

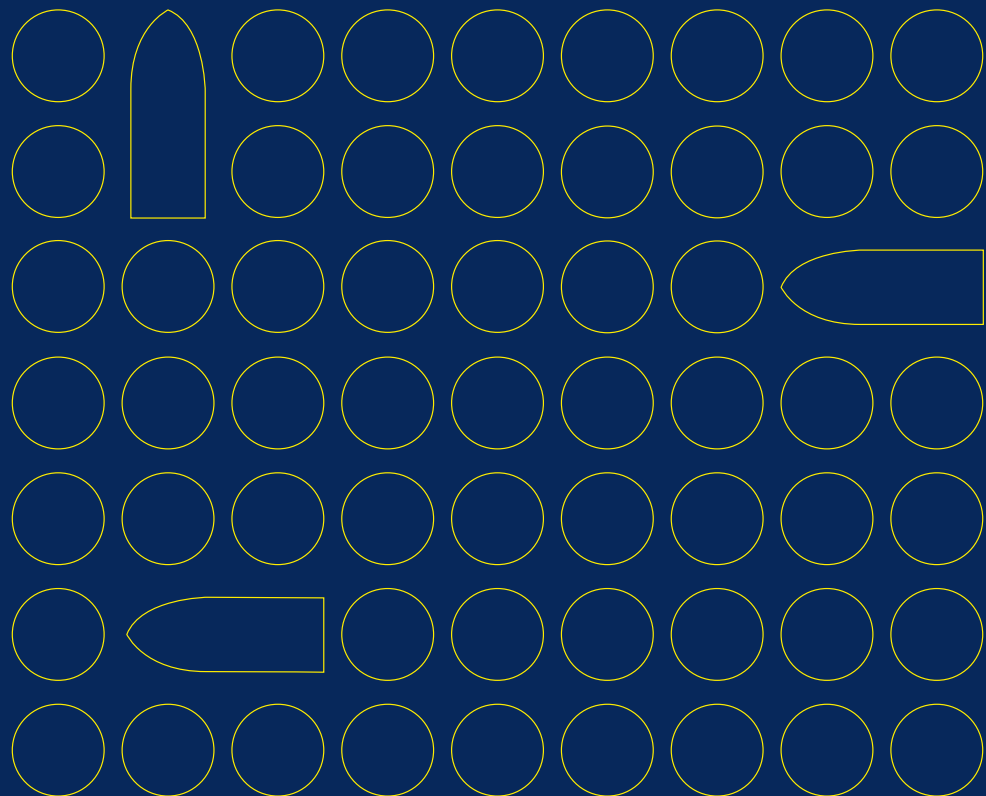


Cristian Bettin



# I PROIETTILI

## TECNOLOGIA E BALISTICA



I PROIETTILI • TECNOLOGIA E BALISTICA



di Cristian Bettin

Cristian Bettin

# **I Proiettili**

## **Tecnologia e balistica**

Con 38 tabelle e 162 illustrazioni

Padova  
2015

---

# Indice

## Elenco delle tabelle

### Prefazione

### 1 Nozioni di Fisica

1.1	Introduzione	1
1.2	Sistema di riferimento	1
1.3	Unità di misura	2
1.4	Grandezze misurate e sistema di riferimento	3
1.5	Meccanica dei corpi rigidi	3
1.5.1	Cinematica	3
1.5.1.1	Indipendenza dei moti	3
1.5.1.2	Il moto rettilineo (velocità, accelerazione)	4
1.5.1.3	Moto circolare	7
1.5.2	Massa, forza, quantità di moto, impulso, assiomi di Newton, tensioni	9
1.5.2.1	La massa	9
1.5.2.2	Forza	10
1.5.2.3	Quantità di moto e impulso	10
1.5.2.4	Assiomi di Newton	10
1.5.2.5	Tensioni	11
1.5.3	Lavoro ed energia	12
1.5.3.1	Lavoro	12
1.5.3.2	Energia	13
1.5.4	Moti rotatori	13
1.5.4.1	Il momento	13
1.5.4.2	Il momento d'inerzia di un corpo	14
1.5.4.3	Impulso rotazionale ed energia di rotazione	14
1.5.4.4	Confronto tra moto lineare e di rotazione	15
1.5.5	Leggi di conservazione	15
1.5.5.1	Conservazione della massa	15
1.5.5.2	Conservazione del baricentro	15
1.5.5.3	Conservazione dell'impulso	16
1.5.5.4	Conservazione dell'impulso rotazionale	16
1.5.5.5	Conservazione dell'energia	16
1.5.6	Equazioni del moto	17
1.5.6.1	Traiettorie nel vuoto	17
1.5.7	Note sull'uso pratico di alcune misure	19
1.5.8	Gli urti	20
1.5.8.1	Urto elastico	20
1.5.8.2	Urto anelastico	21
1.5.8.3	Urto parzialmente elastico	22
1.6	Meccanica dei fluidi	23

