



D. Scannicchio

Fisica Generale e Biomedica

Manuale completo per il **semestre filtro**
CdL in Medicina, Odontoiatria e Veterinaria



**APP EXAM
MANAGER**
con migliaia
di quiz di Fisica



Versione Ebook



Accedi all'ebook e ai contenuti digitali

Espandi le tue risorse

un libro che **non pesa**
e si **adatta** alle dimensioni
del **tuo lettore!**



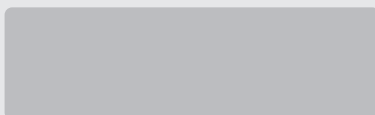
COLLEGATI AL SITO
EDISES.IT

ACCEDI AL
MATERIALE DIDATTICO

SEGUI LE
ISTRUZIONI

Utilizza il codice personale contenuto nel riquadro per registrarti al sito **edises.it** e attiva la tua **area riservata**. Potrai accedere alla **versione digitale** del testo e a ulteriore **materiale didattico**.

Scopri il tuo **codice personale** grattando delicatamente la superficie



Il volume NON può essere venduto, né restituito, se il codice personale risulta visibile.
L'**accesso al materiale didattico** sarà consentito **per 18 mesi**.

Per attivare i **servizi riservati**, collegati al sito **edises.it** e segui queste semplici istruzioni

Se sei registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- inserisci email e password
- inserisci le ultime 4 cifre del codice ISBN, riportato in basso a destra sul retro di copertina
- inserisci il tuo **codice personale** per essere reindirizzato automaticamente all'area riservata

Se non sei già registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- registrati al sito **edises.it**
- attendi l'email di conferma per perfezionare la registrazione
- torna sul sito **edises.it** e segui la procedura già descritta per *utenti registrati*



Ulteriori materiali e strumenti didattici sono accessibili dalla propria **area riservata** secondo la procedura indicata nel frontespizio.

Dalla sezione **materiali e servizi** della tua area riservata potrai accedere a:

- **Ebook:** versione digitale del testo in formato epub, standard dinamico che organizza il flusso di testo in base al dispositivo sul quale viene visualizzato. Fruibile mediante l'applicazione gratuita BookShelf, consente una visualizzazione ottimale su lettori e-reader, tablet, smartphone, iphone, desktop, Android, Apple e Kindle Fire. Sono qui forniti anche tutti i contenuti QR.
- **Exam manager:** simulatore da desktop che riproduce le modalità di svolgimento delle prove di esame del semestre filtro (domande a risposta multipla e a completamento, tempi e punteggi previsti) e App da scaricare con migliaia di quiz a risposta multipla per esercitarti dal tuo smartphone.
- **Risorse digitali integrate:** QR code per contenuti online supplementari. Lungo le pagine del testo sono presenti dei **QR code**, immediatamente visualizzabili su smartphone o tablet inquadrando il codice QR riportato alla pagina cartacea a cui si riferiscono. Potrai accedere a tali contenuti inserendo le tue credenziali solo al primo accesso (Login).

L'accesso ai contenuti digitali sarà consentito per **18 mesi**.

FISICA GENERALE E BIOMEDICA

Manuale completo per il *semestre filtro*
CdL in Medicina, Odontoiatria e Veterinaria

Domenico Scannicchio

*Scuola di Medicina
Università dell'Insubria*



Domenico Scannicchio
FISICA GENERALE E BIOMEDICA
Manuale completo per il *semestre filtro*
CdL in Medicina, Odontoiatria e Veterinaria
Copyright © 2025, Edises Edizioni S.r.l. – Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
2029 2028 2027 2026 2025

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

Fotocomposizione: doma book di Massimo Di Grazia

Stampato presso: Petruzzi S.r.l. – Via Venturelli 7/B – 06012 Città di Castello (PG)

Per conto della

Edises Edizioni S.r.l. – Piazza Dante, 89 – Napoli

www.edisesedizioni.it
assistenza.edises.it

ISBN 978 88 3623 228 4

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*

A Rena, amore della mia vita

PREFAZIONE

La presente opera è conseguenza delle nuove modalità di ammissione alle Lauree in Medicina, Odontoiatria e Veterinaria che comportano un corso di Fisica basato su un programma didattico (*syllabus*) nazionale. Pertanto, sono state completate e ampliate le nozioni di Fisica generale ed è stata aggiornata la strumentazione diagnostica e terapeutica, mentre le numerose applicazioni specifiche agli studi medico-biologici vengono in gran parte svolte in rete, permettendo una scelta didattica da parte del docente e stimolando l'interesse dello studente curioso e/o in prosecuzione degli studi in Medicina e Chirurgia.

A proposito di didattica, è opportuno segnalare che il contenuto del testo fornisce le basi di Fisica e le applicazioni biologiche anche per gli studi in Biologia, in Farmacia, in Biotecnologie e in altre materie di Scienze della Vita.

Per mantenere il necessario rigore nella trattazione vengono impiegate e richiamate alcune nozioni di Analisi matematica riguardanti lo studio di alcune funzioni e, in termini semplificati, le operazioni di derivazione e integrazione, nozioni che dovrebbero essere state impartite nella Scuola secondaria. Comunque, salvo alcuni punti specifici, lettura e comprensione del testo non risentono del fatto che derivate e integrali siano eventualmente trattati in termini finiti.

Elenco della strumentazione e delle tecniche e metodologie fisiche descritte o citate nel testo

(in blu la strumentazione reperibile in QR)

TECNICHE STRUMENTALI	SCOPO	CONSULTABILE IN
• Acceleratore lineare	: radioterapia con elettroni e gamma	§E24.6a
• Adroterapia	: radioterapia con protoni, neutroni e ioni	p. 414
• Amplificatore di brillanza	: immagini RX intensificate	p. 398
• Analisi di Fourier o armonica	: metodo analisi segnali	p. 207
• Polarimetro	: misura concentrazione soluzioni	§22.1
• Aspirazione di Bunsen	: aspirazione gas da depressione	p. 126
• Betatrone	: acceleratore di elettroni (radioterapia)	§E24.6b
• Bilancia e metodo doppia pesata	: misura della massa di un corpo	p. 72
• Bisturi criogenico	: resezione tessuti	NE11.1
• Bisturi elettrico	: resezione tessuti	§E20.3
• Bisturi laser	: resezione tessuti	p. 379
• BNCT (Boron Neutron Capture Therapy)	: radioterapia con neutroni e attivazione	p. 415
• Bomba calorimetrica	: misura di calore di combustione	p. 188
• Brachiterapia	: terapia mediante inserimento radioisotopi	p. 411
• Calcolatore e conversione AD	: calcolo e conversione analogica-digitale	p. B-3 e §28.1
• Calorimetro delle mescolanze	: misura del calore	p. 188
• Camera di ionizzazione (Geiger-Müller)	: misura di radiazioni	§26.4
• Carrucola	: trazione in ortopedia	p. 74, §E5.1
• CCD (Charge Coupled Device)	: immagini digitali	§28.3e
• Cellule fotoelettriche	: rivelazione luce	§28.3e
• Centrifuga analitica	: misura peso molecolare	p. 9.5
• Centrifuga preparativa	: separazione componenti soluzione	p. 9.5
• Ciclotrone	: acceleratore protoni	§E24.6a
• Circuiti oscillanti	: generazione di onde elettromagnetiche	p. 333
• Cobaltoterapia	: radioterapia gamma	p. 411
• Contagocce	: dosare medicinali liquidi	p. 118
• Cuore-polmone (macchina)	: circolazione extracorporea	§28.11
• Datazione (con radionuclidi)	: misura età reperti	p. 370
• Densitometria ossea	: misura densità calcio nelle ossa	p. 405
• Defibrillatore	: reset ciclo elettrocardiografico	p. 328
• Diatermia	: terapia con generazione calore	p. 376, §14.9a
• Dosimetria	: misure dose radiazioni ionizzanti	§26.2a
• Ecografia ed ecocardiografia	: misure e immagini con ultrasuoni	§28.6
• Ecotomografia	: immagini tomografiche con ultrasuoni	§28.9f
• Elettrocardiografia	: segnali elettrici cardiaci	§19.8, §28.5
• Elettrodi e microelettrodi	: misura di potenziali elettrici	§28.3a
• Elettroencefalografia	: segnali elettrici cerebrali	§19.8 e §28.6d
• Elettroforesi	: misura proteine liquidi biologici	§9.3
• Emodialisi (rene artificiale)	: filtrazione artificiale del sangue	§28.8
• Endoscopia	: immagini da cavità interne	§22.8
• Flottazione	: galleggiamento da tensione superficiale	p. 111
• Flussimetria (tubo di Pitot)	: misura di portata e di velocità fluido	p. 126
• Flussimetria (tubo di Venturi)	: misura di portata e di velocità fluido	p. 126
• Flussimetria Doppler	: misura della velocità del sangue	§14.9b
• Flussimetria elettromagnetica	: misura di portata	§28.3b

