

# Fisica delle Particelle 1 (1/2)

## FISICA DELLE PARTICELLE I - 6 CFU

**Docenti:** Prof. Oliviero Cremonesi - Prof. Matteo Biassoni

**Contenuti:** Classificazione delle particelle. Esperimenti fondamentali e sviluppo temporale della ricerca. Interazioni e Campi. Barioni e mesoni. Leptoni. Struttura a quarks degli Adroni. Deep inelastic scattering e partoni. Colore. Interazioni dei Quarks e QCD. Interazioni Deboli. Teoria di Fermi. Interazioni Elettrodeboli.

### Testi di riferimento:

- **A.Bettini - Introduction to Elementary Particle Physics 2nd Ed. - Cambridge University Press**
- **Cartiglia Nicolò - Manuale di esercizi in fisica delle particelle - 2015 - EAN 9788882181864 ISBN 8882181863**

### Obiettivi:

- Il corso si prefigge di fornire un'introduzione alla fisica delle particelle discutendone le proprietà, la classificazione e le principali leggi che ne regolano le interazioni.
- Il corso sarà corredato di esempi ed esercizi numerici.

### Prerequisiti:

- Conoscenza basilare delle principali interazioni delle particelle e loro nomenclatura. Nozioni elementari di relatività ristretta. Nozioni di base dei rivelatori di radiazione e dei principi di simmetria in meccanica quantistica

**Modalità didattica:** Lezioni frontali, Esercitazioni

**Periodo semestre:** I Semestre

# Fisica delle Particelle 1 (2/2)

**Orario:** Lunedì 9:30-11:30 - Venerdì 9:30-11:30 su piattaforma webex

**Modalità dell'esame:** Scritto e Orale (cadenza media appelli bimensile)

**Valutazione dell'esame:** Voto in trentesimi

## Altre informazioni:

- Sito web del corso: <https://www.unimib.it/ugov/degreecourse/210125>
- Syllabus: <https://elearning.unimib.it/course/info.php?id=32099>
- e-learning: <https://elearning.unimib.it/course/view.php?id=32099>
- Le slide del corso saranno reperibili sulla pagina dell'e-learning insieme ad eventuali messaggi/domande/informazioni.

## Programma:

- Pre-requisiti: trasformazioni di Lorentz e cinematica relativistica.
- Cenni storici: dalla scoperta dei raggi cosmici agli esperimenti degli anni 50'.
- Gli adroni: barioni e mesoni. I numeri quantici delle particelle. Il pione.
- Risonanze in formazione e produzione. Sezioni d'urto  $\pi(K)$ -protone. Interazioni di stato finale e Dalitz plot. Numeri quantici delle risonanze.
- Gli adroni nel modello a quark:  $SU(3)_f$ . Il Deep inelastica scattering (DIS). Multipletti mesonici e barionici. Mesoni pseudo-scalari e vettoriali. La  $\omega$  e la  $\eta$ ; la  $\Omega$  ed il colore. Stranezza e charm.
- Le interazioni degli adroni:  $SU(3)_c$  e la QCD
- Leptoni e interazioni deboli; La teoria e la costante di Fermi. Universalità. Il decadimento del muone.
- La violazione della parità. Teoria V-A. Spinori di Dirac: chiralità, elicità e termini di massa. I neutrini e le loro interazioni. Sorgenti e fasci di neutrini. Correnti deboli cariche (CC) e neutre (NC).
- Le interazioni deboli degli adroni. Il decadimento del pione. Particelle strane e angolo di Cabibbo. Il meccanismo GIM.
- CP e il mixing dei quark. La matrice CKM

