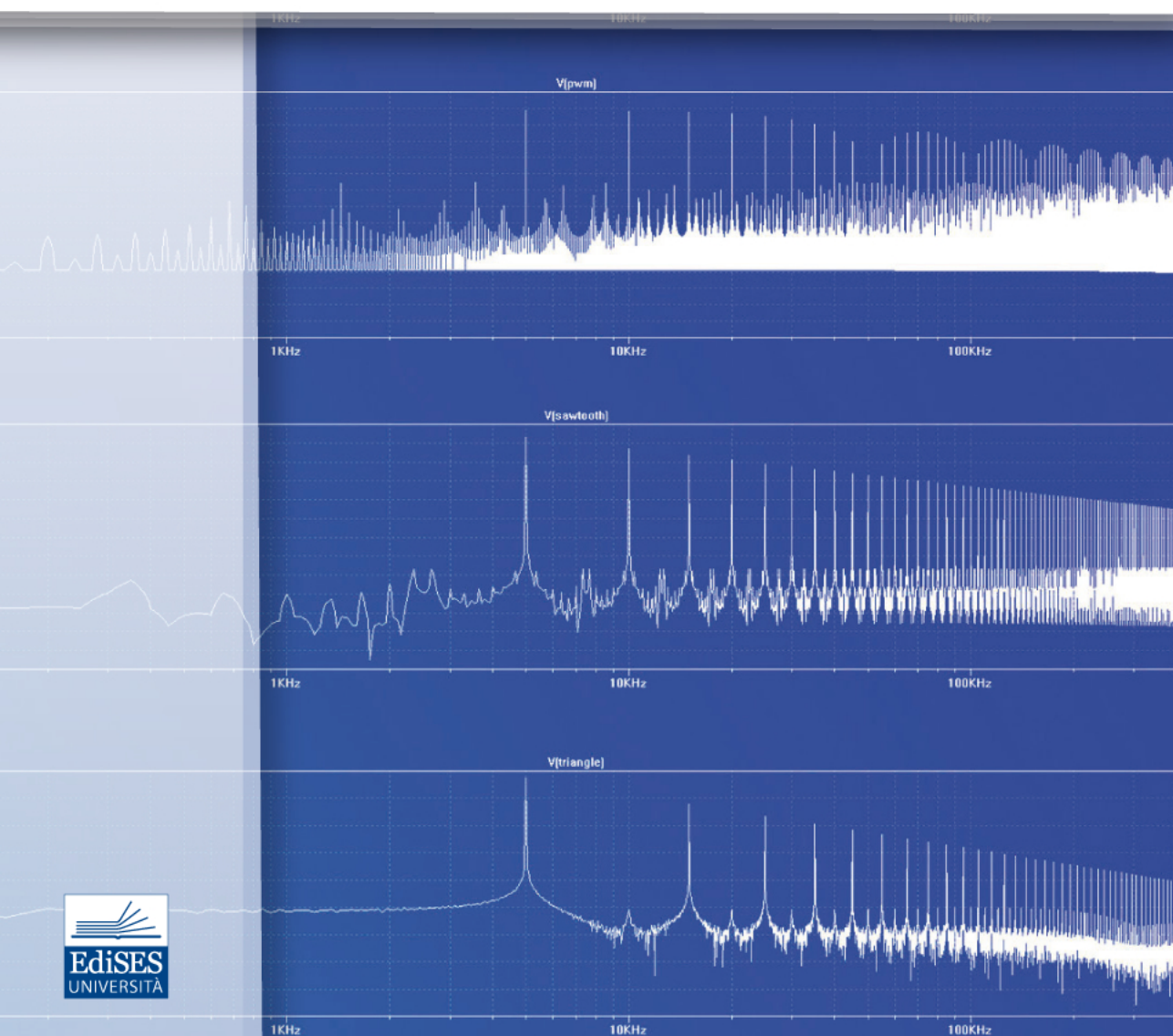


M.T. Caccamo • S. Magazù

Esperimenti di **Fisica** mediante **trasformata di Fourier** e **trasformata Wavelet**



MARIA TERESA CACCAMO • SALVATORE MAGAZÙ

Università degli Studi di Messina

***ESPERIMENTI DI FISICA MEDIANTE
TRASFORMATATA DI FOURIER E
TRASFORMATATA WAVELET***



Maria Teresa Caccamo • Salvatore Magazù
Esperimenti di Fisica mediante trasformata di Fourier e trasformata Wavelet
Copyright © 2021, EdiSES Edizioni S.r.l. - Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
2024 2023 2022 2021

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata

A norma di legge è vietata la riproduzione, anche parziale, del presente volume o di parte di esso con qualsiasi mezzo.

L'Editore

L'Editore ha effettuato quanto in suo potere per richiedere il permesso di riproduzione del materiale di cui non è titolare del copyright e resta comunque a disposizione di tutti gli eventuali aventi diritto

Stampato presso:
Print Sprint S.r.l. – Napoli

per conto della
EdiSES Edizioni S.r.l. – Piazza Dante, 89 – Napoli

www.edisesuniversita.it

assistenza.edises.it

ISBN 978 88 3623 0587

I curatori, l'editore e tutti coloro in qualche modo coinvolti nella preparazione o pubblicazione di quest'opera hanno posto il massimo impegno per garantire che le informazioni ivi contenute siano corrette, compatibilmente con le conoscenze disponibili al momento della stampa; essi, tuttavia, non possono essere ritenuti responsabili dei risultati dell'utilizzo di tali informazioni e restano a disposizione per integrare la citazione delle fonti, qualora incompleta o imprecisa.