## I Proiettili – Tecnologia e balistica

---

1.6.1	Cenni di termodinamica	23
1.6.1.1	Temperatura e calore	23
1.6.1.2	Lo stato della materia	25
1.6.1.3	Equazione di stato dei gas	25
1.6.1.4	Calore, lavoro ed energia interna	26
1.6.1.5	Velocità del suono e numero di Mach	27
1.6.2	I fluidi	28
1.6.2.1	Attrito nei fluidi (viscosità)	28
1.6.2.2	Equazione di Bernoulli	29
1.6.2.3	Forze agenti sui corpi immersi in un fluido	30
1.6.2.4	La portanza	31
1.6.2.5	L'effetto Magnus	31

## 2 Armi e munizioni – Introduzione e definizioni

2.1	Le munizioni	33
2.1.1	Elementi e nomenclatura delle munizioni per armi a canna rigata	33
2.1.2	Il proiettile	34
2.1.3	Il bossolo	37
2.1.4	La polvere da sparo	40
2.1.4.1	Introduzione	40
2.1.4.2	La polvere nera	41
2.1.4.3	La polvere da sparo infume	43
2.1.5	L'innesco	44
2.2	Le armi	47
2.2.1	Parti fondamentali di un'arma	47
2.2.1.1	La canna	47
2.2.1.2	L'otturatore	49
2.2.1.3	Il sistema di scatto	51
2.2.1.4	Il sistema di mira	53
2.3	Categorie di armi	54
2.3.1	Armi corte	54
2.3.2	Armi lunghe	56
2.4	Tipi di munizione	57
2.4.1	Introduzione	57
2.4.2	Munizioni per arma corta	58
2.4.2.1	Munizioni per pistola	58
2.4.2.2	Munizioni per revolver	59
2.4.3	Munizioni per arma lunga	60
2.4.3.1	Munizioni per uso militare	60
2.4.3.2	Munizioni da caccia e da tiro per arma rigata	62
2.4.3.3	Munizioni per fucili a canna liscia	63

## 3 Balistica

3.1	Introduzione	65
3.2	La densità sezionale	67

---

**4 Balistica interna**

4.1	Introduzione	69
4.2	Lo sparo, fasi interne alla canna	69
4.2.1	L'accensione	69
4.2.2	La combustione della polvere da sparo	70
4.2.3	Movimento del proiettile e andamento delle pressioni	72
4.2.4	Bilancio energetico	74
4.3	Leggi di balistica interna	75
4.3.1	Il rapporto di espansione	77
4.3.2	La pressione media e il rapporto di pressione, l'importanza della densità sezionale	77
4.3.3	Calcoli semplificati di balistica interna – il metodo di Heydenreich	79
4.4	Forze di rotazione sul proiettile	82

**5 Balistica intermedia**

5.1	Introduzione	85
5.2	L'espansione dei gas alla volata	85
5.3	Il rinculo	87
5.3.1	Calcolo dell'impulso di rinculo	88
5.3.2	Velocità ed energia di rinculo	89
5.3.3	La sensazione di rinculo	90
5.3.4	La rotazione dell'arma causata dal rinculo	90
5.3.5	Metodi per ridurre l'energia di rinculo	91
5.4	Le vibrazioni della canna	92

**6 Balistica esterna**

6.1	Introduzione	93
6.2	L'atmosfera	94
6.3	La resistenza aerodinamica	95
6.3.1	Il coefficiente di resistenza aerodinamico	96
6.3.2	Il coefficiente balistico	98
6.3.3	Storia del coefficiente balistico	98
6.3.4	Definizione del coefficiente balistico	99
6.3.5	Le componenti della resistenza aerodinamica	103
6.4	Altre forze agenti sul proiettile	105
6.4.1	La forza peso	105
6.4.2	Forze generate dal movimento proprio del proiettile	106
6.5	Stabilità e tracciabilità di un proiettile	108
6.5.1	Definizione di stabilità	108
6.5.2	La stabilità dei proiettili	108
6.5.3	La stabilità giroscopica	111
6.5.4	Stabilizzazione senza rotazione giroscopica	113
6.5.5	Stabilizzazione frontale	114
6.5.6	La tracciabilità	114
6.6	Ottimizzazione dei proiettili	116
6.6.1	La forma aerodinamica ottimale di un proiettile	116

