VALERIO MILANO

ACQUEDOTTI

Guida alla progettazione

BIBLIOTECA

EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

Indice

Prefazione

1 I fabbisogni idropotabili 1

1.1 Generalità sugli acquedotti 1
1.2 Generalità sulla domanda idropotabile 1
1.3 I fabbisogni idrici di un centro abitato 2
1.3.1 I vari tipi di utenze 2
1.3.2 Le perdite e gli sprechi d'acqua 2
1.3.3 I fabbisogni idrici delle varie utenze 3
1.3.4 La dotazione idrica per abitante 7
1.4 La previsione della popolazione futura 11
1.4.1 La legge di crescita aritmetica 12
1.4.2 La legge dell'interesse composto 13
1.4.3 La legge di crescita geometrica 14
1.4.4 La legge di crescita logistica 15
1.5 Fabbisogni idrici della popolazione non residente 18
1.6 Le variazioni di consumo 19
1.6.1 Le variazioni di consumo nell'arco dell'anno 19
1.6.2 Le variazioni di consumo nel corso del mese 20
1.6.3 Le variazioni di consumo nell'arco del giorno 21
1.6.4 Considerazioni sulle variazioni di consumo 23
1.7 Capacità di compenso dei serbatoi e delle vasche di accumulo in genere 25
1.7.1 Capacità di compenso dei serbatoi urbani 26
1.8 Dati riassuntivi relativi ai consumi e alla capacità di compenso dei serbatoi 30
Bibliografia 32

2 La qualità delle acque per uso potabile 35

2.1 Generalità 35
2.2 Caratteri fisici e organolettici 35
2.3 Caratteristiche chimiche 37
2.4 Le sostanze organiche contenute nell'acqua 40
2.5 Le sostanze tossiche 40
2.6 Le sostanze radioattive 41
2.7 L'aggressività dell'acqua 42

2.8 Caratteri batteriologici 42
2.9 Giudizio di potabilità di un'acqua 44
2.10 Le fonti di approvvigionamento 45
2.10.1 Le acque meteoriche 45
2.10.2 Le acque superficiali 46
2.10.3 Le acque sotterranee 46
2.11 Norme di carattere igienico per la derivazione, il trasporto e la distribuzione dell'acqua potabile 47
2.12 Gli standard delle acque potabili 48
2.13 Cenni sulla potabilizzazione delle acque 55
2.13.1 Generalità 55
2.13.2 I vari tipi di trattamento delle acque 57
2.14 Trattamenti fisici 58
2.15 Trattamenti chimici 60
2.16 Altri trattamenti 60
Bibliografia 64

3 Le acque di approvvigionamento per uso potabile e le opere di captazione 65

3.1 Le fonti convenzionali di approvvigionamento idrico 65
3.2 Le acque sotterranee 65
3.3 Le sorgenti 65
3.3.1 La classificazione delle sorgenti 66
3.3.2 Lo studio delle sorgenti 69
3.3.3 Opere di presa delle sorgenti 70
3.4 Le acque di falda 79
3.4.1 La presenza dell'acqua nel sottosuolo 79
3.4.2 L'infiltrazione dell'acqua nel suolo 80
3.4.3 L'alimentazione e lo scarico delle falde 83
3.4.4 Il bilancio idrologico 86
3.4.5 La ricarica delle falde idriche 87
3.4.6 I prelievi d'acqua dalle falde 88
3.4.7 Brevi richiami sui moti di filtrazione 89
3.4.8 Studi e indagini per l'utilizzazione delle falde 95
3.5 Prese dalla falda superficiale 99
3.5.1 Le gallerie filtranti 100
3.5.2 Pozzi ordinari 100
3.6 Prese da falde profonde 103
3.7 La tecnica di perforazione a percussione 103
3.8 Le tecniche di perforazione a rotazione 104
3.9 Caratteristiche principali delle tecniche di perforazione descritte 106

3.10 Il completamento dei pozzi e la tubazione di rivestimento definitivo 107
3.11 Penetrazione di un pozzo nell'acquifero e percentuale di parete filtrante 110
3.12 I filtri 113
3.13 I dreni o prefiltri 115
3.14 Lo sviluppo dei pozzi 117
3.15 Riattivazione dei pozzi 120
3.16 Prove di pompaggio dai pozzi 122
3.16.1 Le pompe adoperate 123
3.17 Sistemi di pozzi 126
3.18 Opere di presa da acque superficiali 128
Bibliografia 132