VIII

• Flussimetria mediante diluizione	: misura di portata	§28.3b
• Flussimetria mediante termodiluizione	: misura di portata	§28.3b
• Fotomoltiplicatori	: rivelatori di radiazione e particelle	§26.4
• Gamma knife	: radioterapia gamma concentrata	p. 411
• Generatori di potenziale elettrico	: creazione di potenziali e correnti elettriche	p. 299
• HIFU (High Intensity Focused Ultrasound)	: ablazione con ultrasuoni focalizzati	§14.9a
• IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy)	: radioterapia con elettroni e raggi X	p. 412
• Intensificatore d'immagine	: immagini alto contrasto raggi X	p. 398
• IORT (IntraOperative Radiation Therapy)	: acceleratore per radioterapia intraoperatoria	p. 414
• Laser e applicazioni	: interventi chirurgici	p. 378
• Litotripsia renale	: distruzione calcoli renali	§28.7
• Litotripsia calcolosi biliare	: distruzione calcoli biliari	§28.7
• Litotripsia (onde d'urto) in ortopedia	: distruzione concrezioni articolari	§28.7
• Macchina cuore-polmone	: circolazione extracorporea	§28.11
• Mammografia	: immagini mammografiche con RX	p. 397
• Manometro a liquido	: misura della pressione	p. 142
• Metabolismo basale	: misura consumo energetico	§E11.2
• Microscopia a fluorescenza	: immagini microscopiche da fluorescenza	§22.7c
• Microscopia digitale	: immagini microscopiche digitalizzate	§22.7d
• Microscopia a raggi X	: studio reticoli cristallini	§22.9
• Microscopio semplice	: lente ingrandimento	§22.4a
• Microscopio composto	: immagini microscopiche nel visibile	§22.4b
• Microscopio a contrasto di fase	: immagini da interferenze	§22.7a
• Microscopio elettronico	: immagini a grande ingrandimento	§28.4
• Microscopio polarizzatore	: immagini in luce polarizzata	§22.7b
• MOC (Mineralogia Ossea Computerizzata)	: misura calcio osseo	p. 405
• Onda sfigmica	: misura della velocità dell'onda sfigmica	§8.5
• Optical Coherence Tomography (OCT)	: immagini tomografiche della retina	§8.9g
• Ossimetria	: misura concentrazione ossigeno nel sangue	§22.3
• Pendolo	: misura di frequenza	p. 62
• PET (Positron Emission Tomography)	: immagini da radioisotopi , + emittenti	§28.9d
• pHmetri	: misura di pH (acidità)	§28.3f
• Pletismografia a impedenza	: misure di portata (flusso)	§28.3c
• Polarimetro	: misure di concentrazione	§22.2
• Polarizzazione (polaroid, Nicol, riflessione)	: formazione di luce polarizzata	§21.1
• Radiografia	: immagini da raggi X	p. 396
• Radioscopia	: immagini da raggi X	p. 395
• Radioterapia conformazionale	: radioterapia sulla forma del tumore	p. 411
• RM (Risonanza Magnetica)	: immagini tomografiche da radiofrequenza	§28.9e
• Robot chirurgici	: esecuzione di interventi chirurgici	§28.10
• Scambiatore di calore in controflusso	: scambio calore	p. 192
• Scintigrafia	: immagini da emissione di radiazione	p. 407
• Sfigmomanometro	: misura della pressione arteriosa	p. 142
• Scintillazione (rivelatori)	: rivelatori di radiazione ionizzante	§E26.4
• Sedimentazione	: misura di velocità di sedimentazione	§9.2
• Shock elettrico (protezione)	: evitare lo shock elettrico	§28.2b

• Sincrotrone	: accelerazione di particelle cariche	§E24.6c
• SPECT (Single Photon Emission CT)	: immagini da radioisotopi gamma emittenti	§28.9c
• Spettrofotometria	: individuazione di composti chimici	§22.3
• Spettrometria di massa	: individuazione di nuclei (isotopi)	§24.5
• Spettroscopia ottica	: individuazione di atomi	p. 344
• Spirometria	: misura di volumi polmonari	§E11.2
• Sterilizzazione con radiazione gamma	: sterilizzazione materiali	§E26.3c
• Stetoscopio	: valutazione suoni cardiaci e polmonari	§14.5
• Stimolatore cardiaco (pacemaker)	: stimolazione periodica cardiaca	p. 306
• TBI (Total Body Irradiation)	: radioterapia su tutto il corpo	p. 411
• TC (Tomografia Computerizzata)	: immagini tomografiche con raggi X	§28.9b
• Tensione superficiale (dispositivo di misura)	: misura di tensione superficiale nei liquidi	p. 115
• Terapia conformazionale 3D	: radioterapia sulla forma 3D del tumore	p. 411
• Terapia a radiofrequenza (RF)	: distruzione di tessuti	§E25.1
• Termografia	: immagini termiche (a infrarossi)	p. 378
• Termoluminescenza	: misura di dosi di radiazione ionizzante	§26.4
• Termometria	: misura di temperatura	p. 151
• Torchio idraulico	: applicazione di elevate pressioni	p. 99
• Termocoppia e termoresistori	: misura di temperatura	§28.3d
• Trasduttori chimici	: misura di pressione parziale di O ₂ e CO ₂	§28.3f
• Trasduttori di portata	: misure di portata	§28.3b
• Trasduttori di pressione	: misure di pressione	§28.3b
• Trasduttori ottici	: trasformazione luce-corrente elettrica	§28.3e
• Trasformatore di d.d.p.	: passaggio alti-bassi voltaggi e viceversa	p. 327, p. 392
• Tubo a raggi X	: produzione di raggi X	p. 384
• Ultrasuoni in terapia	: impiego degli ultrasuoni in terapia	§14.9a
• Vasi Dewar	: contenitori isolanti	p. 188
• VES	: misura di Velocità di Eritro-Sedimentazione	§9.2
• Viscosimetria	: misura della viscosità di liquidi	p. 107

I termini in [blu](#) fanno riferimento al QR dei Capitoli 8, 9, 14, 18, 19, 22, 26 e 28, dell'Appendice B e degli Approfondimenti citati nel testo.

IMPORTANTE: SI INVITA IL LETTORE A PRENDERE VISIONE PRELIMINARE DELLE INDICAZIONI UTILI ALLA LETTURA, RIPORTATE IN BASSO.

INDICAZIONI UTILI ALLA LETTURA

- ✓ *Il contenuto prevalente dei capitoli è contassegnato a lato della pagina da un indicatore quadrato di colore diverso:*
 - **verde:** Fisica generale
 - **rosso:** Fisica applicata (Biomedica)
 - **azzurro:** Strumentazione biomedica
- ✓ *Le espressioni formali rilevanti o conclusive sono riportate in riquadro giallo (azzurro nelle Appendici).*
- ✓ *Gli esempi con calcolo numerico nel testo sono separati dalla trattazione e introdotti alla fine dell'argomento trattato nel paragrafo.*
- ✓ *Le didascalie delle figure sono spesso utilizzate per fornire ulteriori dettagli/nozioni complementari al testo.*
- ✓ *Alla fine di ogni capitolo è riportato un riepilogo delle grandezze fisiche (e loro unità di misura) introdotte in esso.*
- ✓ *Alla fine di ogni capitolo sono proposti quesiti e problemi il cui risultato è riportato nell'Appendice D.*
- ✓ *Le Appendici richiamano e/o introducono nozioni utili nella trattazione e riprendono ed estendono le Tabelle riportate nel testo.*
- ✓ *Il testo, le figure e le didascalie adottano la seguente simbologia:*
 - le grandezze **vettoriali** sono riportate in grassetto (grassetto corsivo solo per posizione, spostamento o distanze, velocità e accelerazione);
 - le grandezze **scalari** o il **modulo di vettori** sono riportati con carattere normale corsivo.
- ✓ *Alcuni capitoli e Ulteriori approfondimenti sono consultabili inquadrando il QR code corrispondente presente nel testo. Questi stessi contenuti sono, inoltre, visualizzabili nella versione e-book del volume.*
- ✓ *La numerazione di Paragrafi, Esempi, Note, formule e figure preceduti dalla lettera E presenti nel testo cartaceo riguardano gli approfondimenti in QR.*

INDICE GENERALE

I contenuti evidenziati con il retino verde sono consultabili scansionando il corrispondente QRcode.



Prefazione

Capitolo 1

Le grandezze fisiche e la loro misura. Cenni di Geometria e di Analisi matematica

1.1 LA FISICA APPLICATA ALLA MEDICINA E ALLA BIOLOGIA	1
1.2 INTRODUZIONE	2
1.3 DEFINIZIONE DI UNA GRANDEZZA FISICA E SUE DIMENSIONI	2
1.4 SISTEMI DI UNITÀ DI MISURA E COSTANTI FONDAMENTALI	3
1.5 GRANDEZZE SCALARI E GRANDEZZE VETTORIALI	6
1.5a Somma e differenza di vettori	7
1.5b Prodotto scalare e prodotto vettoriale	8
1.5c Il vettore gradiente	10
1.5d Flusso di un vettore attraverso una superficie	11
Esempio 1.1 Somma di vettori	12
Esempio 1.2 Prodotto vettoriale e prodotto scalare	12
1.6 CENNI DI GEOMETRIA E DI ANALISI MATEMATICA	12
1.6a Angolo solido	13
1.6b Il concetto di funzione e sua rappresentazione grafica	15
1.6c La funzione lineare e le sue proprietà	16
Esempio 1.3 Moto rettilineo uniforme	17
1.6d La funzione esponenziale le sue proprietà	17
Esempio 1.4 Sviluppo di colonie batteriche	19
1.6e Le funzioni trigonometriche	19
Esempio 1.5 Risoluzione di triangoli	22
1.6f La derivata: significato, proprietà e conseguenze	22
Esempio 1.6 Derivata della funzione esponenziale	24
1.6g L'integrale: significato e proprietà	25
1.6h Equazioni differenziali	27

V	Esempio 1.7 Equazione delle onde di d'Alembert	29
	1.7 CENNI DI METODOLOGIA DELLA MISURA E DI TEORIA DELL'ERRORE	29
	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	29
	Problemi	29

APPROFONDIMENTI

	Esempio E1.1 Valutazione di angoli solidi	
	Esempio E1.2 Centro di massa di un semianello omogeneo	

Capitolo 2

I fondamenti della Meccanica

Parte I: Le basi della Cinematica e della Dinamica traslatoria

2.1 INTRODUZIONE	31
2.2 CINEMATICA	31
2.2a Traiettoria e legge oraria	31
2.2b Velocità e accelerazione	32
2.2c Legge oraria di alcuni semplici moti	33
Esempio 2.1 Legge oraria: moto rettilineo uniformemente accelerato	37
Esempio 2.2 Moto circolare uniforme	38
2.3 LE FORZE E LE LEGGI DELLA DINAMICA	38
2.3a Le forze	38
2.3b I principi della Dinamica traslatoria	39
2.4 IL TEOREMA DELL'IMPULSO	41
Esempio 2.3 Il teorema dell'impulso	41
2.5 RELATIVITÀ GALILEIANA	42
2.6 I CAMPI DI FORZE: IL CAMPO GRAVITAZIONALE	42
Esempio 2.4 Forza gravitazionale tra due protoni nel nucleo dell'atomo	44
Esempio 2.5 2° principio della Dinamica	44
2.7 MASSA, PESO E DENSITÀ	45
2.8 PSEUDOFORZE	46
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	47
Problemi	47

