



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI GUGLIELMO MARCONI

FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE APPLICATE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

PROGETTO DI UN VIADOTTO STRADALE
IN PROVINCIA DI TRENTO:
L'ATTRAVERSAMENTO DEL TORRENTE ADANÀ

Relatore:
Chiar.mo prof.
Mario De Giorgi

Candidato:
Fabio Galvani

Matr. N°: STA04112/LM23

ANNO ACCADEMICO

2017 / 2018

INDICE

RINGRAZIAMENTI

PREMESSA

1. INTRODUZIONE.....	22
1.1 PROBLEMATICHE PRESENTI.	22
1.2 OBIETTIVI PRINCIPALI DELLO STUDIO.	23
1.3 APPROCCIO METODOLOGICO ADOTTATO.	24
2. DESCRIZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO.....	27
2.1 GENERALITÀ.....	27
3. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO.....	39
3.1 GENERALITÀ.....	39
3.1.1 NORMATIVA SULLE COSTRUZIONI.	39
3.1.2 NORMATIVA SULLA PROGETTAZIONE.	40
3.1.3 AUTORIZZAZIONI PER L'ESECUZIONE DELL'OPERA. .	
.....	41
4. ELABORATI TECNICI DI PROGETTO.....	45
4.1 GENERALITÀ.....	45
4.1.1 TIPOLOGIA ALLEGATI.	45
5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE...49	
5.1 GENERALITÀ.....	49
5.1.1 CALCESTRUZZO.....	49
5.1.2 ACCIAIO PER ARMATURA.	50
5.1.3 CALCOLO DELLE RESISTENZE DI PROGETTO.	51
5.1.4 PROGETTO DELLA MISCELA DI CALCESTRUZZO. ...	53
5.1.5 ACCIAIO PER CARPENTERIA.	57
6. CARATTERISTICHE DEI TERRENI.	62
6.1 GENERALITÀ.....	62

7. CALCOLO AUTOMATICO DI SISTEMI DI TRAVI IPERSTATICHE.....	73
7.1 GENERALITÀ.....	73
7.2 TRAVATURE RETICOLARI PIANE.	80
7.3 TELAI PIANI.....	82
7.4 ELEMENTO DI LIBRERIA PER L'ANALISI ELASTICA.	84
7.5 L'ELEMENTO TRAVE (BEAM) IN SAP2000.....	86
7.5.1 COLLEGAMENTO DEI NODI.....	86
7.5.2 GRADI DI LIBERTÀ.	87
7.5.3 SISTEMA DI COORDINATE LOCALE.....	87
7.5.4 PROPRIETÀ DELLA SEZIONE.	89
7.5.5 SISTEMA DI COORDINATE LOCALE.....	89
7.5.6 RILASCI DI ESTREMITÀ.....	95
7.5.7 MASSA.....	96
7.5.8 PESO PROPRIO.	97
7.5.9 CARICO DI CAMPATA CONCENTRATO.	97
7.5.10 CARICO DI CAMPATA DISTRIBUITO.	98
7.5.11 OUTPUT DELLE FORZE INTERNE.	100
7.5.12 EFFETTO DELLE ZONE DI ESTREMITÀ RIGIDA. .	102
7.5.13 COMANDI USATI PER LA MODELLAZIONE.	102
7.5.14 MODELLO STRUTTURALE DEL VIADOTTO ADANÀ IN SAP2000 r14.....	103
8. DIMENSIONAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DELL'IMPALCATO.	106
8.1 GENERALITÀ.....	106
8.2 CALCOLO STATICO DELLA SOLETTA D'IMPALCATO. ...	106
8.2.1 GENERALITÀ.....	106

