



Claudio D'Amico-Fabrizio Innocenti-Francesco P. Sassi

MAGMATISMO E METAMORFISMO



UTET

SOMMARIO

<i>Prefazione</i>	p.	XV
1. INTRODUZIONE	»	1
1.1. Struttura e composizione della terra	»	1
1.1.1. La struttura interna	»	1
1.1.2. La composizione degli involucri terrestri	»	4
1.2. Cenni sulla tettonica delle placche	»	12
1.3. I processi petrogenetici	»	19

MAGMATISMO

2. LE ROCCE MAGMATICHE	»	25
2.1. Caratteri strutturali in rapporto ai modi di solidificazione	»	25
2.2. I minerali	»	30
2.2.1. Quarzo	»	31
2.2.2. Alcalifeldspati	»	31
2.2.3. Plagioclasti	»	33
2.2.4. Rapporti fra alcalifeldspati e plagioclasti	»	33
2.2.5. Feldspatoidi o foidi	»	34
2.2.6. Olivine	»	34
2.2.7. Ortopirosseni	»	35
2.2.8. Clinopirosseni	»	35
2.2.9. Rapporti tra ortopirosseni e clinopirosseni	»	35
2.2.10. Anfiboli	»	36
2.2.11. Relazioni fra pirosseni e anfiboli	»	36
2.2.12. Biotite	»	37
2.2.13. Muscovite e Al-minerali	»	37
2.2.14. Minerali fondamentali rari	»	38
2.2.15. Ossidi di Fe, Ti, Cr	»	38
2.2.16. Minerali accessori	»	38
2.3. Composizione chimica delle rocce magmatiche e principali classificazioni su base chimica	»	39
2.3.1. I caratteri generali	»	39
2.3.2. Saturazione di SiO_2	»	41
2.3.3. Saturazione di Al_2O_3	»	41
2.3.4. Alcalinità	»	42
2.4. Classificazione generale e nomenclatura delle rocce eruttive	»	43
2.4.1. I criteri di classificazione generale	»	43
2.4.2. Classificazione delle rocce plutoniche	»	43
2.4.3. Classificazione delle rocce vulcaniche	»	48
2.4.4. Eteromorfismo	»	52
2.4.5. Nomenclatura delle rocce ipoabissali	»	53

3. IL MAGMA	p.	55
3.1. Il magma	»	55
3.1.1. Natura del magma	»	55
3.1.2. Viscosità	»	56
3.1.3. Densità	»	58
3.1.4. La solubilità dell'acqua e di altri costituenti volatili	»	60
3.2. I vulcani	»	62
3.2.1. L'attività vulcanica	»	62
3.2.2. I prodotti vulcanici	»	65
3.2.3. Le strutture e i corpi vulcanici	»	71
3.2.4. I corpi plutonici e ipoabissali	»	76
3.3. Il movimento del magma	»	79
3.3.1. La risalita dei magmi	»	79
3.3.2. La messa in posto dei plutoni	»	83
4. LA CRISTALLIZZAZIONE MAGMATICA	»	89
4.1. Elementi di termodinamica elementare	»	89
4.1.1. Primo principio della termodinamica. Entalpia. Capacità termica ..	»	89
4.1.2. Secondo e terzo principio della termodinamica	»	90
4.1.3. L'energia libera	»	91
4.1.4. Energia libera e costante di equilibrio	»	93
4.1.5. Influenza di T e di P sugli equilibri	»	94
4.1.6. Equazione di Clapeyron	»	95
4.2. Regola delle fasi e diagrammi di stato	»	95
4.3. Sistemi a due componenti totalmente miscibili allo stato liquido ed immiscibili allo stato solido	»	97
4.4. Cristallizzazione frazionata e fusione parziale	»	98
4.5. Curve teoriche e curve sperimentali di cristallizzazione	»	100
4.6. Sistemi a due componenti totalmente miscibili allo stato solido e allo stato liquido	»	100
4.7. Fusione congruente ed incongruente	»	104
4.8. Sistemi ternari	»	106
4.9. Sistemi pseudobinari	»	108
4.10. Il sistema diopside-albite-anortite	»	109
4.11. Alcuni sistemi di particolare rilevanza petrogenetica	»	112
4.12. Il sistema feldspatico ternario	»	117
4.13. Il sistema granitico	»	120
4.14. Il sistema petrogenetico residuale	»	122
4.15. L'effetto plagioclasio e le rocce peralcaline	»	125
4.16. Sistemi comprendenti elementi con variabile numero di ossidazione: influenza dell'ossigeno sulla cristallizzazione magmatica	»	126
4.17. Cenno sui sistemi quaternari	»	131
5. STORIA DEI MAGMI: PROVENIENZA E DIFFERENZIAZIONE	»	135
5.1. Condizioni di temperature e pressione del processo di formazione e differenziazione dei magmi: indicazioni termodinamiche	»	135
5.1.1. Geotermometri e geobarometri	»	135
5.1.2. Equilibrio plagioclasio-liquido (geotermometro di Kudo e Weill) ...	»	137
5.1.3. Equilibrio feldspato alcalino-plagioclasio	»	138
5.1.4. Equilibrio tra gli ossidi di ferro e titanio	»	140
5.2. Valutazione termodinamica di P e di T nei processi di cristallizzazione e genesi di magmi	»	141
5.3. La differenziazione magmatica	»	145
5.3.1. Cristallizzazione frazionata	»	146
5.3.2. Separazione di una fase gassosa	»	151