# Programma - Particelle (1/4)

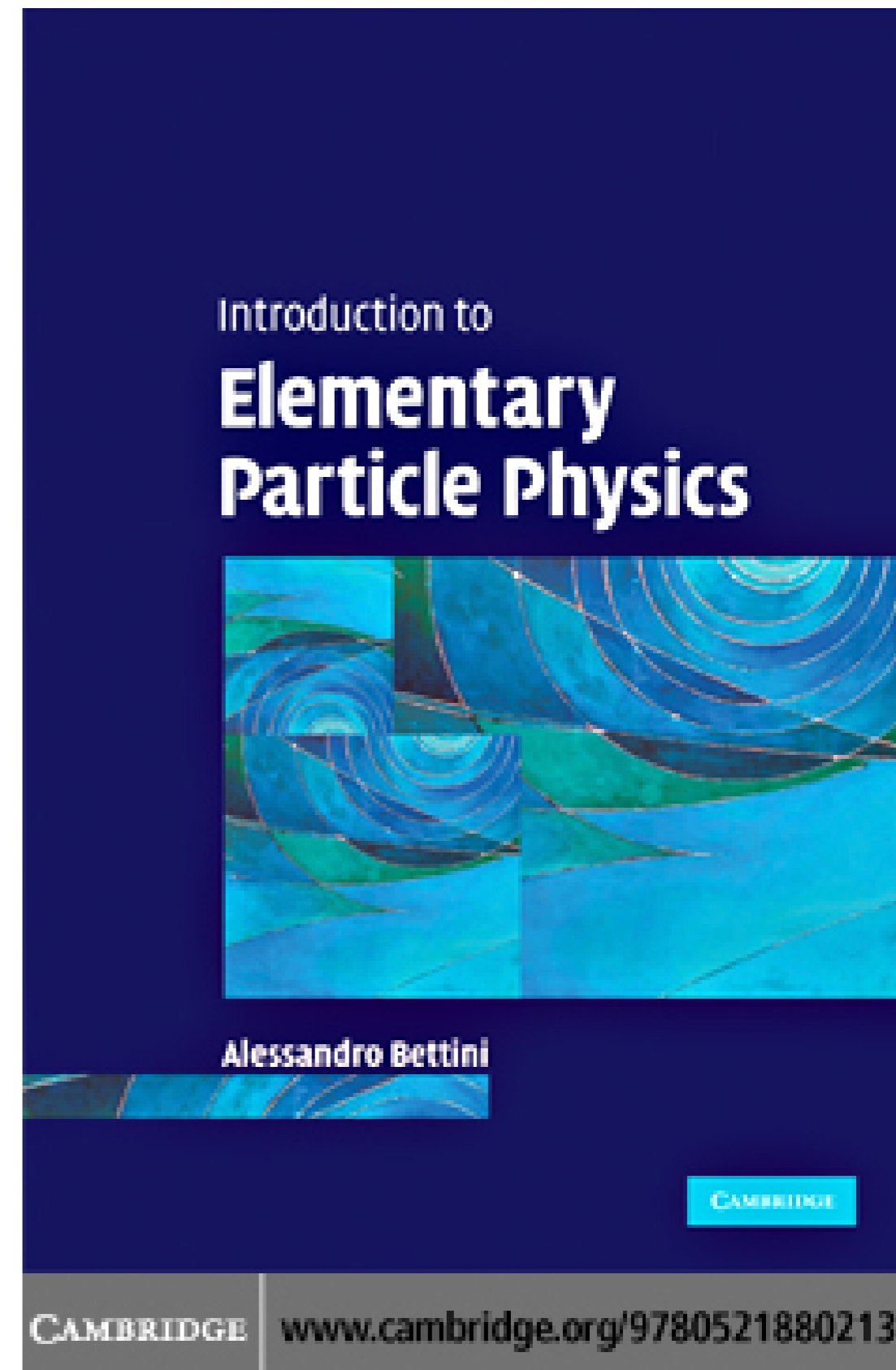
## Contents

Dato per assunto con ripasso concetti base ed esercitazioni

Dato per assunto da altri corsi

Programma del corso

<i>Preface</i>	<i>page</i>	<i>ix</i>
<i>Acknowledgments</i>		<i>xiii</i>
1 Preliminary notions		1
1.1 Mass, energy, linear momentum		1
1.2 The law of motion of a particle		4
1.3 The mass of a system of particles, kinematic invariants		5
1.4 Systems of interacting particles		9
1.5 Natural units		11
1.6 Collisions and decays		13
1.7 Hadrons, leptons and quarks		19
1.8 The fundamental interactions		21
1.9 The passage of radiation through matter		23
1.10 Sources of high-energy particles		28
1.11 Particle detectors		36
Problems		52
Further reading		57
2 Nucleons, leptons and bosons		59
2.1 The muon and the pion		59
2.2 Strange mesons and hyperons		62
2.3 The quantum numbers of the charged pion		65
2.4 Charged leptons and neutrinos		69
2.5 The Dirac equation		74
2.6 The positron		76
2.7 The antiproton		78
Problems		81
Further reading		83
3 Symmetries		84
3.1 Symmetries		84

