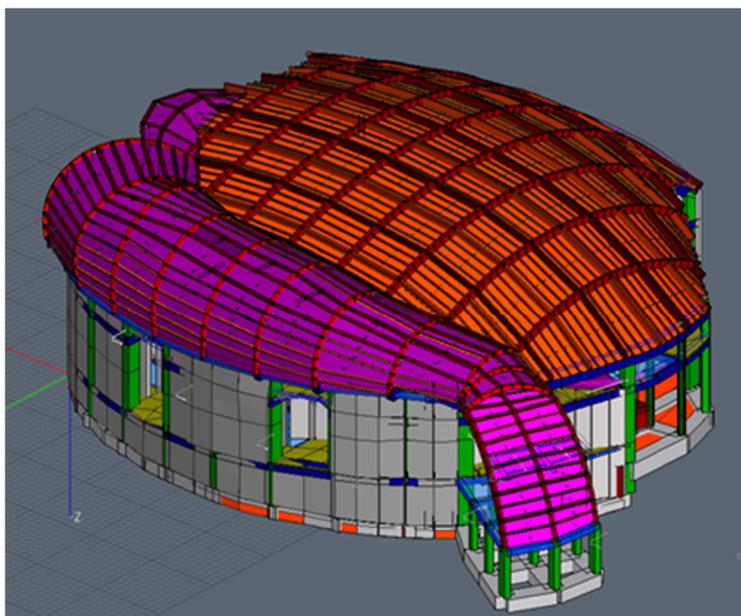


PROGETTO UNIONI ARCATA PRINCIPALE IN LEGNO

Si riporta di seguito le relazione generale prevista dal D.M. 14/01/2008 al paragrafo 10.2.

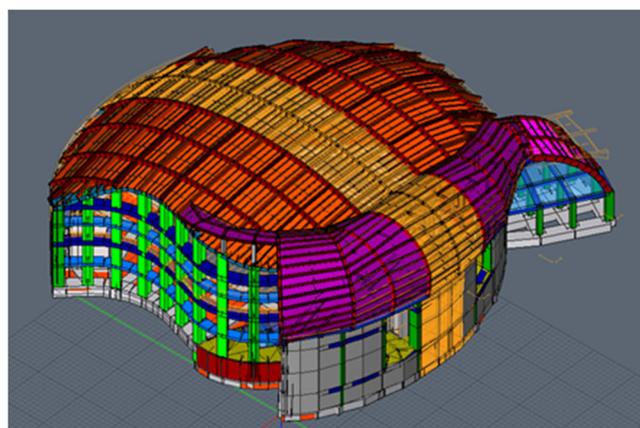
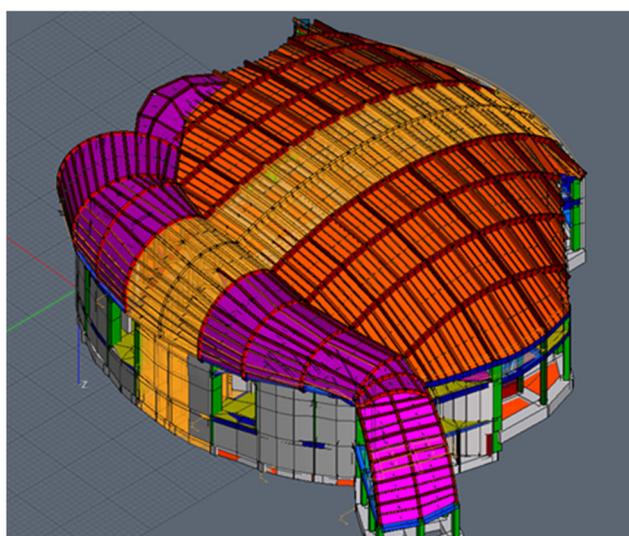
1. ESTRAPOLAZIONE DEL MODELLO PARZIALE SOFISTICATO DAL MODELLO GLOBALE

Per il calcolo strutturale dell'intera opera si è elaborato con il programma IperSpace Max un modello globale ad elementi finiti FEM ottenendo la risposta strutturale in termini di spostamenti e sollecitazioni.

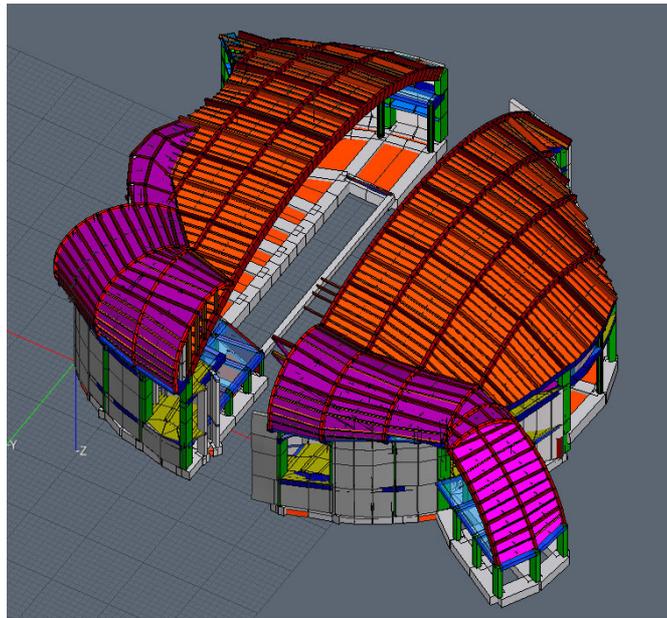


Vista 3D Modello Globale –intera opera con copertura in legno lamellare

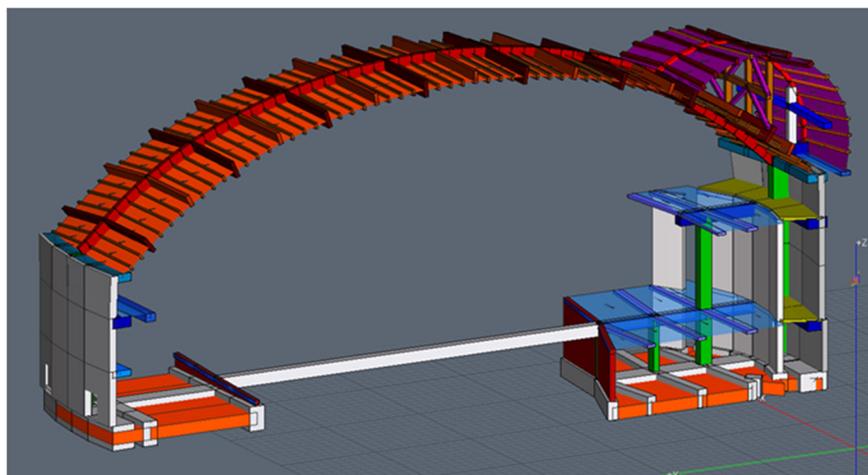
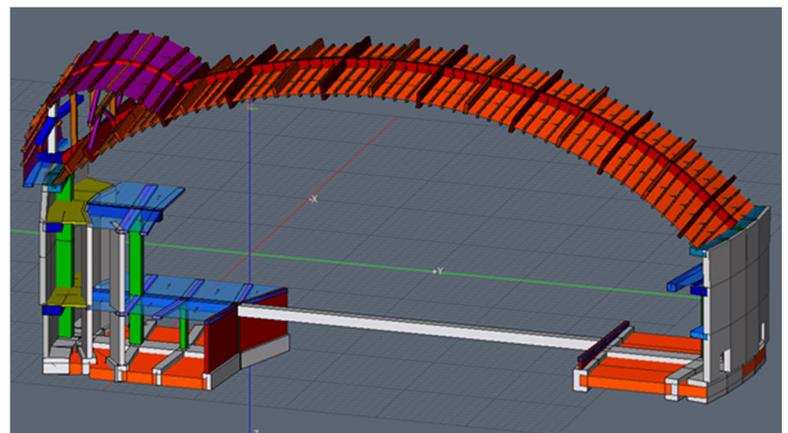
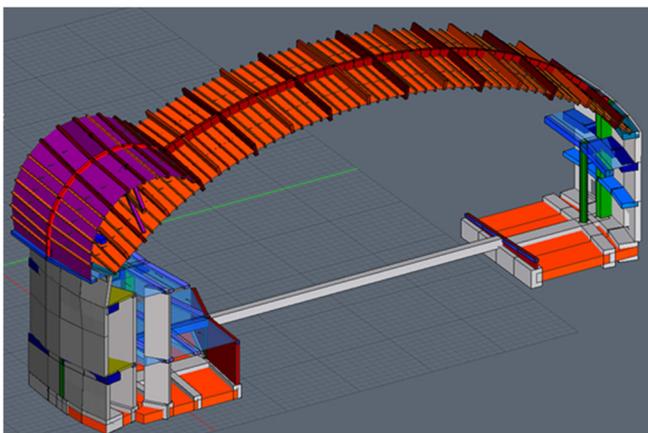
Ai fini ultimi di validare il seguente modello si è elaborato un ulteriore modello di calcolo parziale di tipo s sofisticato riferito alla sola travata centrale principale, estrapolata dal modello globale come mostrano le seguenti immagini 3D.



Vista 3D Modello Globale – individuazione della travata principale centrale alla quale riferire il modello parziale sofisticato



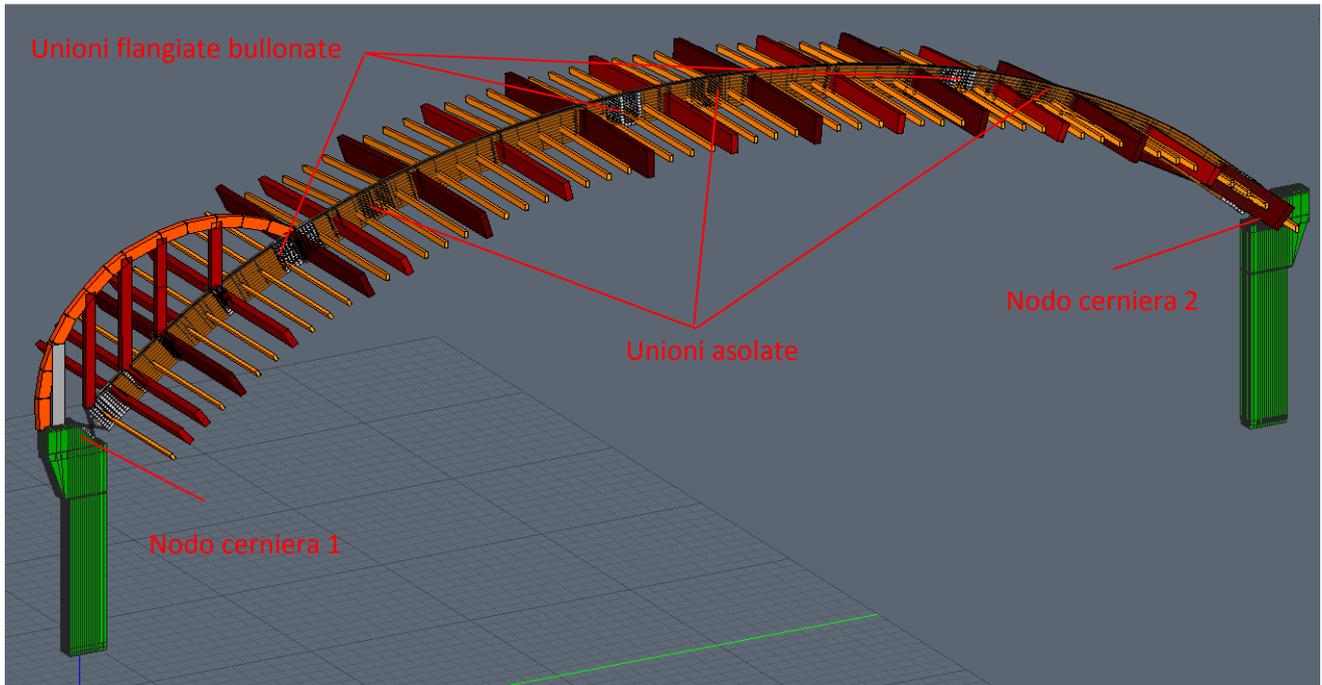
Vista 3D Modello Globale – estrapolazione dal modello globale della travata principale centrale



Vista 3D Modello Globale – particolare della travata principale centrale

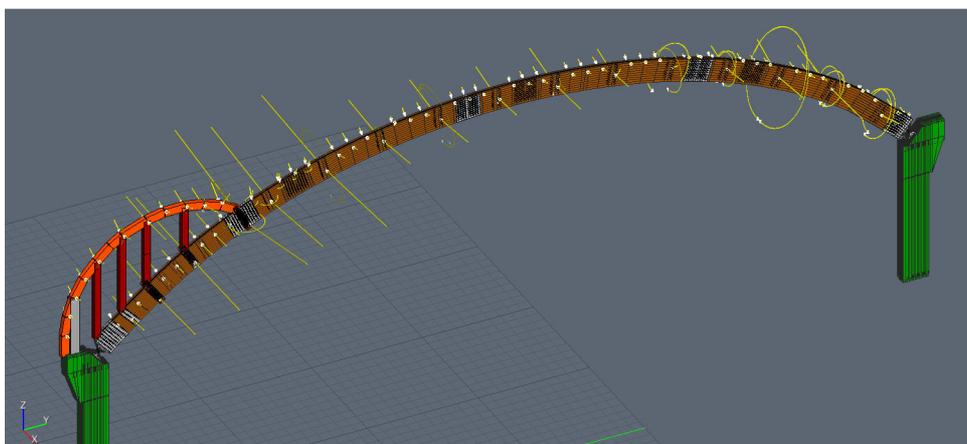
Il modello di calcolo sofisticato, prevede nella discretizzazione delle varie parti strutturali l'utilizzo di elementi shell (bidimensionali) a differenza del modello globale basato principalmente su elementi di tipo beam (monodimensionali), ossia su modelli di trave alla De Saint Venant, che prevedono la forte ipotesi di base di conservazione delle sezioni piane. Si fa riferimento, quindi, ad un modello di trave più deformabile che mette in conto anche la deformabilità dei bulloni, delle flange e delle asole di collegamento in acciaio delle singole porzioni di travata in legno lamellare.

In particolare, come mostra la vista 3D sottostante, sono stati modellati in dettaglio tutti gli elementi strutturali costituenti la travata principale centrale in legno lamellare tra cui i nodi cerniera 1 e 2 agli estremi della travata, i collegamenti flangiati e bullonati tra i tre tratti di travata principale e i collegamenti asolati e bullonati della stessa.



Vista 3D Modello Sofisticato – travata principale centrale in legno lamellare con particolari dei nodi cerniera e delle unioni

La travata principale centrale è stata caritata sui lembi destro dx e sinistro sx con le sollecitazioni di calcolo, derivanti dal modello globale per la combinazione più gravosa di neve in accumulo, queste sollecitazioni sono trasmesse dagli elementi strutturali trasversali quali arcarecci, travi di collegamento e ritegni torsionali, come riportato nelle viste 3D.