Realizzare un libro è un'operazione complessa e, nonostante la cura e l'attenzione poste dagli autori e da tutti gli addetti coinvolti nella lavorazione dei testi, l'esperienza ci insegna che è praticamente impossibile pubblicare un volume privo di imprecisioni. Saremo grati ai lettori che vorranno inviarci le loro segnalazioni e/o suggerimenti migliorativi sulla piattaforma assistenza.edises.it

Prefazione

Nelle scienze sperimentali, e in particolare nella fisica, un ruolo chiave è giocato dalla realizzazione di esperimenti che prevedono la progettazione, la costruzione, l'approntamento e/o l'assemblamento di dispositivi sperimentali e, successivamente, l'acquisizione e l'analisi di dati con il fine di formulare semplici modelli interpretativi e/o teorie, o ancora di suffragarle o falsificarle.

Infatti, ancorché modelli e teorie costituiscano un prodotto dell'intelletto umano, nei casi concreti risulta limitativo ridurre la costruzione della conoscenza del reale alla sola speculazione teorica, e ciò in ragione del fatto che modelli interpretativi e teorie spesso richiedono un riscontro con i dati sperimentali. Sotto questa luce, gli esperimenti, se progettati propriamente, sono in grado non soltanto di testare la validità o inficiare un modello interpretativo o una teoria ma, ed è questo il caso che più importa per gli scopi di questo volume, di favorire la comprensione di concetti che possono apparire astratti e/o risultare di non facile comprensione proprio perché non opportunamente contestualizzati sul fronte dell'esperienza.

In questo quadro di riferimento, nell'insegnamento di alcuni temi comuni alla fisica e alla matematica, le attività di laboratorio in generale, e gli esperimenti di fisica in particolare, possono svolgere non soltanto la funzione di verifica, falsificazione o formulazione delle leggi fisiche, ma anche la funzione di favorire la comprensione di concetti e leggi, ancor più se sono di pertinenza di discipline diverse, come la fisica e la matematica.

In particolare, negli ultimi decenni si è sviluppata una didattica integrata della fisica e della matematica sostanzialmente fondata da un lato sull'idea che la conoscenza individuale, così come ogni altra conoscenza che possa qualificarsi come accreditata, si costruisca mediante una continua strutturazione e ristrutturazione di concetti che passa attraverso connessioni tra ambiti differenti e, dall'altro, sull'idea che l'apprendimento sia un processo dinamico nel quale, a partire da una conoscenza riconducibile al senso comune, si sviluppano modi di interpretare sempre più vicini a quelli che caratterizzano un approccio scientifico interdisciplinare. Ed è in questo contesto che gli esperimenti di fisica acquisiscono un valore aggiunto per lo studente in quanto gli permettono di sperimentare percorsi integrati di studio, di avviare riflessioni su temi comuni alla fisica

e alla matematica, di costruire modelli interpretativi validi in differenti contesti mediante un processo di ristrutturazione e integrazione delle proprie conoscenze.

Il fare esperienza, attività che in alcuni casi può, sia pure semplicisticamente, essere connotata come “spontanea”, differisce profondamente dal fare esperimenti. Il condurre esperimenti è, in molti casi, un’attività progettata, “artificiale”, che richiede il dover ordinare, progettare e realizzare una serie di attività coordinate che sono finalizzate ad ottenere informazioni rilevanti dall’esperimento stesso. Questa distinzione tra esperienza ed esperimento trova un riscontro, oltre che tra i differenti livelli educativi, anche nella storia delle scienze. Si potrebbe dire, ad esempio, che mentre la fisica ellenistica o greca sono, in misura prevalente, focalizzate sul fare esperienza, ovvero su un rapporto diretto con l’osservazione del mondo naturale, da Leonardo e da Galileo in poi il progresso scientifico è contraddistinto dal progettare e realizzare esperimenti, ovvero dall’eseguire operazioni, spesso articolate e complesse, che richiedono interconnessioni e collegamenti tra differenti fenomeni, conoscenze e saperi; potremmo dire che non è la scienza a nascere con Leonardo e Galileo ma piuttosto la scienza degli esperimenti.

Dal punto di vista dell’insegnamento e dell’apprendimento una delle questioni più interessanti da affrontare riguarda le caratteristiche che gli esperimenti di fisica devono avere per favorire l’apprendimento di concetti comuni alla fisica e alla matematica. La questione posta è rilevante in quanto alcuni esperimenti di fisica, se opportunamente congegnati, possono rilevarsi efficaci per facilitare la comprensione di contenuti, specifici o in alcuni casi reputati ostici, comuni alla fisica e alla matematica. Sotto questa prospettiva, le connessioni palesemente esistenti, o semplicemente rintracciabili, fra fisica e matematica possono essere spesso evidenziate attraverso la realizzazione di esperimenti di fisica in linea con il motto “Se faccio capisco”; in altri termini, spesso, può essere efficace partire dagli esperimenti di fisica per una migliore e/o facilitata comprensione di concetti della fisica e della matematica.