4 Le tubazioni per acquedotto 133

4.1 Premesse 133
4.2 Le normative esistenti 134
4.3 I vari tipi di tubazione 137
4.4 Tubazioni di ghisa 138
4.4.1 I tubi di ghisa sferoidale 139
4.4.2 Rivestimenti dei tubi di ghisa 143
4.4.3 Giunzioni dei tubi di ghisa 144
4.4.4 Pezzi speciali per le tubazioni in ghisa 147
4.4.5 Posa in opera dei tubi in ghisa 147
4.5 Le tubazioni di acciaio 149
4.5.1 Rivestimenti dei tubi d'acciaio 154
4.5.2 Giunti delle tubazioni d'acciaio 155
4.5.3 Pezzi speciali e posa in opera delle tubazioni d'acciaio 157
4.6 La corrosione e la protezione delle tubazioni metalliche 160
4.6.1 Protezione delle condotte d'acciaio dalla corrosione 161
4.6.2 La protezione attiva o catodica 162
4.7 La protezione dalla corrosione dei tubi di ghisa 164
4.8 Le tubazioni cementizie 165
4.8.1 I tubi in cemento armato semplice 166
Esemplificazione numerica 168
4.8.2 I tubi di cemento armato precompresso 168
4.8.3 Tubi di cemento armato con incorporato un tubo metallico molto sottile (tubi Bonna) 169
4.8.4 Giunti dei tubi in c.a., in c.a.p. e dei tubi Bonna 170
4.8.5 Prove per i tubi in c.a. e in c.a.p. 171
4.8.6 Pezzi speciali e posa in opera dei tubi in c.a. e c.a.p. 171
4.8.7 Vantaggi e svantaggi dei tubi in c.a. e c.a.p. 172
4.9 I tubi di cemento amianto 172

4.9.1 Norme per la fabbricazione dei tubi di cemento amianto 175
4.9.2 Giunti e raccordi per le tubazioni di cemento amianto 178
4.10 I tubi di materiale plastico 179
4.11 Tubazioni di policloruro di vinile (PVC) 181
4.11.1 Prove in stabilimento per i tubi di PVC 188
4.11.2 I giunti dei tubi di PVC 189
4.12 Tubi di polietilene a bassa densità (PEBD) 189
4.13 Tubi di polietilene ad alta densità (PEAD) 193
4.13.1 Giunti dei tubi di polietilene ad alta e a bassa densità 195
4.14 Tubi di polipropilene 197
4.15 Tubi di vetroresina (PRFV) 201
4.15.1 Giunti dei tubi di vetroresina 210
4.16 Tubazioni di altri materiali 212
4.17 Calcoli statici delle tubazioni 212
4.17.1 Le azioni sulle tubazioni interrate 212
4.17.2 La teoria di De Saedeleer 222
4.18 Verifica alle massime tensioni ammissibili 230
4.19 Verifica all'ovalizzazione della tubazione 230
4.20 Verifica all'instabilità elastica per depressione interna 234
Esemplificazione numerica 235
Bibliografia 240

5 Dimensionamento delle condotte esterne di adduzione 243

5.1 Formule di validità generale per il calcolo della resistenza al moto delle tubazioni 243
5.2 Formule pratiche 246
5.2.1 Formule del primo tipo (regime assolutamente turbolento) 249
5.2.2 Formule del secondo tipo (regime di transizione) 250
5.2.3 Formule relative ai tubi idraulicamente lisci 252
5.2.4 Le perdite di carico nelle tubazioni in servizio 252
5.3 Dimensionamento economico del sistema condotta adduttrice a gravità-serbatoio di compenso 254
5.4 Problemi di verifica delle reti di adduzione ramificate 258
5.5 Verifica delle reti funzionanti a gravità 259
Esemplificazione numerica 259
5.5.1 Verifica delle reti ramificate di tipo più complesso 261
5.6 Verifica delle condotte a sollevamento meccanico 263
5.7 Caso di più pompe o di più condotte in serie, o in parallelo o in serie-parallelo 265
5.7.1 Determinazione della caratteristica interna $(H-Q)_i$ 265
5.7.2 Pompe in serie 265

