

Continuando a seguire le direttive del primo volume, ho conservato, per quanto possibile, la massima semplicità anche nello studio delle questioni di carattere più elevato, e ho costantemente fatto precedere l'esame intuitivo e fisico alle impostazioni matematiche. Anche qui ho dato largo sviluppo agli esercizi numerici, svolti secondo le stesse intenzioni di chiarimento teorico e di effettiva utilità pratica.

Per non uscire dal campo della Scienza delle costruzioni, e per non aumentare a dismisura la mole dell'opera, ho dovuto limitarmi allo studio teorico dei singoli schemi statici, senza occuparmi del progetto del loro insieme, nè delle questioni pratiche riguardanti la loro effettiva esecuzione e la relativa tecnologia. Riserbo questi argomenti a un'ulteriore opera dedicata alla Tecnica delle costruzioni, la quale, condotta con gli stessi criteri, verrà a costituire il naturale completamento del presente trattato.

ODONE BELLUZZI

Bologna, agosto 1942.

INDICE

PREFAZIONE AL SECONDO VOLUME pag. v

CAP. XVII. - La teoria dell'ellisse di elasticità.

348. Generalità	pag. 1
349. Corrispondenza fra le rette delle forze e i centri di rotazione	» 2
350. Le proprietà di tale corrispondenza	» 4
351. L'ellisse di elasticità	» 5
352. Rotazioni e spostamenti provocati da coppie o da forze	» 6
353. I teoremi fondamentali	» 8
354. Osservazioni	» 9
355. La coincidenza dell'ellisse di elasticità e dell'ellisse d'inerzia dei pesi elastici	» 11
356. L'utilità della teoria dell'ellisse di elasticità	» 13
357. I teoremi fondamentali stabiliti direttamente	» 14
358. Travi a parete piena: le caratteristiche elastiche di un tronco prismatico	» 15
359. Travi reticolari: le caratteristiche elastiche di un'asta	» 18
360. Costruzione dell'ellisse di elasticità	» 20
361. Impiego della teoria senza costruire l'ellisse	» 20
Esercizi 531-544	» 23
362. L'influenza di N e di T sulla deformazione	» 31
Esercizi 545-557	» 33
363. Problemi staticamente indeterminati	» 39
364. Casi particolarmente semplici	» 41
Esercizi 558-578	» 42
365. Gli spostamenti relativi	» 52
Esercizi 579-590	» 54
366. Determinazione dell'ellisse di elasticità nel caso generale	» 60
367. Composizione delle ellissi di travi in parallelo	» 61
Esercizi 591-603	» 64
368. Bibliografia	» 71

CAP. XVIII. - I carichi mobili.

369. Generalità	pag. 73
A) LE LINEE D'INFLUENZA.	
370. Definizione di linea d'influenza	» 73
371. I vari usi delle linee d'influenza	» 75
372. Determinazione diretta delle linee d'influenza	» 77
<i>Esercizi 604-610</i>	» 78
373. La trave appoggiata	» 80
<i>Esercizi 611-614</i>	» 82
374. Le travi a carico indiretto	» 83
<i>Esercizi 615-619</i>	» 85
375. Le travi reticolari	» 86
<i>Esercizi 620-623</i>	» 89
376. L'arco a tre cerniere	» 91
<i>Esercizi 624-626</i>	» 93
377. I metodi generali	» 95
378. Linee d'influenza di spostamenti o di rotazioni	» 96
<i>Esercizi 627-630</i>	» 97
379. Linee d'influenza di reazioni e di sollecitazioni	» 99
380. La trave continua su tre appoggi	» 101
<i>Esercizi 631-637</i>	» 103
381. Linee d'influenza di sollecitazioni. Teorema di Land	» 107
382. Osservazioni	» 110
383. La pratica del procedimento	» 114
<i>Esercizi 638-645</i>	» 116
384. Il caso delle travi isostatiche	» 119
<i>Esercizi 646-648</i>	» 122
385. La trave Gerber	» 123
<i>Esercizi 649-650</i>	» 124
386. I casi intermedi	» 124
<i>Esercizio 651</i>	» 125
387. Linee d'influenza dei momenti di nocciolo	» 126
<i>Esercizio 652</i>	» 127
388. Linee d'influenza per forze orizzontali	» 127
389. Linee d'influenza integrali	» 128
<i>Esercizio 653</i>	» 128
390. Linee d'influenza per coppie mobili	» 129
<i>Esercizi 654-658</i>	» 130
391. Determinazione sperimentale delle linee d'influenza	» 132
392. Metodo sperimentale semplificato	» 133
393. Linee d'influenza termiche	» 134
<i>Esercizio 659</i>	» 136