Al riguardo si può fare riferimento al genio assoluto di Archimede di Siracusa e all’importanza che egli diede all’intuizione fisica al punto tale che egli usò le leggi della meccanica per scoprire alcune leggi della geometria. Per esempio, Archimede determinò il volume della sfera immaginando di dover equilibrare il peso di un oggetto sferico e il peso di un oggetto cilindrico posti su piatti opposti di una bilancia; si potrebbe dire che, in ragione dell’approccio impiegato, questo risultato geometrico può essere considerato

un risultato della meccanica. Un altro esempio, relativo all'approccio impiegato da Archimede, è dato dal calcolo dell'area di un segmento di parabola, riportato nel Metodo, che si basa sull'applicazione del principio della leva e che costituisce un esempio di quel dominio della materia sulla mente considerato da molti storici un esempio di come la fisica possa essere applicata per la determinazione di leggi matematiche. Di converso, il procedimento per trovare il baricentro di un triangolo, riportato nel trattato Sull'equilibrio dei piani, costituisce un esempio di dominio della mente sulla materia dove non viene richiesta la realizzazione di un esperimento per giungere alla tesi e, pertanto, quest'ultimo svolge la funzione di verifica o falsificazione. L'assunto di base di questo volume è che nell'insegnamento e nell'apprendimento di alcuni concetti comuni alla matematica e della fisica, le profonde affinità epistemologiche, le connessioni esistenti tra le due discipline e le correlazioni con le attività di laboratorio di fisica debbano essere promosse. In questo quadro di riferimento, la matematica non fornisce soltanto strumenti per la fisica, ma guida anche la comprensione fisica; viceversa la fisica e gli esperimenti di fisica possono fornire un semplice accesso ad argomenti matematici di non immediata comprensione. Recenti indagini sull'apprendimento degli studenti suggeriscono che la comprensione di argomenti di Fisica e Matematica può essere notevolmente facilitata mediante un approccio integrato (vedi Fig. 1) con le attività di laboratorio.

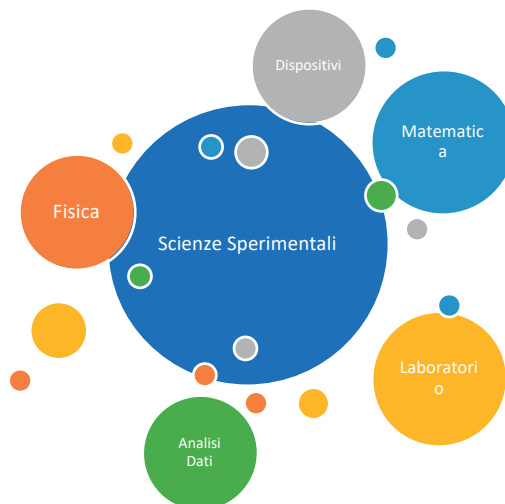


Figura 1: Schema rappresentante le scienze sperimentali

In altre parole, nei corsi di laurea in fisica e matematica, discipline come la fisica e la matematica sono frequentemente impostate in modo autonomo attraverso la delimitazione dei confini, la costruzione di linguaggi specialistici e l'impiego di tecniche e strumenti specifici; ancorché questo approccio fornisca punti di forza alle singole discipline, allo stesso tempo può limitarne l'accessibilità. Le discipline sono finestre di osservazione sul mondo, punti di vista sulla realtà, ma se le discipline dimenticano di far parte di un più ampio sistema di conoscenza i limiti di confine interdisciplinare diventano barriere. Un approccio integrato permette di far fronte anche ad alcune delle criticità delle attuali tipologie di insegnamento che sono riconducibili a impulsive figure metaforiche. Tra queste si può ricordare la metafora dell'Imbuto di Norimberga, denominazione che trae origine da un'incisione su legno del XVII secolo, secondo cui la conoscenza è concepita come qualcosa che alcuni possiedono e altri no e che i primi possono «versare come con un imbuto» nella mente dei secondi.

Un'altra metafora che spesso viene presa come riferimento è quella della Scatola Nera dove sono presenti tre riferimenti: l'input che è assimilato all'attività svolta dal docente, la scatola nera che rappresenta il discente, e di cui non si hanno né si cercano informazioni, e l'output che fa riferimento alle sue risposte; secondo questa modellizzazione, dunque, non importa la struttura interna della scatola, e dunque i processi di costruzione critica e di collegamento delle conoscenze da parte dello studente, ma soltanto gli input e gli output, come schematizzato in Figura 3.



Figura 3: Schema della Scatola Nera dove vengono riportati l'input che è assimilato all'attività svolta dal docente, la scatola nera che rappresenta il discente, e di cui non si hanno né si cercano informazioni, e l'output che fa riferimento alle sue risposte.

Infine, preme ricordare che tra gli approcci didattici emergenti nell'insegnamento delle scienze, e più specificamente della fisica, un interesse sempre crescente viene attribuito all'approccio storico in quanto questo permette di mettere in evidenza i processi di

evoluzione delle conoscenze scientifiche, e di riflesso quelli di formazione della razionalità moderna; inoltre l'approccio storico permette di proporre i contenuti non come già perfettamente costruiti e compiuti. L'introduzione di un approccio storico facilita l'apprendimento scientifico, sia come elemento motivante per gli studenti che come facilitatore dell'apprendimento.