5.7.3 Pompe in parallelo 266
5.7.4 Pompe in serie-parallelo 266
5.7.5 Determinazione della caratteristica esterna $(H-Q)_e$ relativa a un sistema di condotte 266
5.7.6 Punto di funzionamento di un sistema costituito da più pompe e da più tronchi di tubazione comunque disposti 268
5.8 Verifica delle reti adduttrici ramificate, con tratti funzionanti a gravità e tratti a sollevamento meccanico 268
Esemplificazione numerica 269
5.9 Problemi di progetto delle reti di adduzione ramificate funzionanti a gravità 271
5.10 Determinazione dell'equazione di economia per una condotta adduttrice costituita da più tratti e priva di derivazioni o con derivazioni di lunghezza trascurabile 272
5.11 Determinazione delle curve e delle equazioni di costo delle tubazioni 276
5.12 Applicazione dell'equazione di economia a una condotta adduttrice priva di derivazioni o con derivazioni di lunghezza trascurabile 278
Esemplificazione numerica 279
5.13 Equazione di economia in un nodo con n condotte in arrivo e m condotte in partenza, di diversi materiali 281
5.14 Determinazione dei diametri per una rete di adduzione ramificata 282
Esemplificazione numerica 283
5.15 Risoluzione analitica dei problemi di progetto delle reti di adduzione a gravità ramificate 285
Esemplificazione numerica 286
5.16 Risoluzione dei problemi di progetto delle reti di adduzione a gravità ramificate di tipo più complesso 288
5.17 Risoluzione analitica diretta per una condotta adduttrice maestra di un unico materiale, con tratti a portata diversa 289
5.18 Soluzione delle reti a gravità aperte adoperando i diametri delle normali serie di produzione 291
5.19 Dimensionamento delle condotte a sollevamento meccanico 293
5.19.1 Determinazione della pendenza piezometrica di massima economia delle condotte a sollevamento meccanico 297
5.20 Dimensionamento economico del sistema condotta adduttrice a sollevamento meccanico-serbatoio di compenso 298
5.21 Opportunità di inserire degli impianti di sollevamento o di produzione di energia in condotte che potrebbero funzionare a gravità 301
5.22 Problemi di progetto delle reti di adduzione ramificate, quando sono presenti in alcuni tratti impianti di sollevamento meccanico o di produzione di energia 306
1° Esempio numerico 307
2° Esempio numerico 310

5.23 Problemi di economia globale del complesso costituito da reti di adduzione ramificate e dai serbatoio di compenso 313
5.24 Adattamenti delle soluzioni economiche determinate alle realizzazioni pratiche 314
Bibliografia 315

6 Apparecchiature installate lungo le tubazioni 317

6.1 Premesse 317
6.2 La presenza dell'aria nelle condotte in pressione 317
6.3 Gli sfiati e gli scarichi 320
6.4 Le bocche di introduzione 328
6.5 Le valvole riduttrici o regolatrici di pressione 329
6.5.1 I vari tipi di valvole riduttrici 334
6.6 Le valvole di intercettazione e di regolazione 339
6.6.1 Le valvole a saracinesca 339
6.6.2 Le valvole a farfalla 342
6.6.3 Le valvole di regolazione a fuso 343
6.7 Altri tipi di valvole e di apparecchiature speciali 344
6.7.1 Le valvole di ritegno (o unidirezionali o di non ritorno) 344
6.7.2 Le valvole di fondo 347
6.7.3 Le valvole di efflusso a galleggiante 347
6.7.4 I filtri di presa 348
6.7.5 Le valvole automatiche di interruzione del flusso 349
6.7.6 Le valvole limitatrici di portata 349
6.7.7 Altri tipi di valvole; le valvole plurifunzione 349
6.8 I misuratori di portata 349
6.9 I misuratori a pressione differenziale 350
6.9.1 I venturimetri 350
6.9.2 I diaframmi e i boccagli 353
6.10 I misuratori di portata elettromagnetici 356
6.11 I contatori 356
6.12 Altri strumenti di misura 356
6.13 I giunti di dilatazione e di smontaggio 357
6.14 I giunti a flange universali 359
6.15 I pozzetti 360
6.16 Le derivazioni e i partitori in pressione e a pelo libero 361
6.16.1 I partitori in pressione 361
6.16.2 I partitori a pelo libero 362
6.17 I nodi in cui convergono più tubazioni 367
Bibliografia 368

7 **Problemi di progetto delle condotte di adduzione e criteri di scelta del tracciato** 371

7.1 Indicazioni preliminari per la scelta del tracciato 371
7.2 Il progetto di massima e il progetto esecutivo 378
7.3 La scelta dei tipi di tubazione 380
7.4 La posa in opera delle tubazioni 383
7.4.1 Posa in opera in trincea 383
7.4.2 Prove in corso d'opera e di collaudo 386
7.4.3 Altri tipi di posa in opera 387
7.5 Il riscaldamento dell'acqua nelle tubazioni interrate 389
7.5.1 Regime termico nel terreno al variare della profondità 389
7.5.2 Scambio termico tra l'acqua contenuta nella tubazione e il terreno circostante 391
Esemplificazione numerica 393
7.5.3 Tubazioni con bassa conduttività termica ed elevato spessore 393
Bibliografia 395