Capitolo 3

I fondamenti della Meccanica

Parte II: Applicazioni della Dinamica traslatoria

3.1 INTRODUZIONE	49
3.2 DALLE FORZE ALLA LEGGE ORARIA	49
3.2a Integrazione dell'equazione di moto	49
3.2b Moto inerziale in assenza di forze	50
3.2c Moto in un campo di forze uniforme	51
Esempio 3.1 Moto parabolico	52
3.2d Moto in un campo di forze centrale	52
3.2e Moto in un campo di forze elastiche (moto armonico)	53
3.3 LAVORO, ENERGIA E POTENZA	54
3.3a Energia cinetica e teorema dell'energia cinetica	55
3.3b Campi conservativi, energia potenziale e conservazione dell'energia meccanica	56
3.3c Potenza e rendimento	57
3.3d Energia potenziale e forze: condizioni di equilibrio di un sistema meccanico	58
3.3e Piccole oscillazioni intorno alla posizione di equilibrio stabile	60
Esempio 3.2 Conservazione dell'energia meccanica	61
Esempio 3.3 Conservazione dell'energia e forza elastica	61
3.4 MECCANICA DI SISTEMI FISICI	61
3.4a Il piano inclinato	61
Esempio 3.4 Moto sul piano inclinato	62
3.4b Il pendolo	62
Esempio 3.5 Moto del pendolo	64
3.5 MOTO DI UN PROIETTILE	64
Esempio 3.6 Lancio del giavellotto	65
3.6 COLLISIONI FRA CORPI	66
Esempio 3.7 Urto centrale elastico	67
Esempio 3.8 Urto centrale anelastico	67
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	67
Problemi	68

Capitolo 4

I fondamenti della Meccanica

Parte III: Elementi di Statica e di Dinamica rotatoria. Corpi deformabili e attrito

4.1 INTRODUZIONE	69
4.2 EQUILIBRIO DI UN CORPO RIGIDO	69
4.3 I VINCOLI E LE LEVE	70
4.4 CENTRO DI MASSA E BARICENTRO	73

Esempio 4.1 Centro di massa di due corpi	75
4.5 CENNI DI DINAMICA ROTATORIA	75
4.6 ELASTICITÀ E LEGGE DI HOOKE	76
4.7 LE FORZE DI ATTRITO	77
Esempio 4.2 Forze di attrito su un'autovettura in curva	79
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	79
Problemi	80

APPROFONDIMENTI

E4.1 DINAMICA DEL CORPO RIGIDO (TRASLATORIA E ROTATORIA)

Esempio E4.1 Conservazione del momento angolare

Esempio E4.2 Traslazione e rotazione su un piano inclinato

Capitolo 5

Biomeccanica

5.1 INTRODUZIONE	81
5.2 EQUILIBRIO DI ARTICOLAZIONI	81
Esempio 5.1 Equilibrio dell'anca con ausilio del bastone	84
5.3 LE LEVE DEL CORPO UMANO	85
Esempio 5.2 Equilibrio del piede in sollevamento	87
Esempio 5.3 Equilibrio tronco-vertebrale	88
5.4 LEGGE DI HOOKE APPLICATA A FRATTURE OSSEE	89
Esempio 5.4 Sforzo compressivo nella caduta	89
5.5 LA FRATTURA DI OSSA	90
5.6 LA PERCEZIONE DEL MOTO ROTATORIO	90
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	92
Problemi	93

APPROFONDIMENTI

E5.1 CARRUCOLE E PULEGGE IN MEDICINA

E5.2 LA MANDIBOLA NEGLI ANIMALI

E5.3 FLESSIONE DI UNA TRAVE E FRATTURE PER FLESSIONE

E5.4 TORSIONE DI UNA TRAVE E FRATTURE PER TORSIONE

Esempio E5.1 Frattura per torsione

E5.5 LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

E5.6 LA MECCANICA DELLA LOCOMOZIONE

Capitolo 6

Meccanica dei fluidi e forze di coesione

6.1 INTRODUZIONE	95
Esempio 6.1 Forza di pressione relativa	96

6.2	EQUILIBRIO NEI FLUIDI	96	Esempio 7.1 Velocità del sangue	127
Esempio 6.2	Spinta di Archimede su un iceberg	98	Esempio 7.2 Velocità e termine cinetico	127
Esempio 6.3	Pressione idrostatica	98	7.3 VISCOSITÀ DEL SANGUE	127
Esempio 6.4	Principio di Pascal	99	7.3a Composizione del sangue	127
6.3	IL MOTO DEI FLUIDI: PORTATA ED EQUAZIONE DI CONTINUITÀ	99	7.3b Comportamento viscoso normale	128
Esempio 6.5	Potenza da caduta d'acqua	101	7.3c Anomalie della viscosità del sangue	128
6.4	FLUIDI NON VISCOSI: IL TEOREMA DI BERNOULLI	101	7.4 RESISTENZA DEI VASI E VARIAZIONE DI PRESSIONE NEL SISTEMA CIRCOLATORIO	130
6.5	FLUIDI VISCOSI: MOTO LAMINARE E MOTO TURBOLENTO	103	7.4a Resistenza dei vasi	131
6.6	MISURA DELLA VISCOSITÀ. VISCOSIMETRI	107	7.4b Resistenza e regimi di moto nel sistema circolatorio	133
6.7	MOTO NON STAZIONARIO DI FLUIDI IN CONDOTTI DISTENSIBILI	107	Esempio 7.3 Resistenza del circolo complessivo	134
6.8	FORZE DI COESIONE E TENSIONE SUPERFICIALE	108	7.4c Effetto della pressione idrostatica	134
6.9	APPLICAZIONI DELLA TENSIONE SUPERFICIALE	111	7.5 LAVORO E POTENZA CARDIACA	135
6.9a	Contatto fluido-fluido	111	7.5a La pompa cardiaca	135
6.9b	Flottazione	111	7.5b Il ciclo cardiaco	137
Esempio 6.6	Galleggiamento di un insetto	112	7.5c Calcolo del lavoro e della potenza cardiaca	138
Esempio 6.7	Flottazione di una moneta sull'acqua	113	Esempio 7.4 Lavoro cardiaco	140
6.9c	Liquidi tensioattivi	113	Esempio 7.5 Fattore cinetico	141
6.9d	Fenomeni di capillarità	114	7.6 MISURA DELLA PRESSIONE DEL SANGUE	141
Esempio 6.8	Innalzamento capillare da tensione superficiale	115	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	143
6.10	TENSIONE ELASTICA DI UNA MEMBRANA E FORMULA DI LAPLACE	115	Problemi	144
Esempio 6.9	Tensione elastica di un palloncino di gomma	117		
6.11	IL CONTAGOCCE	118		
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura		118		
Problemi		119		

APPROFONDIMENTI

Nota E6.1 DEDUZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL REGIME LAMINARE: formula di Poiseuille e profilo parabolico della velocità delle lamine

Capitolo 7

Meccanica dei fluidi nei sistemi biologici

7.1	INTRODUZIONE	121
7.2	IL CIRCUITO IDRODINAMICO DEL SANGUE	121
7.2a	Portata dei vasi e velocità del sangue	123
7.2b	Applicazioni del teorema di Bernoulli	125
7.2c	Misure di flusso	126

APPROFONDIMENTI


E7.1	MECCANICA DELLA RESPIRAZIONE E FLUSSO DI ARIA NELLE VIE RESPIRATORIE
Esempio E7.1	Valutazione del lavoro respiratorio
Nota E7.1	GEOMETRIA FRATTALE E SISTEMI CIRCOLATORIO E RESPIRATORIO
E7.2	ALTRE APPLICAZIONI DEL TEOREMA DI BERNOULLI: IL VOLO NEL MONDO ANIMALE E L'EFFETTO MAGNUS


Capitolo 8

Distensibilità e pulsatilità

8.1	INTRODUZIONE
8.2	APPLICAZIONI DELLA TENSIONE SUPERFICIALE AI SISTEMI BIOLOGICI
8.2a	Effetti della tensione superficiale in Biologia: il plastron e la salita della linfa nei vegetali
Esempio 8.1	Salita della linfa negli alberi
8.2b	Embolia gassosa
Esempio 8.2	Rottura della membrana cellulare
8.3	CARATTERISTICHE ELASTICHE DELLE PARETI DEI VASI
8.4	RAGGIO DI EQUILIBRIO DEI VASI

8.5	EFFETTI IDRODINAMICI DELLA DISTENSIBILITÀ DEI VASI
8.5a	Considerazioni generali
Esempio 8.3	Velocità dell'onda sfigmica
8.5b	Moto pulsatile e impedenza meccanica
8.6	MODELLI ANALOGICI DEL CUORE E DEI VASI
8.7	FORMULA DI LAPLACE E FUNZIONALITÀ CARDIACA
8.8	FORMULA DI LAPLACE E ANATOMIA DEI VASI
Esempio 8.4	Forza centrifuga e volta arco aortico
8.9	FORMULA DI LAPLACE ED EQUILIBRIO ALVEOLARE
Esempio 8.5	Equilibrio alveolare
	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura
	Problemi

	Capitolo 9
	Trasporto in regime viscoso: sedimentazione, elettroforesi e centrifugazione
9.1	INTRODUZIONE
9.2	SEDIMENTAZIONE
Esempio 9.1	Determinazione della VES
9.3	ELETTROFORESI
Esempio 9.2	Elettroforesi di plasma umano
9.4	CENTRIFUGAZIONE
Esempio 9.3	Misura del peso molecolare dell'albumina
9.5	CENTRIFUGHE PREPARATIVE E CENTRIFUGHE ANALITICHE
9.6	DISTRIBUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE ALL'EQUILIBRIO
Esempio 9.4	Misura sperimentale del numero di Avogadro N_0 (1914)
	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura
	Problemi

	Capitolo 10
	Termologia e Termodinamica
10.1	INTRODUZIONE 149
10.2	SISTEMA E STATO TERMODINAMICI 150
10.3	TEMPERATURA E SCALE TERMODINAMICHE 151
10.4	ENERGIA INTERNA 152
10.5	CALORE E CALORE SPECIFICO 152
Esempio 10.1	Equilibrio termico 155
10.6	IL LAVORO IN TERMODINAMICA 155