B) I DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI MASSIME E MINIME.

394. Generalità	pag. 137
395. Trave appoggiata percorsa da un carico concentrato	» 137
396. Trave appoggiata percorsa da un carico uniforme	» 139
397. Trave appoggiata percorsa da un treno di carichi. Diagramma T_{max}	» 141
398. Trave appoggiata percorsa da un treno di carichi. Diagramma M_{max}	» 143
399. Determinazione della posizione più gravosa dei carichi	» 144
<i>Esercizi 660-665</i>	» 145
400. Ricerca del momento massimo assoluto	» 148
<i>Esercizio 666</i>	» 149
401. Bibliografia	» 150

CAP. XIX. - Le travi a curvatura semplice.

402. Generalità	pag. 151
403. Relazioni fra le sollecitazioni M , N , T	» 153

A) IL CALCOLO DELLE TRAVI AD ARCO.

404. La deformazione dell'asse geometrico	» 154
405. Osservazioni	» 157
<i>Esercizi 667-676</i>	» 159
406. La curva delle pressioni	» 167
407. L'arco a due cerniere: carichi fissi	» 169
<i>Esercizi 677-683</i>	» 172
408. L'arco a due cerniere: carichi mobili	» 177
<i>Esercizi 684-688</i>	» 181
409. L'arco a due cerniere: variazioni termiche, cedimenti dei vincoli	» 185
<i>Esercizi 689-693</i>	» 186
410. L'arco a spinta eliminata	» 188
<i>Esercizi 694-698</i>	» 189
411. L'arco incastrato: considerazioni generali	» 191
412. L'arco incastrato: carichi fissi	» 193
<i>Esercizi 699-705</i>	» 196
413. Il metodo di Eddy	» 204
414. L'arco incastrato: carichi mobili	» 206
<i>Esercizi 706-707</i>	» 211
415. L'arco incastrato: variazioni termiche, cedimenti dei vincoli	» 216
<i>Esercizi 708-710</i>	» 217
416. L'arco funicolare del carico	» 218
<i>Esercizi 711-712</i>	» 219

417. Il metodo della spinta addizionale	pag. 221
<i>Esercizi 713-717</i>	» 224
418. L'abbassamento del vertice	» 227
419. Il diagramma degli spostamenti verticali od orizzontali	» 229
<i>Esercizi 718-720</i>	» 231
420. L'arco circolare di sezione costante	» 233
<i>Esercizi 721-723</i>	» 238
421. Metodi approssimati per il calcolo degli archi	» 240
422. La deformata dell'asse negli archi circolari	» 244
<i>Esercizi 724-726</i>	» 246
423. I tubi di spessore costante soggetti a pressione interna uniforme	» 248
<i>Esercizi 727-728</i>	» 249
424. Le molle piane	» 250
<i>Esercizi 729-731</i>	» 251

B) LE TRAVI A GRANDE CURVATURA.

425. Generalità	» 253
426. Flessione semplice	» 254
427. Sforzo normale	» 258
428. Sforzo normale e flessione	» 259
429. Sezioni particolari	» 261
<i>Esercizi 732-737</i>	» 262
430. Le deformazioni	» 265
<i>Esercizi 738-739</i>	» 267
431. Le tensioni tangenziali	» 269
432. Bibliografia	» 269

CAP. XX. - Le strutture a molte iperstatiche.

