

Indice

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Fluidi: definizioni, grandezze fisiche e proprietà | 1 |
| 1.1 | Rappresentazione dei solidi e fluidi (liquidi e gas) | 1 |
| 1.2 | La grandezza fisica, l'unità ed i sistemi di misura | 1 |
| 1.3 | Lavoro, energia potenziale ed energia cinetica | 3 |
| 1.4 | Comprimibilità | 4 |
| 1.5 | Tensione superficiale | 5 |
| 1.6 | Fluidi in moto e viscosità | 5 |
| 2 | Idrostatica | 7 |
| 2.1 | Principio di Pascal | 7 |
| 2.2 | Legge dell'idrostatica o di Stevino | 8 |
| 2.3 | Misura della pressione | 9 |
| 2.4 | Capillarità | 11 |
| 2.5 | Spinta su superficie piana generica | 11 |
| 2.6 | Spinta e centro di spinta per superficie piana rettangolare | 12 |
| 2.7 | Spinta su superficie non piana | 14 |
| 2.8 | Spinta su corpi immersi | 14 |
| 2.9 | Paradosso idrostatico di Stevino | 16 |
| 2.10 | Equazione globale all'equilibrio | 16 |
| 2.11 | Esercizi svolti | 17 |
| 2.12 | Esercizi da svolgere con soluzione | 26 |
| 3 | Cinematica | 29 |
| 3.1 | Regimi di moto | 30 |
| 3.2 | Campo di moto | 30 |
| 3.3 | Portata | 31 |
| 3.4 | Equazione di conservazione della massa o di continuità | 32 |
| 3.5 | Analisi cinematica in coordinate intrinseche | 33 |
| 3.6 | Equazione di continuità dei serbatoi | 35 |
| 4 | Dinamica | 37 |
| 4.1 | Le equazioni di Eulero | 37 |
| 4.2 | Teorema di Bernoulli | 39 |
| 4.3 | Applicazione del teorema di Bernoulli per stimare la velocità e la portata | 41 |
| 4.3.1 | Tubo di Pitot | 41 |
| 4.3.2 | Tubo Venturi | 42 |
| 4.4 | Teorema della quantità di moto | 42 |
| 4.5 | Applicazioni del teorema della quantità di moto | 45 |
| 4.5.1 | Spinta sul gomito di una condotta | 45 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.5.2 | Spinta su di un carrello | 45 |
| 4.5.3 | Funzionamento del motore a reazione | 46 |
| 4.6 | Correnti reali: perdite di carico | 46 |
| 4.7 | Perdita di carico localizzata di Borda | 48 |
| 4.8 | Cavitazione | 51 |
| 4.9 | Esercizi svolti | 51 |
| 5 | Analisi Dimensionale e Similitudine | 53 |
| 5.1 | Analisi Dimensionale | 53 |
| 5.2 | Similitudine | 55 |
| 6 | Efflusso da luci | 59 |
| 6.1 | Introduzione | 59 |
| 6.2 | Luci a battente | 61 |
| 6.2.1 | Luce di fondo | 61 |
| 6.2.2 | Luce in parete verticale | 62 |
| 6.2.3 | Paratoia sollevata a battente | 64 |
| 6.3 | Luci a stramazzo | 66 |
| 6.3.1 | Stramazzo Bazin o Poleni | 66 |
| 6.3.2 | Stramazzi in parete sottile di altri tipi | 68 |
| 6.3.3 | Stramazzo in parete grossa | 70 |
| 6.4 | Luci rigurgitate | 72 |
| 6.5 | Sforatore di superficie | 75 |
| 6.6 | Imbocco di un serbatoio | 76 |
| 6.7 | La bottiglia di Mariotte | 77 |
| 6.8 | Tempo di vuotamento di un serbatoio prismatico | 78 |
| 6.9 | Tempo di vuotamento di un serbatoio non prismatico | 79 |
| 6.10 | Getto liquido in atmosfera | 80 |
| 7 | Fluidi non ideali | 81 |
| 7.1 | Regimi di moto nei fluidi reali | 81 |
| 7.2 | Moto Turbolento | 82 |
| 7.3 | Strato Limite | 87 |
| 7.4 | Separazione dello strato Limite | 91 |
| 8 | Moto Turbolento nelle Condotte | 97 |
| 8.1 | Regime di parete | 97 |
| 8.2 | Moto Uniforme | 97 |