10.7	TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE 156
10.8	LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA IN TERMODINAMICA: PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA 158
10.9	I GAS PERFETTI 159
Esempio 10.2	Riduzione a condizioni NTP 162
10.10	TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE DEI GAS PERFETTI 162
10.10a	Trasformazioni isoterme 162
10.10b	Trasformazioni isobare e isocore. Relazione di Meyer 163
10.10c	Trasformazioni adiabatiche 164
10.11	CENNI SULLA TEORIA CINETICA DEI GAS IDEALI 165
10.12	I GAS REALI 167
10.13	ENTALPIA 168
10.14	IL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA 169
Esempio 10.3	Rendimento di una macchina termica 171
10.15	IL CICLO DI CARNOT 172
10.16	ENTROPIA 173
Esempio 10.4	Variazione di entropia 175
Esempio 10.5	Variazione di entropia di un gas perfetto in espansione libera 176
10.17	SIGNIFICATO STATISTICO DELL'ENTROPIA 176
10.18	I POTENZIALI TERMODINAMICI: ENERGIA LIBERA 177
Esempio 10.6	Processi spontanei e processi vietati 180
	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura 180
	Problemi 180

APPROFONDIMENTI

Esempio E10.1	Energia cinetica e velocità delle molecole
Esempio E10.2	Relazione fra energia cinetica media delle molecole e temperatura
E10.1	RENDIMENTO DEL CICLO DI CARNOT
E10.2	POTENZIALI TERMODINAMICI DEI GAS PERFETTI
E10.3	IL POTENZIALE CHIMICO ED EQUILIBRI CON SCAMBI DI PARTICELLE

	Capitolo 11
	Trasmissione del calore e termodinamica nei sistemi biologici
11.1	INTRODUZIONE 183
11.2	MECCANISMI DI TRASMISSIONE DEL CALORE 183

11.2a	Convezione del calore	183
11.2b	Conduzione del calore	184
Esempio 11.1	Conduzione di calore e variazione di entropia	185
11.2c	L'irraggiamento termico	185
Esempio 11.2	Irraggiamento dal corpo umano	187
11.3	VASI DI DEWAR E CALORIMETRIA	188
Esempio 11.3	Scambio di calore tra due masse d'acqua e variazione di entropia	189
11.4	I PRINCIPI DELLA TERMODINAMICA E LA FISIOLOGIA	189
11.5	TERMOREGOLAZIONE DEGLI ANIMALI A SANGUE CALDO	191
11.5a	Ambiente freddo	192
11.5b	Ambiente caldo	193
11.5c	Ambiente molto secco o molto umido	193
Esempio 11.4	Termoregolazione del corpo umano	194
11.6	POTENZIALI TERMODINAMICI E REAZIONI BIOCHIMICHE	195
Esempio 11.5	Velocità di sintesi dell'ATP	196
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura		196
Problemi		196

APPROFONDIMENTI

Nota E11.1 BISTURI CRIOGENICO

E11.1 METABOLISMO DEL CORPO UMANO

Esempio E11.1 Perdita di massa corporea

E11.2 METABOLISMO BASALE E SPIROMETRIA

Esempio E11.2 Valutazione del tasso metabolico

E11.3 METABOLISMO BASALE E DIMENSIONI DEGLI ESSERI VIVENTI

E11.4 EQUILIBRI NELLE REAZIONI CHIMICHE

E11.5 ENTROPIA E VITA

Capitolo 12

Fenomeni ondulatori

12.1	INTRODUZIONE	199
12.2	LE ONDE	199
12.3	MOTO ARMONICO E OSCILLATORE ARMONICO	201
12.4	OSCILLAZIONI SMORZATE E FORZATE	202
Esempio 12.1	Conservazione dell'energia e onde smorzate	203
12.5	EQUAZIONE DI PROPAGAZIONE DI UN'ONDA	203
Esempio 12.2	Vibrazione di una corda	205

12.6	ONDE PIANE, ONDE SFERICHE E PRINCIPIO DI HUYGENS	205
12.7	ANALISI DI FOURIER	207
Esempio 12.3	Frequenze armoniche nel pianoforte	210
Esempio 12.4	Analisi armonica dell'EEG	211
12.8	RIFLESSIONE, RIFRAZIONE E RIFLESSIONE TOTALE	213
12.9	INTERFERENZA	215
12.10	ONDE STAZIONARIE E BATTIMENTI	217
12.10a	Onde stazionarie	217
12.10b	Battimenti	219
Esempio 12.5	Battimenti	220
12.11	EFFETTO DOPPLER	220
Esempio 12.6	Suono da una sirena su un'automobile	222
12.12	POLARIZZAZIONE DELLE ONDE TRASVERSALI	222
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura		223
Problemi		223

APPROFONDIMENTI

E12.1 EFFETTO DOPPLER RELATIVISTICO

Capitolo 13

Fisica delle onde meccaniche

13.1	INTRODUZIONE	225
13.2	IL SUONO	225
13.3	PROPAGAZIONE DELLE ONDE SONORE	226
13.3a	Pressione sonora	226
13.3b	Velocità di propagazione dell'onda sonora	227
Esempio 13.1	Velocità del suono in elio	228
13.3c	Intensità sonora e direzionalità del suono	229
Esempio 13.2	Suono da un altoparlante	230
Esempio 13.3	Intensità sonora a NTP	230
Esempio 13.4	Massima pressione sonora tollerabile	230
13.4	INFRASUONI E ULTRASUONI	231
Esempio 13.5	Effetto di ultrasuoni sul moto di molecole	233
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura		233
Problemi		233

APPROFONDIMENTI

E13.1 IMPEDENZA ACUSTICA

Esempio E13.1 Riflessione e trasmissione acustica

Capitolo 14

Le onde elastiche in Biologia e Medicina

14.1 INTRODUZIONE

14.2 LIVELLI DI SENSAZIONE SONORA

Esempio 14.1 Sensibilità sonora dell'orecchio

14.3 LA RICEZIONE DI ONDE MECCANICHE NEI SISTEMI BIOLOGICI

14.4 TEORIA DI HELMHOLTZ

14.5 LO STETOSCOPIO

14.6 LA FONAZIONE

14.7 INFRASUONI DA FENOMENI NATURALI E DA FONTI ARTIFICIALI

Esempio 14.2 Infrasuoni

14.8 ULTRASUONI IN NATURA

14.9 IMPIEGO DEGLI ULTRASUONI IN MEDICINA

14.9a Gli ultrasuoni nella terapia medica

14.9b Gli ultrasuoni nella diagnostica medica

Esempio 14.3 Flussimetria Doppler

Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura

Problemi

Capitolo 15

Diffusione e filtrazione

15.1 INTRODUZIONE 237

15.2 LE MEMBRANE NEI SISTEMI BIOLOGICI 238

15.3 IL FENOMENO DELLA DIFFUSIONE 241

Esempio 15.1 Numero di collisioni tra molecole 244

15.4 DIFFUSIONE LIBERA E ATTRAVERSO MEMBRANE 244

Esempio 15.2 Numero di pori e superfici di membrane biologiche (capillare e alveolare) 248

15.5 LA FILTRAZIONE 249

Esempio 15.3 Stima del raggio dei pori di membrane 251

15.6 EQUILIBRI GAS-LIQUIDO 251

15.7 DIFFUSIONE DI GAS IN SISTEMI BIOLOGICI 253

Esempio 15.4 Ossigeno trasportato dall'emoglobina 256

Esempio 15.5 Tempi di diffusione attraverso la membrana alveolare 256

15.8 CENNI DI FARMACO-CINETICA 259

Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura 261

Problemi 261

APPROFONDIMENTI

Nota E15.1 DEDUZIONE DELLA 2^a LEGGE DI FICK

E15.1 DIFFUSIONE DEL GLUCOSIO E DELL'UREA

E15.2 ESISTONO IN NATURA ALTERNATIVE ALL'EMOGLOBINA?

Capitolo 16

Osmosi e equilibri osmotici

16.1 INTRODUZIONE 263

16.2 MEMBRANE SEMIPERMEABILI ED EQUILIBRI OSMOTICI 263

16.3 LAVORO OSMOTICO E POTENZIALE CHIMICO 266

16.4 EQUILIBRI OSMOTICI NEI SISTEMI BIOLOGICI 267

Esempio 16.1 Risalita per osmosi della linfa negli alberi 268

Esempio 16.2 Accumulo di liquidi nei tessuti (edema) 271

Esempio 16.3 Lavoro osmotico per concentrare l'urea e metabolismo renale 273

16.5 SCAMBIATORE E MOLTIPLICATORE OSMOTICO IN CONTROFLUSSO 273

Esempio 16.4 Recupero di acqua e soluti dai tubuli renali 274

Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura 277

Problemi 277

APPROFONDIMENTI

Nota E16.1 SPIEGAZIONE DELL'OSMOSI

E16.1 FLUIDO-DINAMICA DEL SISTEMA LINFATICO

Capitolo 17

Fenomeni elettrici

17.1 INTRODUZIONE 279

17.2 CARICA ELETTRICA E FORZA DI COULOMB 279

Esempio 17.1 Repulsione elettrostatica tra protoni 281

17.3 INDUZIONE ELETTROSTATICA E POLARIZZAZIONE ELETTRICA 281

17.4 IL CAMPO ELETTRICO E IL POTENZIALE ELETTROSTATICO 282

17.5 IL TEOREMA DI GAUSS E LE SUE CONSEGUENZE 284

Esempio 17.2 Il campo elettrico di una sfera isolante 286

Esempio 17.3 Piano infinito uniformemente carico 286

17.6 DISTRIBUZIONI DI CARICHE ELETTRICHE: DIPOLO ELETTRICO E STRATO DIPOLARE 287

17.7 LA CAPACITÀ DI UN CONDUTTORE. IL CONDENSATORE 290

Esempio 17.4 Energia di carica e scarica del condensatore	293
17.8 LA CORRENTE ELETTRICA E LE LEGGI DI OHM	294
17.9 SOLUZIONI ELETTROLITICHE E DISSOCIAZIONE ELETTROLITICA	296
Esempio 17.5 Soluzioni elettrolitiche	297
Esempio 17.6 Concentrazione di ioni idrogeno nell'acqua pura e pH	298
17.10 LA MOBILITÀ ELETTROLITICA E L'ELETTROLISI	298
17.11 FORZA ELETTROMOTRICE E CIRCUITI IN CORRENTE CONTINUA	299
17.12 EFFETTO TERMICO DELLA CORRENTE ELETTRICA	301
Esempio 17.7 Caratteristiche elettriche della lampadina a incandescenza	302
17.13 CARICA E SCARICA DI UN CONDENSATORE	302
Esempio 17.8 Pacemaker o stimolatore cardiaco	306
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	306
Problemi	307