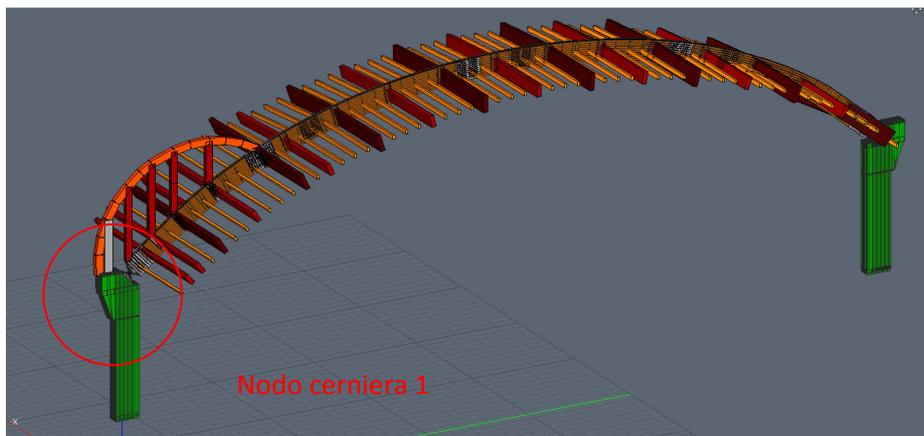


Vista 3D Modello Sofisticato – sollecitazioni di calcolo del modello globale trasmesse dagli elementi trasversali sui lembi destro e sinistro della travata centrale

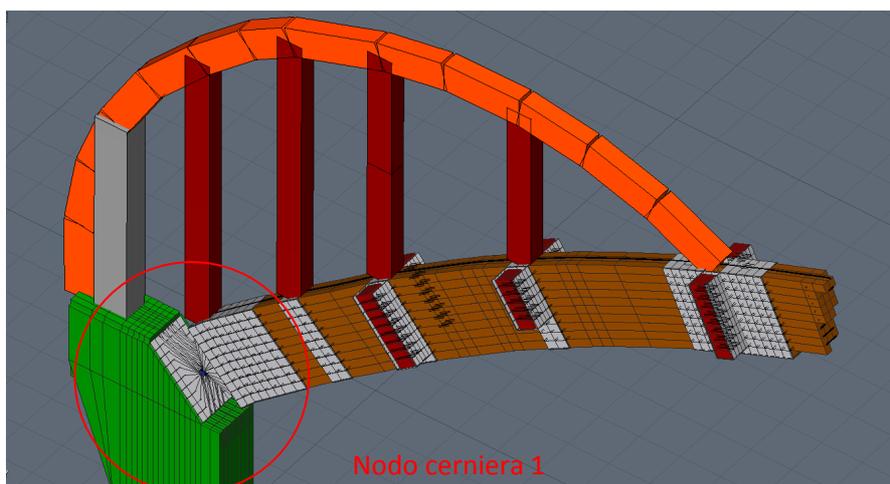
2. DESCRIZIONE UNIONI DEL MODELLO SOFISTICATO

2.1 PARTICOLARE NODO CERNIERA 1

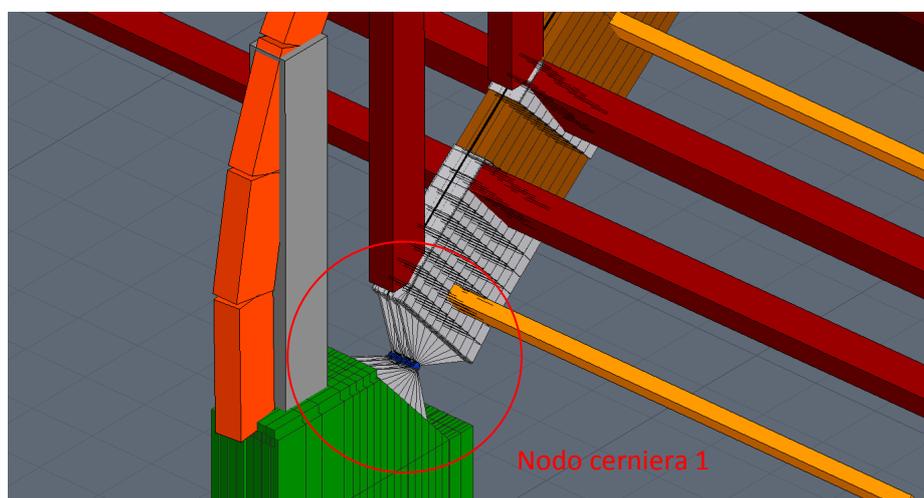
Di seguito si descrive il particolare del nodo cerniera 1 come individuato nelle viste sottostanti.



Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione del nodo cerniera 1

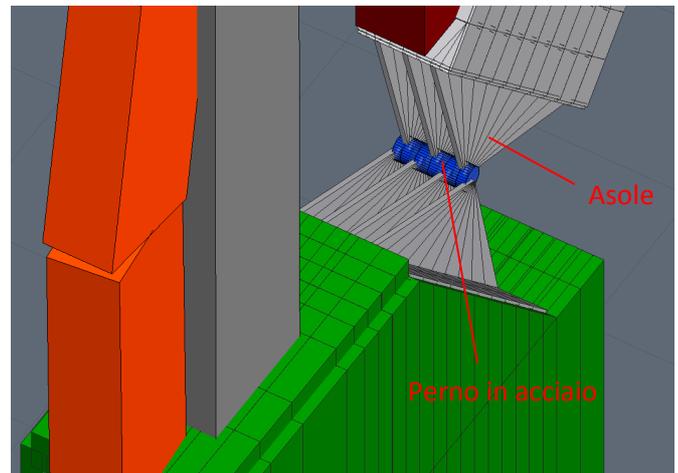
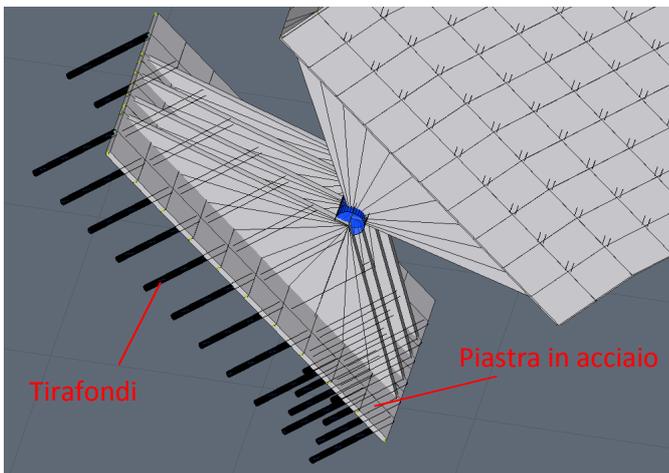
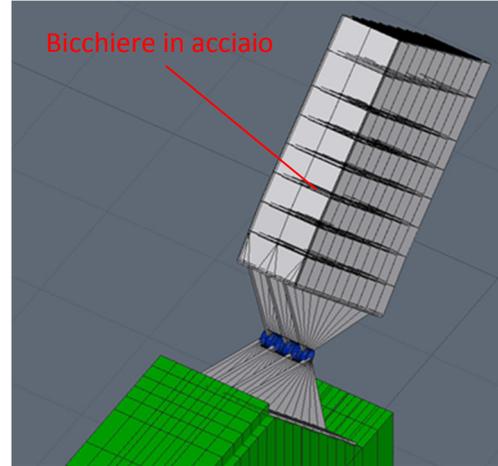
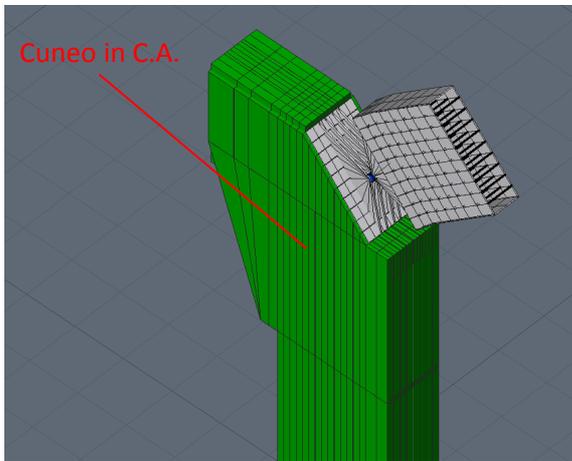


Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità del nodo cerniera 1



Vista 3D Modello Sofisticato – particolare nodo cerniera 1

Il nodo cerniera 1 si compone di un meccanismo principale costituito da due gruppi di asole, tre superiormente e quattro inferiormente entrambi collegati da un perno centrale in acciaio, libero di ruotare, del diametro di 140 mm e di un elemento bicchiere in acciaio che fascia la travata in legno lamellare all'estremo di appoggio. Il meccanismo asole-perno è a sua volta collegato con il cuneo in C.A. di appoggio della travata e con l'elemento bicchiere tramite delle piastre in acciaio rettangolari.



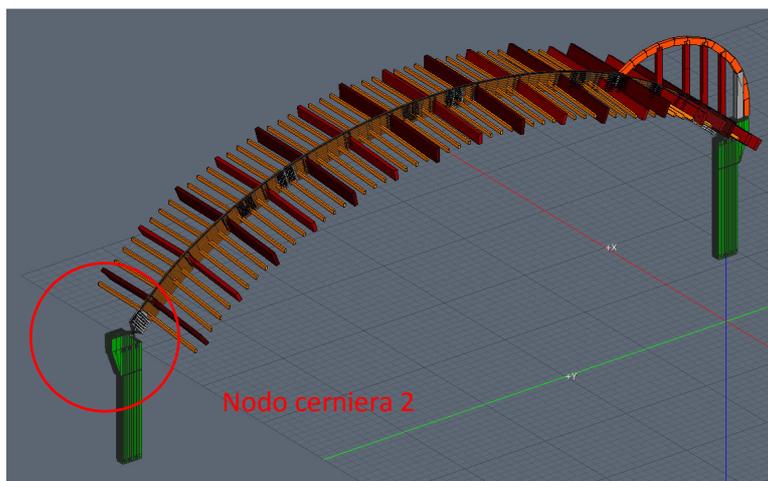
Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti il nodo cerniera 1

Gli elementi asola sono delle piastre in acciaio S450 dello spessore di 30 mm di forma trapezoidale. Si noti come nel modello sofisticato si sono considerati un numero inferiore di asole rispetto alla realtà a vantaggio di sicurezza; in particolare il modello prevede 3 asole superiormente e 4 inferiormente, mentre nella realtà si è disposto il massimo numero di asole che l'alloggio può contenere, ovvero 6 asole superiormente e 7 inferiormente. Il meccanismo perno-asole in acciaio è caratterizzato da una rigidità torsionale trascurabile ai fini di garantire la capacità rotazionale del collegamento cerniera. L'elemento bicchiere è costituito da quattro piastre di acciaio S450 dello spessore di 20 mm. Le due piastre rettangolari di collegamento in acciaio S450 hanno spessore 30 mm. Il cuneo in calcestruzzo armato costituisce la testa del pilastro su cui poggia l'intera travata. I tirafondi sono degli elementi bullone in acciaio di diametro 30 mm e lunghezza di ancoraggio nel cuneo di calcestruzzo armato di 2350 mm.

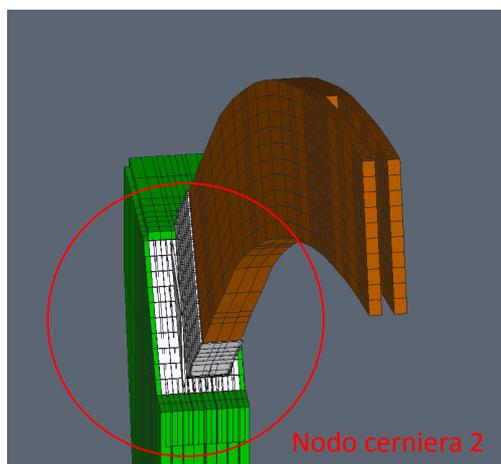
Nel modello sofisticato del nodo cerniera 1 l'elemento bicchiere, gli elementi piastra e gli elementi asola, come sopra definiti, sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni, i tirafondi e l'elemento perno sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

2.2 PARTICOLARE NODO CERNIERA 2

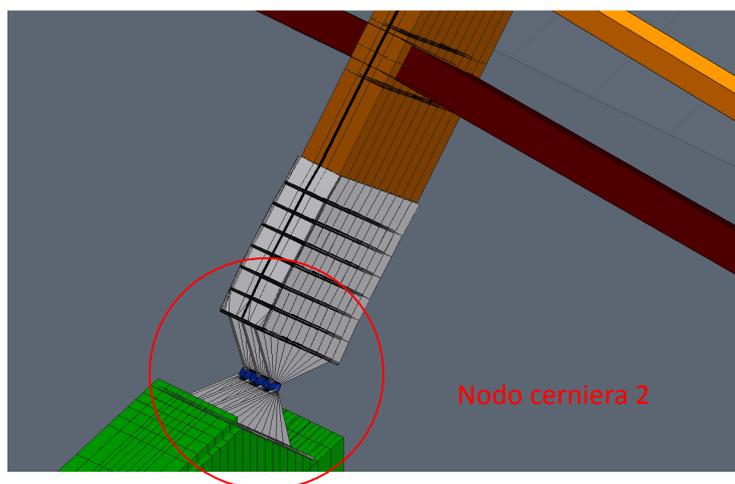
Di seguito si descrive il particolare del nodo cerniera 2 come individuato nelle viste sottostanti.



Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione del nodo cerniera 2



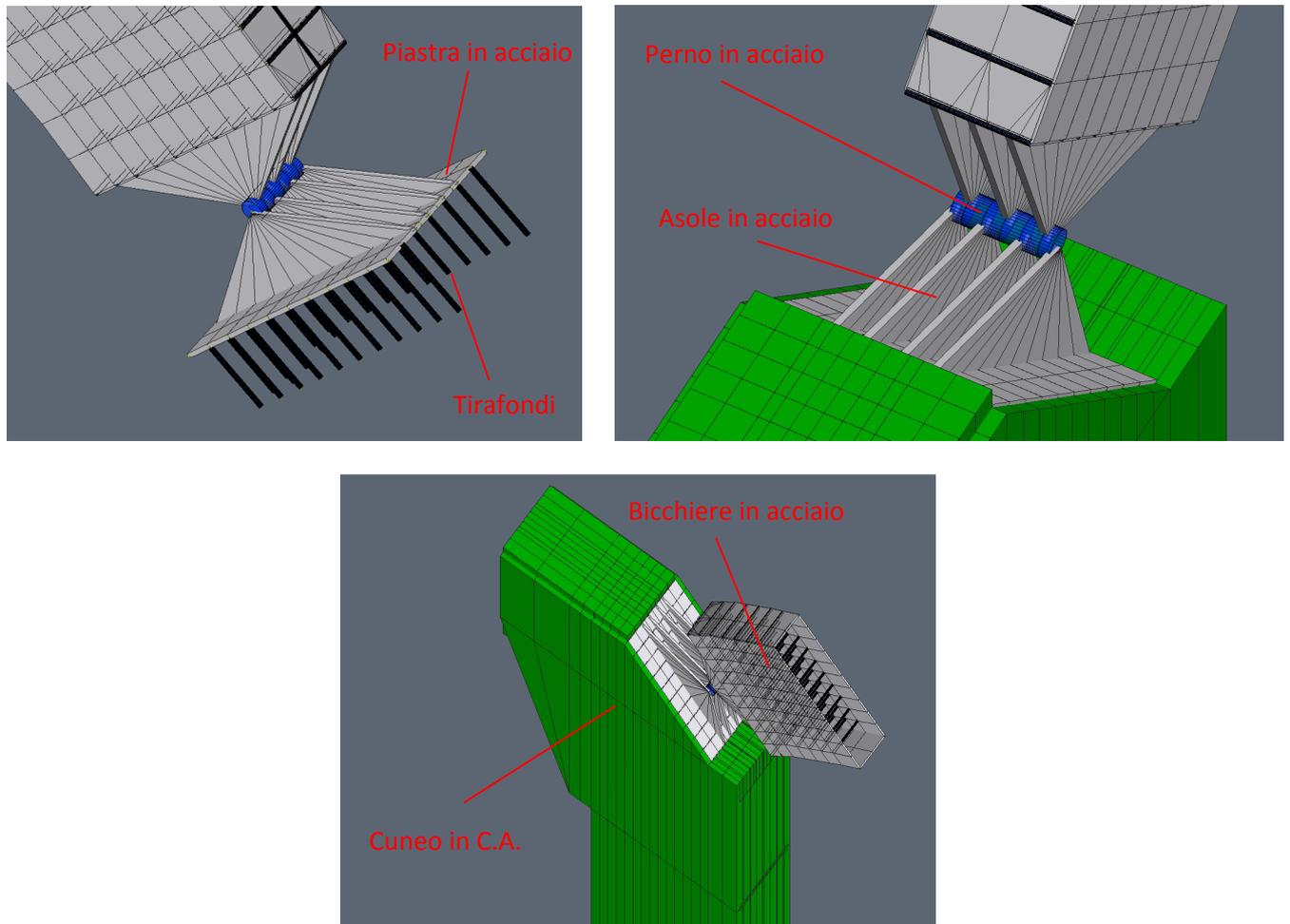
Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità del nodo cerniera 2



Vista 3D Modello Sofisticato –nodo cerniera 2

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Il nodo cerniera 2 si compone di un meccanismo principale costituito da due gruppi di asole, tre superiormente e quattro inferiormente entrambi collegati da un perno centrale in acciaio, libero di ruotare, del diametro di 140 mm e di un elemento bicchiere in acciaio che fascia la travata in legno lamellare all'estremo di appoggio. Il meccanismo asole-perno è a sua volta collegato con il cuneo in C.A. di appoggio della travata e con l'elemento bicchiere tramite delle piastre in acciaio rettangolari.