| 8.3 | Correnti in pressione in moto uniforme e gradualmente vario | 105 |
| 8.4 | Correnti in pressione nei cambiamenti di direzione: gomiti e curve | 106 |
| 8.5 | Verifica e progetto di condotte | 107 |
| 8.5.1 | Calcolo di i per assegnati D , e_S (o C o K_S) e Q per moto turbolento | 108 |
| 8.5.2 | Calcolo di Q per assegnati D , e_S (o C o K_S) ed i per moto turbolento | 109 |
| 8.5.3 | Calcolo di D e e_S per assegnate i e Q per moto turbolento | 110 |
| 8.5.4 | Verifica e progetto di condotte mediante la relazione di Hazen-Williams | 110 |
| 8.6 | Bilanci di energia tra serbatoi e condotte | 110 |
| 8.7 | Correnti in depressione nelle condotte per altimetria | 114 |
| 8.8 | Colpo d'ariete | 115 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 8.9 | Misure di portata nelle condotte | 118 |
| 8.10 | Le Pompe | 120 |
| 8.11 | Esercizi svolti | 125 |
| 8.12 | Esercizi da svolgere con soluzione | 134 |
| 9 | Moto uniforme nei canali a pelo libero | 137 |
| 9.1 | Leggi di moto uniforme per canali a sezione di forma compatta | 137 |
| 9.2 | Estensione delle leggi di moto uniforme a sezioni con golene | 140 |
| 9.3 | Estensione delle leggi di moto uniforme a sezioni di forma compatta ed a scabrezza variabile: metodo di Einstein-Horton | 142 |
| 9.4 | Calcolo della profondità di moto uniforme per canali a sezione rettangolare, trapezia e di forma compatta generica | 144 |
| 9.4.1 | Sezione rettangolare | 144 |
| 9.4.2 | Sezione trapezia | 146 |
| 9.4.3 | Sezione di forma generica | 147 |
| 9.5 | Scala delle portate | 147 |
| 9.6 | Progetto della sezione di un canale | 149 |
| 9.6.1 | Larghezza o profondità note | 149 |
| 9.6.2 | Sezione di minima resistenza | 149 |
| 9.6.3 | Sezione di minima resistenza e velocità limitata superiormente | 153 |
| 9.7 | Profilo di velocità | 155 |
| 9.8 | Esercizi svolti | 156 |
| 9.9 | Esercizi da svolgere con soluzione | 163 |
| 10 | Celerità delle perturbazioni nei canali a pelo libero | 167 |
| 10.1 | La celerità delle piccole perturbazioni in un canale a pelo libero | 167 |
| 10.2 | La celerità delle perturbazioni finite in un canale a pelo libero | 169 |
| 10.3 | Esercizi svolti | 170 |
| 11 | Profilo del pelo libero in regime di moto permanente gradualmente vario | 173 |
| 11.1 | Energia specifica | 173 |
| 11.2 | Profondità critica | 174 |
| 11.3 | Profilo della corrente | 180 |
| 11.4 | Energia specifica: comportamento e contributi | 185 |
| 11.5 | Esercizi svolti | 186 |
| 12 | Transizioni corrente lenta-rapida e rapida-lenta in canali prismatici | 187 |
| 12.1 | Passaggio da corrente lenta a rapida | 187 |
| 12.2 | Passaggio da condizioni di corrente rapida a lenta: il risalto | 188 |
| 12.2.1 | Risalto idraulico su fondo scabro | 196 |
| 12.2.2 | Lunghezza del risalto | 197 |
| 12.3 | Esercizi svolti | 198 |
| 12.4 | Esercizi da svolgere con soluzione | 203 |
| 13 | Sezioni di controllo del moto e variazioni localizzate in canali prismatici | 205 |
| 13.1 | Sezioni di controllo | 205 |
| 13.1.1 | Sfioratore a valle di uno sbarramento | 205 |
| 13.1.2 | Salto di fondo | 207 |