5.3.3.	Immiscibilità di liquidi	p. 152
5.3.4.	Differenziazione omogenea	» 153
5.4.	L'assimilazione	» 158
5.5.	Il comportamento degli elementi in traccia nel processo igneo	» 162
5.5.1.	Tendenze generali di comportamento	» 162
5.5.2.	Comportamento alla cristallizzazione	» 164
5.5.3.	Comportamento alla fusione	» 167
6.	LE SERIE MAGMATICHE	» 171
6.1.	Introduzione	» 171
6.2.	I diagrammi di variazione	» 171
6.3.	Serie alcaline e subalcaline	» 174
6.4.	Classificazione delle serie magmatiche	» 178
6.5.	La classificazione chimica dei basalti	» 179
7.	LE ASSOCIAZIONI OROGENICHE	» 183
7.1	Configurazione delle zone di convergenza	» 183
7.2.	Variazioni spazio-temporali del vulcanismo orogenico	» 187
7.3.	Caratteri chimici e petrografici delle serie orogeniche	» 191
7.4.	Petrogenesi delle andesiti	» 195
7.4.1.	Condizioni generali	» 195
7.4.2.	Ipotesi di derivazione eclogitica	» 197
7.4.3.	Ipotesi della magmatogenesi a più stadi	» 198
7.4.4.	Il frazionamento da magmi basaltici	» 200
7.4.5.	L'influenza della crosta continentale	» 202
7.4.6.	Conclusione	» 204
7.5.	Il plutonismo orogenico	» 204
7.5.1.	Inquadramento	» 204
7.5.2.	Le tipologie e le loro variazioni spazio-temporali	» 205
7.5.3.	Il plutonismo calcocalino	» 208
7.5.4.	Il plutonismo a dominante granitica	» 212
7.5.5.	Relazioni tra plutonismo e vulcanismo orogenici	» 216
7.6.	Genesi ed evoluzione dei magmi plutonici orogenici	» 216
7.6.1.	Aspetti geologico-evolutivi	» 217
7.6.2.	Caratterizzazioni geochimiche dell'evoluzione plutonica	» 219
7.6.3.	Provenienza ed evoluzione dei magmi plutonici	» 223
8.	LE ASSOCIAZIONI ALCALINE	» 229
8.1.	Generalità	» 229
8.2.	Le serie mediamente alcaline	» 230
8.2.1.	Le serie alcalino-sodiche	» 230
8.2.2.	Le serie alcalino potassiche	» 233
8.3.	Le serie transizionali	» 235
8.4.	Le serie fortemente alcaline: l'esempio della provincia comagmatica romana ..	» 239
9.	LE ASSOCIAZIONI THOLEIITICHE	» 245
9.1.	Caratteri generali	» 245
9.2.	I plateaux basaltici	» 246
9.2.1.	Caratteri petrologici e geochimici	» 246
9.2.2.	Genesi ed evoluzione	» 248

VIII *Sommario*

9.3.	Le tholeiiti oceaniche	p.	249
9.3.1.	Caratteri petrologici e geochimici	»	249
9.3.2.	Genesi ed evoluzione	»	253
9.4.	I plutoni basici-ultrabasici	»	258
9.4.1.	Quadro geologico	»	258
9.4.2.	Caratteri dei plutoni basici-ultrabasici	»	259
9.4.3.	Un cenno ai fenomeni di cumulo	»	262
9.4.4.	Genesi della stratigrafia e della struttura dei plutoni	»	263
9.5.	Le ofioliti	»	265
9.5.1.	Quadro geologico	»	265
9.5.2.	I complessi ofiolitici e la loro interpretazione	»	268