Messina, 28 Luglio 2021

Professoressa Maria Teresa Caccamo; Professore Salvatore Magazù

INDICE

1 TRASFORMATATA DI FOURIER E TRASFORMATATA WAVELET	
1.1 Trasformata di Fourier	1
1.2 Trasformata Wavelet	4
2 PENDOLO A MASSA VARIABILE	
2.1 Sezione teorica	7
2.2 Configurazione sperimentale e risultati	9
2.3 Conclusioni	14
3 PENDOLO A LUNGHEZZA VARIABILE	
3.1 Sezione teorica	15
3.2 Configurazione sperimentale e risultati	16
3.3 Conclusioni	19
4 IL PENDOLO CONICO A LUNGHEZZA VARIABILE	
4.1 Sezione teorica	21
4.2 Configurazione sperimentale e risultati	24
4.3 Conclusioni	30
5 DETERMINAZIONE DEI MODI NORMALI DI UN SISTEMA DI OSCILLATORI ACCOPPIATI	
5.1 Sezione teorica	31
5.2 Configurazione sperimentale e risultati	37
5.3 Conclusioni	44
6 IL PENDOLO SEMPLICE AD AMPIEZZA VARIABILE	
6.1 Sezione teorica	47
6.2 Configurazione sperimentale e risultati	58
6.3 Conclusioni	72
7 RISONANZA PARAMETRICA	
7.1 Sezione teorica	73
7.2 Configurazione sperimentale e risultati	80

7.3 Conclusioni	82
8 CIRCUITO RLC SERIE RISONANTE SOLLECITATO CON FREQUENZA DIPENDENTE DAL TEMPO	
8.1 Sezione teorica	83
8.2 Configurazione sperimentale e risultati	86
8.3 Conclusioni	88
BIBLIOGRAFIA	89

4. Il pendolo conico a lunghezza variabile.

Caccamo Maria Teresa, Magazù Salvatore

4.1 Sezione teorica.

Un pendolo conico è costituito da un filo inestensibile di massa trascurabile a cui è appesa una massa che, sotto l'azione della forza gravità, si muove con una velocità tangenziale iniziale ortogonale alla direzione della forza di gravità. Quando gli attriti connessi sia al vincolo di sospensione sia alla viscosità del mezzo in cui è immerso il pendolo possono ritenersi trascurabili, la massa compie un moto rotatorio su un piano orizzontale con una velocità lineare costante in modulo. In queste condizioni, in assenza di dissipazione di energia, se la lunghezza del pendolo è costante nel tempo, la massa ruota seguendo una traiettoria circolare mentre il sistema massa-filo descrive una superficie conica. In questo caso, il moto del pendolo conico proiettato lungo un qualsivoglia piano verticale dà luogo a una oscillazione sinusoidale caratterizzata da una velocità angolare costante la cui trasformata di Fourier fornisce un picco centrato alla frequenza angolare del moto (Caccamo et al. 2017, Patterson 1952).

Quando la lunghezza del filo del pendolo conico diminuisce in funzione del tempo, la frequenza del moto aumenta dando luogo ad un comportamento, per la proiezione lungo un piano verticale, descrivibile con una funzione “chipir”. In questo caso, come vedremo, per seguire l'evoluzione nel tempo della frequenza del pendolo, può convenientemente essere applicato un approccio wavelet.

In Figura 1 è riportata la decomposizione delle forze per un pendolo conico.

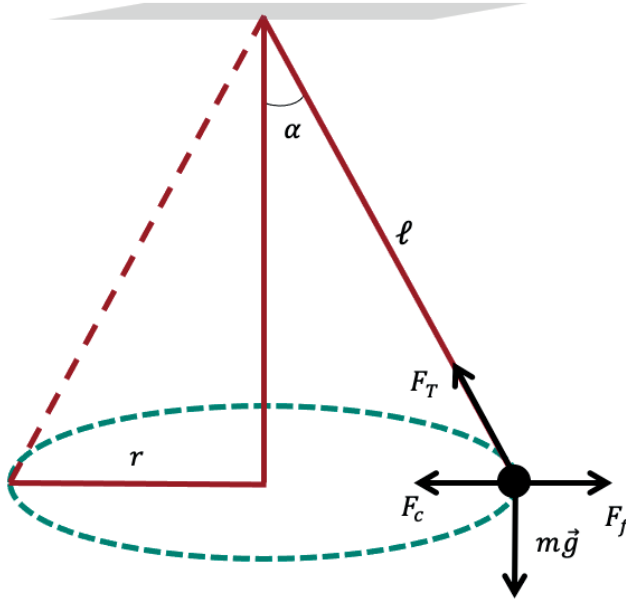


Figura 4.1. Decomposizione delle forze per il pendolo conico

Dal punto di vista teorico, quando la lunghezza della fune a cui è appeso il pendolo conico non varia, è possibile descrivere il movimento conico lungo due assi ortogonali (Delgado 2010, Patterson 1952, Delgado et al. 2010, Akulenko et al. 2009, Feynman 1963, Tiersten 1969).

In particolare, per l'asse y, si ha:

$$F_T \cdot \cos \alpha = mg \quad (4.1)$$

mentre per l'asse x, si ha:

$$F_T \cdot \sin \alpha = m \frac{v^2}{r} \quad (4.2)$$

Poiché $r = \ell \cdot \sin \alpha \rightarrow \sin \alpha = \frac{r}{\ell}$, per la componente lungo l'asse x si ha:

$$F_T = \frac{m \cdot v^2}{r \cdot \sin \alpha} = \frac{m \cdot v^2}{r} \cdot \frac{\ell}{r} = \frac{m \cdot v^2 \ell}{r^2} \quad (4.3)$$

Ed essendo $v = \omega \cdot r \rightarrow v^2 = \omega^2 \cdot r^2$ si ha $\cos \alpha = \frac{g}{\ell \cdot \omega^2}$, e quindi:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell \cdot \cos \alpha}} \quad (4.4)$$

Pertanto, in queste condizioni, il periodo di rotazione risulta:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \rightarrow T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell \cdot \cos \alpha}{g}} \quad (4.5)$$

Consideriamo ora il caso in cui la lunghezza del pendolo conico sia variabile.