| 13.2 | Variazioni localizzate | 207 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 13.2.1 | Presenza di un gradino sul fondo | 208 |
| 13.2.2 | Presenza di un restringimento | 215 |
| 13.3 | Onde stazionarie in corsi d'acqua | 229 |
| 13.4 | Esercizi svolti | 230 |
| 13.5 | Esercizi da svolgere con soluzione | 236 |
| 14 | Misure di portata nei canali a pelo libero | 239 |
| 14.1 | Stima della portata tramite misure di velocità | 239 |
| 14.1.1 | Calcolo della velocità mediata sulla verticale | 239 |
| 14.1.2 | Calcolo della portata tramite la velocità mediata sulla verticale: metodo I | 240 |
| 14.1.3 | Calcolo della portata tramite la velocità mediata sulla verticale: metodo II | 241 |
| 14.1.4 | Calcolo della portata tramite le curve isotachie | 242 |
| 14.2 | Strumenti di misura di velocità puntuale | 242 |
| 14.2.1 | Mulinello idrometrico | 242 |
| 14.2.2 | Correntometro ad induzione magnetica od elettromagnetico | 244 |
| 14.2.3 | Misuratori acustici ad ultrasuoni | 244 |
| 14.2.4 | Misuratore di portata su barca in movimento | 256 |
| 14.2.5 | Misura di portata con tracciante | 256 |
| 14.2.6 | Metodo indiretto dell'area-pendenza per la misura della portata | 265 |
| 14.3 | Misuratore a risalto idraulico | 266 |
| 14.4 | Errori di misura | 272 |
| 14.5 | Analisi degli errori | 275 |
| 15 | Calcolo dei profili di moto permanente | 279 |
| 15.1 | Calcolo del profilo di moto permanente mediante bilancio di energia per canali a sezione di forma compatta | 279 |
| 15.2 | Calcolo del profilo di moto permanente con bilancio di energia per corsi d'acqua con golene | 282 |
| 16 | Derivazioni ed immissioni di portata | 283 |
| 16.1 | Derivazioni di portata da serbatoio mediante un canale | 283 |
| 16.1.1 | Derivazione di portata tramite canale rettangolare con $i_F < i_C$ | 284 |
| 16.1.2 | Derivazione di portata tramite canale rettangolare con $i_F > i_C$ | 286 |
| 16.1.3 | Determinazione dell'inclinazione critica i_C in un canale di deriva- zione a sezione rettangolare | 287 |
| 16.2 | Derivazioni di portata da corso d'acqua/canale | 288 |
| 16.2.1 | Derivazione continua di portata | 288 |
| 16.2.2 | Derivazione localizzata di portata | 298 |
| 16.3 | Immissioni di portata da corso d'acqua/canale | 300 |
| 16.3.1 | Immissione continua di portata da corso d'acqua/canale | 300 |
| 16.3.2 | Immissione localizzata di portata | 304 |
| 16.4 | Esercizi svolti | 306 |
| 17 | Moto di filtrazione nel terreno, fenomeni di sifonamento e drenaggio | 315 |
| 17.1 | Filtrazione: generalità | 315 |
| 17.2 | Regimi di moto | 316 |
| 17.3 | Stima del coefficiente di conducibilità idraulica k | 317 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 17.4 | Forza di filtrazione | 319 |
| 17.5 | Moto di filtrazione in regime laminare | 320 |
| 17.6 | Opere di ritenuta ed il fenomeno del sifonamento | 324 |
| 17.6.1 | Sifonamento per sollevamento del piede di valle | 324 |
| 17.6.2 | Sifonamento del terreno di fondazione di un'opera idraulica | 325 |
| 17.6.3 | Sifonamento del corpo filtrante di un'opera idraulica | 327 |
| 17.6.4 | Collasso di un corpo arginale/sbarramento composto da materiale di pezzatura grossolana | 330 |