8.2.2 CALCOLO STATICO DELLA SOLETTA NELLA FASE INIZIALE.	106
8.2.3 CALCOLO STATICO DELLA SOLETTA NELLA FASE FINALE.	111
8.2.4 DIAGRAMMA D'INVILUPPO DEL MOMENTO FLETTENTE E DEL TAGLIO ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) DELLA SOLETTA.	119
8.2.5 PROGETTO E VERIFICA A FLESSIONE DELLE ARMATURE DELLA SOLETTA.....	121
8.2.6 VERIFICA DELLA SEZIONE DI SOLETTA A TAGLIO..	127
8.2.7 DIAGRAMMA DI INVILUPPO DEL MOMENTO FLETTENTE E DEL TAGLIO ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) DELLA SOLETTA.	129
8.2.8 VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO A FLESSIONE DELLA SOLETTA.....	131
8.2.9 VERIFICA ALLA FESSURAZIONE DELLA SOLETTA.....	134
8.3 PROGETTO DELLE TRAVI LONGITUDINALI.....	136
8.3.1 GENERALITÀ.....	136
8.3.2 SITUAZIONI DI CARICO AGENTI SULLA STRUTTURA DURANTE LE FASI DI AVANZAMENTO DEL CANTIERE. .	137
8.3.3 CALCOLO DELLA LARGHEZZA EFFICACE D'IMPALCATO.....	150
8.3.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI INTERNE DELLA STRUTTURA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU).	154
8.3.5 VERIFICA DELLE TRAVI ALLE SOLLECITAZIONI DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU).	155

8.3.6	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI INTERNE DELLA STRUTTURA ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO (SLE)..	158
8.3.7	VERIFICA DELLE TRAVI ALLE SOLLECITAZIONI DELLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO (SLE).....	160
8.3.8	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEI PIOLI DI TESTA TRAVE.....	168
8.3.9	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEI GIUNTI BULLONATI DI COLLEGAMENTI DEI CONCI D'IMPALCATO.....	176
8.4	PROGETTO DEI CONTROVENTI DELLE TRAVI LONGITUDINALI.....	182
8.4.1	GENERALITÀ.....	182
9.	PROGETTO SISMICO DELLA STRUTTURA.....	193
9.1	CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI SULLA STRUTTURA.....	193
9.2	ISOLATORI SISMICI E GIUNTI DI DILATAZIONE.....	208
9.2.1	GENERALITÀ.....	208
9.2.2	TIPOLOGIA DEGLI ISOLATORI SISMICI.....	212
9.2.3	ANALISI MODALE DELLA STRUTTURA CON SPETTRO DI RISPOSTA.....	223
9.3	PROGETTO DELLE SPALLE, TRAVI PULVINO, PILE E PALI DI FONDAZIONE.....	229
9.3.1	INTRODUZIONE.....	229
9.3.2	DIMENSIONAMENTO A PRESSOFLESSIONE E TAGLIO DELL'ARMATURA NEGLI ELEMENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO.....	229
9.3.3	VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE E TAGLIO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	231

9.3.4	PROGETTO DELL'ARMATURA DELLE SPALLE.....	234
9.3.5	VERIFICA DI RESISTENZA DELLE SPALLE.....	238
9.3.6	PROGETTO DELL'ARMATURA DELLE TRAVI PULVINO.....	243
9.3.7	VERIFICA DI RESISTENZA DELLA TRAVE PULVINO.....	247
9.3.8	PROGETTO DELL'ARMATURA DELLE PILE.....	252
9.3.9	VERIFICA DI RESISTENZA DELLA PILA.....	256
9.3.10	PROGETTO E VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE.....	260
10.	CALCOLO DEGLI SPOSTAMENTI DELLA STRUTTURA. ...	266
10.1	GENERALITÀ.....	266
10.1.1	CALCOLO DEGLI SPOSTAMENTI SECONDO LE NTC08 E S.M.I.	267
10.1.2	CALCOLO DEGLI SPOSTAMENTI CON IL METODO DDBD.....	270
11.	STIMA DEL COSTO DELL'OPERA.....	276
11.1	GENERALITÀ.	276
11.2	ELENCO PREZZI UNITARI.....	279
11.2.1	PREMESSA.....	279
11.2.2	CRITERI DI ELABORAZIONE DELL'ELENCO PREZZI.....	280
11.2.3	CRITERI DI UTILIZZO DELL'ELENCO PREZZI UNITARI.....	281
11.2.4	GESTIONE DEI RIFIUTI PROVENIENTI DA ATTIVITÀ DI SCAVO E DEMOLIZIONE.	282
11.2.5	AGGIORNAMENTO NEL TEMPO DEI PREZZI UNITARI.....	283