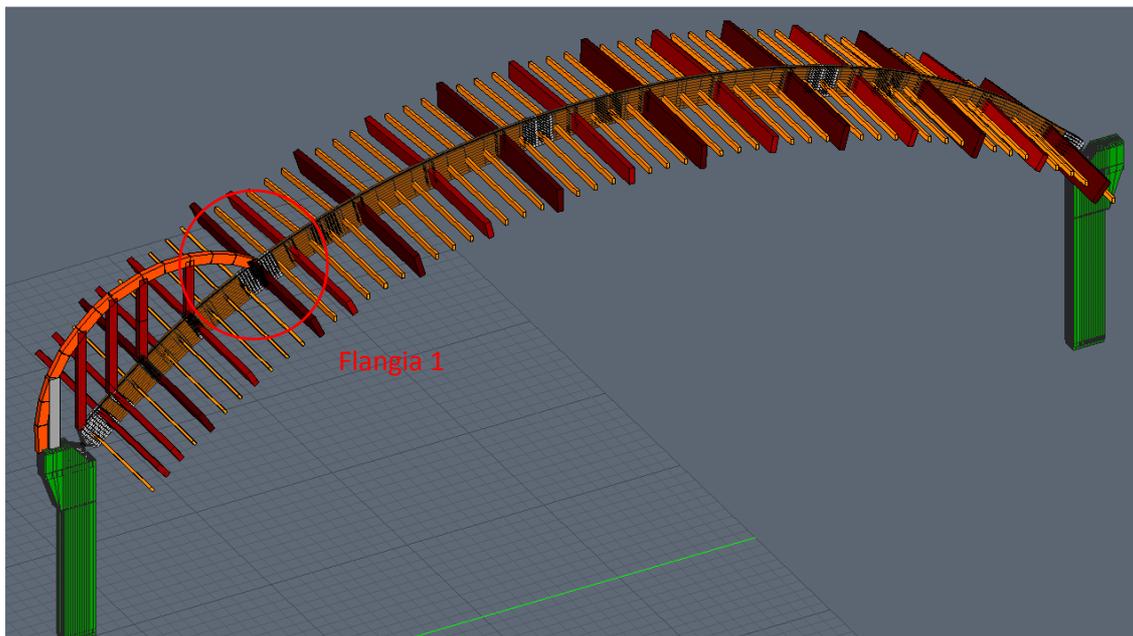


Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti il nodo cerniera 2

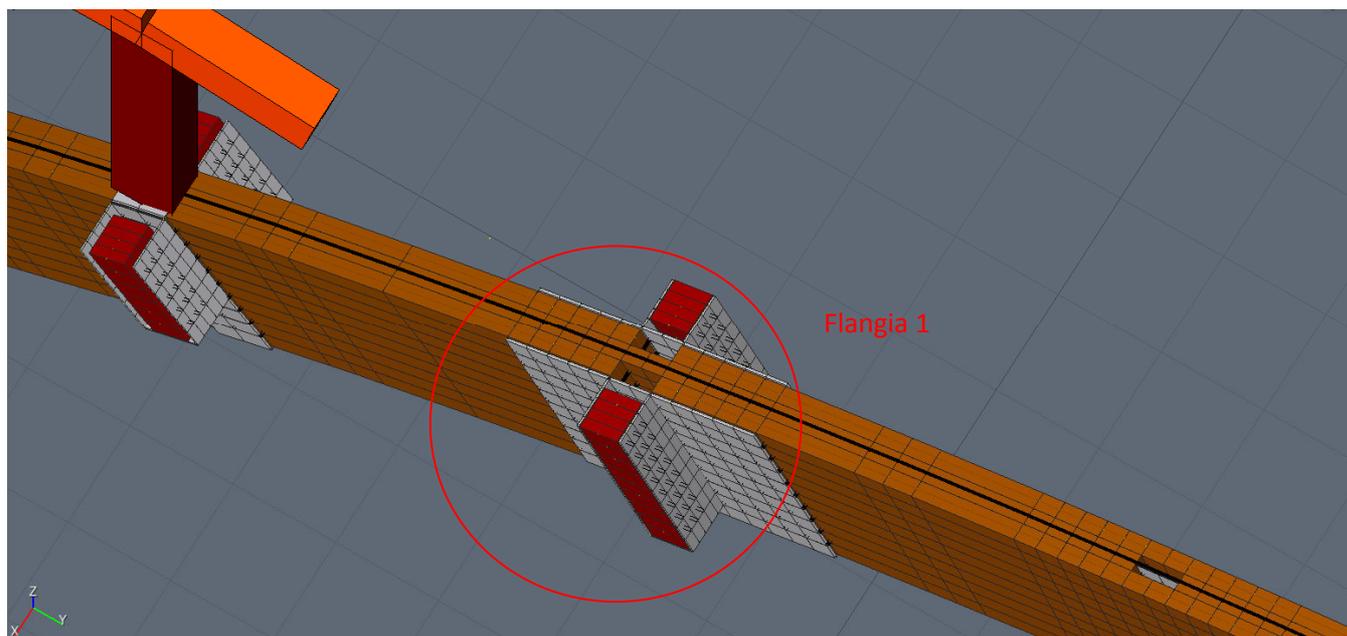
Gli elementi asola sono delle piastre in acciaio S450 dello spessore di 30 mm di forma trapezoidale. Si noti come nel modello sofisticato si sono considerati un numero inferiore di asole rispetto alla realtà a vantaggio di sicurezza; in particolare il modello prevede 3 asole superiormente e 4 inferiormente, mentre nella realtà si è disposto il massimo numero di asole che l'alloggio può contenere, ovvero 6 asole superiormente e 7 inferiormente. Il meccanismo perno-asole in acciaio è caratterizzato da una rigidità torsionale trascurabile ai fini di garantire la capacità rotazionale del collegamento cerniera. L'elemento bicchiere è costituito da quattro piastre di acciaio S450 dello spessore di 20 mm. Le due piastre rettangolari di collegamento in acciaio S450 hanno spessore 30 mm. Il cuneo in calcestruzzo armato costituisce la testa del pilastro su cui poggia l'intera travata. I tirafondi sono degli elementi bullone in acciaio di diametro 30 mm e lunghezza di ancoraggio nel cuneo di calcestruzzo armato di 2350 mm. Nel modello sofisticato del nodo cerniera 2 l'elemento bicchiere, gli elementi piastra e gli elementi asola, come sopra definiti, sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni, i tirafondi e l'elemento perno sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

2.3 PARTICOLARE FLANGIA 1

Di seguito si descrive il particolare della flangia 1 come individuato nelle viste sottostanti.



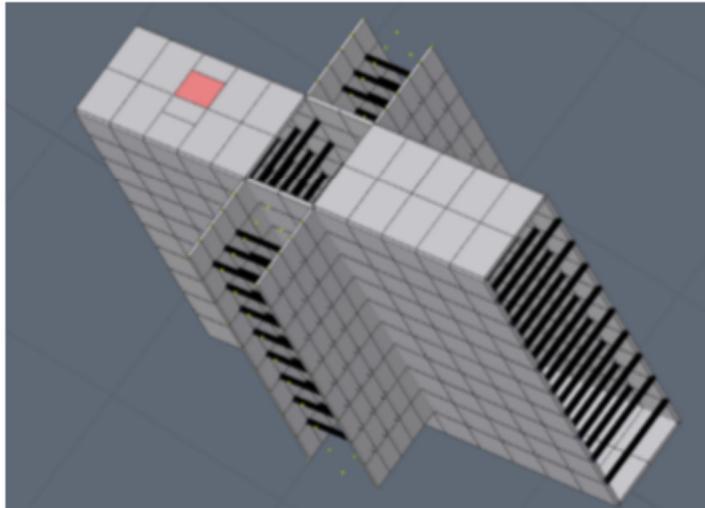
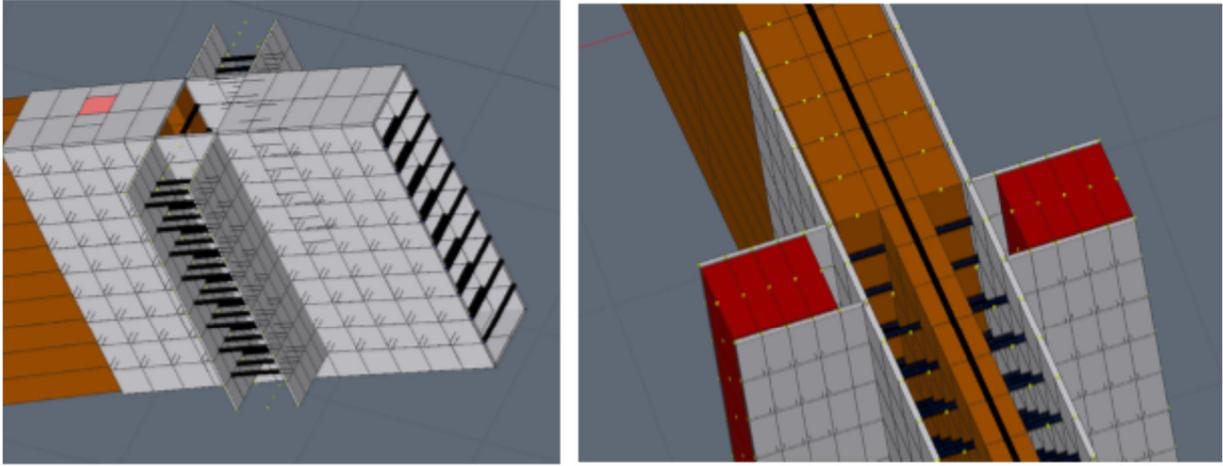
Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione della flangia 1



Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità della flangia 1

L'unione flangiata 1 dei due tratti di travata principale è costituita da elementi piastra in acciaio S450 e bulloni M30 classe 8.8 del diametro di 30 mm. L'unione prevede un numero di file di connettori pari a 6 per ogni lembo per un totale di 12 file sull'intera piastra e un numero di connettori per fila pari 9.

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

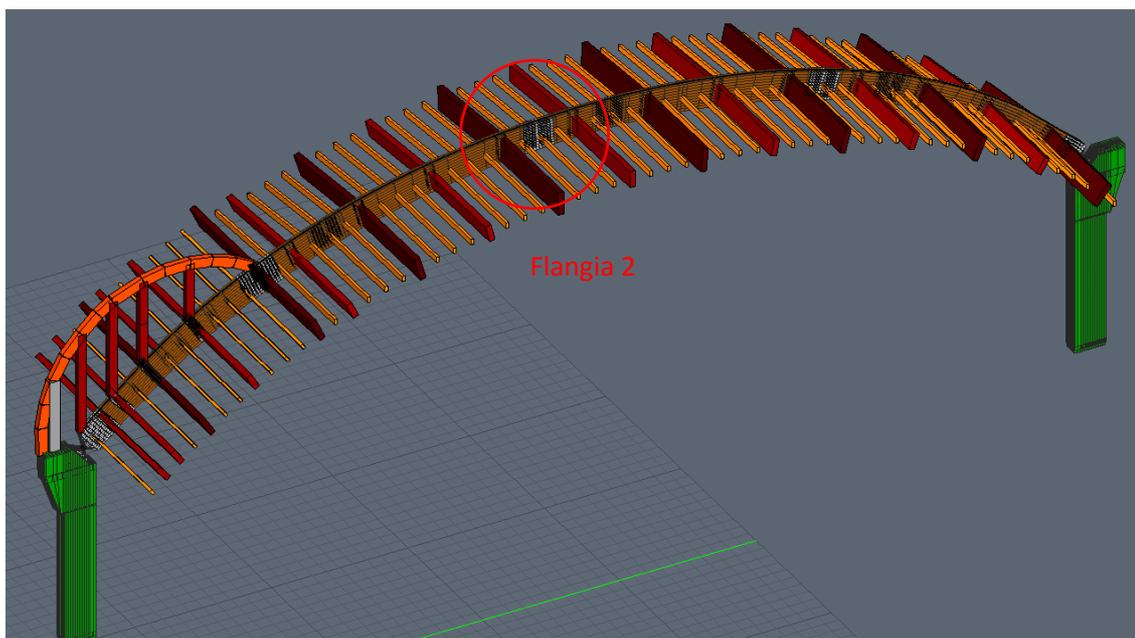


Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti della flangia 1

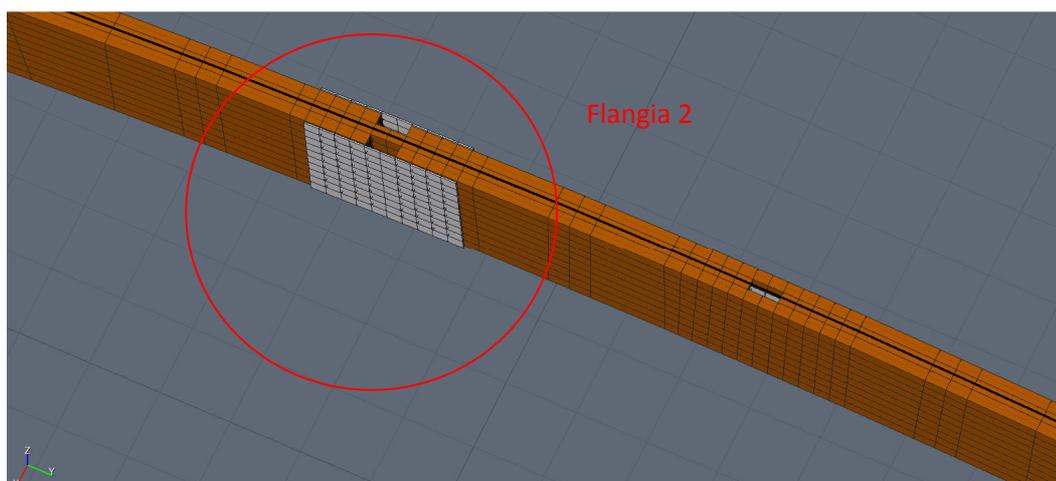
Nel modello sofisticato *della flangia 1* gli elementi piastra sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

2.4 PARTICOLARE FLANGIA 2

Di seguito si descrive il particolare della flangia 2 come individuato nelle viste sottostanti.