| 17.7 | Emungimento di portata da falda freatica ed artesiana in terreno isotropico ed omogeneo | 332 |
| 17.7.1 | Moto in un acquifero inconfinato ed ipotesi di Dupuit-Forchheimer | 332 |
| 17.7.2 | Trincea filtrante in falda freatica od acquifero non confinato | 334 |
| 17.7.3 | Pozzo in falda freatica od acquifero non confinato | 334 |
| 17.7.4 | Pozzo in falda artesiana od acquifero confinato | 336 |
| 17.7.5 | Pozzo in acquifero confinato con campo di moto parzialmente in acquifero non confinato | 338 |
| 17.8 | Dreni sottosuperficiali in falda freatica od acquifero non confinato | 339 |
| 17.9 | Esercizi svolti | 342 |
| 18 | Moto vario in modalit  graduale | 345 |
| 18.1 | Equazioni di Saint-Venant per il moto unidimensionale (sezioni compatte) | 345 |
| 18.1.1 | Equazione di continuit  | 345 |
| 18.1.2 | Equazione di conservazione della quantit  di moto | 346 |
| 18.2 | Equazioni di Saint-Venant per il moto unidimensionale in presenza di golene | 349 |
| 18.3 | Scala delle portate in moto vario: coppia di piena | 350 |
| 18.4 | Celerit  di propagazione della portata e dell'area liquida/profondit  | 352 |
| 18.5 | Onda cinematica, diffusiva, dinamica permanente e dinamica o completa | 355 |
| 18.5.1 | Onda cinematica | 355 |
| 18.5.2 | Onda diffusiva | 357 |
| 18.6 | Soluzione numerica delle equazioni di de Saint Venant che governano il moto | 359 |
| 18.7 | Equazioni per il moto bidimensionale | 362 |
| 18.8 | Metodo dei volumi finiti | 363 |
| 19 | Resistenza al moto in corsi d'acqua con fondo in ghiaia | 365 |
| 19.1 | Profili di velocit  su fondo scabro per condizioni di sommergenza, interme- dia, bassa e parziale | 365 |
| 19.2 | Formule per la stima della resistenza al moto | 369 |
| 19.3 | Calcolo della profondit  di moto uniforme per sezione di tipo rettangolare mediante le leggi di resistenza | 380 |
| 19.3.1 | Legge di Nikora et al. (2001) | 380 |
| 19.3.2 | Legge di Katul et al. (2002) | 382 |
| 19.3.3 | Legge di Ferguson (2007) | 382 |
| 19.3.4 | Legge di D'Agostino (2005) | 383 |
| 19.3.5 | Legge di Rickenmann e Recking (2011) | 384 |
| 19.3.6 | Legge di Ferguson e Recking (2025) | 384 |
| 19.4 | Determinazione del coefficiente di scabrezza equivalente, K_{Seq} per fondo ghiaioso in bassa-media sommergenza | 385 |
| 19.5 | Esercizi svolti | 386 |
| 19.6 | Esercizi da svolgere con soluzione | 391 |

| | |
|--|------------|
| 20 Fenomeni di trasporto di sedimento nei torrenti | 393 |
| 21 L'inizio del trasporto di sedimento nei torrenti | 403 |
| 21.1 Numero di Shields o sforzo tangenziale al fondo in forma adimensionale . . . | 404 |
| 21.1.1 L'effetto dell'inclinazione del fondo | 412 |
| 21.1.2 L'effetto dell'eterogeneità dei sedimenti: esposizione e nascondimen- to alla corrente | 420 |
| 21.2 Potenza unitaria critica | 422 |
| 21.2.1 Portata solida critica | 424 |
| 21.3 Inclinazione critica | 425 |
| 21.4 Approccio cinematico: velocità e portata critica della corrente | 426 |
| 21.4.1 Velocità critica | 426 |
| 21.4.2 Portata critica della corrente | 428 |
| 21.5 Velocità critica della corrente per sedimenti su fondo fisso | 430 |