Introducendo la quantità $s(t)$ per lo spostamento lineare del pendolo, per una rotazione angolare di $\theta(t)$ su un piano ortogonale all'asse y , si ha :

$$s(t) = r(t) \cdot \theta(t) = \ell(t) \sin \alpha(t) \cdot \theta(t) \quad (4.6)$$

Ora, assumendo che:

- i) la velocità di variazione della lunghezza del pendolo, $\frac{d\ell}{dt}$, sia costante, e che pertanto $\frac{d^2\ell}{dt^2}$ sia uguale a 0;
- ii) $\frac{d\ell}{dt}$ e $\frac{d\alpha}{dt}$ siano piccoli rispetto a $\frac{d\theta}{dt}$, ovvero rispetto alla velocità di rotazione del pendolo sul piano ortogonale all'asse y ,

si può esprimere l'ampiezza normalizzata del moto proiettato lungo un arbitrario piano verticale come una funzione sinusoidale caratterizzata da una velocità angolare variabile:

$$S(t) = \frac{s(t)}{A(t)} = \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.7)$$

dove $A(t)$ rappresenta l'ampiezza del moto, $\omega t + \varphi$ è la fase del moto e φ è la fase iniziale.

Assumeremo, inoltre, che la velocità angolare vari linearmente nel tempo:

$$\omega = \omega_0 + \gamma t \quad (4.8)$$

dove ω_0 è la pulsazione iniziale e γ è l'accelerazione angolare.

In Figura 2 è riportata una rappresentazione di un pendolo conico di lunghezza variabile

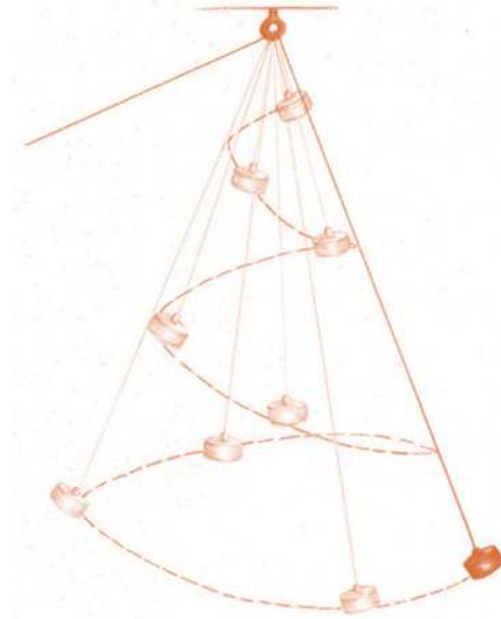


Figura 2. Pendolo conico di lunghezza variabile

4.2 Configurazione sperimentale e risultati.

Il dispositivo sperimentale comprende:

- una corda lunga 3 m;
- una massa oscillante il cui peso è 75,14 g;
- un supporto per fissare il pendolo;
- un dispositivo rotante per modificare la lunghezza del pendolo;
- un computer dotato di programma di acquisizione dati video e software Matlab-Simulink, Image Processing Toolbox e Computer Vision Toolbox.

Per quanto attiene l'esecuzione dell'esperimento, questo è stato condotto in tre fasi distinte durante le quali il periodo è stato valutato con semplice calcolo, tenendo conto delle diverse oscillazioni stazionarie e, infine, in modo dinamico diminuendo la lunghezza del pendolo. In tutti e tre i casi è stata applicata alla massa di 75,19g una forza F tangenziale alla circonferenza.

In particolare, nella prima fase sperimentale, una volta stabilito il raggio delle circonferenze descritte dal pendolo, si può valutare la tangente dell'angolo tra la posizione di equilibrio statico del pendolo e la traiettoria di equilibrio dinamico; dalla tangente è quindi possibile estrarre il coseno dell'angolo che permette di determinare il periodo

mediante la formula $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell \cdot \cos \alpha}{g}}$.

Per quanto riguarda la fase di moto stazionario, l'esperimento è stato eseguito misurando il periodo mediante più cronometri, tenendo conto di più oscillazioni al fine di ottenere una precisione più elevata.

La tabella 1 mostra i valori registrati durante i due casi:

ℓ (m) $\pm 0,001$	R(m) $\pm 0,001$	$\tan \alpha$	$\cos \alpha$	T _{valutato} (s)	T _{sperimentale} (s) $\pm 0,01$
2,870	0,410	0,145	0,990	3,391	3,410
	0,492	0,175	0,987	3,381	3,450
	0,490	0,174	0,985	3,382	3,450
2,770	0,498	0,180	0,986	3,321	3,370
	0,505	0,185	0,984	3,318	3,350
	0,508	0,181	0,984	3,319	3,380
2,570	0,507	0,195	0,981	3,190	3,150
	0,520	0,205	0,981	3,899	3,230
	0,538	0,207	0,979	3,187	3,210
2,370	0,445	0,185	0,984	3,069	3,020
	0,470	0,200	0,982	3,066	3,180
	0,505	0,210	0,979	3,063	3,080
2,170	0,440	0,200	0,981	0,935	2,890
	0,475	0,224	0,975	0,927	3,030
	0,480	0,217	0,974	2,928	2,960
1,970	0,420	0,210	0,978	2,794	2,760
	0,430	0,216	0,976	2,793	2,780
	0,450	0,206	0,981	2,795	2,840

