere il massimo dell'attendibilità.

Quando un suono si propaga in un ambiente devono essere fatte varie considerazioni: **a che altitudine siamo? Che temperatura c'è? Da cosa è composto il mezzo?** Per semplicità noi abbiamo fatto riferimento ai nostri mezzi principali di trasmissione, eccetto il vuoto, con dei parametri di riferimento fissati. L'aria è fissata a 20° con un'atmosfera di pressione, mentre per l'acqua abbiamo considerato quella marina a 20° con salinità media.

Quando poniamo degli ostacoli nel nostro ambiente di riferimento, ciò che accadrà è una modifica al modo in cui il suono si propaga, che essa sia un "rimbalzo" sull'oggetto, un passare attraverso o l'amplificarsi nell'ambiente, o ancora la sua scomparsa in certi punti. Questi eventi prendono il nome di **fenomeni di deviazione delle onde sonore**.

Tra queste ritroviamo la **riflessione**, la quale può dar origine all'eco o al riverbero, in base alla nostra distanza dalla parte che riflette l'onda e al mezzo in cui ci troviamo.

A seguire la **rifrazione**, che avviene quando cambia la temperatura o il mezzo di propagazione, e tende a far "salire" o "scendere" le onde sonore. Mostriamo questo fenomeno con le nostre onde che si "duplicano" con intensità minore.

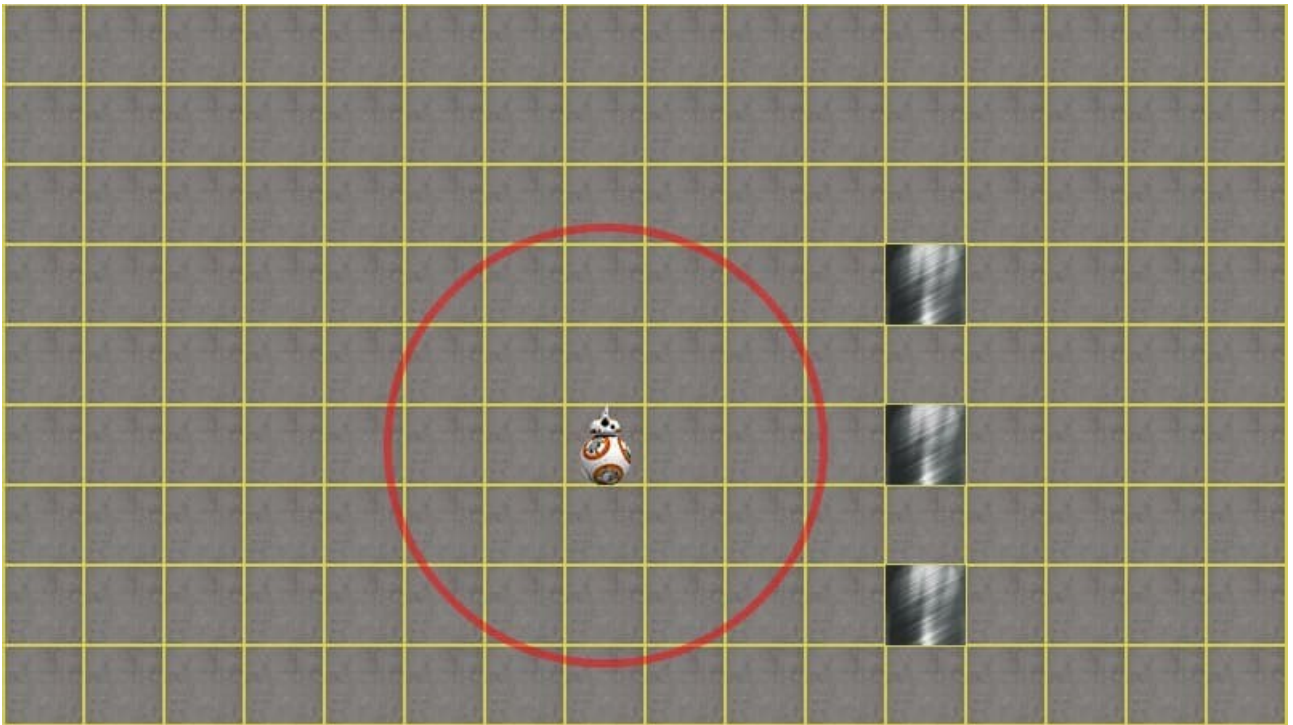
Infine, la **diffrazione** si origina quando un'onda ha una lunghezza d'onda molto più grande dell'ostacolo (o fenditura) che incontra; per i parametri presi in esame sarà impossibile ricreare questo fenomeno, in quanto l'apertura più piccola avrebbe comunque un metro di ampiezza.

Per la scelta di operare con toni puri abbiamo ritenuto opportuno fare a meno del dominio delle frequenze, limitandoci ad **operare sui dati del dominio del tempo**. Alla fine della programmazione del simulatore ci si aspetta che esso sia in grado di ricreare il comportamento della propagazione del suono in un ambiente, aperto o chiuso che sia, nel quale sono stati posti ostacoli di vario materiale.

Come è possibile vedere sotto, il progetto necessita ancora di cambiamenti e aggiornamenti da quello che è il risultato parziale. Nell'immagine attuale viene disegnato un cerchio che sbiadisce man mano che ci si allontana dalla fonte, tuttavia, questo verrà sostituito dai nostri cerchietti di tipo Onde.

Visivamente si possono fare miglioramenti per quanto riguarda le linee gialle, tenute finora per evidenziare bene le singole caselle durante le simulazioni, l'assenza di un microfono e i fenomeni acustici, da riscrivere per il cambiamento della classe Onde, la quale prima includeva sia parte grafica che di calcolo, ora divisa in Onde e Trasmissione.





Questo documento è una versione in corso d'opera per via della natura sperimentale del progetto stesso, e sarà soggetto ad aggiornamenti e revisioni durante il suo sviluppo.