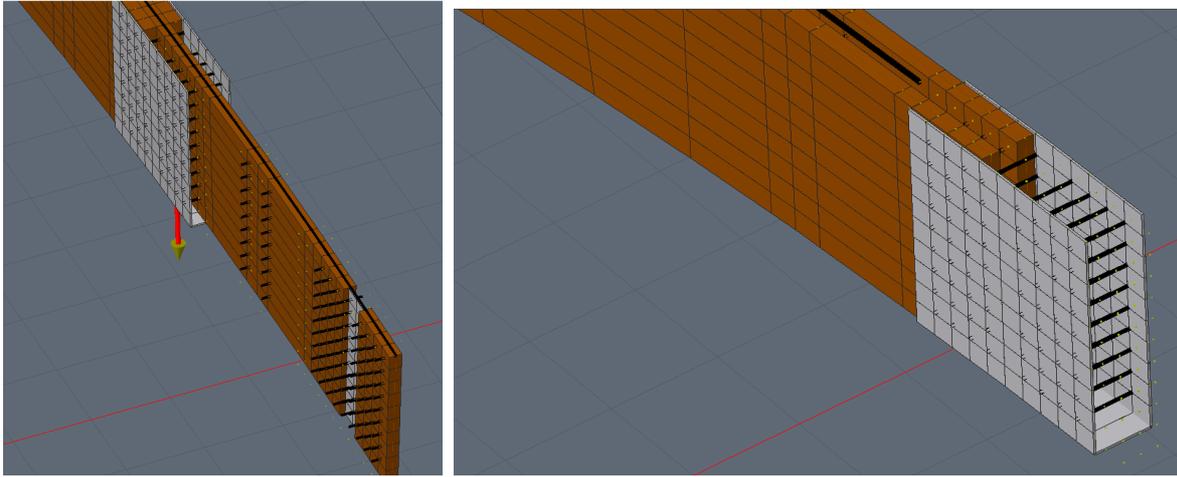
Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione della flangia 2



Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità della flangia 2

L'unione flangiata 2 dei due tratti di travata principale è costituita da elementi piastra in acciaio S450 e bulloni M27 classe 8.8 del diametro di 27 mm. L'unione prevede un numero di file di connettori pari a 4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra e un numero di connettori per fila pari 9.

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

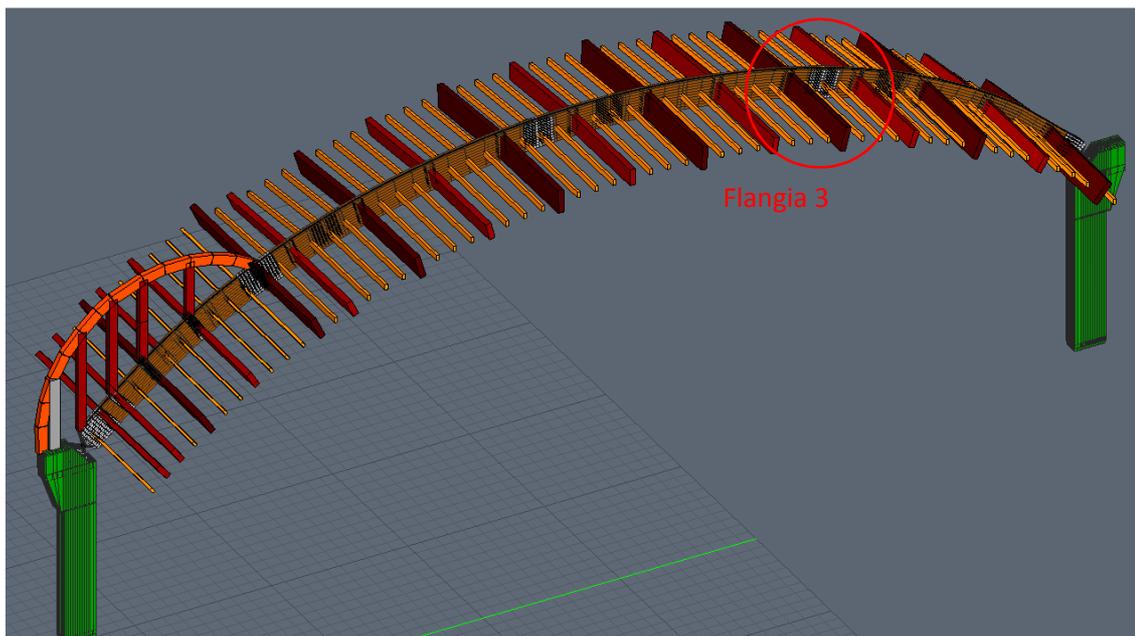


Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti della flangia 2

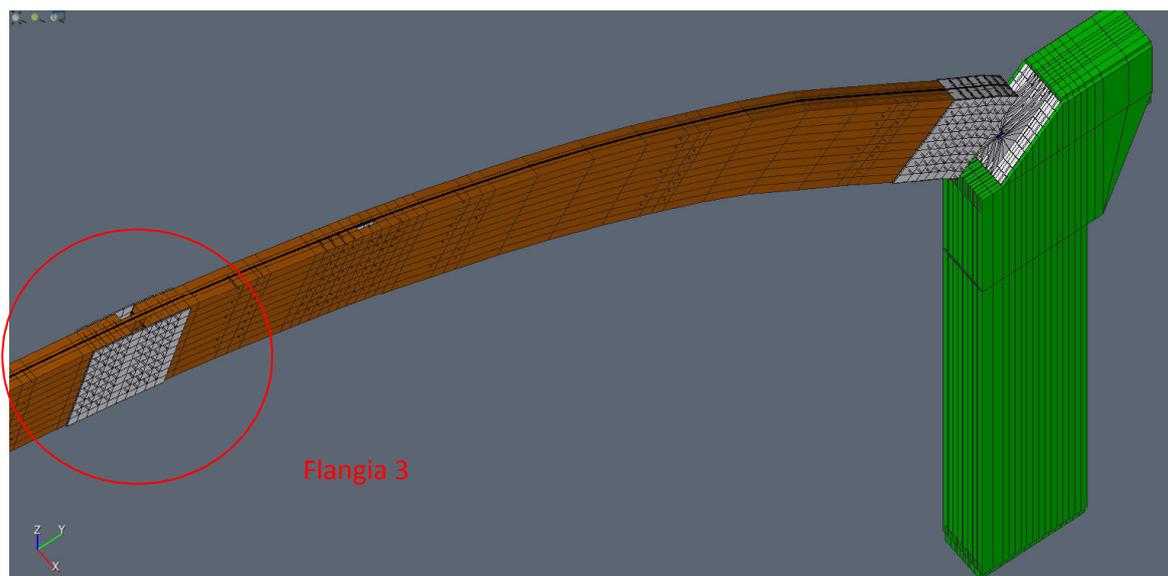
Nel modello sofisticato *della flangia 2* gli elementi piastra sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

2.5 PARTICOLARE FLANGIA 3

Di seguito si descrive il particolare della flangia 3 come individuato nelle viste sottostanti.

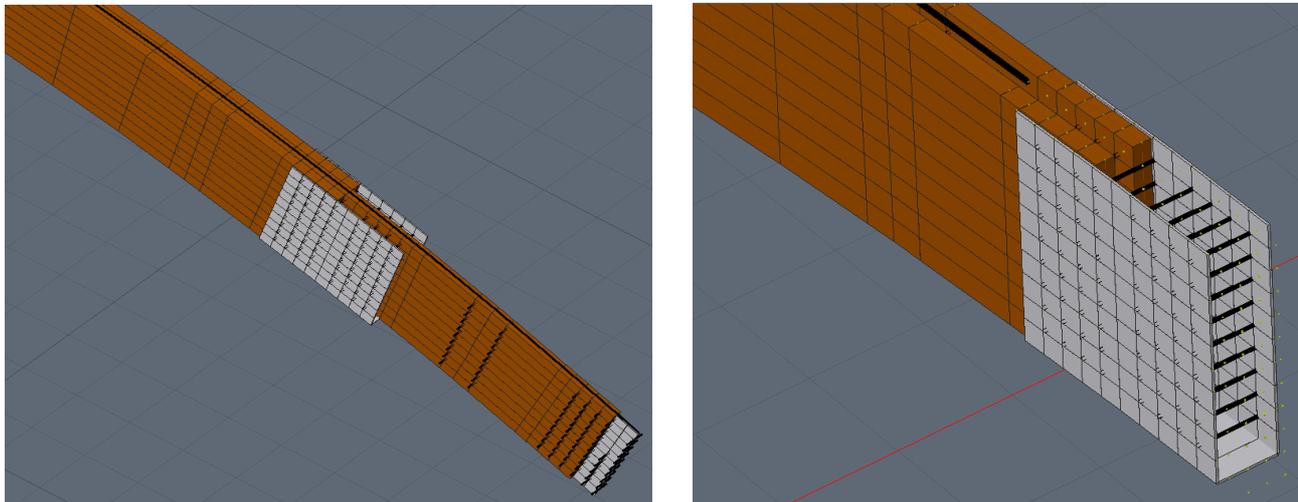


Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione della flangia 3



Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità della flangia 3

L'unione flangiata 3 dei due tratti di travata principale è costituita da elementi piastra in acciaio S450 e bulloni M27 classe 8.8 del diametro di 27 mm. L'unione prevede un numero di file di connettori pari a 4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra e un numero di connettori per fila pari 9.

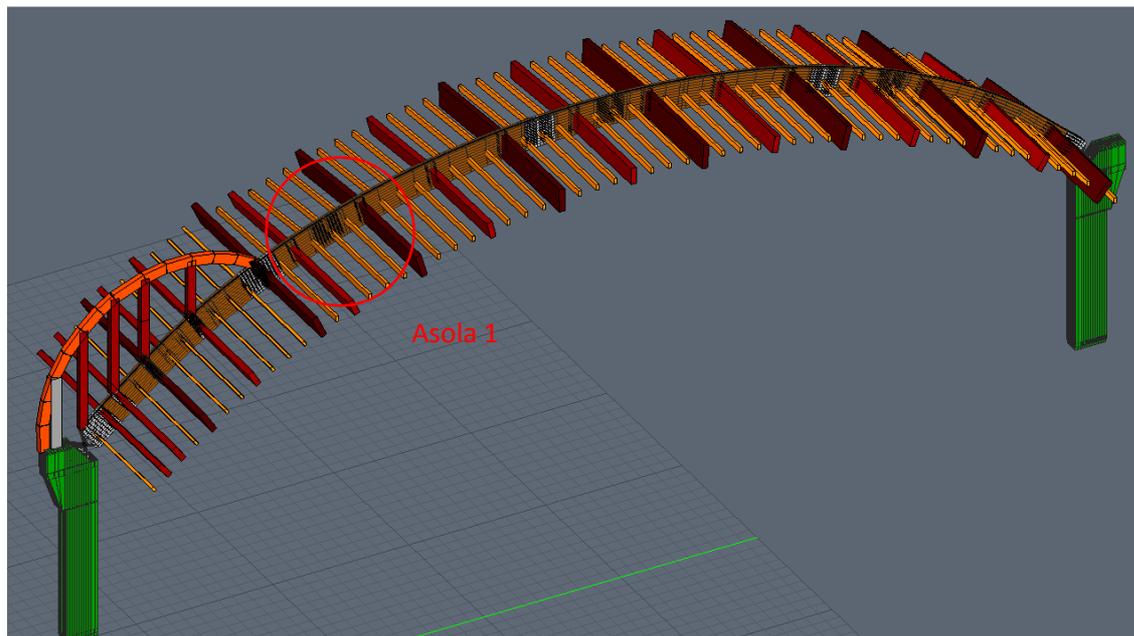


Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti della flangia 3

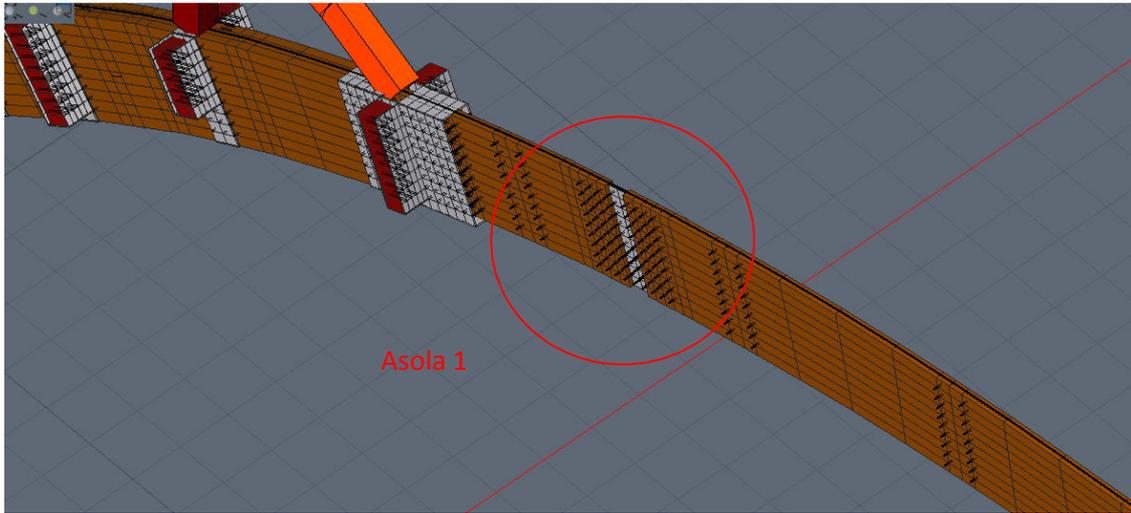
Nel modello sofisticato *della flangia 3* gli elementi piastra sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

2.6 PARTICOLARE ASOLA 1

Di seguito si descrive il particolare dell' asola 1 come individuato nelle viste sottostanti.