METAMORFISMO

10.	DEFINIZIONE, FATTORI E MECCANISMI DEL METAMORFISMO	»	277
10.1	Inquadramento generale	»	277
10.2	Fattori del metamorfismo	»	282
10.2.1.	Generalità	»	282
10.2.2.	La fase fluida	»	283
10.2.3.	La temperatura	»	290
10.2.4.	La pressione	»	293
10.2.5	L'attività dinamica (o la deformazione)	»	295
10.3	Meccanismi del metamorfismo	»	296
10.3.1.	Generalità	»	296
10.3.2.	Attivazione	»	297
10.3.3.	Migrazione	»	299
10.3.4.	Nucleazione	»	300
10.3.5.	Accrescimento di cristalli	»	301
11.	LO STUDIO DELLE ROCCE METAMORFICHE	»	303
11.1	Scopi	»	303
11.2.	Ausili grafici	»	303
11.2.1.	Generalità	»	303
11.2.2.	Diagrammi chemografici vari	»	304
11.2.3.	Diagrammi ACF e A'KF	»	306
11.2.4.	Diagramma AFM	»	307
11.2.5.	Esempi di rappresentazioni tetraedriche	»	310
11.2.6.	L'uso di diagrammi chemografici e significato delle linee di congiunzione	»	310
11.3.	Metodi e criteri di studio delle rocce metamorfiche	»	313
11.4.	Cenni di nomenclatura delle rocce metamorfiche	»	314
12.	IL RINNOVAMENTO MINERALOGICO	»	317
12.1.	Le associazioni mineralogiche metamorfiche	»	317
12.1.1.	Generalità	»	317
12.1.2.	Le associazioni mineralogiche come prodotto di equilibrio	»	318
12.1.3.	Associazioni mineralogiche "limitanti" e "non-limitanti"	»	319
12.2.	Le reazioni metamorfiche	»	322
12.2.1.	Generalità	»	322
12.2.2.	Reazioni solido-solido	»	323
12.2.3.	Reazioni solido-(solido + fluido)	»	324

12.2.4.	Reazioni di ossido-riduzione	p.	328
12.2.5.	Reazioni di scambio ionico	»	329
12.2.6.	Reazioni discontinue e reazioni continue	»	330
12.2.7.	Riconoscimento delle reazioni metamorfiche nelle rocce	»	332
12.2.8.	Reversibilità delle reazioni metamorfiche. Metamorfismo retrogrado	»	333
12.3.	Metodo di Schreinemakers per localizzare le curve di reazione univarianti nel campo T - P	»	334
12.4.	Prove di equilibrio	»	336
13.	IL RINNOVAMENTO STRUTTURALE	»	339
13.1	Introduzione	»	339
13.2.	Le strutture metamorfiche più comuni	»	340
13.3.	I limiti intergranulari	»	343
13.4.	Le dimensioni dei cristalli	»	346
13.4.1.	Le dimensioni dei cristalli della matrice	»	346
13.4.2.	La porfiroblastesi	»	347
13.5.	La forma dei cristalli	»	348
13.6	Le orientazioni preferenziali	»	349
13.7.	Microstrutture di reazione	»	352
13.7.1.	Generalità	»	352
13.7.2.	I bordi di reazioni e le microstrutture coronitiche	»	353
13.7.3.	Le microstrutture di smistamento	»	354
13.7.4.	Le pseudomorfofosi	»	355
13.8.	La successione delle cristallizzazioni. Analisi dei rapporti cronologici fra cristallizzazioni e deformazioni	»	357
13.8.1.	Generalità	»	357
13.8.2.	Effetti deformativi	»	358
13.8.3.	Criteri di classificazione delle cristallizzazioni, pre-, sin- e post-cinematiche	»	361
13.8.4.	Rappresentazione schematica dell'evoluzione di un evento metamorfico	»	365
14.	TIPI DI METAMORFISMO. GRADUALITÀ DEI PROCESSI METAMORFICI. METAMORFISMI E GRADIENTI TERMICI	»	369
14.1.	Tipi di metamorfismo	»	369
14.2.	Grado metamorfico e facies metamorfiche	»	370
14.3.	Zoneografia metamorfica	»	374
14.4.	Metamorfismi e gradienti termici	»	377
15.	PROCESSI METAMORFICI CON $P_f = P_{TOT}$	»	381
15.1.	Anchimetamorfismo	»	381
15.2.	Metamorfismo di contatto	»	383
15.2.1.	L'aureola di contatto	»	383
15.2.2.	Gli effetti metamorfici principali	»	387
15.3.	Metamorfismo regionale di alto gradiente termico	»	391
15.3.1.	Caratteri generali	»	391
15.3.2.	Il diagramma delle fasi Al_2SiO_5	»	391
15.3.3.	Stabilità della cordierite	»	393
15.3.4.	Gli effetti metamorfici principali	»	395
15.4.	Metamorfismo regionale di gradiente termico intermedio	»	400