## I Proiettili – Tecnologia e balistica

---

6.6.2	Ottimizzare la punta di un proiettile: Ogive di Haack e di Newton	118
6.6.3	Ogive tangenti e secanti	121
6.6.4	Confronto tra le ogive	122
6.6.5	La punta “appuntita”	124
6.6.6	Ottimizzare la base di un proiettile	125
6.6.7	Forma aerodinamica ideale: conclusioni pratiche	128
6.7	Il peso del proiettile	130
6.8	Il vento	133
6.9	Tiri verso l’alto e verso il basso	135
6.10	Tiri verticali in aria	136

### 7 I rimbalzi

7.1	Introduzione	139
7.2	Definizione di rimbalzo e parametri di misura	139
7.2.1	Parametri di rimbalzo	140
7.3	Descrizione dei rimbalzi	141
7.3.1	L’angolo limite (d’impatto)	142
7.3.2	Classificazione delle superfici d’impatto e reazioni di rimbalzo	143
7.3.3	Superfici rigide (non cedevoli)	144
7.3.4	Superfici cedevoli	144
7.3.4.1	Superfici cedevoli non frangibili	145
7.3.4.2	Superfici cedevoli frangibili	145
7.4	Osservazione d’uso forense sulla direzionalità del tiro	146
7.5	L’acqua	146
7.6	Pericolosità dei rimbalzi	147

### 8 Balistica terminale

8.1	Introduzione	151
8.2	Classificazione della balistica terminale	152
8.3	Modelli di penetrazione dei corpi rigidi	154
8.3.1	Il modello della fustellatura	155
8.3.2	Modello della dislocazione plastica	155
8.4	Densità di energia e densità sezionale	156
8.5	Profondità di penetrazione e capacità distruttiva	158
8.6	La perforazione di lamine, setti e materiali sottili	159
8.7	Alcune conseguenze pratiche dell’influenza di $q$ e $v$	160
8.7.1	Lamiere in serie	160
8.7.2	Capacità di penetrazione in funzione del materiale e della velocità	161
8.7.3	Capacità di penetrazione dei proiettili d’ordinanza, esperienze pratiche	163
8.7.3.1	Calibro 5,56x45 NATO	163
8.7.3.2	Calibri 7,62x51 NATO e 12,7x99 (.50)	165
8.8	Classificazione balistica dei materiali solidi	166
8.8.1	Materiali con caratteristiche vetrose	166
8.8.2	Tutti gli altri materiali	167
8.8.3	Differenze tra i due tipi di materiale	167

---

8.9	Le protezioni balistiche – metodo d’analisi	169
8.9.1	Introduzione	169
8.9.2	Definizione della minaccia balistica	170
8.9.3	Probabilità di difesa	175
8.10	Le protezioni balistiche – i collaudi	179
8.10.1	Filosofia dei collaudi balistici	179
8.10.2	I capitolati di collaudo	180
8.10.3	Metodi di prova	182
8.10.4	Alcune considerazioni generali sui parametri di prova	184
8.10.5	Confronto tra i livelli di protezione dei giubbotti antiproiettile	187
8.10.6	Analisi degli effetti dietro la protezione balistica	188
8.11	Considerazioni sulle formule empiriche usate per valutare la capacità di penetrazione di un proiettile e sui metodi teorici d’analisi	188

## **9 Storia e tipologie**

9.1	Perché esistono i proiettili	193
9.2	Evoluzione storica dei proiettili	194
9.2.1	Introduzione	194
9.2.2	Gli albori – le pietre	194
9.2.3	Proiettili sferici	195
9.2.4	Proiettili allungati	197
9.2.5	I proiettili blindati per arma lunga	198
9.2.5.1	Storia dei proiettili “Dum Dum”	200
9.3	Evoluzione dei proiettili militari per arma lunga	204
9.4	Traccianti e spotter	208
9.5	Perforanti	210
9.6	Sintesi dell’evoluzione tecnica dei proiettili per arma lunga	211
9.7	Proiettili per arma corta – cenni evolutivi	213
9.8	Proiettili da caccia per armi a canna rigata	214
9.9	Proiettili da caccia per armi a canna liscia	219
9.10	Proiettili per armi corte	221
9.10.1	Proiettili blindati, di piombo e rivestiti	223
9.10.2	Proiettili solidi leggeri non espansivi e senza piombo	224
9.10.3	Proiettili espansivi	225
9.10.4	Proiettili esotici per arma corta	228
9.11	Proiettili sottocalibrati con sabot	229
9.12	Proiettili autocalibranti, flangiati e canne coniche	230
9.13	Proiettili tubolari	232
9.14	Proiettili multipli	234