1,770	0,375	0,207	0,978	2,647	2,770
	0,385	0,215	0,977	2,646	2,670
	0,410	0,227	0,976	2,644	2,720
1,370	0,380	0,275	0,966	2,316	2,310
	0,395	0,290	0,960	2,307	2,720
	0,480	0,346	0,946	2,292	2,410
0,970	0,155	0,156	0,984	1,975	1,970
	0,300	0,304	0,958	1,944	20,10
	0,345	0,347	0,945	1,928	2,030
0,870	0,255	0,287	0,960	1,846	1,960
	0,275	0,304	0,956	1,840	1,870
	0,280	0,315	0,953	1,839	1,950
0,770	0,260	0,328	0,951	1,728	1,760
	0,270	0,343	0,916	1,724	1,770
	0,285	0,363	0,940	1,718	1,850
0,670	0,130	0,186	0,848	1,524	1,810
	0,165	0,239	0,974	1,633	1,830
	0,455	0,111	0,995	1,650	1,820
0,570	0,125	0,208	0,979	1,512	1,650
	0,135	0,216	0,979	1,511	1,620
	0,175	0,295	0,955	1,495	1,690

Tabella 4.1. Lunghezza del pendolo ℓ , raggio R , $\tan \alpha$, $\cos \alpha$, periodo T valutato da un semplice calcolo ($T_{\text{valutato}}(s)$); periodo valutato tenendo conto di più oscillazioni ($T_{\text{sperimentale}}(s)$).

Come mostrato in tabella, sono state eseguite tre diverse misurazioni, una per ciascuna lunghezza della fune. I dati ottenuti utilizzando l'approccio stazionario sono riportati in figura 4.3:

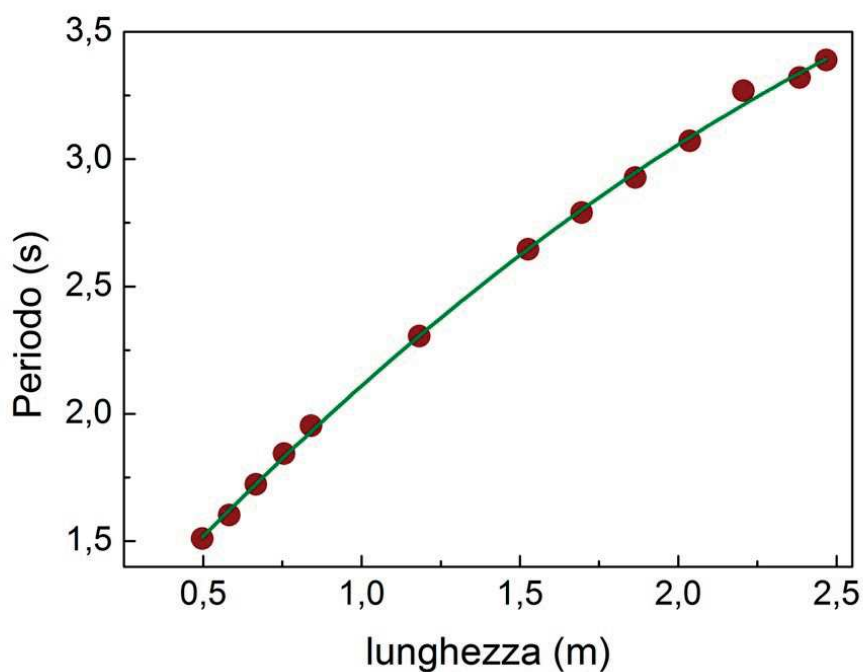


Figura 3. Dati ottenuti utilizzando l'approccio stazionario.

Infine, nel terzo caso, dinamico, la lunghezza del pendolo viene fatta variare secondo l'equazione:

$$\ell = \ell_0 + v_m \cdot (t_2 - t_1) \quad (4.9)$$

con $v_m = -0,1617 \pm 0,0001$.

La figura 4 mostra la dipendenza dal tempo della lunghezza del pendolo, che risulta variare nell'intervallo da 2,240 m a 0,472 m.