11.3 COMPUTO METRICO ESTIMATIVO.....	294
11.4 QUADRO ECONOMICO DI SPESA.	310
11.5 CRONOGRAMMA LAVORI.....	312
12. CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO.	317
12.1 GENERALITÀ.	317
12.2 NORME AMMINISTRATIVE.	317
12.3 NORME TECNICHE.....	320
12.3.1 QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI.	320
12.3.2 PROVE DI QUALITÀ SUI MATERIALI.	321
12.3.3 CONGLOMERATI CEMENTIZI ARMATI.	323
12.3.4 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO.....	329
12.3.5 CASSEFORMI PER CALCESTRUZZO ARMATO. ...	333
12.3.6 COLLAUDO STATICO.	335
12.3.7 STRUTTURE IN ACCIAIO.....	335
12.3.8 SALDATURE DELLE MEMBRATURE.....	342
12.3.9 ISOLATORI SISMICI DI APPOGGIO.	344
12.3.10 GIUNTI DI DILATAZIONE.....	346
12.3.11 PALIFICATE DI FONDAZIONE.....	348
12.3.12 PERFORAZIONI PER L'ALLOGGIAMENTO DI PALI.....	352
12.3.13 SISTEMA ISPETTIVO DELLA STRUTTURA.....	354
13. CONCLUSIONI DEL PROGETTO.	357
14. BIBLIOGRAFIA.....	362

ABSTRACT

Il lavoro svolto ha interessato la progettazione strutturale del viadotto stradale per attraversare il torrente Adanà a servizio della nuova Circonvallazione per Pieve di Bono sulla S.S. n. 237 del Caffaro (TN). Nella parte iniziale si è inserita una premessa tecnica inerente l'intervento da eseguirsi e una descrizione dettagliata della tipologia di viadotto da progettare. Essendo un'opera pubblica si sono riportate le norme tecniche sulle costruzioni adottate (NTC08 e s.m.i.) e l'elenco delle autorizzazioni necessarie per realizzarla. Per l'impresa esecutrice si è stilato l'elenco degli elaborati di progetto (sigle ETR e ETD per i 17 allegati). La scelta dei materiali da costruzione si è basata sulle NTC08 e s.m.i.. Il calcestruzzo usato è della classe C35/45, l'acciaio d'armatura è B450C, quello strutturale è S460N/NL, le piolature Nelson sono S235J2+C450, le viti sono classe 10.9 e i dadi invece 10. Sulla base delle caratteristiche geologiche dei terreni (sondaggi verticali Sg01 e Sg02) si è riusciti a classificare la zona sismica dell'area come tipo 'B' per velocità $V_s = 740$ m/s. Si sono inseriti richiami teorici di calcolo automatico delle strutture per sistemi di travi iperstatici. La modellazione del viadotto ha usato l'elemento libreria 'beam' (trave). Il primo elemento che si è dimensionato è l'armatura della soletta d'impalcato allo Stato Limite Ultimo (SLU) e a quello d'Esercizio (SLE), eseguendo la verifica di resistenza ultima a sforzo assiale N_{rd} , momento flettente M_{rd} , taglio V_{rd} e fessurazione w . Il secondo elemento che si è dimensionato è stata la trave longitudinale (n. 4 tutte uguali) eseguendone la verifica di resistenza a sforzo assiale N_{rd} , momento flettente M_{rd} e a taglio V_{rd} , sia allo Stato