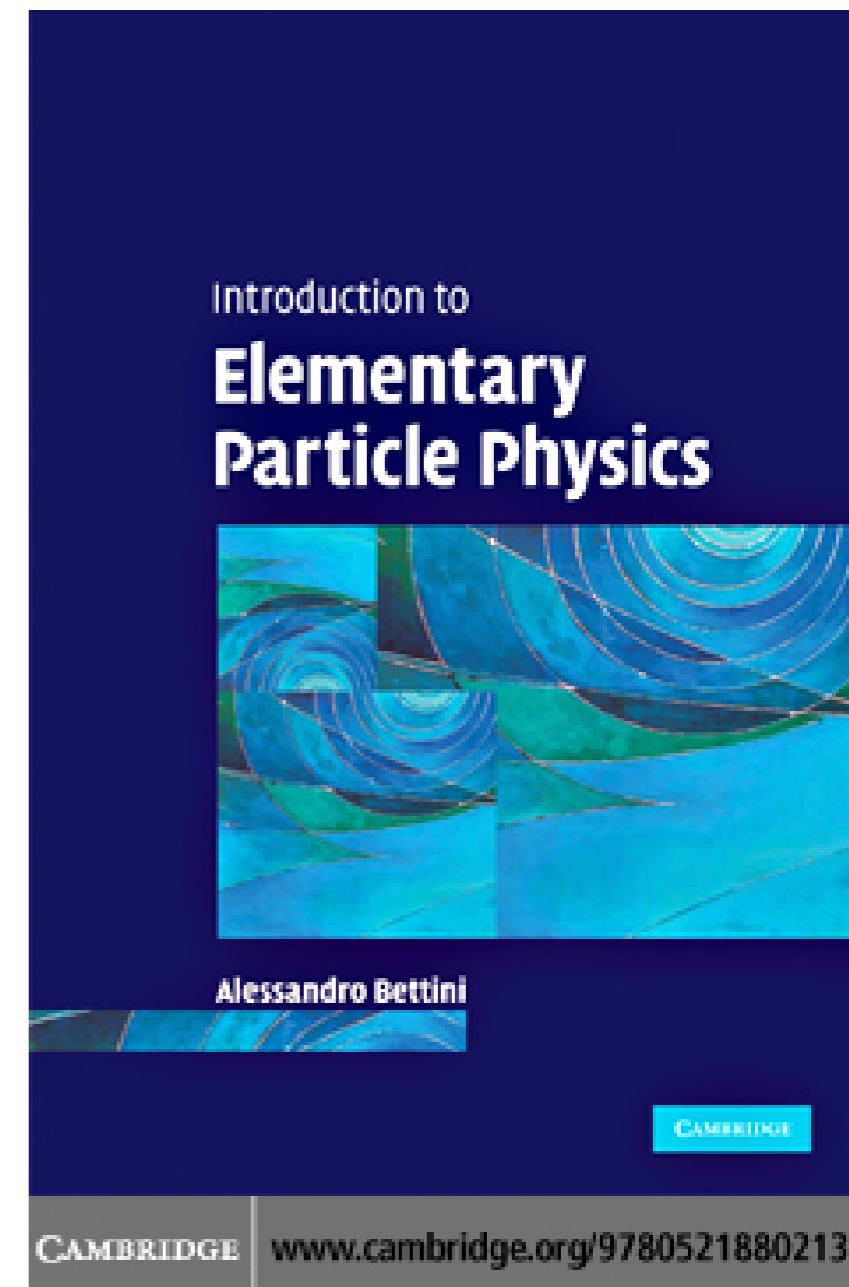


# Programma - Particelle (2/4)

vi

Contents

3.2	Parity	85
3.3	Particle–antiparticle conjugation	88
3.4	Time reversal and $CPT$	90
3.5	The parity of the pion	91
3.6	Pion decay	92
3.7	Quark flavours and baryonic number	95
3.8	Leptonic flavours and lepton number	97
3.9	Isospin	98
3.10	The sum of two isospins: the product of two representations	101
3.11	$G$ -parity	104
	Problems	105
	Further reading	108
4	Hadrons	109
4.1	Resonances	109
4.2	The $3/2^+$ baryons	113
4.3	The Dalitz plot	119
4.4	Spin, parity, isospin analysis of three-pion systems	122
4.5	Pseudoscalar and vector mesons	126
4.6	The quark model	131
4.7	Mesons	133
4.8	Baryons	136
4.9	Charm	142
4.10	The third family	151
4.11	The elements of the Standard Model	157
	Problems	160
	Further reading	163
5	Quantum electrodynamics	164
5.1	Charge conservation and gauge symmetry	164
5.2	The Lamb and Retherford experiment	165
5.3	Quantum field theory	170
5.4	The interaction as an exchange of quanta	173
5.5	The Feynman diagrams and QED	176
5.6	Analyticity and the need for antiparticles	180
5.7	Electron–positron annihilation into a muon pair	183
5.8	The evolution of $\alpha$	186
	Problems	192
	Further reading	193
6	Chromodynamics	194
6.1	Hadron production at electron–positron colliders	194
6.2	Scattering experiments	199