8 **Le opere d'arte degli acquedotti** 397

8.1 Premesse 397
8.2 Gli attraversamenti 397
8.3 Attraversamenti di corsi d'acqua e canali in genere 397
8.3.1 Attraversamenti subacquei 397
8.3.2 Attraversamenti aerei 402
8.4 Attraversamenti stradali 408
8.5 Attraversamenti di linee ferroviarie 411
8.5.1 Attraversamenti interrati 411
8.5.2 Attraversamenti superiori 412
8.5.3 Attraversamenti inferiori 413
8.5.4 Attraversamenti in cunicolo 414
8.5.5 Parallelismi 415
8.5.6 Caratteristiche tecniche e sistemi di prova delle condotte in opera 415
8.5.7 Tubo di protezione 415
8.6 Attraversamenti di terreni franosi o paludosi 416
Bibliografia 417

9 **Gli ancoraggi e le murature di contrasto delle tubazioni** 419

9.1 Premesse 419
9.2 Blocchi di ancoraggio per le tubazioni interrate 419
9.2.1 Curve che si trovano su un piano orizzontale 421

9.2.2 Curve che si trovano su un piano verticale 424
9.2.3 Curve con deviazioni plano-altimetriche 428
9.2.4 Spinte in corrispondenza di altri punti singolari e di apparecchiature speciali 430
9.2.5 Estremità delle tubazioni 430
9.2.6 Variazioni di diametro 431
9.2.7 Diramazioni 432
9.2.8 Valvole riduttrici o regolatrici dei carichi 433
9.2.9 Nodo generico 433
9.2.10 Ancoraggi dei tratti rettilinei delle tubazioni interrate a forte pendenza 435
9.3 Blocchi di ancoraggio per posa in opera in cunicolo o in galleria 436
9.3.1 Tubazione munita di giunti di dilatazione 437
9.3.2 Tubazione priva di giunti di dilatazione 440
9.3.3 Tubazione rettilinea con forte pendenza posata in cunicolo 442
9.4 Collegamenti tra tubazioni e blocchi di ancoraggio 442
Bibliografia 446

10 I fenomeni di moto vario e gli impianti di sollevamento 447
10.1 Premesse 447
10.2 Colpo d'ariete nelle condotte a gravità 448
10.2.1 Manovre di chiusura 449
10.2.2 Manovre di apertura 452
10.2.3 La formula di Micheaud 453
10.2.4 Massime oscillazioni di carico lungo la tubazione 455
10.2.5 Altri problemi inerenti il colpo d'ariete nelle condotte a gravità 455
10.2.6 Contenimento delle massime sovrappressioni da colpo d'ariete nelle condotte a gravità entro limiti prefissati 455
Esemplificazione numerica 455
10.3 Il colpo d'ariete nelle condotte a sollevamento meccanico 456
Esemplificazione 458
10.4 Dispositivi di attenuazione del colpo d'ariete nelle condotte a sollevamento 458
10.4.1 Le camere d'aria 458
Esemplificazione numerica 466
10.4.2 I volani 466
Esemplificazione numerica 469
10.5 Generalità sugli impianti di sollevamento 470
10.6 Scelta del tipo di pompa 471
10.7 Determinazione della massima altezza di aspirazione di una pompa 479
10.8 Tubazioni e apparecchiature idrauliche 481
Bibliografia 482