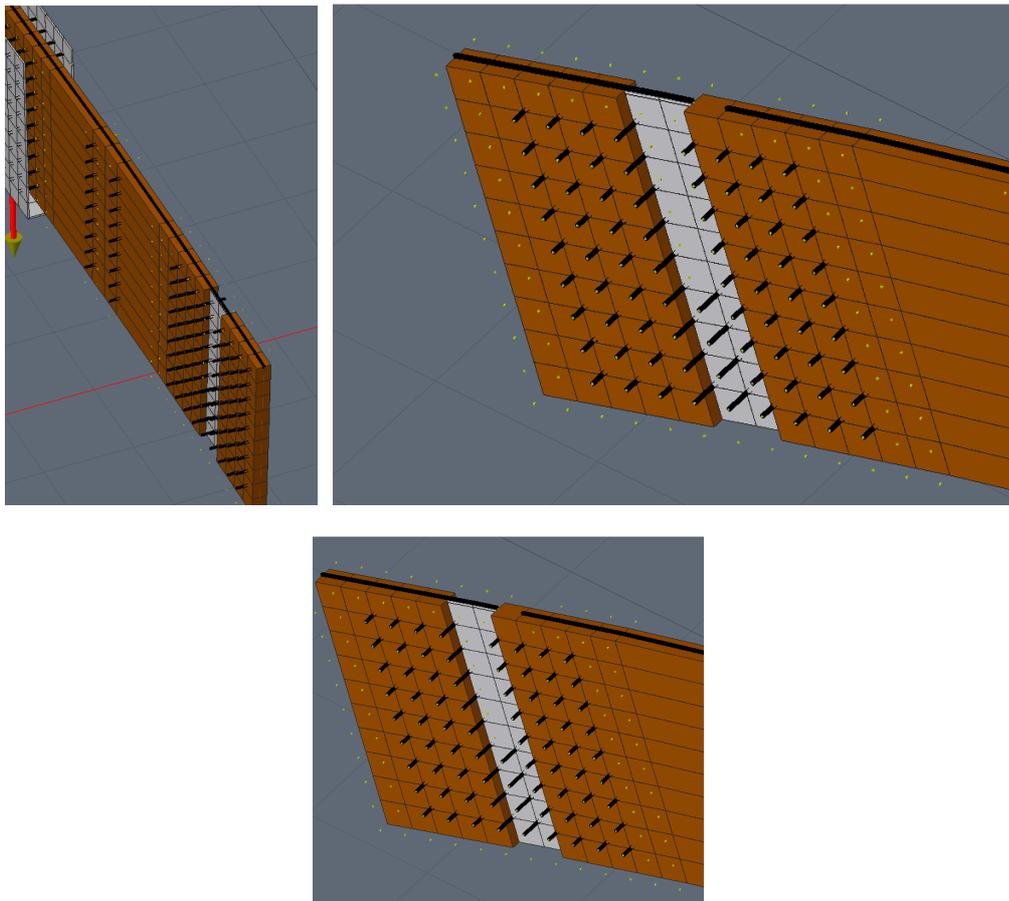


Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione dell'asola 1



Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità dell'asola 1

L'unione asolata 1 dei due tratti di travata principale è costituita da un elemento piastra in acciaio S450 e bulloni M24 classe 8.8 del diametro di 24 mm. L'unione prevede un numero di file di connettori pari a 4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra e un numero di connettori per fila pari 9.

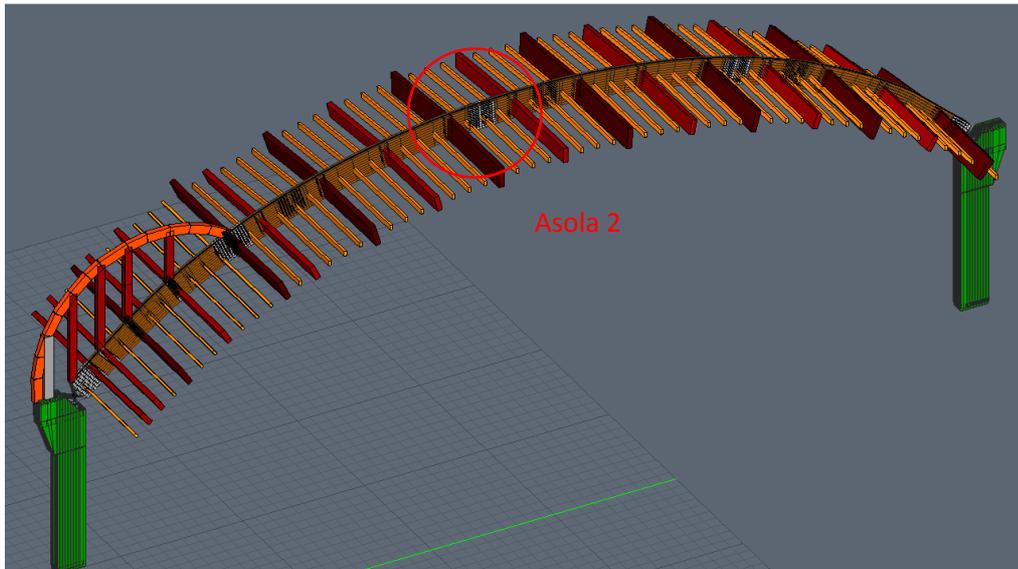


Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti dell'asola 1

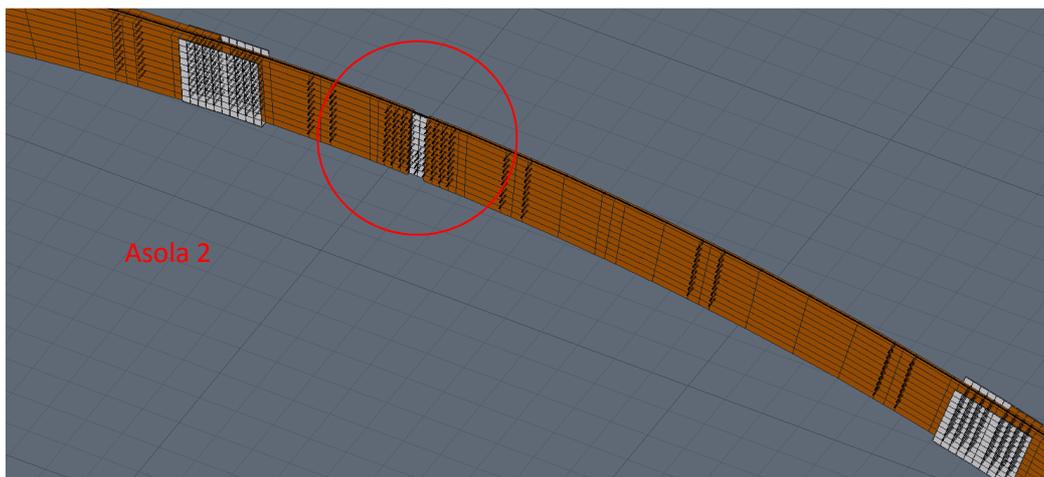
Nel modello sofisticato *della asola 1* gli elementi piastra sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

2.7 PARTICOLARE ASOLA 2

Di seguito si descrive il particolare dell' asola 2 come individuato nelle viste sottostanti.

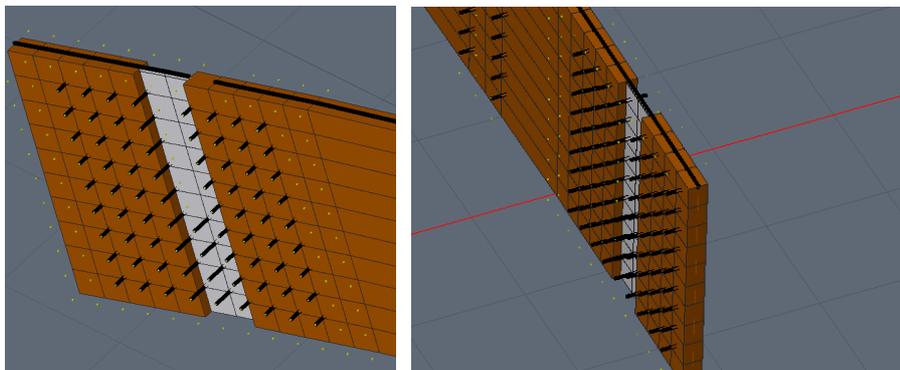


Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione dell'asola 2



Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità dell'asola 2

L'unione asolata 2 dei due tratti di travata principale è costituita da un elemento piastra in acciaio S450 e bulloni M24 classe 8.8 del diametro di 24 mm. L'unione prevede un numero di file di connettori pari a 4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra e un numero di connettori per fila pari 9.

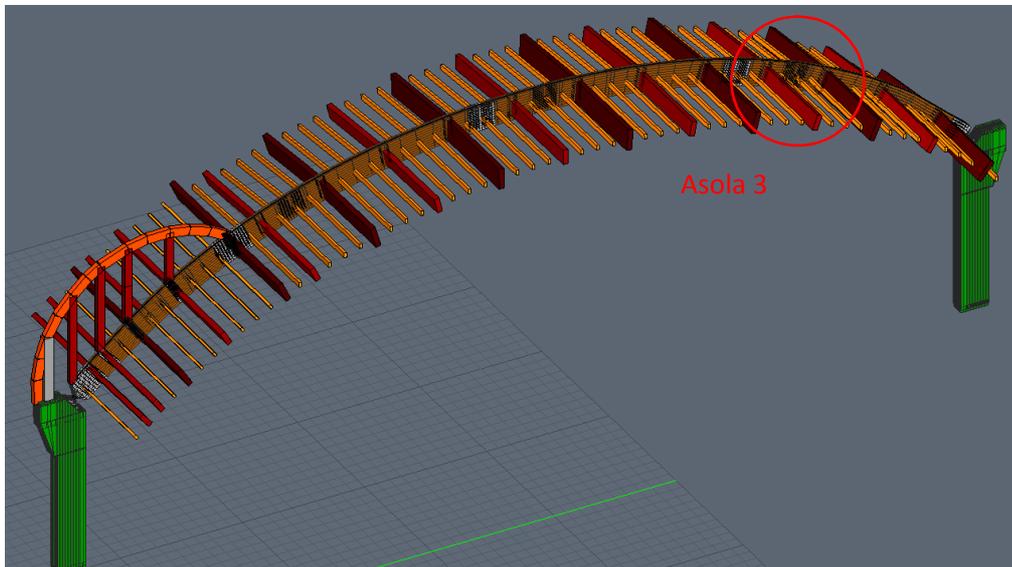


Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti dell'asola 2

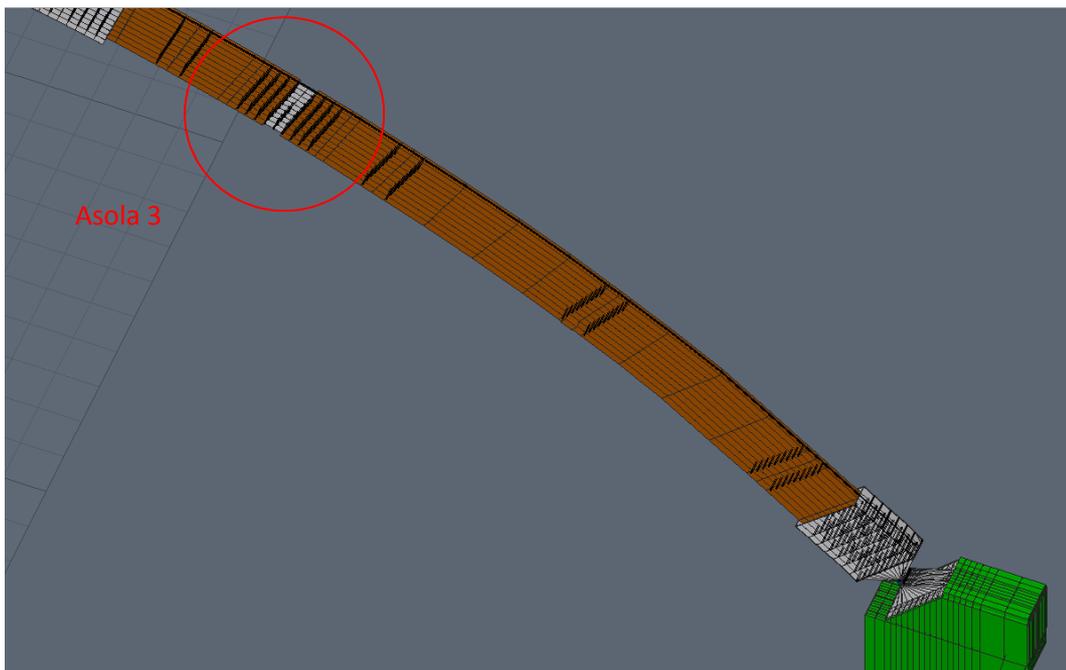
Nel modello sofisticato della asola 2 gli elementi piastra sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

2.8 PARTICOLARE ASOLA 3

Di seguito si descrive il particolare dell' asola 3 come individuato nelle viste sottostanti.



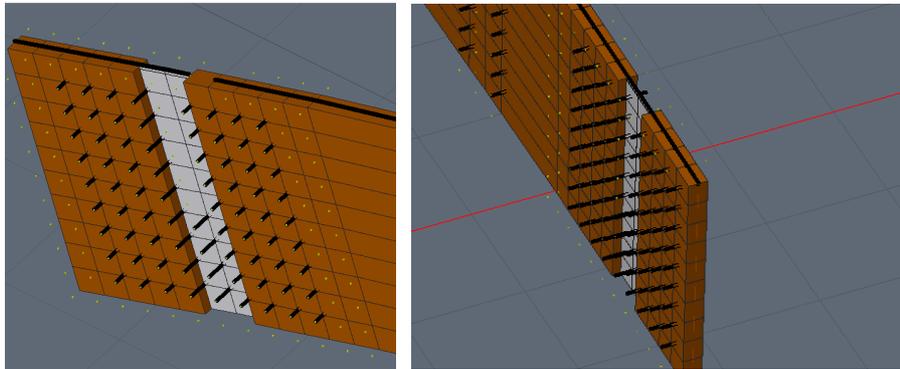
Vista 3D Modello Sofisticato – travata centrale in legno lamellare con individuazione dell'asola 3



Vista 3D Modello Sofisticato – travata in prossimità dell'asola 3

L'unione asolata 3 dei due tratti di travata principale è costituita da un elemento piastra in acciaio S450 e bulloni M24 classe 8.8 del diametro di 24 mm. L'unione prevede un numero di file di connettori pari a 4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra e un numero di connettori per fila pari 9.

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

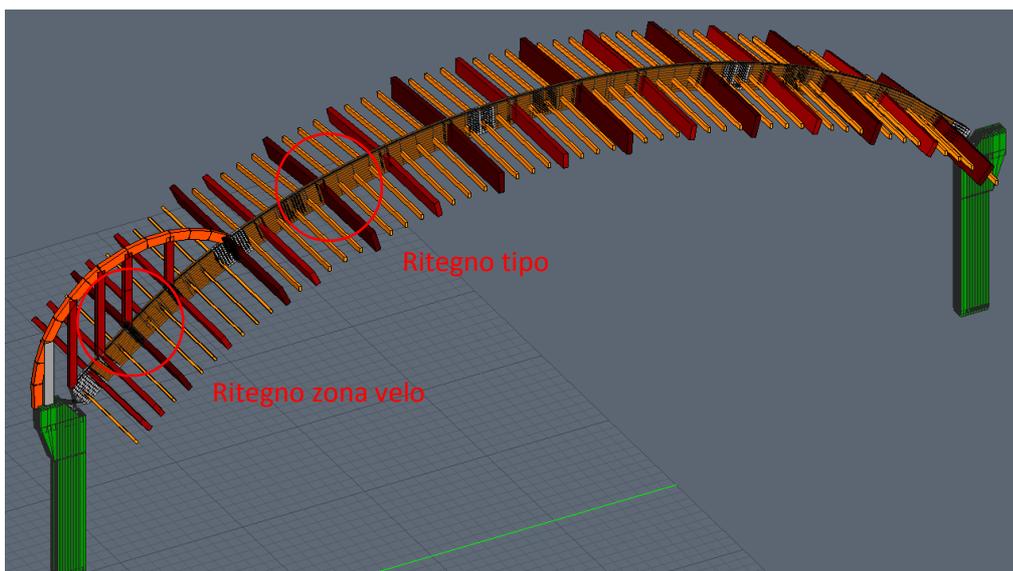


Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti dell'asola 3

Nel modello sofisticato della asola 3 gli elementi piastra sono stati discretizzati con degli elementi finiti di tipo shell (bidimensionali); mentre gli elementi bulloni sono stati modellati con degli elementi finiti di tipo beam (monodimensionali).