APPROFONDIMENTI

Nota E17.1 ENERGIA POTENZIALE DEL CAMPO DI FORZA ELETTROSTATICO

E17.1 SOLUZIONI ELETTROLITICHE E LEGGE DI OHM

Esempio E17.1 Circuito in corrente continua

Esempio E17.2 Circuito in corrente continua

Capitolo 18

Fenomeni elettrici nei sistemi biologici

18.1 INTRODUZIONE

18.2 FLUSSI ELETTROCHIMICI

18.3 POTENZIALI ED EQUILIBRI ELETTROCHIMICI

Nota E18.1 DEDUZIONE DELL'EQUAZIONE DI NERNST PARTENDO DALL'EQUILIBRIO DEI FLUSSI IONICI

18.4 EQUILIBRIO DI DONNAN-GIBBS

18.5 LA PRESSIONE ONCOTICA

18.6 LA MEMBRANA CAPILLARE

18.7 LA MEMBRANA CELLULARE: POTENZIALE DI RIPOSO E MECCANISMI DI TRASPORTO PASSIVO

Esempio 18.1 Caratteristiche elettriche della membrana cellulare

Esempio 18.2 Equilibri di membrana

18.8 FLUSSI IONICI IN ASSENZA DI EQUILIBRIO E MECCANISMI DI TRASPORTO ATTIVO (POMPA SODIO-POTASSIO)

Nota 18.2 DEDUZIONE DELL'EQUAZIONE DI GOLDMAN

Esempio 18.3 Rapporto P_{Na}/P_K in cellule eccitabili

Esempio 18.4 Rapporto P_{Na}/P_K in cellule non eccitabili (eritrociti)

18.9 LAVORO DI MEMBRANA

Esempio 18.5 Bilanci energetici cellulari

Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura

Problemi

Capitolo 19

Fenomeni bioelettrici: il potenziale d'azione, propagazione e conseguenze

19.1 INTRODUZIONE

19.2 LE ATTIVITÀ BIOELETTRICHE NEI SISTEMI BIOLOGICI

19.3 IL POTENZIALE D'AZIONE

19.4 IL CASO DELLE MEMBRANE NON ECCITABILI

Esempio 19.1 Tempi di attraversamento della membrana da parte di ioni Na^+

19.5 PROPRIETÀ DI CAVO DELL'ASSONE

Esempio 19.2 Resistenza interna dell'assone

Nota 19.1 POTENZIALE ELETTRICO LUNGO UNA LINEA DISTRIBUITA (CAVO COASSIALE)

Nota 19.2 STIMA DELLE CARATTERISTICHE ELETTRICHE DELLA MEMBRANA

19.6 PROPAGAZIONE DEL POTENZIALE D'AZIONE

19.7 IL CASO DELLE FIBRE MIELINICHE

Esempio 19.3 Velocità di propagazione dei potenziali d'azione

19.8 TRACCIATI ECG, EEG ED EMG

Esempio 19.4 Applicabilità dell'approssimazione dipolare per ECG

19.9 L'ELETTRICITÀ NEI PESCI

Esempio 19.5 Correnti elettriche erogate da anguille

19.10 CONCLUSIONE DEL CAPITOLO 19

Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura

Problemi

Capitolo 20

Elettromagnetismo

20.1 INTRODUZIONE 313

20.2 IL CAMPO MAGNETICO 313

Esempio 20.1 Intensità del campo di forza magnetico 316

20.3	LA FORZA DI LORENTZ E IL MOTO DI UNA PARTICELLA CARICA IN UN CAMPO MAGNETICO UNIFORME	316	Esempio 21.2	Rifrazione nel vetro	345
20.4	MOMENTI MAGNETICI E PROPRIETÀ MAGNETICHE DELLA MATERIA	317	Esempio 21.3	Angolo limite	345
Esempio 20.2	Campo magnetico di una bobina	319	21.5	LA POLARIZZAZIONE DELLA LUCE	345
20.5	TEOREMA DELLA CIRCUITAZIONE E NON CONSERVATIVITÀ DEL CAMPO MAGNETICO	320	21.6	IL DIOTTRO	346
20.6	FLUSSO DI CAMPO MAGNETICO E INDUZIONE ELETTROMAGNETICA	320	21.7	LE LENTI SOTTILI	350
20.7	LE EQUAZIONI FONDAMENTALI DELL'ELETTROMAGNETISMO	321	Esempio 21.4	Lente sottile in aria e in acqua	352
20.8	IL FENOMENO DELL'AUTOINDUZIONE	322	Esempio 21.5	Potere diottrico della cornea	352
20.9	CIRCUITI IN CORRENTE ALTERNATA	324	21.7a	Costruzione dell'immagine da una lente sottile	353
20.10	IMPEDENZA ELETTRICA E RISONANZA. IL TRASFORMATORE	325	21.7b	Ingrandimento lineare	353
Esempio 20.3	Circuito RLC	328	Esempio 21.6	Immagine di due lenti convergenti separate	355
Esempio 20.4	Applicazione del trasformatore: il defibrillatore cardiaco	328	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	356	
20.11	POTENZA DISSIPATA IN UN CIRCUITO IN CORRENTE ALTERNATA	330	Problemi	356	
20.12	LE ONDE ELETTROMAGNETICHE	331			
20.13	CIRCUITI OSCILLANTI	333			
20.14	EMISSIONE E ASSORBIMENTO DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE	334			
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	336				
Problemi	336				

APPROFONDIMENTI

E20.1	TEOREMA DELLA CIRCUITAZIONE E NON CONSERVATIVITÀ DEL CAMPO MAGNETICO
E20.2	LE EQUAZIONI FONDAMENTALI DELL'ELETTROMAGNETISMO
E20.3	IL BISTURI ELETTRICO
E20.4	LE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Capitolo 21

Ottica fisica e Ottica geometrica

21.1	INTRODUZIONE	337
21.2	LE ONDE ELETTROMAGNETICHE VISIBILI: LA LUCE	337
Esempio 21.1	Energia luminosa da una lampadina a incandescenza	339
21.3	LA DIFFRAZIONE DELLA LUCE	340
21.4	IL PRISMA E LA DISPERSIONE DELLA LUCE	342

Esempio 21.2	Rifrazione nel vetro	345
Esempio 21.3	Angolo limite	345
21.5	LA POLARIZZAZIONE DELLA LUCE	345
21.6	IL DIOTTRO	346
21.7	LE LENTI SOTTILI	350
Esempio 21.4	Lente sottile in aria e in acqua	352
Esempio 21.5	Potere diottrico della cornea	352
21.7a	Costruzione dell'immagine da una lente sottile	353
21.7b	Ingrandimento lineare	353
Esempio 21.6	Immagine di due lenti convergenti separate	355
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	356	
Problemi	356	

APPROFONDIMENTI

E21.1	LA POLARIZZAZIONE DELLA LUCE
E21.1a	La polarizzazione per emissione e assorbimento selettivo: il polaroid
E21.1b	La polarizzazione per riflessione
Esempio E21.1	Polarizzazione per riflessione
E21.1c	La polarizzazione per doppia rifrazione: il prisma di Nicol
E21.2	LA LUCE COERENTE
E21.3	DIFETTI DELLE LENTI: ABERRAZIONI
E21.4	LE SUPERFICI SPECULARI
Esempio E21.2	Immagine di uno specchio piano
Nota E21.1	INVERSIONE DESTRA-SINISTRA

Capitolo 22

La strumentazione ottica in Biologia e in Medicina

22.1	INTRODUZIONE
22.1	LA LUCE POLARIZZATA E IL POTERE ROTATORIO
Esempio 22.1	Misura della concentrazione con il polarimetro
22.3	ASSORBIMENTO OTTICO E SPETTROFOTOMETRIA
22.4	IL MICROSCOPIO
22.4a	Il microscopio semplice
Esempio 22.2	Lente di ingrandimento
22.4b	Il microscopio composto
22.5	IL POTERE SEPARATORE DEL MICROSCOPIO
22.6	LA PROFONDITÀ DI CAMPO DEL MICROSCOPIO

Esempio 22.3 Caratteristiche dell'immagine di un microscopio: distanza oggetto, ingrandimento, risoluzione, profondità di campo