433. Generalità	pag. 273
---------------------------	----------

A) LA RISOLUZIONE DELLE EQUAZIONI.
CONSIDERAZIONI GENERALI SULLE STRUTTURE.

434. Il metodo delle forze	» 275
435. Le equazioni di congruenza o di elasticità	» 276
436. Risoluzione delle equazioni mediante la regola di Cramer	» 278
<i>Esercizio 740</i>	» 279
437. Risoluzione delle equazioni per eliminazione. Metodo di Gauss	» 280
<i>Esercizio 741</i>	» 283
438. Determinazione dei fattori β_{rs} col metodo di Gauss	» 284
<i>Esercizio 742</i>	» 286
439. Risoluzione delle equazioni col metodo di Banachiewicz	» 287
<i>Esercizi 743-745</i>	» 229

440. Determinazione dei fattori β_{rs} col metodo di Banachiewicz	pag. 295
<i>Esercizio 746</i>	» 298
441. Risoluzione delle equazioni per iterazione	» 298
<i>Esercizi 747-748</i>	» 301
442. Risoluzione elementare per successivi incrementi delle incognite	» 302
443. La scelta delle incognite sovrabbondanti, ossia della struttura principale	» 304
<i>Esercizi 749-750</i>	» 307
444. Assunzione di una struttura principale iperstatica	» 309
<i>Esercizi 751-761</i>	» 310
445. Introduzione al metodo delle deformazioni	» 319
<i>Esercizi 762-763</i>	» 322
446. I vantaggi del metodo delle deformazioni	» 323
447. Le strutture simmetriche	» 325
<i>Esercizi 764-769</i>	» 328
448. Osservazioni sulle strutture simmetriche	» 332
<i>Esercizi 770-776</i>	» 334

B) STRUTTURE I CUI NODI NON SI SPOSTANO.

449. I casi in cui i nodi non si spostano	» 338
450. L'equazione dei quattro momenti	» 339
<i>Esercizi 777-780</i>	» 341
451. L'equazione delle cinque rotazioni	» 342
<i>Esercizi 781-793</i>	» 346
452. Parallelo fra il metodo delle forze e quello delle deformazioni	» 352
453. Le travi di sezione variabile	» 355
454. La rigidezza di una trave semplice	» 357
455. La rigidezza delle travi in parallelo	» 358
456. La rigidezza delle travi in serie	» 359
457. Collegamenti successivi in serie e in parallelo	» 360
458. La propagazione dei momenti e delle rotazioni lungo le travi	» 361
<i>Esercizi 794-796</i>	» 363
459. La trave incastrata elasticamente	» 365
<i>Esercizi 797-800</i>	» 366
460. Il metodo dei punti fissi semplificato	» 367
<i>Esercizi 801-805</i>	» 370
461. Sostituzione dei carichi coi momenti e le reazioni d'incastro perfetto (principio di equivalenza)	» 373
462. Utilità del principio di equivalenza e osservazioni relative	» 375
<i>Esercizi 806-811</i>	» 377
463. Il calcolo dei telai per successive approssimazioni. Metodo di Cross	» 379
464. Semplificazioni del metodo di Cross	» 382
<i>Esercizi 812-816</i>	» 384

C) STRUTTURE I CUI NODI SI SPOSTANO.