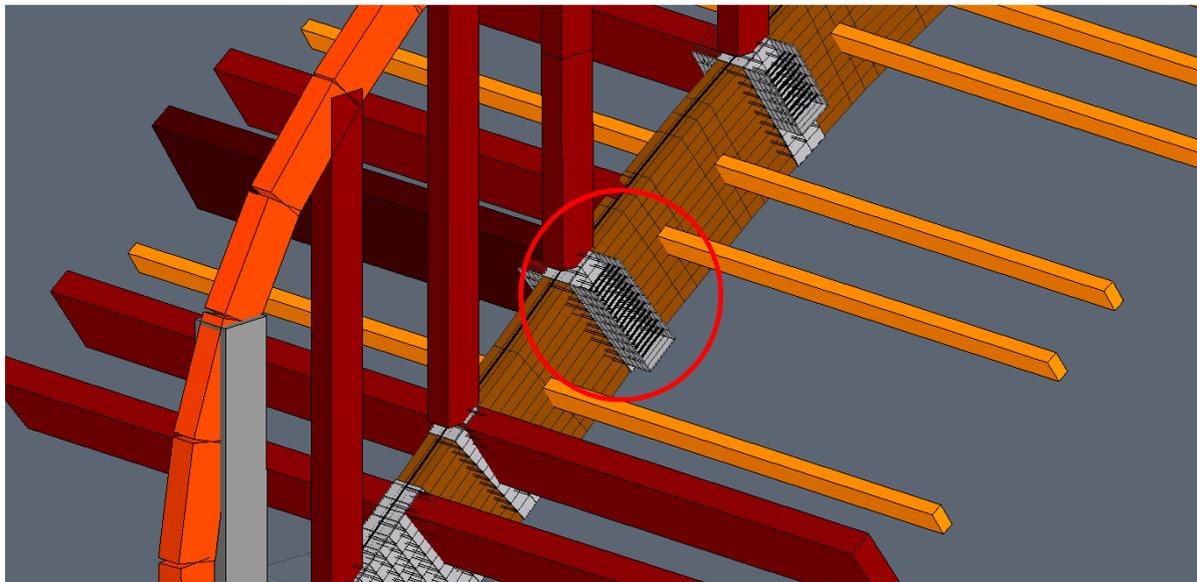
2.9 PARTICOLARE UNIONE RITEGNO SU TRAVATA

Di seguito si descrive il particolare dell'unione ritegno sulla travata come individuato dalle viste sottostanti.



Vista 3D Modello Sofisticato – unione ritegno nella zona velo e tipo

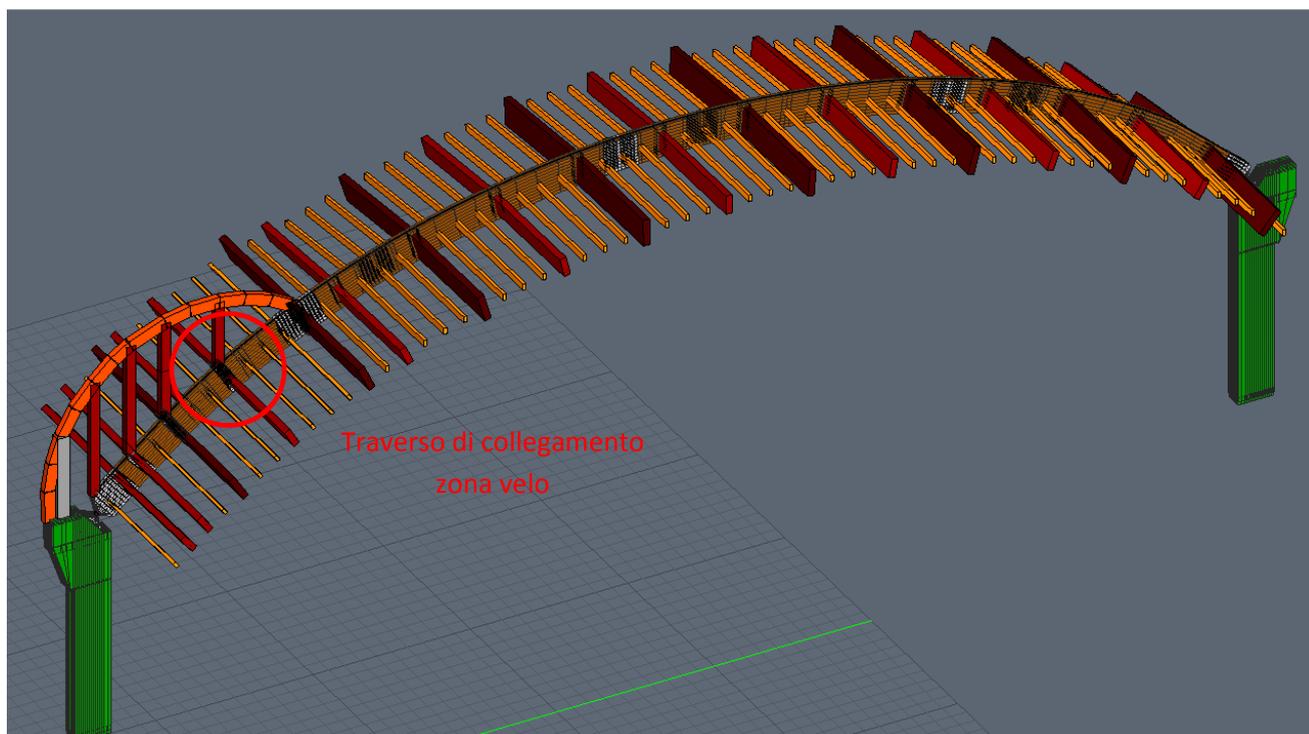
Sia l' unione ritegno su trave principale nella zona velo che quella tipo sono costituite da piastre in acciaio S450 e bulloni M27 classe 8.8



Vista 3D Modello Sofisticato – particolare dell'unione ritegno nella zona velo

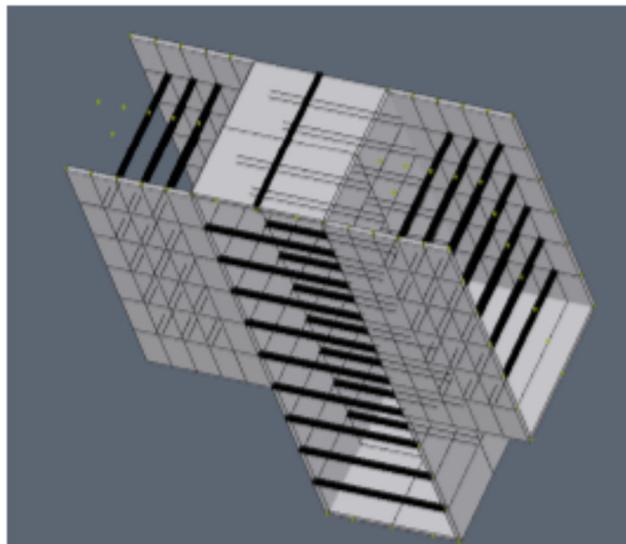
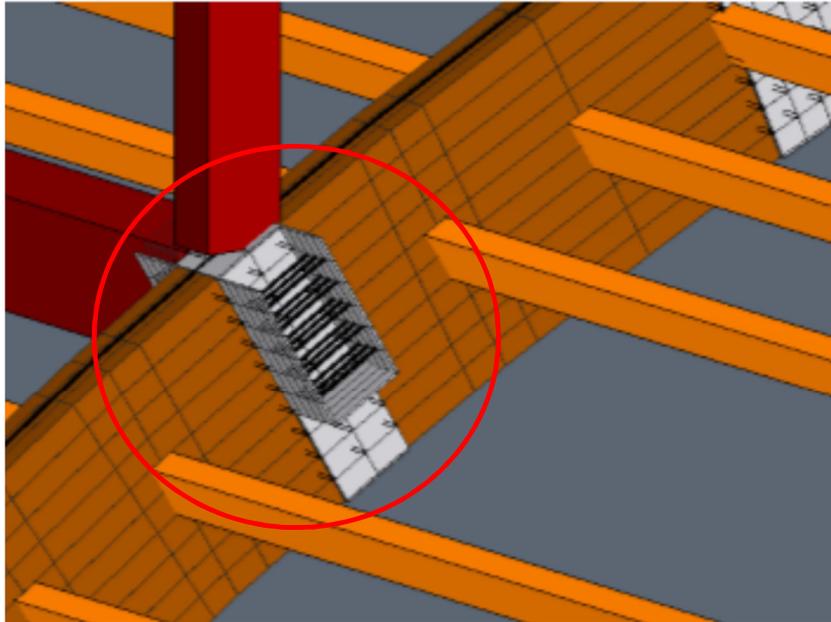
2.10 PARTICOLARE UNIONE TRAVERSO DI COLLEGAMENTO ZONA VELO

Di seguito si descrive il particolare dell'unione del traverso di collegamento posizionato sotto la struttura in legno del "velo", come individuato nelle viste sottostanti.



Vista 3D Modello Sofisticato – Particolare traverso di collegamento zona velo

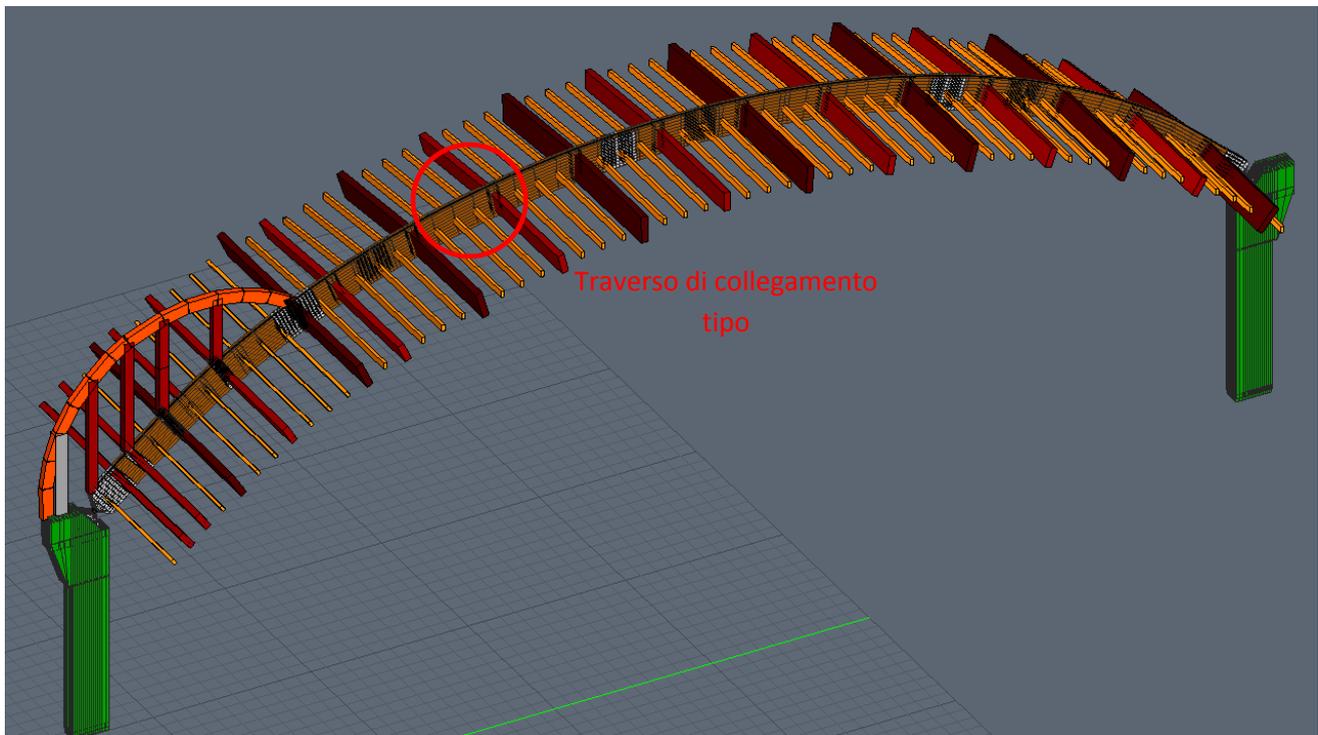
L'unione del traverso di collegamento sotto la struttura in legno del "velo" è costituita da piastre in acciaio e bulloni M24 classe 8.8.



Vista 3D Modello Sofisticato – elementi costituenti l'unione del traverso di collegamento sotto il velo

2.11 PARTICOLARE UNIONE TRAVERSO DI COLLEGAMENTO TIPO

Di seguito si descrive il particolare dell'unione del traverso di collegamento tipo come individuato nelle viste sottostanti.

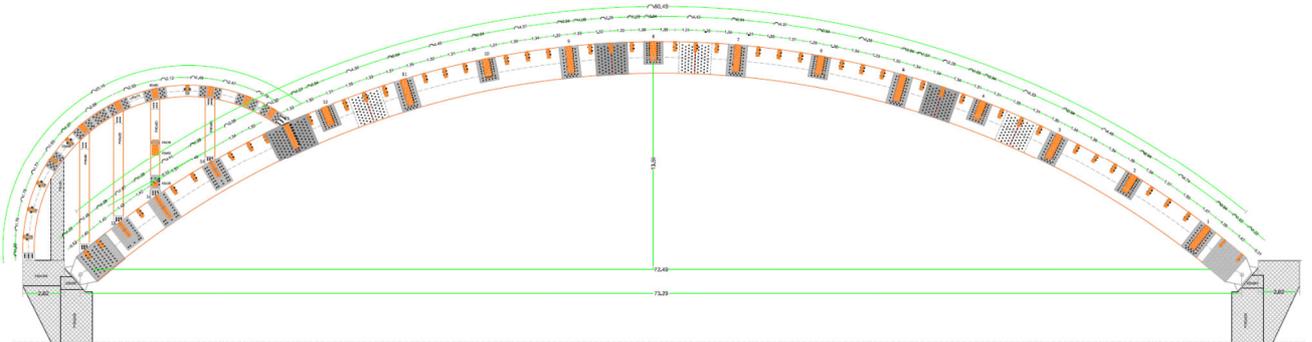


Vista 3D Modello Sofisticato – Particolare traverso di collegamento tipo

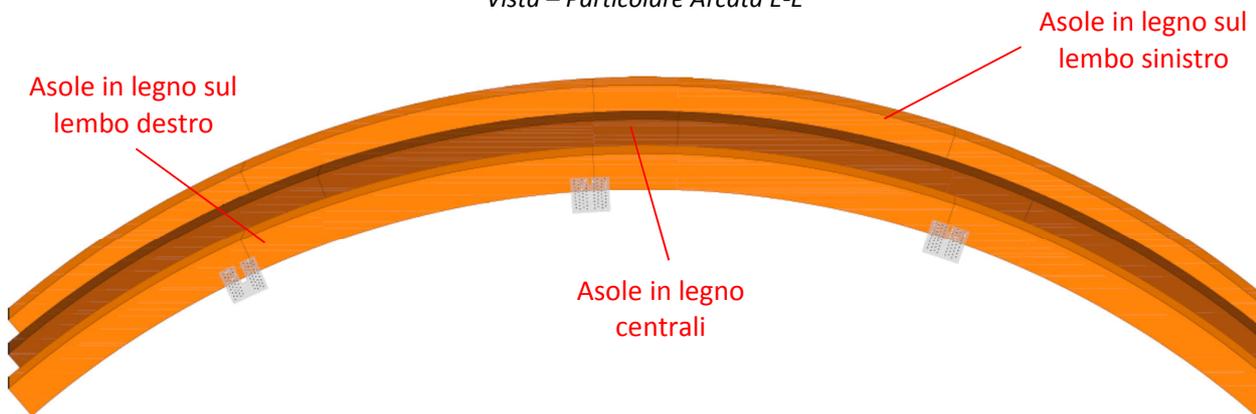
L'unione traverso di collegamento tipo su trave principale è costituita da piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8.