| 22 Trasporto di sedimenti sul fondo nei torrenti | 431 |
| 22.1 Inquadramento dimensionale | 434 |
| 22.2 Espressioni della capacità di trasporto a base meccanica | 435 |
| 22.2.1 L'espressione di Meyer-Peter e Muller (1948) | 435 |
| 22.2.2 L'espressione di Schoklitsch (1962) | 436 |
| 22.2.3 L'espressione di Smart e Jaeggi (1983) | 437 |
| 22.2.4 L'espressione di Rickenmann (2001) | 438 |
| 22.2.5 L'espressione di Parker et al. (1982) e Parker (1990) | 439 |
| 22.2.6 L'espressione di Bathurst (2007) | 441 |
| 22.2.7 L'espressione di Recking (2010, 2013) per la portata solida e la capacità di trasporto | 442 |
| 22.2.8 L'espressione di Bagnold (1956, 1966, 1980) | 445 |
| 22.2.9 La relazione di Ancey e Recking (2023a) | 447 |
| 22.3 Espressione della capacità di trasporto di natura probabilistica | 453 |
| 22.4 L'espressione della capacità di trasporto secondo l'approccio geomorfologico | 456 |
| 22.5 L'effetto dell'alimentazione solida o disponibilità di sedimento per il tra- sporto di fondo | 458 |
| 22.6 Note per l'utilizzo delle relazioni per il calcolo della capacità di trasporto al fondo | 460 |
| 23 Colate detritiche | 465 |
| 23.1 Rappresentazione, descrizione e caratteristiche del fenomeno di colata de- tritica | 467 |
| 23.2 Le avulsioni | 473 |
| 23.3 Stima del volume di sedimento | 479 |
| 23.4 Reologia delle colate detritiche | 481 |
| 23.5 Classificazione delle colate detritiche su base meccanica | 485 |
| 23.6 Legami/modelli costitutivi e profili di velocità | 489 |
| 23.6.1 Il modello visco-plastico di Bingham (1916) | 489 |
| 23.6.2 Il modello visco-plastico di Herschel e Bulkley (1926) | 491 |
| 23.6.3 Il modello dilatante di Bagnold (1954) | 492 |
| 23.6.4 Il modello attritivo-turbolento di Voellmy (1955) | 493 |
| 23.7 Confronto tra i legami costitutivi | 494 |
| 23.8 Profili di velocità misurati e legami costitutivi | 498 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 23.9 | Coefficiente di conduttanza | 503 |
| 23.10 | Concentrazione volumetrica della fase solida | 505 |
| 23.11 | Propagazione delle colate detritiche in regime granulo-inerziale | 507 |
| 23.12 | Colate immature | 511 |
| 23.13 | Innesco delle colate detritiche | 513 |
| 23.14 | Portata critica per l'innescamento di una colata detritica e deflusso superficiale contribuente | 518 |
| 23.15 | Determinazione innescamento per collasso di versante e di sbarramento | 520 |
| 23.16 | Idrogrammi solido-liquidi: evidenza e schematizzazione | 521 |
| 23.16.1 | Idrogramma solido-liquido di tipo A | 522 |
| 23.16.2 | Idrogramma solido-liquido di tipo B | 524 |
| 23.17 | Scenari idrologici di progetto per l'innescamento delle colate detritiche | 526 |
| 23.18 | Scenari idro-geomorfologici per la determinazione dell'idrogramma solido- liquido | 527 |
| 23.18.1 | Scenario del picco massimo dell'idrogramma solido-liquido | 529 |
| 23.18.2 | Scenario del volume massimo dell'idrogramma solido-liquido | 530 |
| 23.19 | Modellazione idrologica di bacini di testata | 530 |
| 23.20 | Modellazione idraulica | 532 |
| 23.20.1 | Il modello DFRM | 535 |
| 23.20.2 | Affidabilità di un modello | 537 |