465. I casi in cui i nodi si spostano	pag. 386
466. Impiego dell'equazione dei quattro momenti	» 387
<i>Esercizi 817-820</i>	» 389
467. Le equazioni dei sei momenti e dei cinque momenti	» 390
468. Il calcolo dei telai in generale. Metodo di Gehler	» 391
<i>Esercizi 821-838</i>	» 396
469. Il procedimento di Takabeya	» 403
<i>Esercizi 839-849</i>	» 406
470. Il calcolo dei telai per successive approssimazioni	» 411
<i>Esercizio 850</i>	» 416
471. Le strutture contenenti travi ad arco	» 417
<i>Esercizi 851-853</i>	» 423
472. Gli sforzi secondari	» 429
<i>Esercizi 854-856</i>	» 432
473. Il calcolo dei portali senza equazioni	» 434
<i>Esercizi 857-862</i>	» 439
474. Estensione del metodo dei punti fissi	» 444
<i>Esercizio 863</i>	» 445
475. Il metodo dei momenti statici fittizi	» 447
<i>Esercizio 864</i>	» 448
476. Lo studio dei portali semplici mediante l'ellisse di elasticità	» 449
<i>Esercizi 865-868</i>	» 449
477. La trave Vierendeel	» 452
<i>Esercizi 869-872</i>	» 457

D) PROCEDIMENTI SEMPLIFICATIVI.

478. L'ausilio dei formulari	» 460
479. I portali vincolati con cerniere	» 462
<i>Esercizi 873-874</i>	» 464
480. Motivi che possono sconsigliare l'uso dei metodi esatti	» 465
481. Metodi approssimati e ipotesi semplificative	» 467
<i>Esercizi 875-881</i>	» 470
482. Metodi semiempirici	» 474
483. Cenno sulle strutture a infinite incognite	» 475
484. Conclusioni	» 476
485. Bibliografia	» 478

CAP. XXI. - Le travi nello spazio.

486. Generalità	pag. 481
---------------------------	----------

487. Le tensioni nelle travi spaziali	pag. 481
<i>Esercizi 882-883</i>	» 482
488. Proprietà delle travi piane soggette a forze e a coppie normali al loro piano	» 484
489. Casi semplici	» 485
<i>Esercizi 884-905</i>	» 486
490. I portali soggetti a forze e a coppie normali al loro piano	» 496
<i>Esercizi 906-909</i>	» 499
491. Gli alberi a gomito	» 501
<i>Esercizi 910-911</i>	» 503
492. Il principio di equivalenza nello spazio	» 504
<i>Esercizio 912</i>	» 505
493. La trave ad arco circolare	» 506
<i>Esercizi 913-929</i>	» 509
494. La trave ad anello soggetta a momenti distribuiti nei piani radiali	» 517
<i>Esercizi 930-935</i>	» 521
495. Le sollecitazioni spaziali negli archi dei ponti	» 524
496. Le molle elicoidali	» 525
<i>Esercizi 936-943</i>	» 528
497. La trave a elica	» 532
<i>Esercizi 944-945</i>	» 535
498. Bibliografia	» 536

CAP. XXII. - Le strutture reticolari nello spazio.

499. Generalità	pag. 537
500. Forze e coppie nello spazio	» 537
<i>Esercizi 946-948</i>	» 540
501. Decomposizione di una forza in tre	» 541
<i>Esercizi 949-958</i>	» 543
502. Decomposizione di una forza in sei	» 547
503. I vincoli di un corpo col suolo	» 549
<i>Esercizi 959-970</i>	» 552
504. Le strutture semplici	» 557
<i>Esercizi 971-974</i>	» 559
505. Le strutture composte	» 561
<i>Esercizio 975</i>	» 562
506. Le strutture complesse	» 562
<i>Esercizi 976-977</i>	» 564
507. Le strutture a graticcio chiuso a facce triangolari	» 565
508. Le cupole Schwedler	» 566
<i>Esercizi 978-981</i>	» 568
509. Altri tipi di cupole e di coperture reticolari	» 571
<i>Esercizio 982</i>	» 573

510. Cenni sul controventamento dei ponti metallici	pag. 574
511. Calcolo dello spostamento di un nodo	» 575
<i>Esercizio 983</i>	» 576
512. Le strutture reticolari iperstatiche	» 576
<i>Esercizi 984-985</i>	» 577
513. Bibliografia	» 578

CAP. XXIII. - Il cemento armato.