3. PARTICOLARI ARCATA IN LEGNO PRINCIPALE (CONCI DESTRO, CENTRALE E SINISTRO)

Di seguito si descrivono i particolari delle asole in legno sui lembi destro, sinistro e centrale dell'arcata principale come individuato nelle viste sottostanti.



Vista – Particolare Arcata E-E'



Vista – Particolare delle tre Asole in legno lamellare sui lembi destro, sinistro e centrale dell'arcata principale

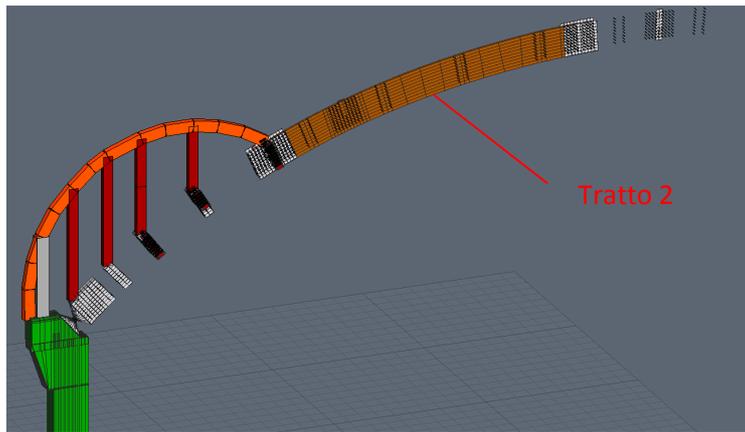
L'arcata principale si compone di tre gruppi di asole in legno tagliate opportunamente in base alle esigenze di trasporto e montate in modo sfalsato per evitare che la discontinuità tra le tre asole cadesse sulla stessa sezione.

Ciascuna delle tre asole in legno della arcata principale di spessore 16 mm e altezza 2000 mm si compone nello sviluppo assiale di quattro tratti come mostrano di seguito le immagini.

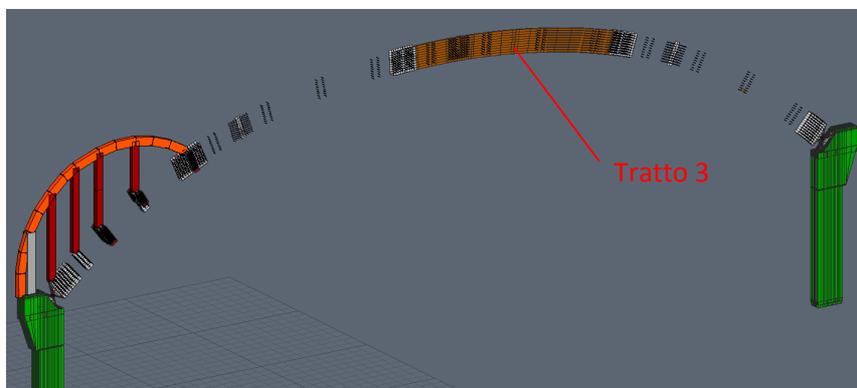


Vista – modello sofisticato: tratto 1 delle Asole in legno

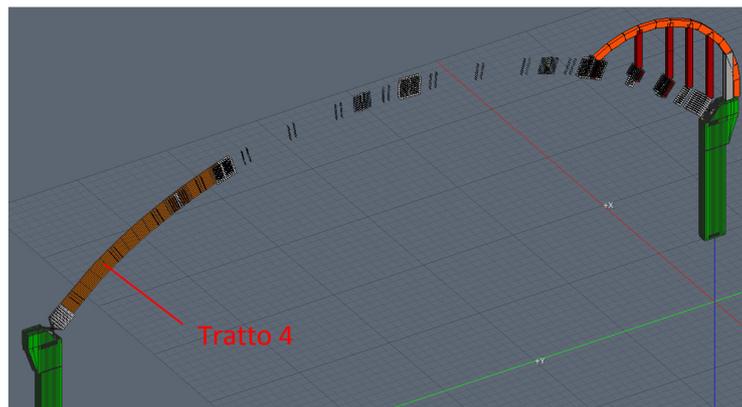
Relazione Generale di Sintesi delle Unioni



Vista – modello sofisticato: tratto 2 delle Asole in legno



Vista – modello sofisticato: tratto 3 delle Asole in legno



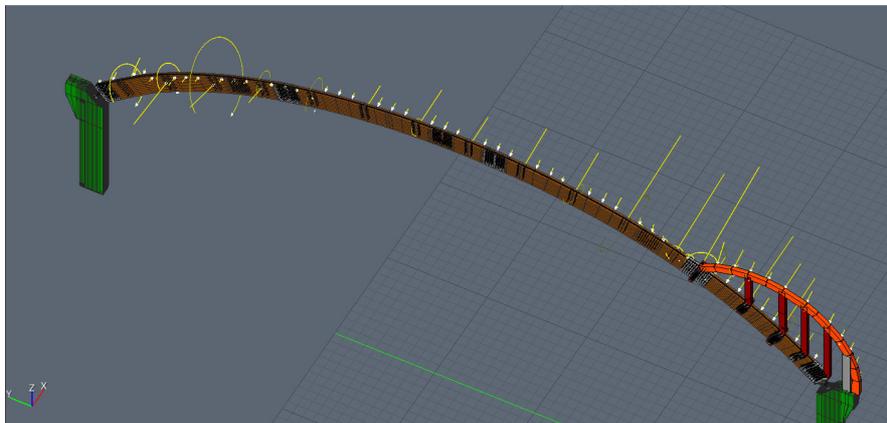
Vista – modello sofisticato: tratto 4 delle Asole in legno

4. AZIONI DI CALCOLO DEL MODELLO SOFISTICATO

Si riportano di seguito in forma tabellare le sollecitazioni di calcolo negli elementi trasversali del modello globale scaricate sui lembi destro e sinistro del modello parziale della travata (Paragrafi 4.1, 4.3) e del velo (Paragrafi 4.2, 4.4). In particolare nella prima colonna delle tabelle sottostanti è riportato l'indice del nodo di applicazione del carico riferito al modello sofisticato; nella seconda colonna è riportato l'indice globale dell'asta dell'elemento trasversale che confluisce nel nodo corrente; nella terza colonna sono riportati gli indici globali dei nodi che individuano l'elemento trasversale che confluisce nel nodo corrente; e nelle colonne successive sono riportate le sollecitazioni di calcolo del modello globale applicate nel nodo corrente. Queste sollecitazioni riferite al sistema di riferimento locale degli elementi trasversali della travata sono state opportunamente trasformate in forze e coppie nodali nel sistema di riferimento globale della travata (Paragrafi 4.1.1, 4.3.1) e del velo (Paragrafi 4.2.1, 4.4.1).

4.1 SOLLECITAZIONI DI CALCOLO DEL MODELLO GLOBALE SUL LEMBO DESTRO DELLA TRAVATA

Di seguito si riportano in forma tabellare le sollecitazioni di calcolo derivanti dal modello globale che scaricano sul lombo destro della travata.



Vista 3D Modello Sofisticato – sollecitazioni di calcolo del modello globale trasmesse dagli elementi trasversali sul lombo destro della travata centrale

Indice	Asta	Nodi	Ni [kg]	Tyi= TxL [kg]	Tzi= TyL [kg]	A [gradi]	Myi= MxL [kgm]	Mzi= MyL [kgm]	Mt [kgm]
22047	8105	5501-3034	3398	-335	-470	36	0	-422	184
22120	692	5502-4554	-3018	-335	-466	36	0	-443	-5
22139	4201	5560-4501	-20320	-985	-516	30	-5730	-1477	-30
22154	460	5503-4556	-4985	-487	-692	35	0	-659	7
24091	4202	5504-4502	-61459	-1441	-964	35	-16792	-1912	398
22209	685	5561-4555	-10664	-416	-712	30	0	-568	19
22242	461	5505-4503	-12704	-664	-1131	30	0	-918	19
22313	4203	5506-882	-79146	-390	283	30	-9007	-1389	141
22308	462	5507-4505	-18210	-558	-933	28	0	-897	19
22330	471	5508-4506	-21081	-396	-655	27	0	-696	23
22351	676	5509-4507	-18272	-423	-807	25	0	-702	25
22463	4205	5510-892	-105488	-9582	-20951	25	-5755	-14182	627
22473	473	5511-10009	3736	-3477	-7503	24	0	-4485	31
22492	4206	5512-4510	-90951	-4201	-8768	22	-921	-7726	359
22517	482	5513 -10010	1071	-2526	-5607	23	0	-3510	26
22583	483	5514-10011	-2587	-2168	-5511	20	0	-3066	24
22649	484	5515-10012	-1489	-2371	-4763	25	0	-3277	21
22667	4207	5516-4514	-104206	-3180	-6572	18	-32420	-7800	354
22693	491	5517-4515	-10533	-1117	-3050	19	0	-1663	12
22704	492	5518-4516	-7302	-821	-2311	18	0	-1278	10
22715	493	5519-4517	-3170	-741	-3156	12	0	-1182	8
22734	4208	5520-4518	-44807	-2359	-3907	15	-10066	-6209	89
22759	494	521-4519	-1251	-679	-3261	10	0	-1170	3

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

22770	497	5522-4520	-4217	-630	-3329	9	0	-1104	1
22781	500	5523-4521	-5598	-622	-3066	10	0	-1037	-1
22799	4209	5524-4522	-45057	-1788	-4536	9	-27414	-5146	-72
22825	501	5525-4523	-3190	-419	-2764	8	0	-634	-6
25918	502	5526-4524	-3346	-261	-2841	5	0	-377	-8
22946	505	5527-4525	-3116	-116	-2257	3	0	-151	-9
22965	4210	5528-4526	-30142	71	-2671	0	-4168	186	-167
22990	508	5529-4527	-2292	108	-1869	-3	0	175	-15
23056	511	5530-4528	-5301	217	-2269	-5	0	342	-17
23122	516	5531-4529	-7320	293	-1937	-8	0	442	-20
23140	4211	5532-4530	-41867	680	-3108	-6	-7926	1535	-576
23243	517	5533-4531	-4827	288	-1489	-10	0	451	-29
23175	520	5534-4532	-6110	281	-1744	-8	0	472	-33
23199	523	5535-4533	-6805	473	-2462	-10	0	729	-37
23218	4212	5536-4534	-23753	1097	-3109	-10	3281	2783	-640
23254	533	5537-4535	-2784	485	-2046	-12	0	774	-44
23265	535	5538-4536	-2526	703	-1977	-18	0	1095	-48
23276	554	5539-4537	-2167	826	-2227	-19	0	1253	-50
23294	4213	5540-4538	5197	2080	-4830	-20	17602	5226	-1276
23320	555	5541-4539	2888	333	-1287	-12	0	597	-55
26037	556	5542-4540	2594	537	-1318	-20	0	870	-56
23441	557	5543-4541	1985	552	-1207	-23	0	841	-55
23460	4214	5543-4541	23107	1428	-4720	-20	14017	2768	-843
23485	558	5545-4543	5251	1074	-2264	-25	0	1476	-50
23551	559	5546-4544	5643	767	-1709	-24	0	1036	-45
23617	560	5547-4545	5295	686	-1482	-25	0	900	-39
23635	4215	5548-4546	39688	1368	-9407	-25	41337	1352	-782
23661	561	5549-4547	6544	799	-1568	-27	0	1064	-23
23672	562	5550-4548	8025	1024	-1844	-29	0	1360	-10
23683	563	5551-4549	11516	780	-1331	-31	0	979	6
23702	4216	5552-4550	59336	548	-4168	-31	14993	-1659	329
23727	564	5553-4551	5547	567	-1024	-33	0	515	35
23738	565	5554-4552	-2072	1067	-1661	-35	0	1189	49
23749	687	5556-4557	-5322	1352	-1800	-38	0	1659	59
23767	4217	5557-4553	-26234	2315	-6225	-40	20879	2472	1519
23793	686	5558-4558	-5807	1858	-2190	-40	0	2486	60
22137	8137	5559-3051	-317	1935	-2103	-42	0	2602	114

4.1.1 FORZE E COPPIE TRASMESSE DALLE ASTE TRASVERSALI A DESTRA DELLA TRAVATA PRINCIPALE

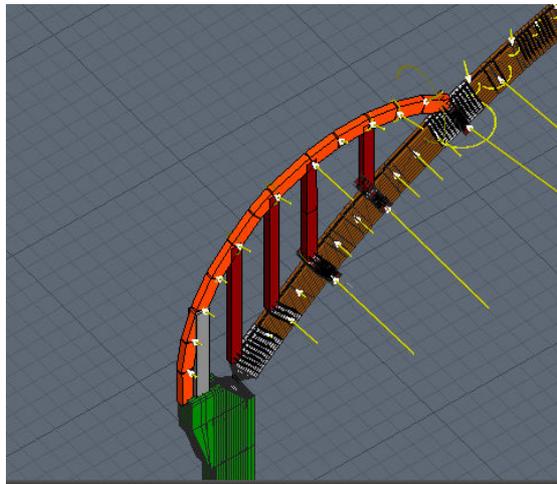
Indice	$F_{xi}=-N_i$ [kg]	$F_{yi}=-T_{yi}=T_{xL} \cos \alpha - T_{yL} \sin \alpha$ [kg]	$F_{zi}=-T_{zi}=T_{xL} \sin \alpha + T_{yL} \cos \alpha$ [kg]	$\mu_{yi}=-M_{yi}=M_{xL} \cos \alpha - M_{yL} \sin \alpha$ [kgm]	$\mu_{zi}=-M_{zi}=M_{xL} \sin \alpha + M_{yL} \cos \alpha$ [kgm]	$\mu_{xi}=-M_t$ [kgm]
22047	-3398	-5,238375462	577,1460469	-248,0453765	341,405172	-184
22120	3018	-2,887234453	573,9099789	-260,3888668	358,394529	5
22139	20320	595,0350227	939,3691084	4223,825564	4144,11952	30
22154	4985	2,012151614	846,1849392	-377,9868716	539,821197	-7
24091	61459	627,4704112	1616,186215	12658,52298	11197,7142	-398
22209	10664	4,266567974	824,6100875	-284	491,902429	-19
22242	12704	9,540868113	1311,474732	-459	795,011321	-19
22313	79146	479,2499075	-50,08518927	7105,790812	5706,40929	-141
22308	18210	54,66778874	1085,755236	-421,1159918	792,003991	-19
22330	21081	55,47480625	763,3895112	-315,9773878	620,140541	-23
22351	18272	42,31525669	910,1579089	-296,6780197	636,228066	-25
22463	105488	-170,0339863	23037,58263	-777,7708736	15285,4251	-627
22473	-3736	124,6525232	8268,554877	-1824,213844	4097,25138	-31
22492	90951	610,548762	9703,270336	-2040,274211	7508,43513	-359
22517	-1071	134,3658224	6148,257544	-1371,466261	3230,97204	-26
22583	2587	152,380592	5920,145704	-1048,633759	2881,09758	-24
22649	1489	135,9249824	5318,771888	-1384,920044	2969,97062	-21
22667	104206	993,5000348	7233,017467	28422,9197	17436,5718	-354
22693	10533	63,16137785	3247,491284	-541,4198409	1572,39739	-12
22704	7302	66,67912588	2451,594562	-394,9237188	1215,45023	-10