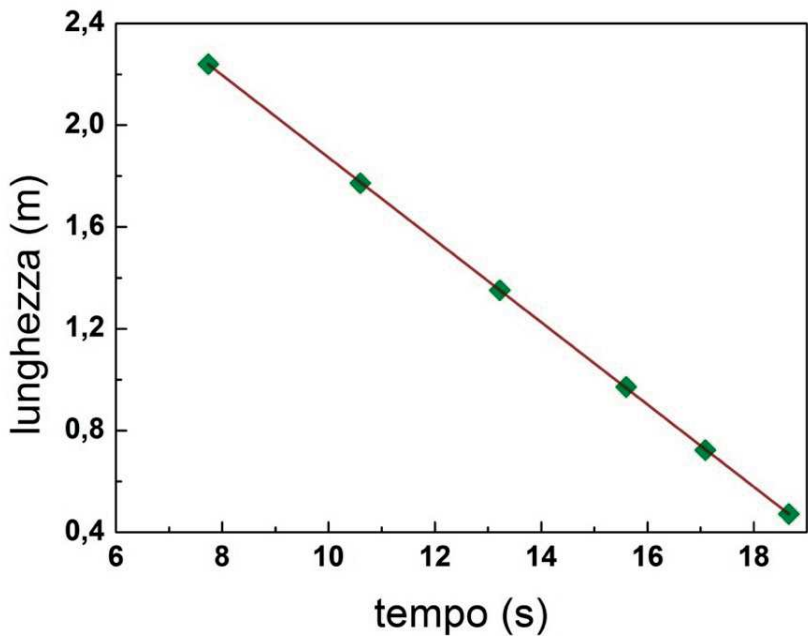


Figura 4.4. Dipendenza dal tempo della lunghezza del pendolo variabile da 2,240 m a 0,472 m. In particolare, $\ell = \ell_0 + v_m \cdot (t_2 - t_1)$, con $v_m = -0,1617 \pm 0,0001$.

I parametri del moto, riportati in tabella 2, sono stati valutati utilizzando un valore di raggio iniziale di $r = 0,2 \text{ m}$, attraverso due diverse metodologie:

$t \text{ (s)}$	$\ell \text{ (m)}$	$T \text{ (s)}$
$7,74 \pm 0,01$	$2,240 \pm 0,001$	$3,18 \pm 0,01$
$10,60 \pm 0,01$	$1,772 \pm 0,001$	$2,93 \pm 0,01$
$13,22 \pm 0,01$	$1,352 \pm 0,001$	$2,55 \pm 0,01$
$15,60 \pm 0,01$	$0,971 \pm 0,001$	$2,08 \pm 0,01$
$17,09 \pm 0,01$	$0,723 \pm 0,001$	$1,79 \pm 0,01$
$18,66 \pm 0,01$	$0,472 \pm 0,001$	$1,57 \pm 0,01$

Tabella 4.2: Parametri del moto, ovvero tempo, lunghezza e periodo del pendolo, ottenuti utilizzando un valore di raggio iniziale di $r = 0,2 \text{ m}$.

La figura 4.5 mostra il comportamento della pulsazione angolare in funzione del tempo.

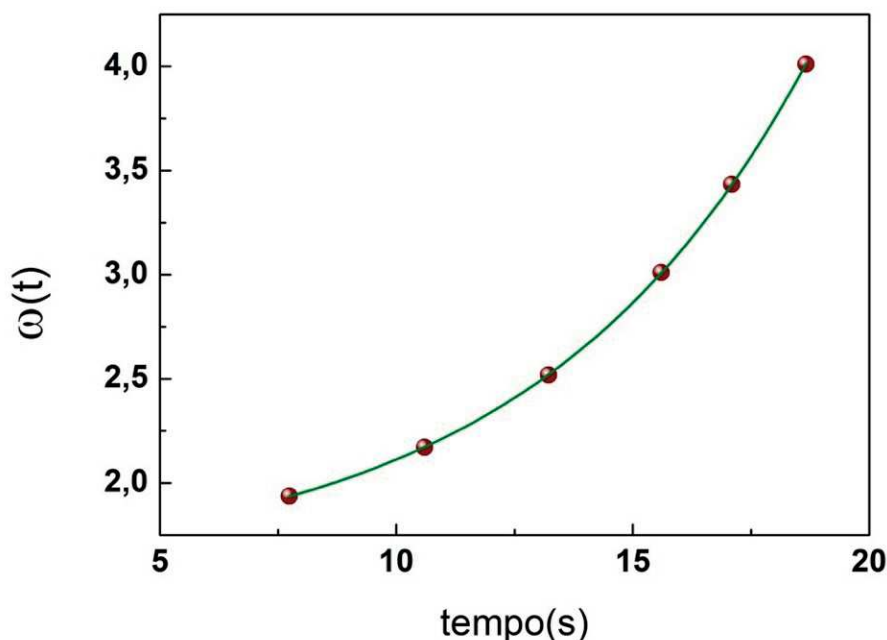


Figura 5. Dipendenza dal tempo della pulsazione del pendolo.

Il movimento è stato registrato tramite il programma di acquisizione dati video (con un software Matlab-Simulink, ovvero Image Processing Toolbox e Computer Vision Toolbox) posto nella parte inferiore del pendolo sospeso.

In Figura 4.6 è riportato il segnale registrato insieme ai suoi spettri FT e WT. In particolare, nella parte superiore della figura viene riportato il segnale registrato nella condizione di lunghezza variabile; a destra della figura la sua FT, la quale mostra solo una media delle frequenze del segnale registrato; in basso nella figura viene riportato lo scalogramma WT del segnale il quale mostra in dettaglio come la pseudo-frequenza di oscillazione cambia nel tempo (Caccamo et al. 2018)