22.7 MICROSCOPI OTTICI SPECIALI

22.7a Microscopio a contrasto di fase

22.7b Microscopio polarizzatore

22.7c Microscopio a fluorescenza

22.7d Microscopia digitale

22.8 LE FIBRE OTTICHE E IL LORO IMPIEGO IN DIAGNOSTICA MEDICA

22.9 LA DIFFRAZIONE DEI RAGGI X E LA STRUTTURA DELLE MOLECOLE BIOLOGICHE

Esempio 22.4 Raggi X monocromatici

Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura

Problemi

Capitolo 23

La funzione visiva

23.1 INTRODUZIONE

23.2 L'OCCHIO E IL SUO POTERE SEPARATORE

23.2a Descrizione anatomica

23.2b L'occhio come sistema ottico

23.2c Acuità visiva

Esempio 23.1 Distanza limite da acuità visiva

23.3 I DIFETTI OTTICI DELL'OCCHIO

Esempio 23.2 Difetto da punto prossimo

Esempio 23.3 Difetto da punto remoto

23.4 IL MECCANISMO DELLA VISIONE E LA PERCEZIONE DEI COLORI

23.4a La retina

23.4b I fotorecettori e le cellule elaboratrici

Esempio 23.4 Minima risposta visiva

23.4c Il meccanismo della visione

Esempio 23.5 Massima distanza di visibilità

23.4d La connessione bulbi oculari-cervello

23.4e Il triangolo del colore e la visione cromatica

Esempio 23.6 Il triangolo del colore

23.5 LA PERCEZIONE VISIVA NEGLI ANIMALI

Problemi

Capitolo 24

Materia e radiazioni

24.1 INTRODUZIONE 361

24.2 ATOMI E MOLECOLE 361

24.3 LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA 363

24.4 I NUCLEI E LE FORZE NUCLEARI 364

Esempio 24.1 Energia da difetto di massa 367

24.5 LA RADIOATTIVITÀ 367

24.6 LA LEGGE DEL DECADIMENTO RADIOATTIVO 369

Esempio 24.2 Decadimento radioattivo del cobalto-60 371

Esempio 24.3 Datazione mediante carbonio-14 371

24.7 ASSORBIMENTO DELLE RADIAZIONI NELLA MATERIA 372

Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura 372

Problemi 372

APPROFONDIMENTI

E24.1 GLI ATOMI

E24.2 LA MECCANICA ONDULATORIA

Esempio E24.1 Indeterminazione della posizione

E24.3 LA STRUTTURA ATOMICA

Esempio E24.3 Assorbimento di fotoni

E24.4 LA STRUTTURA MOLECOLARE E GLI STATI DELLA MATERIA

E24.5 SPETTROMETRIA DI MASSA

Esempio E24.3 Impiego di uno spettrometro di massa

E24.5 ACCELERATORI DI PARTICELLE IN MEDICINA

E24.6a Il ciclotrone

E24.6b Il betatrone

E24.6c Il sincrotrone

E24.6d Acceleratori lineari

Capitolo 25

Le radiazioni elettromagnetiche in Biologia e in Medicina

25.1 INTRODUZIONE 373

25.2 LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA E L'EMISSIONE TERMICA 373

Esempio 25.1 Variazione di temperatura per emissione termica 375

25.3 CAMPI ELETTROMAGNETICI A BASSA FREQUENZA E A RADIOFREQUENZA 375

25.4 LE MICROONDE IN MEDICINA 376

25.5 LA RADIAZIONE INFRAROSSA 377

25.6 LA RADIAZIONE VISIBILE. DISPOSITIVI LASER IN MEDICINA 378

Esempio 25.2 Confronto tra luce solare e luce laser 381

25.7 I RAGGI ULTRAVIOLETTI 381

25.7a Effetti biologici dei raggi ultravioletti 382

Esempio 25.3 Emissione di UVA 383

25.8	I RAGGI X E LA LORO PRODUZIONE	384
25.8a	Il tubo a raggi X	384
25.8b	Produzione e spettro dei raggi X	385
Esempio 25.4	Produzione di raggi X	388
25.9	I RAGGI X IN DIAGNOSTICA MEDICA	389
25.9a	Assorbimento dei raggi X	389
Esempio 25.5	Assorbimento dei raggi X in diversi materiali	394
25.9b	L'immagine radiologica	395
25.9c	L'intensificatore d'immagine o amplificatore di brillantezza	398
25.10	LA RADIAZIONE GAMMA	399
	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	399
	Problemi	400

APPROFONDIMENTI

E25.1	APPLICAZIONE DELLA RF IN TERAPIA
E25.2	EFFETTO CUMULATIVO (<i>BUILDUP</i>)
Esempio E25.1	Produzione di antimateria

Capitolo 26

Le radiazioni ionizzanti

26.1	INTRODUZIONE: LA IONIZZAZIONE
26.2	ASSORBIMENTO DELLA RADIAZIONE IONIZZANTE NELLA MATERIA (CORPUSCOLARE, X E GAMMA)
26.2a	Dosimetria
Esempio 26.1	Valutazione di RBE
26.2b	Assorbimento dei fotoni gamma
Esempio 26.2	Attività di una sorgente di cobalto-60
26.2c	Assorbimento della radiazione corpuscolare
26.2d	Confronto fra diverse radiazioni
26.3	EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI
26.3a	Radiobiologia cellulare
26.3b	Effetti biologici macroscopici della radiazione ionizzante
Esempio 26.3	Avvelenamento da polonio radioattivo (il caso Litvinenko)
Esempio 26.4	Effetto termico della radiazione ionizzante
Esempio 26.5	Effetto termico di radiazione mortale
26.3c	Sterilizzazione mediante radiazioni ionizzanti
26.4	DISPOSITIVI DI RIVELAZIONE
	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura
	Problemi

Capitolo 27

Radiodiagnostica, radioterapia e radioprotezione

27.1	INTRODUZIONE	403
27.2	RADIAZIONI IONIZZANTI IN RADIODIAGNOSTICA	403
27.2a	Radiodiagnostica da irraggiamento X	403
27.2b	Radiodiagnostica con l'impiego di radionuclidi	405
Esempio 27.1	Periodo di dimezzamento effettivo	407
Esempio 27.2	Caratteristiche di impiego dello iodio 131	408
Esempio 27.3	Misura del volume di sangue con iodio 131	408
27.3	RADIAZIONI IONIZZANTI IN RADIOTERAPIA	409
27.3a	Premessa	409
Esempio 27.4	Rapporto terapeutico	410
27.3b	Radioterapia convenzionale	411
27.3c	Radioterapia con protoni, neutroni e ioni (adroterapia)	414
27.4	LA RADIAZIONE IONIZZANTE NELL'AMBIENTE	417
27.4a	La radiazione naturale	417
27.4b	La radiazione naturale da attività umana (antropica)	419
27.5	CENNI DI RADIOPROTEZIONE	419
27.5a	Pericolosità delle radiazioni ionizzanti	420
27.5b	Principi fondamentali di radioprotezione	421
27.5c	Misure di tutela	422
Esempio 27.5	Radioprotezione da cobalto-60	424
	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	425
	Problemi	425

APPROFONDIMENTI

E27.1	ALTRI ASPETTI DI RADIOPROTEZIONE
-------	----------------------------------

Capitolo 28

Strumentazione biomedica

28.1	INTRODUZIONE E COMPUTERS IN BIOMEDICINA
28.1a	I mezzi di calcolo in medicina e nelle professioni sanitarie
28.1b	Intelligenza artificiale in medicina (nel seguito AI nell'acronimo anglosassone)
28.1c	La GRID

28.1d	Chirurgia robotica
28.2	LA SICUREZZA NEGLI IMPIANTI ELETTRICI
28.2a	Le correnti elettriche nel corpo umano
28.2b	Lo shock elettrico
28.2c	Sistemi di protezione
Esempio 28.2.1	Effetti da elettrocuzione
28.3	I TRASDUTTORI
28.3a	Elettrodi e microelettrodi
28.3b	Trasduttori di grandezze meccaniche
Esempio 28.3.1	Flussimetria
28.3c	Pletismografia a impedenza: bioimpedenza elettrica toracica
Esempio 28.3.2	Impedenza toracica e gittata sistolica
28.3d	Trasduttori di temperatura
28.3e	Trasduttori ottici
28.3f	Trasduttori chimici
28.4	IL MICROSCOPIO ELETTRONICO
28.4a	Le lenti elettrostatiche
28.4b	La microscopia elettronica
Esempio 28.4.1	Microscopio elettronico: risoluzione
28.5	L'ELETTROCARDIOGRAFIA
28.5a	Il modello dipolare
28.5b	Il momento di dipolo elettrico cardiaco
28.5c	Le derivazioni elettrocardiografiche
28.5d	Aspetti tecnici
Esempio 28.5.1	Asimmetria nella posizione del cuore
28.6	ECOGRAFIA ED ECOCARDIOGRAFIA
28.6a	Caratteristiche ed effetti delle vibrazioni ultrasonore
28.6b	Caratteristiche tecniche dell'ecografia
28.6c	Elaborazione elettronica dei segnali
28.6d	Modi di analisi ecografiche ed ecocardiografia dinamica
Esempio 28.6.1	Ecografia cerebrale
28.7	LA FRANTUMAZIONE MECCANICA DI CALCOLI
28.7a	Il litotritore: principi fisici e aspetti tecnici
Esempio 28.7.1	Forza agente su calcolo renale
28.8	IL RENE ARTIFICIALE
28.8a	Evoluzione temporale della diffusione
28.8b	Descrizione del rene artificiale
28.8c	Tempi di emodialisi
Esempio 28.8.1	Concentrazione in seguito a emodialisi
28.9	IMMAGINI TOMOGRAFICHE: TC, SPECT, PET, RM, ECO E OCT
28.9a	La ricostruzione di immagini tomografiche

Esempio 28.9.1	Proiezioni tomografiche
28.9b	Tomografia computerizzata (TC)
28.9c	Tomografie a emissione di fotone singolo (SPECT)
28.9d	Tomografie a emissione di positroni (PET)
28.9e	Immagini da risonanza magnetica nucleare (RM)
28.9f	Immagini ecotomografiche
28.9g	Tomografia ottica coerente (Optical Coherence Tomography, OCT)
Esempio 28.9.2	Energia assorbita nella RM
28.10	CHIRURGIA ROBOTICA
28.10a	La Fisica alla base dei sistemi robotici
28.10b	Il sistema robotico
28.10c	Le applicazioni cliniche
28.10d	Limiti e possibili sviluppi del sistema
Esempio 28.10.1	Emissione da fluorescenza
28.11	MACCHINA CUORE-POLMONE (CIRCOLAZIONE EXTRACORPOREA)
28.11a	Cenni storici, generalità e scopo della macchina cuore-polmone
28.11b	Cannule per drenaggio venoso e per immissione arteriosa
28.11c	Sistema di pompe
28.11d	Riserva venosa (reservoir) e ossigenatore
28.11e	Scambiatore di calore
28.11f	Filtri e dispositivi accessori
28.11g	Aspetti medico-clinici
28.12	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE
Problemi	

Appendice A

Cenni di teoria della misura e di statistica

A.1	CENNI DI METODOLOGIA DELLA MISURA E DI TEORIA DELL'ERRORE
A.2	CURVA DI DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE
A.3	DESCRIZIONE DI UNA DISTRIBUZIONE STATISTICA MEDIANTE LA MEDIA E LA VARIANZA
A.4	CURVA DI DISTRIBUZIONE NORMALE O DI GAUSS
A.5	ANALISI GRAFICA DI RISULTATI SPERIMENTALI
Esempio A.1	Propagazione degli errori

Appendice B

Cenni di informatica

B.1 INTRODUZIONE

B.2 UNITÀ DI MISURA CARATTERISTICHE
DEI MEZZI DI CALCOLO

B.3 LA CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE

B.4 RETI DI CALCOLO E CONCLUSIONI

Esempio B.1 Analisi armonica di tracciati EEG

C.2 ALFABETO GRECO C-430

C.3 PREFISSI PER POTENZE DI 10 C-431

C.4 DIMENSIONI, TEMPI E MASSE C-431

C.5 SIMBOLI, DIMENSIONI E UNITÀ
DI MISURA DELLE PRINCIPALI
GRANDEZZE FISICHE C-432C.6 TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI
(TAVOLA DI MENDELEEV) C-434

C.7 ELENCO DELLE TABELLE NEL TESTO C-436

Appendice C

Dati numerici e tabelleC.1 COSTANTI FONDAMENTALI
DELLA FISICA

C-430

Appendice D

Risposte ai problemi

D-439

INDICE ANALITICO

I-1

Le radiazioni elettromagnetiche in Biologia e in Medicina

capitolo

25

25.1 INTRODUZIONE

La possibilità di vita per la maggior parte dei sistemi biologici è assicurata in larga misura dall'azione delle radiazioni elettromagnetiche appartenenti alla regione centrale dello spettro mostrato nelle Figure 21.1 e 24.1, cioè la regione compresa fra la radiazione ultravioletta (UV) e le microonde. In particolare ne sono esempi gli scambi termici di varia natura (irraggiamento termico nella regione degli infrarossi e delle microonde), la sintesi di molecole biologiche (come la fotosintesi e la sintesi della vitamina D), il meccanismo della visione (trattato nel Capitolo 23). In questo capitolo passiamo in rassegna i vari tipi di radiazione elettromagnetica descrivendone sia i metodi di produzione che le applicazioni biomediche. La parte visibile dello spettro, ampiamente trattata nei Capitoli 21, 22 e 23, viene qui completata descrivendo i dispositivi di emissione di luce laser e il loro impiego.