| 23.20.3 | Riproduzione modellistica a cascata di un evento di colata detritica | 538 |
| 23.20.4 | Analisi di affidabilità del modello DFRM | 539 |
| 23.20.5 | Influenza delle dimensioni della griglia di calcolo | 542 |
| 23.21 | Precipitazioni di breve durata che innescano le colate detritiche | 545 |
| 23.22 | La mappa di pericolosità di Rovina di Cancia | 547 |
| 24 | Il dimensionamento idraulico delle briglie | 553 |
| 24.1 | Le briglie di consolidamento | 553 |
| 24.2 | Le briglie di trattenuta | 566 |
| 24.2.1 | La briglia a fessura | 566 |
| 24.2.2 | La briglia a finestre | 578 |
| 24.3 | Le briglie di consolidamento per le colate detritiche | 579 |
| 24.4 | Le briglie frangi-colata | 580 |
| 24.5 | Esercizi svolti | 589 |
| 24.6 | Esercizi da svolgere con soluzione | 606 |
| 25 | Laminazione delle piene | 609 |
| 25.1 | Serbatoi di laminazione | 609 |
| 25.1.1 | Metodo di risoluzione delle equazioni che governano il moto | 615 |
| 25.1.2 | Efficacia della laminazione: coefficiente ed indici di laminazione | 616 |
| 25.1.3 | Dimensionamento ottimale delle luci di scarico | 624 |
| 25.2 | Casse di espansione | 632 |
| 25.2.1 | Modalità di laminazione per cassa di espansione in derivazione | 639 |
| 25.2.2 | Predimensionamento del volume di una cassa di espansione | 641 |
| 25.3 | Opere di derivazione | 644 |

| | |
|---|------------|
| Appendice A | 647 |
| A.1 Teorema della quantità di moto | 647 |
| A.2 Luci a battente: casi particolari | 649 |
| A.3 Stramazzi composti in parete grossa | 650 |
| A.4 Fronti d'onda di una perturbazione di piccola ampiezza in una corrente a pelo libero | 651 |
| A.5 Immissione continua per canale a sezione compatta e variabile | 652 |
| A.6 Immissione continua: calcolo semplificato per canale rettangolare a sezione rettangolare | 653 |
| A.7 La forza di galleggiamento in una corrente a superficie libera in condizioni di moto uniforme su di un fondo inclinato | 654 |
| A.8 Il terreno, gli assi di una particella, il campionamento e l'analisi granulometrica | 655 |
| A Principali tipi di terre | 655 |
| B Schematizzazione di una particella | 656 |
| C Analisi granulometrica | 656 |
| A.9 Determinazione del numero di Shields secondo il modello analitico di Gregoretti (2008) per particella parzialmente sommersa | 661 |
| A.10 Contatto tra corpi rigidi: attrito | 663 |
| A.11 L'espressione di du Boys (1979) per la capacità di trasporto | 663 |
| A.12 L'espressione di Smart e Jaeggi (1983) per la capacità di trasporto basata sulla portata per unità di larghezza | 664 |
| A.13 Caratteristiche di un'onda di piena in funzione della durata e forma dello ietogramma di precipitazione | 665 |
| A.14 Integrazione equazioni differenziali concentrazione e profondità di una colata | 665 |
| A.15 Integrazione numerica del modello DFRM | 669 |
| A.16 Mappatura della pericolosità | 670 |
| A.17 Integrazione numerica con il metodo di Runge-Kutta | 671 |
| A.18 Curva di riduzione dei colmi di piena e determinazione degli idrogrammi sintetici | 672 |
| A.19 Curva di durata delle portate di piena | 674 |
| Bibliografia | 677 |