X Sommario

15.4.1.	Caratteri generali	p.	400
15.4.2.	Gli effetti metamorfici principali	»	401
15.4.3.	Tipi estremi di metamorfismo regionale di gradiente termico intermedio	»	409
15.5.	Metamorfismo di basso gradiente termico (o meglio di alto gradiente di pressione)	»	411
15.5.1.	Generalità	»	411
15.5.2.	La facies zeolitica	»	411
15.5.3.	Facies lawsonite-albite, facies lawsonite-glaucofane e facies lawsonite-giadeite + quarzo	»	412
15.5.4.	Ulteriori suddivisioni del campo <i>P-T</i> corrispondente al metamorfismo di alto gradiente di pressione	»	415
15.6.	Metamorfismo di fondo oceanico	»	420
16.	PROCESSI METAMORFICI CON $P_{H_2O} \ll P_{TOT}$	»	427
16.1.	Generalità	»	427
16.2.	Facies granulitica	»	427
16.2.1.	Definizione	»	427
16.2.2.	Le associazioni mineralogiche	»	428
16.2.3.	Le condizioni ambientali	»	430
16.3.	Facies eclogitica	»	432
16.3.1.	Definizione	»	432
16.3.2.	Le condizioni ambientali	»	433
16.3.3.	Evoluzione delle eclogiti	»	435
16.4.	Considerazioni conclusive	»	437
17.	GEOTERMOMETRIA E GEOBAROMETRIA BASATE SULLE REAZIONI CONTINUE	»	439
17.1.	Generalità	»	439
17.2.	Precauzioni nell'uso di metodi geotermometrici e geobarometrici	»	441
17.3.	Esempi di geotermometri e geobarometri basati su reazioni continue	»	445
17.3.1.	Geotermometro granato-biotite	»	445
17.3.2.	Geotermometro calcite-dolomite	»	446
17.3.3.	Geotermometro granato-clinopirosseno	»	447
17.3.4.	Geobarometria basata sul contenuto in celadonite s.s. nella muscovite	»	448
17.3.5.	Geobarometro muscovite-clorite-biotite	»	449
17.4.	Geotermometria e geobarometria basate su variazioni compositive di fasi soluzioni solide nell'ambito di reazioni discontinue	»	450
17.4.1.	Geobarometro ferrosilite = fayalite + quarzo	»	451
17.4.2.	Geobarometro cordierite-granato-sillimanite-quarzo	»	451
17.4.3.	Geotermobarometro clinopirosseno-ortopirosseno	»	452
18.	PROCESSI METAMORFICI LEGATI A MOBILITÀ CHIMICA ELEVATA	»	455
18.1.	Introduzione	»	455
18.2.	La differenziazione metamorfica	»	455
18.3.	Metasomatismo	»	457
18.3.1.	Generalità	»	457
18.3.2.	Meccanismi e fattori del metasomatismo metamorfico. Le reazioni di scambio ionico	»	458
18.3.3.	Principali effetti del metasomatismo metamorfico	»	461

19. METAMORFISMO ED EVOLUZIONE CROSTALE	p.	465
19.1. Generalità	»	465
19.2. Distribuzione dei complessi metamorfici di vario tipo	»	466
19.3. Regimi termici e tipi di metamorfismo	»	470
19.4. Altre considerazioni	»	473
19.4.1. Evoluzione delle strutture termiche durante un singolo evento metamorfico	»	474
19.4.2. L'influenza dell'erosione sugli equilibri metamorfici	»	475
19.4.3. Particolarità sulla struttura termica e le facies metamorfiche nella placca subdotta	»	475
19.4.4. Conseguenze della discordanza angolare fra superfici isoterme e isobare	»	478
19.4.5. Regimi termici e meccanismi di ispessimento crostale	»	481
19.5. Considerazioni conclusive	»	483
Appendice 1. Analisi modale in sezione sottile	»	485
Appendice 2. Calcoli petrochimici	»	487
Appendice 3. Raggi ionici dei principali elementi di interesse geochimico	»	492
Appendice 4. Dati termodinamici dei più importanti minerali delle rocce a T = 298, 15°K, P = 1 bar	»	496
Appendice 5. Valori di normalizzazione per le Terre Rare ed elementi incompatibili .	»	497
Appendice 6.	»	498
<i>Bibliografia generale</i>	»	501
<i>Indice analitico</i>	»	529