## **10 Tecnologia e strumenti di lavoro**

10.1	Le principali tecnologie di produzione dei proiettili	235
10.2	La produzione dei mantelli e dei proiettili blindati	236
10.3	La produzione dei proiettili di piombo e rivestiti	243
10.4	I proiettili senza piombo	245
10.5	Gli strumenti di misura: pressione e velocità	246

## I Proiettili – Tecnologia e balistica

---

10.5.1	Misurare la pressione delle munizioni	247
10.5.2	Misurare la velocità dei proiettili	251
10.6	I simulatori usati in balistica lesionale	253
10.6.1	La gelatina balistica	255
10.6.2	Analisi della gelatina balistica	257
10.6.3	Il sapone balistico	258
10.7	I paradossi balistici	260

### 11 Appendice

A.1-2	Pesi e misure	263
A.3	Momenti d'inerzia e coordinate del baricentro	264
A.4	Dati balistici: Armi corte, proiettili standard	265
A.5	Dati balistici: Armi corte, proiettili da difesa	266
A.6	Dati balistici: Armi lunghe rigate, calibri militari o in uso presso le forze armate	267
A.7	Caratteristiche dei materiali con proprietà fluide	267
A.8	Dati balistici: Armi lunghe a canna liscia	268

<b>Bibliografia</b>	269
---------------------	-----

### Elenco delle tabelle

Tab. 1.1	Velocità tipiche della balistica	5
Tab. 1.2	Accelerazioni tipiche in balistica	6
Tab. 1.3	Velocità angolare $\omega$ , frequenza angolare $f$ e velocità periferica $v$ , tipiche di alcuni proiettili	8
Tab. 1.4	Valori indicativi di energia cinetica	13
Tab. 1.5	Confronto tra moto lineare e di rotazione	15
Tab. 2.1	Nomi e acronimi dei proiettili	35
Tab. 2.2	Esempi di polvere nera commerciale	42
Tab. 2.3	Caratteristiche delle polveri da sparo	44
Tab. 3.1	Confronto delle grandezze fisiche in balistica interna, esterna e terminale	66
Tab. 3.2	Densità sezionale	68
Tab. 4.1	Bilancio energetico calibro .308 Winchester (valori indicativi)	75
Tab. 4.2	Fattori di Heydenreich	82
Tab. 4.3	Fattori di Heydenreich	82
Tab. 6.1	Valori di stabilità e tracciabilità di un proiettile M80 7,62 NATO	115
Tab. 7.1	Rimbalzi da legno di abete rosso, venatura di traverso, spessore 40mm	149
Tab. 7.2	Angolo di rimbalzo massimo $\beta_{max}$ in funzione dell'angolo di impatto $\alpha$	149
Tab. 8.1	Numero di colpi calibro 5,56x45, con proiettile ordinario SS109, necessari per sfondare una parete. Distanza di tiro 25-100m	164
Tab. 8.2	Penetrazione del proiettile ordinario M80, sparato dalle armi calibro 7,62x51	165



---

Tab. 8.3	Numero di colpi calibro 7,62 necessari per sfondare una parete (a 25m)	165
Tab. 8.4	Classificazione della minaccia per i calibri d'arma corta più comuni	171
Tab. 8.5	Energia e densità di energia dei calibri militari più diffusi	174
Tab. 8.6	Energia e densità di energia di alcuni calibri da caccia	174
Tab. 8.7	Esempi di energia e densità di energia	181
Tab. 8.8	Confronto tra gli standard internazionali dei giubbotti antiproiettile	187
Tab. 8.9	Densità di energia per un 50% di rischio di penetrazione	191
Tab. 8.10	Esempio di resistenza dei materiali per muri di protezione nei poligoni	192
Tab. 9.1	Precisione di tiro nelle armi ad avancarica, a canna liscia, con palla sferica. Numero di proiettili andati a bersaglio. Salve da 200 colpi, bersaglio 1,88 x 34,1m	205
Tab. 9.2	Anno d'introduzione dei proiettili con ogiva appuntita	208
Tab. 9.3	Anno d'introduzione dei proiettili traccianti	210
Tab. 10.1	Differenze nella strumentazione di misura del 9x19, a parità di sensore, per 4 committenti diversi ma nello stesso paese (Germania)	250