Vengono considerate per prime le radiazioni elettromagnetiche di maggiore lunghezza d'onda (e minore frequenza), passando successivamente a energie dei fotoni via via più elevate, fino alle radiazioni X e γ che, essendo fortemente ionizzanti, saranno trattate anche nei capitoli successivi assieme alle radiazioni corpuscolari.

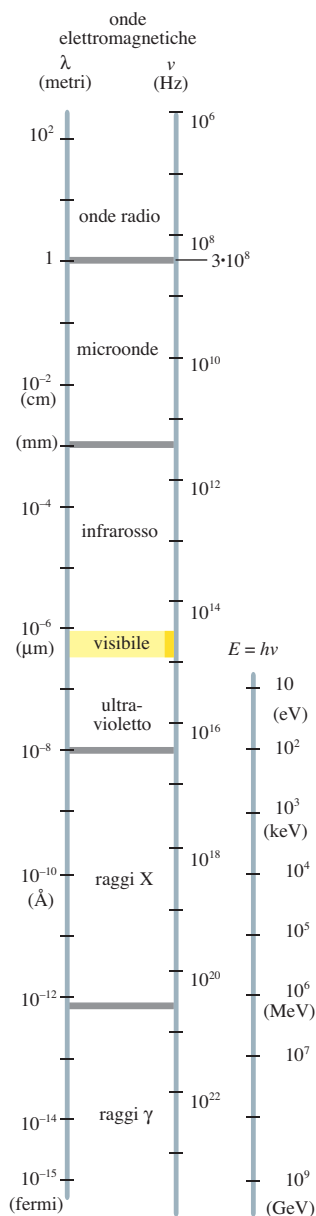
Alcuni approfondimenti di dettaglio su argomenti connessi alle onde elettromagnetiche a radio frequenza e sull'assorbimento di raggi X in strutture materiali sono consultabili scansionando il corrispondente QR.

25.2 LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA E L'EMISSIONE TERMICA

Come già visto in precedenza (§20.12 e §24.3), le radiazioni elettromagnetiche assumono una diversa denominazione a seconda della loro frequenza ν (ovvero della loro lunghezza d'onda $\lambda = c/\nu$), come mostrato in Figura 25.1, dove viene riportata anche la scala in energia dei quanti della radiazione elettromagnetica (fotoni), definita dalla relazione (24.1) $E = h\nu$. A causa della grande estensione dello spettro elettromagnetico, nella figura la scala è logaritmica e, come si può notare, la zona del visibile costituisce una frazione assai esigua dell'intero spettro.

La radiazione elettromagnetica nella porzione centrale dello spettro di Figura 25.1, dall'infrarosso all'ultravioletto, può anche essere emessa mediante il fenomeno dell'*emissione termica*, già visto a proposito dell'irraggiamento termico, nel §11.2c. Questo fenomeno consiste nel fatto che un corpo (solido o liquido) emette radiazioni elettromagnetiche a causa dell'agitazione termica, la quale dà luogo a transizioni fra i livelli energetici, determinate da rotazioni e vibrazioni degli atomi e delle molecole di cui il corpo è composto. Poiché questi livelli energetici sono molto numerosi e con energie molto addensate le une alle altre, lo spettro della radiazione è praticamente continuo. Questa emissione, chiamata *radiazione termica*, è caratterizzata da due leggi.

Radiazione termica

**Figura 25.1**

Spettro delle onde elettromagnetiche rappresentato nelle tre scale di frequenza, lunghezza d'onda ed energia associata ai fotoni.

Secondo la **legge di Stefan**, l'intensità totale I della radiazione, cioè l'energia emessa in un secondo dalla superficie unitaria di un corpo caldo, è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta T :

$$I = k \sigma T^4, \quad (25.1)$$

dove, esprimendo l'intensità della radiazione in $\text{cal cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, si ha $\sigma = 1.36 \cdot 10^{-12} \text{ cal cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{K}^{-4}$ e la costante k è un coefficiente adimensionale inferiore a uno, che dipende dalle caratteristiche del corpo. Il caso $k = 1$ è puramente ideale e si riferisce a un corpo che sia un radiatore perfetto (chiamato anche **corpo nero**), cioè capace di assorbire completamente tutte le radiazioni elettromagnetiche che incidono su di esso: per il corpo nero, lo spettro di emissione non dipende né dalla sostanza che lo costituisce, né dalla sua forma.

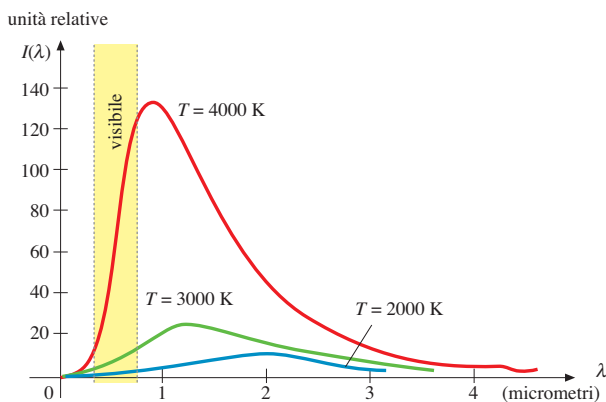
La **legge di Wien** afferma che la distribuzione spettrale della radiazione emessa è tale per cui la lunghezza d'onda, per la quale l'emissione raggiunge il massimo d'intensità, λ_{Imax} , è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta:

$$\lambda_{\text{Imax}} = \frac{0.2897 \text{ (cm K)}}{T}. \quad (25.2)$$

In Figura 25.2 sono mostrate alcune tipiche distribuzioni spettrali per diversi valori della temperatura assoluta. Ci si può facilmente rendere conto del fatto che la distribuzione spettrale della radiazione elettromagnetica, emessa da un corpo caldo, dipende dalla temperatura, osservando che la colorazione dei corpi incandescenti passa dal rosso cupo, all'arancio e al giallo man mano che aumenta la temperatura, indicando che il massimo dell'intensità della radiazione emessa si sposta verso lunghezze d'onda minori. Il Sole ha uno spettro d'emissione che è bene approssimato da quello di un corpo nero che si trovi alla temperatura di circa 5800 K.

L'emissione di radiazioni X per effetto termico comporta temperature elevatissime: ad esempio per raggi X da 100 keV, cioè di frequenza:

$$\nu = E/h = 10^5 \text{ eV} / 6.6 \cdot 10^{-27} \text{ erg s} \approx 2.4 \cdot 10^{10} \text{ Hz},$$

**Figura 25.2**

Intensità delle onde elettromagnetiche emesse da un corpo caldo in funzione della lunghezza d'onda a diverse temperature assolute. Le curve mostrate in figura, che soddisfano le leggi di Stefan (25.1) e di Wien (25.2), sono note come curve di distribuzione di Planck e possono essere ottenute teoricamente, per un corpo nero, assumendo che le onde elettromagnetiche siano costituite da un "gas" di fotoni. L'area sottesa dalle curve corrisponde all'intensità totale I della (25.1).

è necessaria una temperatura $T = 0.2897/\lambda = 0.2897 \nu/c \approx 10^8$ K, cioè 100 milioni di gradi, raggiungibili solo in alcune stelle (sorgenti X stellari), oppure prodotti artificialmente all'atto dell'esplosione di una bomba termonucleare. A temperatura ambiente i corpi emettono soprattutto nell'infrarosso o a lunghezze d'onda maggiori.

ESEMPIO 25.1 Variazione di temperatura per emissione termica

Confrontando due zone di area A sul petto di un paziente, si trova che la potenza emessa differisce del 2% da una zona all'altra. Valutare la differenza di temperatura tra le due zone.

Soluzione Supponiamo che la zona a temperatura più bassa sia a 37°C , cioè $T = 310$ K, e che la temperatura dell'altra zona sia $T + \Delta T$. Essendo I l'intensità della radiazione termica emessa per unità di superficie dalla zona a $T = 310$ K, si deve avere per la variazione ΔI , differenziando la (25.1), $\Delta I = k \sigma 4 T^3 \Delta T$, per cui abbiamo:

$$\frac{\Delta I}{I} \approx \frac{k \sigma 4 T^3 \Delta T}{k \sigma T^4} = \frac{4 \Delta T}{T} = 0.02,$$

e ricavando ΔT :

$$\Delta T \approx 0.02 \frac{T}{4} = 0.02 \frac{310}{4} = 1.55 \text{ K}.$$

Quindi l'innalzamento termico di circa 1.55 K fa aumentare l'energia radiante emessa per unità di tempo e di superficie del 2%.

25.3 CAMPI ELETTROMAGNETICI A BASSA FREQUENZA E A RADIOFREQUENZA

Questo tipo di radiazione elettromagnetica pervade tutto l'ambiente: onde radiotelevisive a tutte le frequenze (comprese quelle della telefonia mobile) da antenne trasmettenti (comprese quelle dei cellulari) e ripetitrici, campi elettrici e magnetici alternati della rete elettrica originati da d.d.p. alternate comprese tra 220 V e decine di migliaia di volt, emissione di onde dalle antenne radar in prossimità di aeroporti e basi militari, generatori di corrente elettrica alternata e dispositivi simili impiegati nell'industria.

Dunque l'ambiente è costantemente permeato da queste radiazioni (comprese quelle emesse dai cellulari), i cui effetti biologici sono trascurabili ad eccezione di quelle emesse da antenne radar, antenne trasmettenti e tralicci dell'alta tensione.