514. Generalità	pag. 579
515. Gli ingredienti del calcestruzzo	» 581
516. Il calcestruzzo	» 582
517. Il ferro	» 585
518. I fondamenti della teoria statica	» 587
519. I pilastri comuni semplicemente compressi	» 591
<i>Esercizi 986-988</i>	» 593
520. I pilastri cerchiati	» 594
<i>Esercizi 989-990</i>	» 595
521. I pilastri snelli	» 596
<i>Esercizi 991-993</i>	» 598
522. La base dei pilastri	» 599
<i>Esercizi 994-995</i>	» 600
523. I tiranti	» 600
<i>Esercizi 996-997</i>	» 601
524. Le travi inflesse	» 602
525. Sezione rettangolare con armatura semplice. Calcolo di verifica	» 604
<i>Esercizi 998-1002</i>	» 608
526. Sezione rettangolare con armatura semplice. Calcolo di progetto	» 610
<i>Esercizi 1003-1006</i>	» 612
527. Sezione rettangolare con armatura semplice. Impiego di un'unica tabella	» 614
<i>Esercizi 1007-1011</i>	» 615
528. Sezione rettangolare con armatura semplice. Calcoli approssimati	» 621
<i>Esercizi 1012-1013</i>	» 621
529. Sezione rettangolare con armatura doppia. Calcolo di verifica	» 622
<i>Esercizio 1014</i>	» 624
530. Sezione rettangolare con armatura doppia. Calcolo di progetto	» 625
<i>Esercizi 1015-1018</i>	» 626
531. Sezione a T	» 628
<i>Esercizi 1019-1020</i>	» 629
532. Sezione simmetrica di forma qualsiasi. Calcolo grafico	» 631
<i>Esercizio 1021</i>	» 632
533. Flessione deviata	» 633
<i>Esercizio 1022</i>	» 635

534. La tensione nel calcestruzzo teso	pag. 636
<i>Esercizi 1023-1024</i>	» 636
535. Le tensioni provocate dal ritiro	» 637
<i>Esercizi 1025-1027</i>	» 640
536. Le tensioni provocate dal taglio	» 641
537. I ferri piegati	» 645
538. Le staffe	» 648
539. Quantità e distribuzione dei ferri piegati e delle staffe	» 650
<i>Esercizi 1028-1038</i>	» 654
540. La verifica dell'aderenza	» 660
<i>Esercizi 1039-1040</i>	» 661
541. I solai di cemento armato	» 661
542. Il calcolo delle solette	» 664
<i>Esercizi 1041-1046</i>	» 665
543. Il calcolo delle nervature	» 667
<i>Esercizi 1047-1049</i>	» 670
544. I solai misti	» 672
<i>Esercizio 1050</i>	» 673
545. Le solette funzionanti come lastre	» 673
<i>Esercizi 1051-1052</i>	» 674
546. Le travi pressoinflesse. Calcolo di verifica	» 675
<i>Esercizi 1053-1056</i>	» 678
547. Le travi pressoinflesse. Calcolo di progetto	» 680
<i>Esercizi 1057-1061</i>	» 681
548. Le travi pressoinflesse. Sezione non rettangolare	» 683
<i>Esercizi 1062-1063</i>	» 684
549. Le travi tensoinflesse	» 685
<i>Esercizi 1064-1066</i>	» 686
550. Le travi a grande curvatura	» 687
<i>Esercizio 1067</i>	» 688
551. La torsione nelle travi di cemento armato	» 689
<i>Esercizi 1068-1069</i>	» 690
552. Il calcolo delle deformazioni	» 691
<i>Esercizio 1070</i>	» 692
553. Le travi precomprese	» 692
<i>Esercizi 1071-1072</i>	» 694
554. Cenni su alcune vedute recenti	» 695
555. Bibliografia	» 698

CAP. XXIV. - I collegamenti (chiodature e saldature).