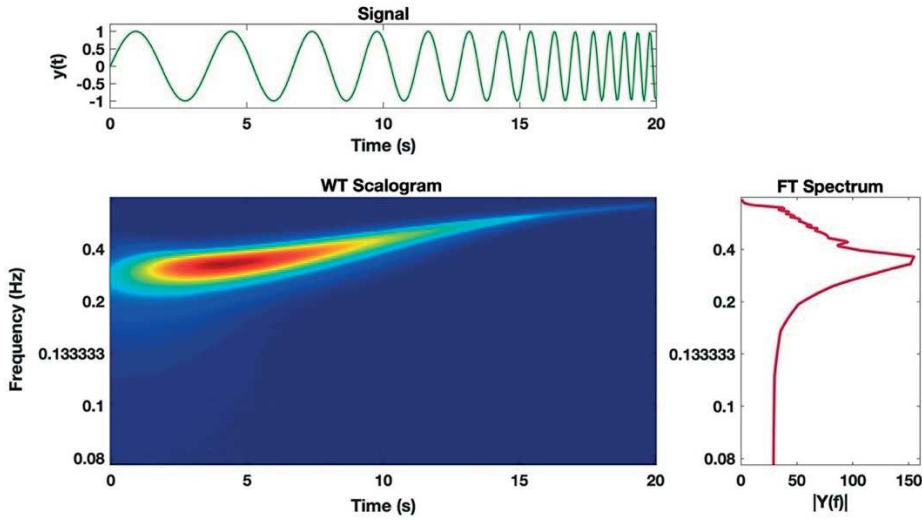
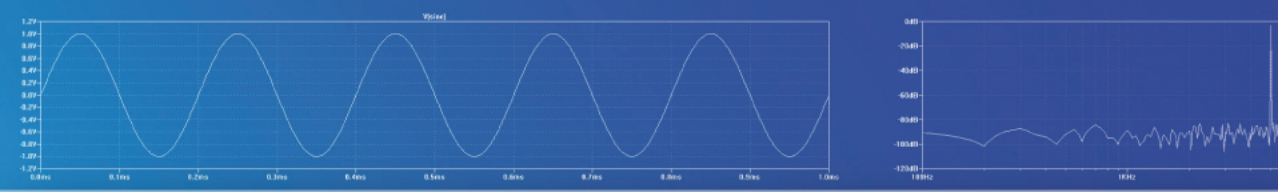


Figura 6. Confronto del segnale registrato analizzato mediante FT e WT. In alto nella figura il segnale di oscillazione registrato in condizioni di lunghezza variabile; a destra della figura la sua FT che mostra solo una media delle frequenze del segnale registrato; in basso nella figura lo scalogramma WT che mostra come la pseudo-frequenza di oscillazione cambia nel tempo.

4.3 Conclusioni.

In conclusione, nella presente esperienza viene trattato un pendolo conico in cui la sua lunghezza diminuisce in funzione del tempo. Per seguire l'evoluzione del tempo della frequenza del pendolo, viene applicato un approccio wavelet. Più specificamente, viene eseguito un confronto tra FT e WT. I due approcci mettono in evidenza gli effetti della variazione della lunghezza del pendolo sulla frequenza di oscillazione. Risulta chiaramente che WT fornisce una semplice analisi tempo-frequenza simultanea.



M.T. Caccamo • S. Magazù

Esperimenti di Fisica mediante **trasformata di Fourier** e **trasformata Wavelet**



La Dr.ssa **Maria Teresa Caccamo** è ricercatrice in Fisica sperimentale presso il Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra (MIFT) dell'Università di Messina dove è docente titolare della disciplina *Fisica* per i corsi di Laurea triennale in Scienze Biologiche e in Scienze Ambientali Marine e Terrestri ed è membro del collegio dei docenti del Dottorato di Ricerca Internazionale in *Advanced catalytic processes for using renewable energy source*. La sua attività di ricerca riguarda principalmente la Fisica sperimentale applicata allo studio di sistemi materiali ed eseguita mediante tecniche spettroscopiche complementari, quali lo scattering elastico, quasi elastico ed inelastico di neutroni e la spettroscopia di luce di sincrotrone, con esperimenti eseguiti presso le large scale facilities europee, lo scattering Raman e la spettroscopia infrarossa, nonché mediante tecniche sperimentali termodinamiche e di levitazione acustica. Si è interessata anche dello sviluppo di spettrometri neutronici basati sull'impiego di statistical chopper e di tecniche di correlazione. Un altro tema di ricerca rilevante è quello che riguarda la Storia e le metodiche di insegnamento e di apprendimento della Fisica.



Salvatore Magazù è professore ordinario di Fisica sperimentale presso il Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra (MIFT) dell'Università di Messina. Ha ricevuto numerosi riconoscimenti nazionali e internazionali, tra cui il premio *Scientia Europea 2000* assegnato dall'Accademia Francese delle Scienze. Dal 2009 è presidente del *Consorzio Interuniversitario Scienze Fisiche Applicate* (CISFA). Dal 2010 al 2012 è stato chairman del Collegio scientifico *Disordered Systems and Liquids* della large scale facility *European Synchrotron Radiation* (ESRF). Dal 2009 al 2010 è stato research fellow di Le STUDIUM presso il laboratorio *Conditions Extrêmes et Matériaux: Haute Température et Irradiation* (CEMHTI – CNRS) di Orléans. Dal 2008 al 2010 è stato membro del Collegio scientifico *Structure and Dynamics of Liquids and Glasses* della facility di neutroni *Institut Max Von Laue – Paul Langevin* (ILL). Dal 2018 è membro del *Centro Universitario di Ricerca per lo studio degli Ambienti Estremi e degli Estremofili* dell'Università di Messina. Dal 2019 spin-off founder e presidente del Consiglio Scientifico della Start-up Innovativa *ATHENA Green Solutions S.r.l.* specializzata nel campo dei materiali innovativi. Dal 2017 è membro della Giuria *L'Oréal-UNESCO For Women in Science*. Dal 2019 ricopre il ruolo di professorship presso il *Centre d'Etudes Supérieures de la Renaissance* (CESR) di Tours.