Tutte queste radiazioni *non sono ionizzanti*, cioè i relativi fotoni non hanno energia sufficiente per estrarre gli elettroni dagli orbitali atomici: pertanto hanno effetti biologici solo in caso di intensità particolarmente elevate del campo elettrico. Per ciascun tipo di onde è stato definito un limite per l'esposizione espresso in watt m^{-2} e variabile a seconda delle sorgenti.

La radiazione elettromagnetica a radiofrequenza (RF), in generale compresa fra 300 kHz e 300 MHz (corrispondente a lunghezze d'onda fra 1 km e 1 m), viene impiegata in applicazioni mediche da circa 80 anni. Attualmente, sfruttando diverse modalità di assorbimento da parte dell'organismo, la RF viene impiegata in Medicina in numerose applicazioni diagnostiche e terapeutiche.

La principale applicazione diagnostica riguarda i dispositivi di Risonanza Magnetica (RM), descritti nel §28.9 consultabile scansionando il QR del Capitolo 28, che permettono di ottenere immagini tomografiche molto nitide, soprattutto dei tessuti molli.

Per quanto riguarda le applicazioni terapeutiche, l'energia elettromagnetica a RF viene trasmessa in profondità, riscaldando i tessuti interni senza provocare una sensazione di calore nel paziente: i dispositivi terapeutici, tramite opportuni elettrodi, trasmettono le onde radio di bassa frequenza all'interno del sistema biologico, causando la vibrazione degli ioni che, per attrito, innalza la temperatura dei

Radiofrequenza

tessuti toccati dagli elettrodi. Poiché tra i tessuti riscaldati in prossimità degli elettrodi e i tessuti circostanti si verifica una notevole variazione di temperatura, l'azione terapeutica resta limitata in prossimità degli elettrodi e la terapia avviene con una precisione e un controllo elevati, limitandone gli effetti sui tessuti normali.

Le temperature operative relativamente basse della RF (di solito nell'intervallo tra 60°C e 80°C, ma in alcuni casi si superano i 100°C), paragonate a quelle raggiunte dall'elettrochirurgia o da bisturi laser (§E20.3 e §25.6), permettono di rimuovere, contrarre e modellare i tessuti molli, chiudendo al contempo gli eventuali vasi interessati. La RF svolge la sua azione in particolare sul tessuto connettivo, costituito essenzialmente di collagene, che tende a contrarsi con il calore.



Nel paragrafo **E25.1 APPLICAZIONE DELLA RF IN TERAPIA** vengono dettagliati gli impieghi della RF in vari interventi chirurgici e terapeutici.

25.4 LE MICROONDE IN MEDICINA

La radiazione elettromagnetica a microonde è definita dalle frequenze comprese fra 300 MHz e 300 GHz (corrispondenti a lunghezze d'onda fra un metro e un millimetro). Non si tratta di radiazioni ionizzanti, dato che i fotoni corrispondenti hanno un'energia compresa fra 10^{-6} e 10^{-3} eV, inferiore all'energia di ionizzazione di atomi e molecole, che è dell'ordine di alcuni elettronvolt. Questo tipo di onde elettromagnetiche viene ottenuto mediante l'impiego di speciali valvole o tubi elettronici, come il klystron e il magnetron, la cui descrizione va al di là degli scopi di questo testo.

Le microonde, essendo costituite da campi elettrici (e magnetici) variabili ad alta frequenza, quando attraversano un materiale producono solo delle oscillazioni di ampiezza molto piccola degli ioni, il cui moto causa, per attrito, il riscaldamento del materiale. Questo effetto termico è chiamato **diatermia** e viene utilizzato a scopo terapeutico in Medicina nei casi in cui sia utile produrre il riscaldamento di regioni limitate del corpo umano. Poiché queste radiazioni penetrano abbastanza profondamente nel corpo umano, si riesce a ottenere il riscaldamento di zone profonde senza che l'epidermide raggiunga temperature troppo elevate. Vengono utilizzate per curare artriti, borsiti, strappi muscolari e danni muscolari traumatici in genere. Le moderne apparecchiature per diatermia utilizzano microonde che sono indirizzate sulla regione del corpo da trattare mediante piccole antenne poste in un riflettore semisferico che permette di focalizzare le onde in una regione limitata. Il riflettore viene situato ad alcuni centimetri dal corpo e questo permette di evitare le bruciature, sempre possibili nell'uso di elettrodi a contatto con la pelle. Solitamente si usa una frequenza di 2450 MHz, con una lunghezza d'onda di circa 12 cm. L'assorbimento nei tessuti è determinato da una legge di tipo esponenziale:

$$I(x) = I_0 e^{-x/D}, \quad (25.3)$$

dove I è l'intensità delle microonde che perviene alla profondità x del corpo, I_0 l'intensità incidente sulla superficie del corpo e D è lo spessore di tessuto corrispondente all'assorbimento del 63% della radiazione incidente ($e^{-1} = 0.63$). Sperimentalmente si osserva che l'assorbimento delle microonde è legato alla quantità di acqua presente nei tessuti e che la produzione di calore conseguente è determinata dall'interazione del campo elettrico variabile delle microonde con il momento di dipolo elettrico della molecola d'acqua (§17.5 e §15.1): il suo continuo riorientamento e allineamento, lungo il campo elettrico variabile, causa un assorbimento di energia da parte della molecola e quindi del tessuto, con produ-

Diatermia

Assorbimento delle microonde

zione di calore. Come si vede dalla Figura 25.3 la costante D è una funzione della frequenza e ha valori molto diversi in tessuti con differente contenuto di acqua.

La sovraesposizione alle microonde può causare danni, in particolare agli occhi e ai testicoli. A causa di questi pericoli, è fissato un limite di intensità, pari a 10 mW/cm^2 , per l'esposizione (per lunghi periodi di tempo) alle microonde. A titolo di confronto, questo limite è solo un decimo della massima potenza radiante solare che può essere assorbita dal corpo umano (100 mW/cm^2). Lo stesso tipo di terapia diatermica è eseguibile anche mediante il calore radiante, visto nel paragrafo precedente e approfondito nel successivo, oppure con onde meccaniche ultrasuoniche, come visto nel §14.5a.

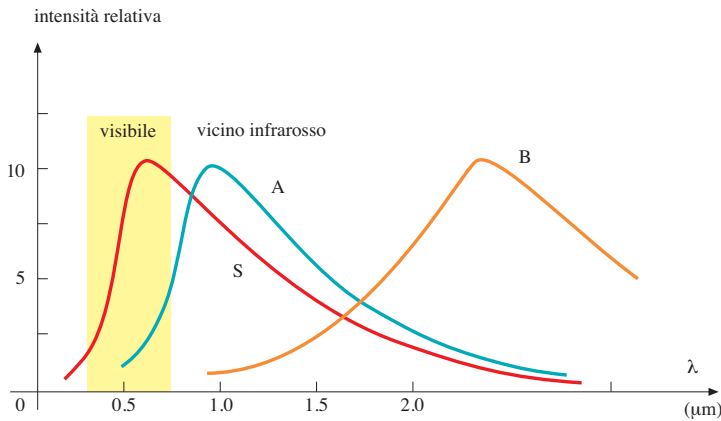


Figura 25.4

Curva S: distribuzione spettrale della luce solare. Curva A: distribuzione spettrale della luce emessa da una lampada da 500 watt il cui filamento si trova ad una temperatura di circa 3000 K. Curva B: comune lampada a infrarosso con filamento a 1200 K. Le curve dell'intensità sono state normalizzate allo stesso valore massimo per agevolare il loro confronto. Altre distribuzioni spettrali da irraggiamento sono mostrate nella Figura 11.1

25.5 LA RADIAZIONE INFRAROSSA

Vengono chiamati **raggi infrarossi** quelle onde elettromagnetiche aventi lunghezza d'onda compresa fra 1 mm e circa $0.7 \mu\text{m}$. La regione dello spettro infrarosso di maggiore interesse medico è quella compresa fra 0.7 e $1.4 \mu\text{m}$ (vicino infrarosso). Il modo migliore per ottenere raggi infrarossi è quello di sfruttare l'emissione termica (§25.2): infatti corpi che si trovano a temperature elevate emettono radiazioni che sono in gran parte comprese nella zona spettrale dell'infrarosso (IR). Il Sole è ovviamente la più potente sorgente di raggi infrarossi: come si vede nella Figura 25.4 (vedi anche Figura 11.1), il massimo di intensità dell'emissione solare è nella regione del visibile dello spettro, ma una consistente parte dell'energia raggiante è compresa nella regione dell'infrarosso. L'anidride carbonica presente nell'atmosfera assorbe tuttavia gran parte dell'emissione infrarossa solare per lunghezze d'onda superiori a $2 \mu\text{m}$.

Nella Figura 25.4 viene riportata anche la curva di emissione di due lampade che possono essere utilizzate come sorgente di raggi infrarossi. Come si vede, la lampada che funziona a temperatura più elevata è molto più ricca di raggi infrarossi nella regione spettrale 0.7 - $1.4 \mu\text{m}$, in accordo con la legge di Wien (25.2).

L'effetto dei raggi infrarossi sul corpo umano è puramente termico, analogo a quello che si può ottenere con le onde a radiofrequenza o le microonde. La penetrazione dei raggi infrarossi nel corpo è diversa a seconda della regione spettrale considerata.

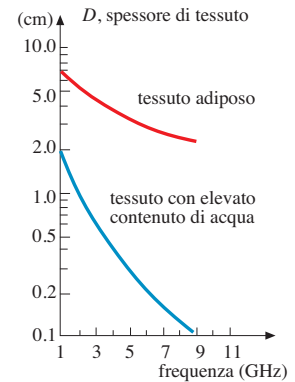


Figura 25.3

Andamento dello spessore di tessuto D in funzione della frequenza per diversi tessuti. Il coefficiente di assorbimento è definito come il reciproco della costante D . La scala verticale è logaritmica.

Assorbimento di radiazioni
infrarosse

D. Scannicchio

Fisica Generale e Biomedica

Manuale completo per il **semestre filtro**
CdL in Medicina, Odontoiatria e Veterinaria

Accedi all'**ebook** e ai
contenuti digitali

➤ **Espandi le tue risorse** ➤

con un libro che **non pesa** e si **adatta**
alle dimensioni del tuo **lettore**



All'interno del volume il **codice personale** e le istruzioni per accedere alla versione **ebook** del testo e agli ulteriori servizi.
L'accesso alle risorse digitali è **gratuito** ma limitato a **18 mesi dalla attivazione del servizio**.