556. Generalità	pag. 701
A) CHIODATURE.	
557. I chiodi	» 701

558. Le distanze dei chiodi	pag. 702
559. Le tensioni nelle chiodature	» 703
<i>Esercizi 1073-1080</i>	» 707
560. Le chiodature correnti	» 710
561. Unioni dei cantonali all'anima e alle piattabande	» 711
<i>Esercizi 1081-1084</i>	» 713
562. Interruzioni dei cantonali	» 715
<i>Esercizio 1085</i>	» 715
563. Interruzioni delle piattabande	» 715
<i>Esercizio 1086</i>	» 716
564. Interruzioni dell'anima	» 716
<i>Esercizi 1087-1089</i>	» 719
565. Le travi composte soggette a torsione	» 720
<i>Esercizio 1090</i>	» 721
566. Le chiodature di forza	» 721
567. Unione di due travi ad angolo retto	» 722
<i>Esercizi 1091-1094</i>	» 724
568. I nodi delle travature reticolari	» 725
<i>Esercizi 1095-1101</i>	» 726
569. Caldaie, tubi, serbatoi	» 728
<i>Esercizi 1102-1104</i>	» 729
570. Unioni con bulloni	» 731
571. Unioni snodate	» 731
<i>Esercizio 1105</i>	» 733
B) SALDATURE.	
572. Le saldature	» 733
573. Le tensioni nelle saldature	» 735
<i>Esercizi 1106-1113</i>	» 738
574. Le saldature correnti	» 740
<i>Esercizi 1114-1117</i>	» 741
575. Le saldature di forza	» 742
<i>Esercizi 1118-1128</i>	» 743
576. Bibliografia	» 746
INDICE ANALITICO	» 749

CAPITOLO XVII.

LA TEORIA DELL'ELLISSE DI ELASTICITÀ

348. Generalità.

La teoria dell'ellisse di elasticità, ideata da Culmann e applicata poi sistematicamente da W. Ritter, costituisce il metodo più elegante per lo studio delle deformazioni delle travi ad asse rettilineo o curvilineo e di sezione costante o variabile; studio della massima importanza, sopra tutto perchè rappresenta, come sappiamo, il solo mezzo per ottenere le reazioni nelle travi staticamente indeterminate. Questa teoria riunisce in sintesi tutte le proprietà della deformazione delle travi, consentendo di determinare rapidamente le rotazioni e gli spostamenti di una sezione provocati da date forze, oppure le forze necessarie per provocare dati spostamenti. E consente anche di prevedere facilmente e intuitivamente le caratteristiche qualitative della deformazione stessa. Così che spesso col suo impiego si risolvono in modo immediato, e con evidente controllo visivo, problemi che presenterebbero difficoltà talvolta notevoli, se affrontati per altre vie ⁽¹⁾.

Inoltre, come il principio dei lavori virtuali e il teorema di Castigliano, questa teoria tiene conto, quando si voglia, anche dell'influenza dello sforzo normale e dello sforzo di taglio, senza che per questo il procedimento risulti sensibilmente complicato o modificato.

La teoria dell'ellisse di elasticità è fondata sulla proporzionalità fra le forze e gli spostamenti, cioè sul principio della sovrapposizione degli effetti. Quindi per la sua validità è necessario (n. 330 a) non solo che il materiale della trave si deformi rispettando la legge di Hooke, ma anche che le forze esterne non siano influenzate dalla deformazione della trave, ossia che le loro rette d'azione non siano da essa sensibilmente modificate; ciò che fa escludere i casi analoghi a quelli studiati nel Cap. XIII, B) e C) ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Molti degli esercizi del presente capitolo, quasi tutti originali, sono tali da porre in luce questo particolare pregio della teoria dell'ellisse di elasticità, e da rendere inoltre familiari i ragionamenti proiettivi occorrenti.

⁽²⁾ In altri termini, la legge di Hooke non deve valere soltanto per il materiale, ossia fra