



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 **tuoi 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 completeate 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
• Betatron	: 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 reticolari 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 inquadrandone 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	
1.2	INTRODUZIONE	
1.3	DEFINIZIONE DI UNA GRANDEZZA FISICA E SUE DIMENSIONI	
1.4	SISTEMI DI UNITÀ DI MISURA E COSTANTI FONDAMENTALI	
1.5	GRANDEZZE SCALARI E GRANDEZZE VETTORIALI	
1.5a	Somma e differenza di vettori	
1.5b	Prodotto scalare e prodotto vettoriale	
1.5c	Il vettore gradiente	
1.5d	Flusso di un vettore attraverso una superficie	
Esempio 1.1	Somma di vettori	
Esempio 1.2	Prodotto vettoriale e prodotto scalare	
1.6	CENNI DI GEOMETRIA E DI ANALISI MATEMATICA	
1.6a	Angolo solido	
1.6b	Il concetto di funzione e sua rappresentazione grafica	
1.6c	La funzione lineare e le sue proprietà	
Esempio 1.3	Moto rettilineo uniforme	
1.6d	La funzione esponenziale le sue proprietà	
Esempio 1.4	Sviluppo di colonie batteriche	
1.6e	Le funzioni trigonometriche	
Esempio 1.5	Risoluzione di triangoli	
1.6f	La derivata: significato, proprietà e conseguenze	
Esempio 1.6	Derivata della funzione esponenziale	
1.6g	L'integrale: significato e proprietà	
1.6h	Equazioni differenziali	

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
----	----------

APPROFONDIMENTI

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

2	
---	--

2	Capitolo 2
---	------------

I fondamenti della Meccanica

6	Parte I: Le basi della Cinematica e della Dinamica traslatoria	
7		
8	2.1 INTRODUZIONE	31
10	2.2 CINEMATICA	31
11	2.2a Traiettoria e legge oraria	31
12	2.2b Velocità e accelerazione	32
12	2.2c Legge oraria di alcuni semplici moti	33
12	Esempio 2.1 Legge oraria: moto rettilineo uniformemente accelerato	37
12	Esempio 2.2 Moto circolare uniforme	38
13	2.3 LE FORZE E LE LEGGI DELLA DINAMICA	38
15	2.3a Le forze	38
15	2.3b I principi della Dinamica traslatoria	39
16	2.4 IL TEOREMA DELL'IMPULSO	41
17	Esempio 2.3 Il teorema dell'impulso	41
17	2.5 RELATIVITÀ GALILEIANA	42
17	2.6 I CAMPI DI FORZE: IL CAMPO GRAVITAZIONALE	42
19	Esempio 2.4 Forza gravitazionale tra due protoni nel nucleo dell'atomo	44
22	Esempio 2.5 2° principio della Dinamica	44
22	2.7 MASSA, PESO E DENSITÀ	45
24	2.8 PSEUDOFORZE	46
25	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	47
27	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	50
3.2b Moto inerziale in assenza di forze	51
3.2c Moto in un campo di forze uniforme	52
Esempio 3.1 Moto parabolico	52
3.2d Moto in un campo di forze centrale	53
3.2e Moto in un campo di forze elastiche (moto armonico)	54
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	59
Esempio 3.2 Conservazione dell'energia meccanica	60
Esempio 3.3 Conservazione dell'energia e forza elastica	61
3.4 MECCANICA DI SISTEMI FISICI	61
3.4a Il piano inclinato	62
Esempio 3.4 Moto sul piano inclinato	62
3.4b Il pendolo	63
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	68
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'auto vettura 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 CARRUCCOLE 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	99	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	101	7.4a Resistenza dei vasi	131
6.6 MISURA DELLA VISCOSITÀ. VISCOSIMETRI	103	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	107	7.4c Effetto della pressione idrostatica	134
6.9 APPLICAZIONI DELLA TENSIONE SUPERFICIALE	107	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	111	7.5c Calcolo del lavoro e della potenza cardiaca	138
Esempio 6.7 Flottazione di una moneta sull'acqua	111	Esempio 7.4 Lavoro cardiaco	140
6.9c Liquidi tensioattivi	112	Esempio 7.5 Fattore cinetico	141
6.9d Fenomeni di capillarità	112	7.6 MISURA DELLA PRESSIONE DEL SANGUE	141
Esempio 6.8 Innalzamento capillare da tensione superficiale	113	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	143
6.10 TENSIONE ELASTICA DI UNA MEMBRANA E FORMULA DI LAPLACE	114	Problemi	144
Esempio 6.9 Tensione elastica di un palloncino di gomma	115	APPROFONDIMENTI	
6.11 IL CONTAGOCCE	115	E7.1 MECCANICA DELLA RESPIRAZIONE E FLUSSO DI ARIA NELLE VIE RESPIRATORIE	
Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	118	Esempio E7.1 Valutazione del lavoro respiratorio	
Problemi	118	Nota E7.1 GEOMETRIA FRATTALE E SISTEMI CIRCOLATORIO E RESPIRATORIO	
	119	E7.2 ALTRE APPLICAZIONI DEL TEOREMA DI BERNOULLI: IL VOLO NEL MONDO ANIMALE E L'EFFETTO MAGNUS	