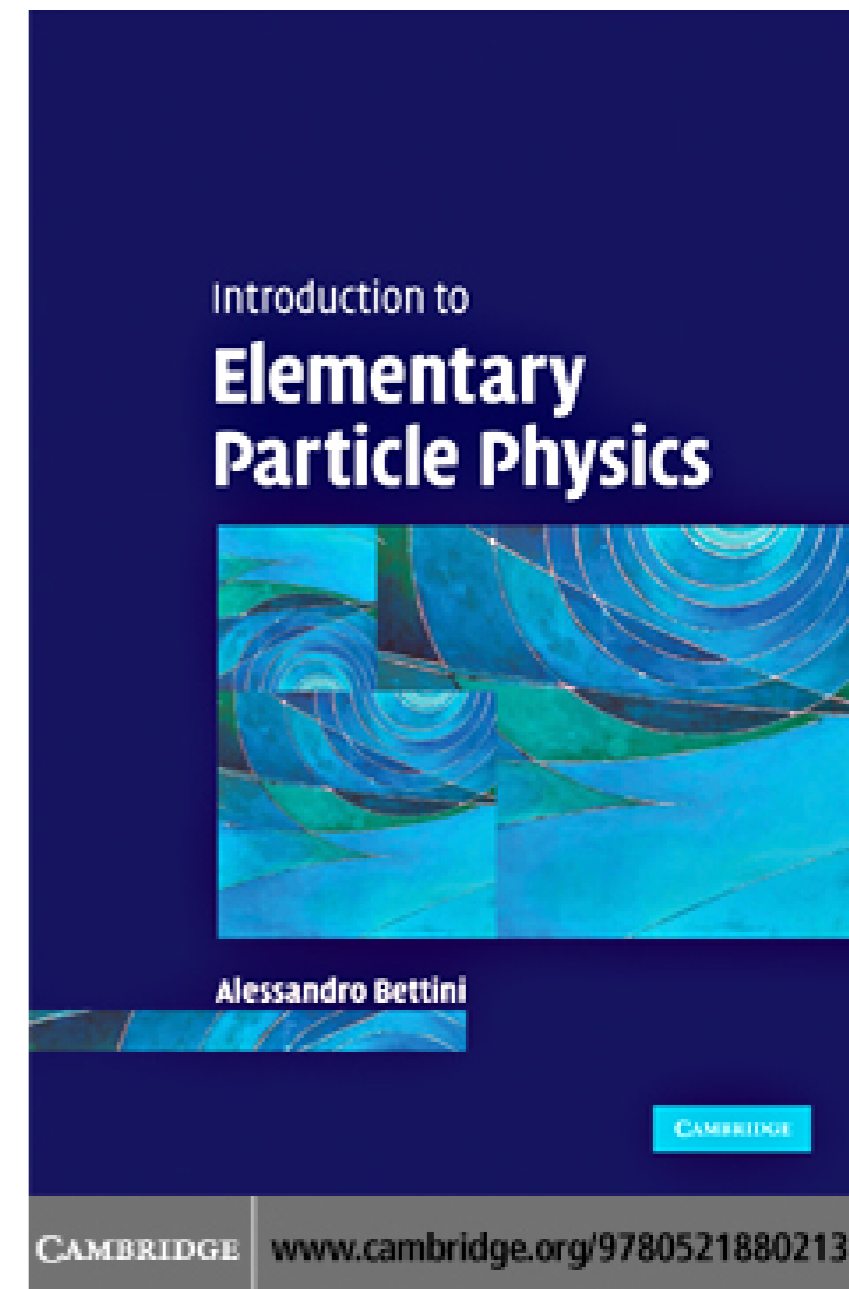


# Programma - Particelle (3/4)

## Contents

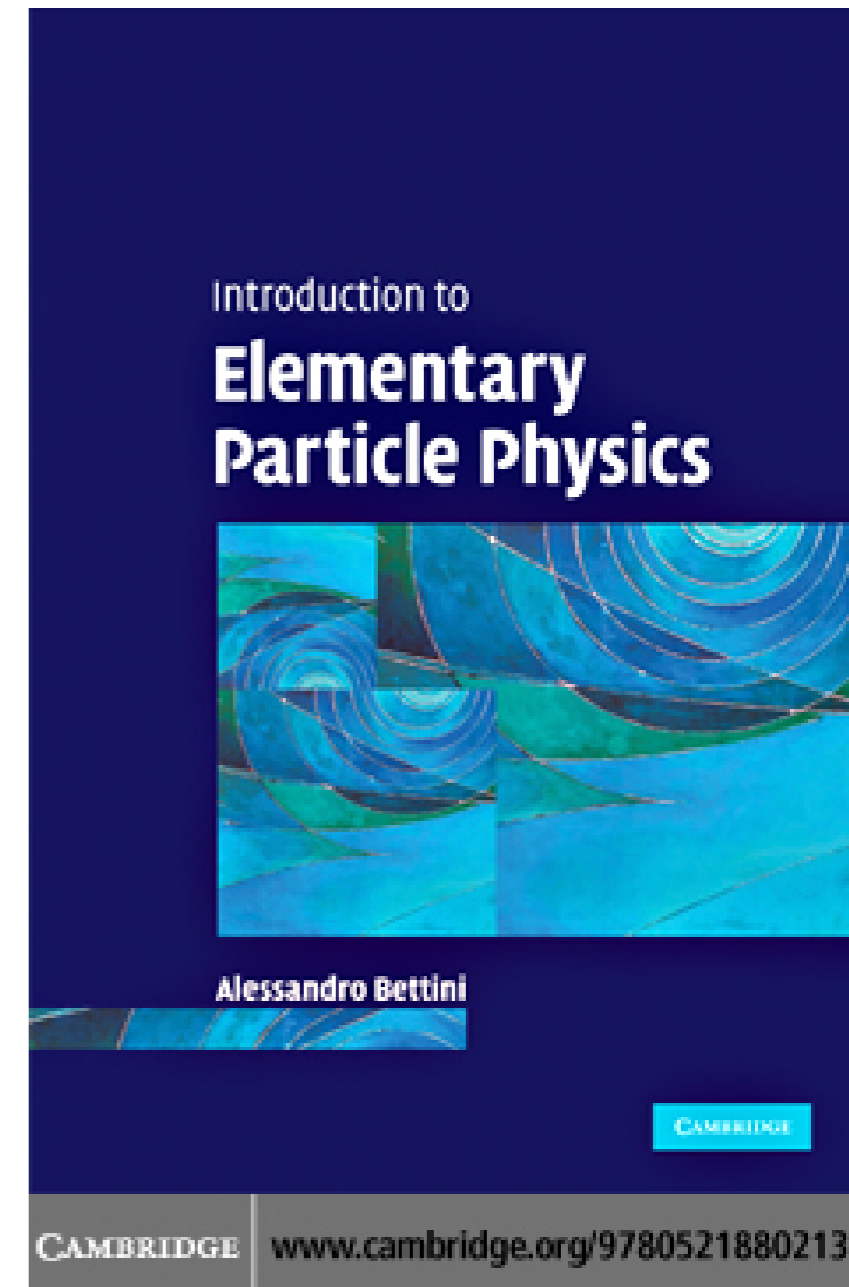
vii

6.3	Nucleon structure	203
6.4	The colour charges	213
6.5	Colour bound states	217
6.6	The evolution of $\alpha_s$	221
6.7	The origin of hadron mass	226
6.8	The quantum vacuum	229
	Problems	231
	Further reading	233
7	Weak interactions	234
7.1	Classification of weak interactions	234
7.2	Low-energy lepton processes and the Fermi constant	236
7.3	Parity violation	240
7.4	Helicity and chirality	245
7.5	Measurement of the helicity of leptons	249
7.6	Violation of the particle–antiparticle conjugation	256
7.7	Cabibbo mixing	257
7.8	The Glashow, Iliopoulos and Maiani mechanism	260
7.9	The quark mixing matrix	262
7.10	Weak neutral currents	271
	Problems	272
	Further reading	275
8	The neutral $K$ and $B$ mesons and $CP$ violation	276
8.1	The states of the neutral $K$ system	276