11 Le reti di distribuzione urbana 485

11.1 Premesse 485
11.2 I vari tipi di rete di distribuzione 485
11.3 Caratteristiche generali delle reti di distribuzione 489
11.4 Classificazione e diametri delle tubazioni 491
11.5 Suddivisione del centro abitato in zone servite da reti indipendenti 493
11.6 Le condizioni di servizio da rispettare 496
11.7 Tipi di tubazione delle reti di distribuzione 501
11.8 Determinazione della portata equivalente di una tubazione, in base alle condizioni di erogazione 501
11.9 Le reti di distribuzione di tipo aperto o ramificato 505
11.10 Problemi di progetto delle reti di tipo aperto o ramificate 506
11.10.1 Progetto delle reti ramificate alimentate da un solo estremo 507
Esemplificazione numerica 507
11.10.2 Progetto delle reti ramificate con alimentazione dalle due estremità 510
11.10.3 Dimensionamento di massima delle reti alimentate dalle due estremità 510
11.10.4 Progetto delle reti ad arteria alimentate dalle due estremità, considerando anche le condotte secondarie 513
11.11 Problemi di verifica delle reti ramificate 517
11.12 Problemi di verifica delle reti ramificate alimentate da un solo estremo (reti con serbatoio di testata) 518
11.12.1 Verifica nel caso in cui si può alimentare la rete con la portata massima richiesta 518
Esemplificazione numerica 519
11.12.2 Verifica nel caso in cui non si può alimentare la rete con la portata Q_h 522
11.13 Verifica delle reti ramificate alimentate dai due lati 525
11.13.1 Verifica nel caso in cui è possibile alimentare la rete con la portata Q_h 525
11.13.2 Verifica nel caso in cui non è possibile alimentare la rete con la portata Q_h 527
Esemplificazione numerica 528
11.14 Reti di tipo misto aventi una sola maglia (reti ad anello principale) 531
Esemplificazione numerica 535
11.15 Progetto delle reti ad anello principale nel caso di serbatoio posto a notevole distanza dal centro urbano 537
11.16 Verifica delle reti ad anello principale 539
11.17 Le reti a maglie multiple e di tipo misto 539
11.18 Problemi di verifica per le reti di tipo chiuso 542
11.18.1 Il metodo del bilanciamento dei carichi di H. Cross 543

11.18.2 Il metodo del bilanciamento delle portate di H. Cross 545
Esemplificazione numerica 547
11.19 Problemi di verifica per le reti di tipo misto 549
11.20 Problemi di verifica per le reti di tipo chiuso o misto, con tratti che fanno servizio lungo il percorso 551
11.21 Problemi di progetto per le reti di tipo chiuso e di tipo misto 552
11.21.1 Metodi di risoluzione 553
11.21.2 Metodi di risoluzione mediante successive verifiche 555
11.21.3 Metodi di risoluzione mediante l'introduzione di vincoli idraulici che rendono determinato il problema 556
11.21.4 Ricerca di una soluzione non molto discosta da quella più economica 557
11.22 Estensione dei metodi di risoluzione esposti alle reti di tipo misto 559
Esemplificazione numerica 560
11.23 Schematizzazione delle reti di tipo chiuso e di tipo misto come reti con anello principale 565
11.24 Altri tipi di reti di distribuzione 566
11.25 Apparecchiature ed esercizio delle reti di distribuzione 568
11.25.1 Le prese per le utenze 569
11.25.2 Gli idranti antincendio 571
Bibliografia 571

12 I serbatoi 575

12.1 Generalità sui serbatoi 575
12.2 I serbatoi urbani 576
12.3 La capacità dei serbatoi 577
12.3.1 La capacità di compenso 578
12.3.2 La capacità di riserva 579
12.3.3 La capacità per il servizio antincendio 580
12.3.4 La capacità complessiva dei serbatoi 582
12.4 Tipologie e particolari costruttivi dei serbatoi 583
12.5 Le canere di manovra e l'equipaggiamento idraulico 586
12.5.1 La tubazione di alimentazione 586
12.5.2 La tubazione di presa 588
12.5.3 Sfioratori di superficie 590
12.5.4 Lo scarico di fondo 591
12.5.5 Apparecchiature di misura e controllo 592
12.6 I serbatoi interrati e seminterrati 593
12.7 I serbatoi pensili 607
Bibliografia 612

13 I sistemi di telecontrollo e la riabilitazione delle reti 613

13.1 I sistemi di telecontrollo degli impianti idrici 613
13.2 Le perdite degli acquedotti 615
13.3 Metodi adottati per contenere le perdite 617
13.4 Ricerca dei punti in cui si verificano le perdite 618
13.4.1 Metodo dell'analisi dei consumi 619
13.4.2 Localizzazione puntuale delle perdite 620
13.5 La riabilitazione delle tubazioni 622
13.6 Test per conoscere lo stato di conservazione delle tubazioni 622
13.7 Sistemi di pulizia 623
13.8 Sistemi di riabilitazione 623
13.8.1 Sistemi di ripristino del rivestimento interno 624
13.8.2 Interventi di riabilitazione completa 624
13.8.3 Rivestimento con guaine aderenti alla parete del tubo (inverted pipe lining) 625
13.8.4 Rivestimento con guaine senza adesivo 625
13.8.5 Inserimento di una nuova tubazione all'interno di quella da riabilitare (sliplining) 625
13.9 Interventi di sostituzione delle vecchie tubazioni senza effettuare scavi a cielo aperto 626
13.10 La riabilitazione dei giunti 627
Bibliografia 628

Appendice 631