APPROFONDIMENTI

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

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

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_A (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	12.6 ONDE PIANE, ONDE SFERICHE E PRINCIPIO DI HUYGENS	205
11.2b Conduzione del calore	184	12.7 ANALISI DI FOURIER	207
Esempio 11.1 Conduzione di calore e variazione di entropia	185	Esempio 12.3 Frequenze armoniche nel pianoforte	210
11.2c L'irraggiamento termico	185	Esempio 12.4 Analisi armonica dell'EEG	211
Esempio 11.2 Irraggiamento dal corpo umano	187	12.8 RIFLESSIONE, RIFRAZIONE E RIFLESSIONE TOTALE	213
11.3 VASI DI DEWAR E CALORIMETRIA	188	12.9 INTERFERENZA	215
Esempio 11.3 Scambio di calore tra due masse d'acqua e variazione di entropia	189	12.10 ONDE STAZIONARIE E BATTIMENTI	217
11.4 I PRINCIPI DELLA TERMODINAMICA E LA FISIOLOGIA	189	12.10a Onde stazionarie	217
11.5 TERMOREGOLAZIONE DEGLI ANIMALI A SANGUE CALDO	191	12.10b Battimenti	219
11.5a Ambiente freddo	192	Esempio 12.5 Battimenti	220
11.5b Ambiente caldo	193	12.11 EFFETTO DOPPLER	220
11.5c Ambiente molto secco o molto umido	193	Esempio 12.6 Suono da una sirena su un'automobile	222
Esempio 11.4 Termoregolazione del corpo umano	194	12.12 POLARIZZAZIONE DELLE ONDE TRASVERSALI	222
11.6 POTENZIALI TERMODINAMICI E REAZIONI BIOCHIMICHE	195	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura	223
Esempio 11.5 Velocità di sintesi dell'ATP	196	Problemi	223
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	

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 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

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		

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

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 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

APPROFONDIMENTI

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

E15.1	DIFFUSIONE DEL GLUCOSIO E DELL'UREA	
-------	-------------------------------------	--

Esempio 17.4 Energia di carica e scarica del condensatore	293	18.8 FLUSSI IONICI IN ASSENZA DI EQUILIBRIO E MECCANISMI DI TRASPORTO ATTIVO (POMPA SODIO-POTASSIO)
17.8 LA CORRENTE ELETTRICA E LE LEGGI DI OHM	294	Nota 18.2 DEDUZIONE DELL'EQUAZIONE DI GOLDMAN
17.9 SOLUZIONI ELETROLITICHE E DISSOCIAZIONE ELETROLITICA	296	Esempio 18.3 Rapporto P_{Na}/P_K in cellule eccitabili
Esempio 17.5 Soluzioni elettrolitiche	297	Esempio 18.4 Rapporto P_{Na}/P_K in cellule non eccitabili (eritrociti)
Esempio 17.6 Concentrazione di ioni idrogeno nell'acqua pura e pH	298	18.9 LAVORO DI MEMBRANA
17.10 LA MOBILITÀ ELETROLITICA E L'ELETTROLISI	298	Esempio 18.5 Bilanci energetici cellulari
17.11 FORZA ELETTROMOTRICE E CIRCUITI IN CORRENTE CONTINUA	299	Riepilogo delle grandezze fisiche e unità di misura
17.12 EFFETTO TERMICO DELLA CORRENTE ELETTRICA	301	Problemi
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 ELETROLITICHE 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 ELETTOCHIMICI		
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		
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 diottico 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