8.2	Strangeness oscillations	279
8.3	Regeneration	282
8.4	$CP$ violation	284
8.5	Oscillation and $CP$ violation in the neutral $B$ system	288
8.6	$CP$ violation in meson decays	298
	Problems	302
	Further reading	303
9	The Standard Model	304
9.1	The electroweak interaction	304
9.2	Structure of the weak neutral currents	307
9.3	Electroweak unification	309
9.4	Determination of the electroweak angle	313
9.5	The intermediate vector bosons	320
9.6	The UA1 experiment	324
9.7	The discovery of $W$ and $Z$	329
9.8	The evolution of $\sin^2\theta_W$	336
9.9	Precision tests at LEP	338



# Programma - Particelle (4/4)

viii	<i>Contents</i>	
9.10	The interaction between intermediate bosons	344
9.11	The search for the Higgs boson	347
	Problems	350
	Further reading	353
10	Beyond the Standard Model	354
10.1	Neutrino mixing	354
10.2	Neutrino oscillation	358
10.3	Flavour transition in matter	367
10.4	The experiments	373
10.5	Limits on neutrino mass	379
10.6	Challenges	382
	Further reading	385
	<i>Appendix 1 Greek alphabet</i>	386
	<i>Appendix 2 Fundamental constants</i>	387
	<i>Appendix 3 Properties of elementary particles</i>	388
	<i>Appendix 4 Clebsch–Gordan coefficients</i>	393
	<i>Appendix 5 Spherical harmonics and d-functions</i>	395
	<i>Appendix 6 Experimental and theoretical discoveries in particle physics</i>	396
	<i>Solutions</i>	399
	<i>References</i>	418
	<i>Index</i>	424



Materiale didattico (slide, articoli):

<https://elearning.unimib.it/course/view.php?id=26351>

Link utili:

- Costanti fondamentali e proprietà della particelle: PDG (<http://pdg.lbl.gov/>)
- Carta dei nuclidi: NNDC (<http://www.nndc.bnl.gov/chart/>)
- Masse atomiche ed energie di legame: AME2012 (<http://amdc.impcas.ac.cn/evaluation/data2012/paper/AME2012-2.pdf>)
- Spin e momenti magnetici Nuclear data services (<https://www-nds.iaea.org/nuclearmoments/>)