Limite Ultimo (SLU) sia a quello d'Esercizio (SLE) durante le tre fasi di costruzione (BT, MT e LT). Successivamente si sono dimensionate e verificate le piolature della piattabanda, i giunti bullonati dei conci e i traversi (controventi). Per il progetto sismico della struttura si è svolta la caratterizzazione del sito di costruzione con il calcolo degli spettri di risposta in accelerazione orizzontale e verticale S_e e quelli in spostamento orizzontale S_d sia allo Stato Limite di Salvaguardia (SLV), sia a quello di Collasso (SLC). Calcolando la rigidezza equivalente della struttura K_e , si è passati alla scelta degli isolatori sismici SI - N (Seismic Isolator) e dei giunti di dilatazione dell'impalcato GPE (spostamenti max $\Delta \leq 0,25$ m). La verifica sismica si è svolta applicando un'analisi dinamica modale a spettro di risposta S_e , sia orizzontale che verticale, sulla percentuale di massa partecipante del viadotto al limite maggiore dell'85% (valore di normativa) nelle tre direzioni x, y e z. L'analisi delle sollecitazioni massime dinamiche e statiche di sforzo assiale N_{ed} , momento flettente M_{ed} e taglio V_{ed} , ha consentito il dimensionamento delle barre d'armatura a presso flessione deviata (abaco con curve iso-resistenti) per le spalle, travi pulvino, pile e pali di fondazioni. La loro verifica ultima si è svolta utilizzando il programma VCASLU dell'Università di Brescia (BS). A completamento delle verifiche alle sollecitazioni sopra citate, si sono eseguite anche quelle agli spostamenti nodali assoluti U_t della struttura applicando sia le formule delle NTC08 e s.m.i., sia quelle del metodo di progetto basato sugli spostamenti diretti (Metodo DDBD). Per conoscere il costo dell'opera si è proceduto a ricavare l'Elenco prezzi unitari, il Computo metrico estimativo, il Quadro economico di spesa e il Cronogramma dei

lavori (durata totale 301 giorni). Nella parte finale si sono descritte le specifiche normative e tecniche di Capitolato speciale d'appalto che deve rispettare l'Impresa esecutrice. Per la prima parte si sono inseriti gli importi dei lavori a base d'asta (pari a 11.601.336,25 euro) suddivisi per categoria generale (OG3) e specialistiche (OS12-A e 21). Per la seconda parte si sono riportati i dettagli costruttivi, schemi e figure esplicative per la corretta posa degli elementi strutturali.

BIBLIOGRAFIA

Petrangeli M. P., Progettazione e costruzione di ponti con cenni di patologia e diagnostica delle opere esistenti, edizione Masson IV edizione, anno 1998

AA.VV., Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008 e Circolare esplicativa n. 617/2009, edizione DEI, anno 2009

AA.VV., Dati provenienti dal laboratorio materiali della PAT, anno 2004

Carpinteri A., Calcolo automatico delle strutture, edizione Pitagora, anno 1997

AA.VV., Manuale SAP 2000 - Analisi lineare / non lineare integrata con verifiche per strutture tridimensionali, edizione Brunetta e Brunetta Engineering S.r.l., anno 2006

AA.VV., CSI - Analysis Reference Manuale for SAP2000, Etabs and Safe, rev. 1, anno 2009

AA.VV., CSI - Introduction to SAP 2000 bridge, rev. 0, anno 2009

Belluzzi O., Scienza delle Costruzioni, volume 2, edizione Zanichelli, anno 2008

AA.VV., Catalogo isolatori elastomerici serie SI FIP industriale, rev. S02, anno 2016

AA.VV., Catalogo giunti di dilatazione serie GPE FIP industriale, rev. J00, anno 2016

AA.VV., CSI - Definizione dell'azione sismica per le analisi lineari secondo le NTC08 e s.m.i. e l'EC8 - 2005, rev. 1, anno 2009

Cavalieri A. e M., Ponti - analisi, progettazione e dimensionamento, edizione Flaccovio, anno 2008

Sigmund C., Calcolo semplificato agli Stati Limite, edizione Flaccovio, anno 2009

Paolacci F., Dispense del corso di teoria e progetto di ponti, edizione Università degli Studi di Roma Tre, anno 2014

AA.VV., Elenco prezzi unitari PAT, edizione Osservatorio Lavori pubblici della Provincia Autonoma di Trento, anno 2017

AA.VV., Catalogo gru a torre (hammerhead tower crane) Terex S.r.l., modelli SK 575-32, anno 2017

AA.VV., Catalogo casseforme vario Peri S.r.l., modelli GT 24, anno 2017

AA.VV., Catalogo gru multistrada (crawler crane) Demag 400 ton. Terex S.r.l., modelli CC 2400-1, anno 2017

AA.VV., Catalogo pali trivellati e micropali Trevi S.p.a., anno 2017