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 brillanza	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 (BUILDUP)
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 OTC	
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-432	
C.6 TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI (TAVOLA DI MENDELEEV)	C-434	
C.7 ELENCO DELLE TABELLE NEL TESTO	C-436	
Appendice C		
Dati numerici e tavole		
C.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

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 ELETTRONAGNETICA 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

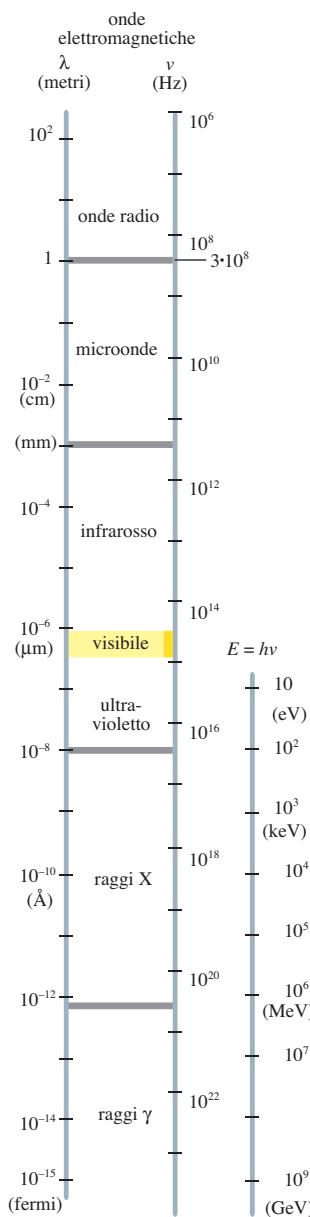


Figura 25.1

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_{max} , è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta:

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

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:

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

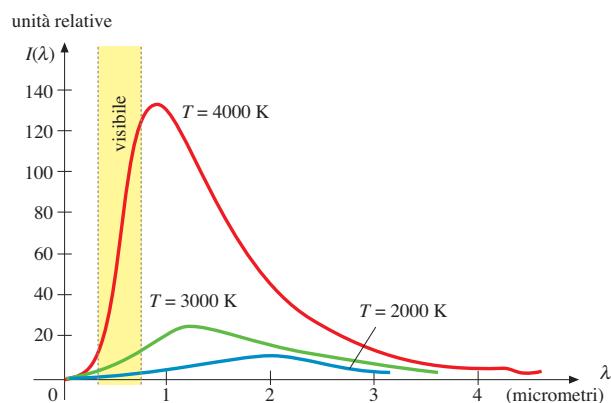


Figura 25.2

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 radiofoniche a tutte le frequenze (comprese quelle della telefonia mobile) da antenne trasmittenti (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 trasmittenti 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 eletrodi, 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'eletrochirurgia 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:

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

dove I è l'intensità delle microonde che perviene alla profondità x del corpo, I_o 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 ultrasoniche, come visto nel §14.5a.

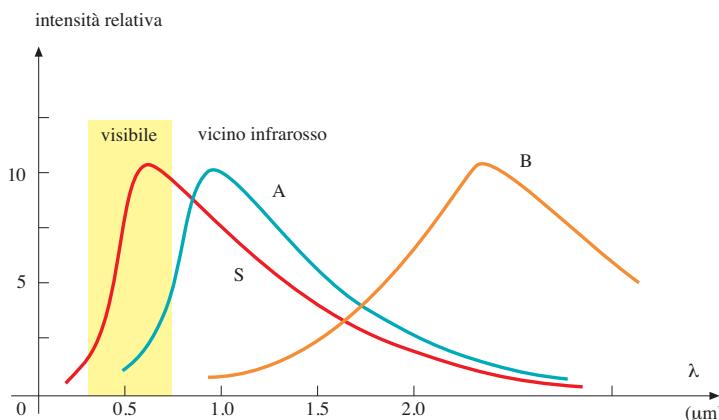


Figura 25.4

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

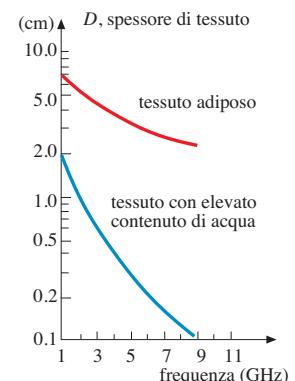


Figura 25.3

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.

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.

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**.