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

22715	3170	68,63807592	3241,096391	-245,7516185	1156,17046	-8
22734	44807	1267,413015	4384,426331	8116,001916	8602,70596	-89
22759	1251	102,4177569	3329,365195	-203,1683679	1152,22507	-3
22770	4217	101,4733205	3386,568199	-172,7036494	1090,40793	-1
22781	5598	80,14510965	3127,429737	-180,0731602	1021,24564	1
22799	45057	1056,40002	4759,859136	26271,47641	9371,13863	72
22825	3190	30,24786975	2795,414471	-88,23574601	627,829956	6
25918	3346	12,39735106	2852,936786	-32,85771502	375,565401	8
22946	3116	-2,281227209	2259,977831	-7,902729393	150,79306	9
22965	30142	-71	2671	4168	-186	167
22990	2292	-10,03608754	1872,090884	-9,158792343	-174,760169	15
23056	5301	-18,41786919	2279,278566	-29,80726402	-340,698587	17
23122	7320	-20,57024758	1958,926968	-61,51451062	-437,698486	20
23140	41867	-351,400425	3162,053406	7722,129352	-2355,08371	576
23243	4827	-25,06249632	1516,389419	-78,31532813	-444,148297	29
23175	6110	-35,54743924	1766,135153	-65,68970365	-467,406528	33
23199	6805	-38,29225376	2506,732276	-126,5895215	-717,924852	37
23218	23753	540,4619207	3252,259355	-3714,417116	-2170,98031	640
23254	2784	49,01426694	2102,127161	-160,9236487	-757,086243	44
23265	2526	57,66613308	2097,47768	-338,3736088	-1041,40689	48
23276	2167	55,95806347	2374,589163	-407,9368975	-1184,73478	50
23294	-5197	302,603359	5250,117257	-18327,86678	1109,40493	1276
23320	-2888	58,14080496	1328,110555	-124,1232794	-583,954118	55
26037	-2594	53,83238846	1422,179691	-297,5575247	-817,53258	56
23441	-1985	36,50620702	1326,732941	-328,6048791	-774,144582	55
23460	-23107	-272,454014	4923,753935	-14118,38322	2193,02717	843
23485	-5251	16,5668187	2505,772843	-623,7845543	-1337,71029	50
23551	-5643	5,576442995	1873,216192	-421,3791622	-946,433094	45
23617	-5295	-4,593121993	1633,064268	-380,3564356	-815,677008	39
23635	-39688	-2735,740936	9103,779135	-38035,42488	16244,443	782
23661	-6544	0,057109235	1759,836639	-483,0458917	-948,030942	23
23672	-8025	1,621640376	2109,243791	-659,3410835	-1189,4828	10
23683	-11516	-16,92518316	1542,619376	-504,2222753	-839,166787	-6
23702	-59336	-1676,951015	3854,914174	-11997,06117	9144,00641	-329
23727	-5547	-82,18415983	1167,608994	-280,489103	-431,915342	-35
23738	2072	-78,67522952	1972,617603	-681,9823828	-973,971781	-49
23749	5322	-42,80011671	2250,793671	-1021,382388	-1307,30984	-59
23767	26234	-2227,959984	6256,679975	-17583,2129	11527,1006	-1519
23793	5807	15,6057101	2871,936709	-1597,969998	-1904,38649	-60
22137	317	30,80357213	2857,601291	-1741,077838	-1933,66284	-114

4.2 SOLLECITAZIONI DI CALCOLO DEL MODELLO GLOBALE SUL LEMBO DESTRO DEL VELO

Di seguito si riportano in forma Tabellare le sollecitazioni di calcolo derivanti dal Modello Globale che scaricano sul lembo destro del Velo.



Vista 3D Modello Sofisticato – sollecitazioni di calcolo del modello globale trasmesse dagli elementi trasversali sul lembo destro della travata centrale e del velo

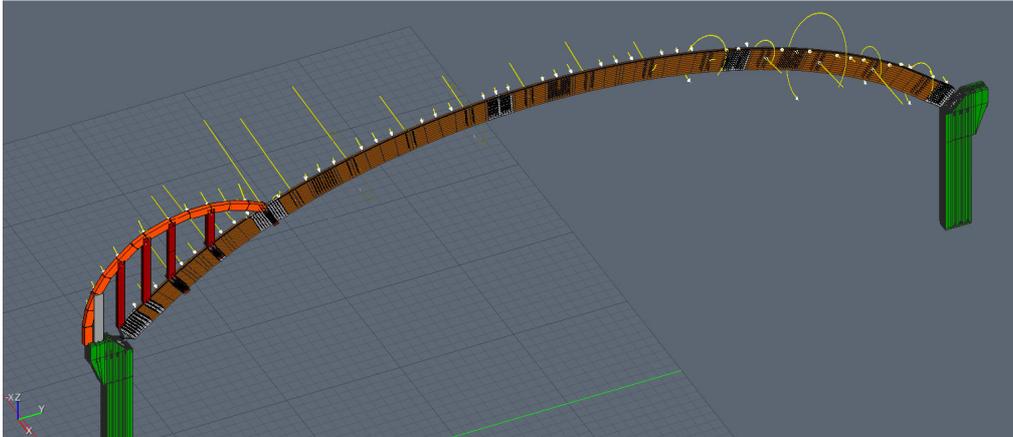
Indice	Asta	Nodi	Ni [kg]	Tyi= TxL [kg]	Tzi= TyL [kg]	A [gradi]	Myi= MxL [kgm]	Mzi= MyL [kgm]	Mt [kgm]
20777	1305	5571-4567	-4397	-933	0	90	0	-1294	7
20801	1286	5570-4566	-3682	-1386	0	90	0	-1938	-48
20767	1346	5569-4565	-5198	-2234	0	90	0	-2999	-50
20757	1284	5568-4564	-7221	-2103	-1206	60	0	-2878	57
20747	1349	5573-4563	-5812	-2099	-1196	60	0	-2828	14
20737	1282	5567-4562	-8532	-3172	-1846	60	2097	-4585	36
0	1280	5555-4570	-10071	-2030	-3264	30	3804	-3000	354
20707	1275	5566-857	-30089	-158	-1586	0	-761	-554	228
20697	1278	5565-4571	-5251	-47	-3113	0	0	-190	10
20687	1273	5564-4568	-8589	-518	-3495	0	3245	-2116	119
20677	1271	5563-4560	-17462	995	-4497	-20	4562	-363	207
20667	1269	5562-4559	-13286	6704	-15267	-25	17449	7477	131

4.2.1 FORZE E COPPIE TRASMESSE DALLE ASTE TRASVERSALI A DESTRA DEL VELO

Indice	Fxi=-Ni [kg]	Fyi=-Tyi= TxL cos α - TyL sin α [kg]	Fzi=-Tzi= TxL sin α + TyL cos α [kg]	μyi=-Myi= MxL cos α - MyL sin α [kgm]	μzi=-Mzi= MxL sin α + MyL cos α [kgm]	μxi=-Mt [kgm]
20777	4397	5,71532E-14	933	-1294	7,92671E-14	-7
20801	3682	8,49028E-14	1386	-1938	1,18717E-13	48
20767	5198	1,36849E-13	2234	-2999	1,83711E-13	50
20757	7221	7,073363036	2424,251424	-2492,421112	1439	-57
20747	5812	13,73361707	2415,787323	-2449,119842	1414	-14
20737	8532	-12,68289539	3670,032581	-5019,226476	476,4447283	-36
0	10071	126,0315697	3841,706918	-4794,360636	696,0762114	-354
20707	30089	158	1586	761	554	-228
20697	5251	47	3113	0	190	-10
20687	8589	518	3495	-3245	2116	-119
20677	17462	603,0704269	4566,107758	-4162,724424	1901,404315	-207
20667	13286	376,2255977	16669,83381	-18974,08132	597,8027254	-131

4.3 SOLLECITAZIONI DI CALCOLO DEL MODELLO GLOBALE SUL LEMBO SINISTRO DELLA TRAVATA

Di seguito si riportano in forma Tabellare le sollecitazioni di calcolo derivanti dal Modello Globale che scaricano sul lembo sinistro della travata.



Vista 3D Modello Sofisticato – sollecitazioni di calcolo del modello globale trasmesse dagli elementi trasversali sul lembo sinistro della travata centrale

Indice	Asta	Nodi	Ni [kg]	Tyi= TxL [kg]	Tzi= TyL [kg]	A [gradi]	Myi= MxL [kgm]	Mzi= MyL [kgm]	Mt [kgm]
22057	458	6501-5501	-833	711	975	36	0	-960	-21
22130	459	6502-5502	-1580	631	882	36	0	-811	-15
22149	4201	6560-5560	-20451	963	912	30	-5077	-1013	-192
24013	680	6503-5503	-4871	621	897	35	0	-798	-16
24071	4202	6504-5504	-61714	1230	-107	35	-16945	-1385	-483
24068	681	655-5561	-11432	283	502	30	0	-354	-20
24101	465	6505-5505	-13324	269	505	30	0	-296	-18
22333	4203	6506-5506	-80773	146	451	30	-7508	1349	-311
24167	467	6507-5507	-19392	295	664	28	0	-228	-22
24189	468	6508-5508	-21212	234	608	27	0	-112	-24
22361	470	6509-5509	-19465	215	617	25	0	-102	-25
22443	4205	891-5510	-105796	5675	14281	25	-5811	-5776	-581
22493	708	10016-5511	3319	3105	7186	24	0	-4082	-29
24351	4206	6512-5512	-93775	3079	9591	22	999	-2130	-330
24376	707	10015-5513	-762	1606	4071	23	0	-2000	-20
24442	706	10014-5514	-3195	1256	3833	20	0	-1488	-14
24508	705	10013-5515	-1257	1503	3501	25	0	-1814	-6
24526	4207	6516-5516	-101950	818	6684	18	-32539	1824	37
24552	481	6517-5517	-10252	994	3039	19	0	-1176	8
24563	486	6518-5518	-7475	865	2825	18	0	-1005	13
24574	488	6519-5519	-3417	534	2746	12	0	-585	17
24593	4208	6520-5520	-48057	425	4355	15	-8176	1136	331
24618	490	6521-5521	-720	461	2869	10	0	-485	24
24629	496	6522-5522	-3858	587	3959	9	0	-662	26
24640	499	6523-5523	-5103	446	2656	10	0	-525	28
24658	4209	6524-5524	-43654	854	5667	9	-28010	-1560	726
25732	502	6525-5525	-2315	369	2355	8	0	-586	30
25797	500	6526-5526	-2719	321	2969	5	0	-584	30
25733	504	6527-5527	-1978	210	2583	3	0	-477	27
24824	4210	6528-5528	-32444	1176	4335	0	-2946	-4792	395
24849	507	6529-5529	-1090	-14	2280	-3	0	-253	22
24915	510	6530-5530	-5025	-81	2255	-5	0	-196	19
24981	513	6531-5531	-7341	-209	2275	-8	0	-19	16

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

24999	4211	6532-5532	-42804	1607	4733	-6	-6774	-7614	334
25102	515	6533-5533	-4345	-218	1907	-10	0	-27	11
25034	519	6534-5534	-5814	-141	1951	-8	0	-163	8
25058	522	6535-5535	-6892	-133	1488	-10	0	-167	5
25077	4212	6536-5536	-24817	1228	3198	-10	4024	-6345	31
25113	528	6537-5537	-1964	-272	1917	-12	0	-5	-1
25124	529	6538-5538	-1747	-492	1976	-18	0	256	-5
25135	530	6539-5539	-2226	-525	1941	-19	0	316	-8
25153	4213	6540-5540	5636	1224	4645	-20	20376	-8434	-248
26100	531	654-5541	2315	-264	1908	-12	0	-27	-12
26158	532	6542-5542	1287	-309	1240	-20	0	39	-15
26213	524	6543-5543	-1075	-475	1399	-23	0	323	-16
25319	4214	6544-5544	26106	263	3042	-20	12557	-3885	-221
25344	536	6545-5545	2710	-803	1888	-25	0	857	-11
25410	537	6546-5546	4417	-690	1703	-24	0	736	-12
25476	538	547-5547	3656	-901	2046	-25	0	1057	-11
25494	4215	6548-5548	41891	-870	4338	-25	39964	-1129	-237
25520	539	6549-5549	7007	-1012	2064	-27	0	1230	-9
25531	550	6550-5550	8298	-887	1657	-29	0	1088	-9
25542	551	6551-5551	7222	-1014	1700	-31	0	1326	-9
25561	4216	6552-5552	55521	-2006	3004	-31	16287	3830	-114
25586	552	6553-5553	4060	-1045	1502	-33	0	1569	-5
25597	553	6554-5554	719	-1118	1492	-35	0	1684	-3
25608	682	6556-5556	-3017	-1054	1289	-38	0	1533	1
25626	4217	6555-5557	-22663	-2422	985	-40	18258	3836	125
25662	683	6557-5558	-6286	-1568	1876	-40	0	2056	12
22157	684	6558-5559	-6348	-1293	1444	-42	0	1757	21

4.3.1 FORZE E COPPIE TRASMESSE DALLE ASTE TRASVERSALI A SINISTRA DELLA TRAVATA PRINCIPALE

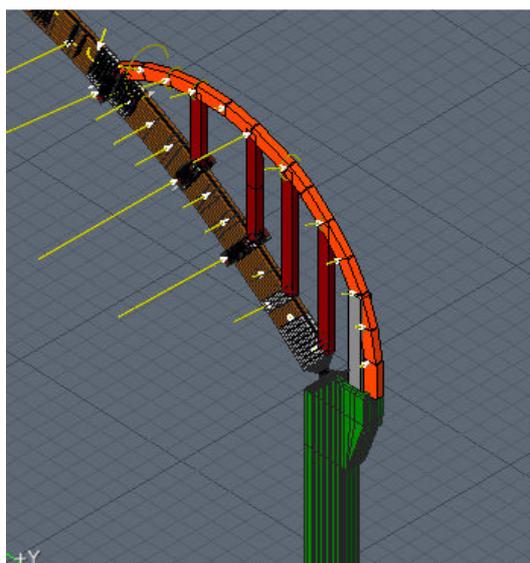
Indice	Fxi=Ni [kg]	Fyi=Tyi= TxL cos α - TyL sin α [kg]	Fzi=Tzi= TxL sin α + TyL cos α [kg]	μyi=Myi= MxL cos α - MyL sin α [kgm]	μzi=Mzi= MxL sin α + MyL cos α [kgm]	μxi=Mt [kgm]
22057	-833	2,120462015	1206,706884	564,2738422	-776,656315	-21
22130	-1580	-7,936869071	1084,445483	476,6938396	-656,112782	-15
22149	-20451	377,9824638	1271,315168	-3890,310975	-3415,78373	-192
24013	-4871	-5,804643903	1090,970351	457,7139962	-653,683331	-16
24071	-61714	1068,929693	617,849748	-13086,12803	-10853,7783	-483
24068	-11432	-5,914810729	576,2447527	177	-306,572993	-20
24101	-13324	-19,53916638	571,8428289	148	-256,34352	-18
22333	-80773	-99,06029105	463,5774571	-7176,618732	-2585,73173	-311
24167	-19392	-51,2595778	724,7713127	107,0395163	-201,312051	-22
24189	-21212	-67,53069718	647,9657436	50,84693597	-99,7927307	-24
22361	-19465	-65,89929328	650,0548309	43,1070627	-92,4433943	-25
22443	-105796	-892,1147045	15341,34014	-2825,511471	-7690,6685	-581
22493	3319	-86,25087116	7827,654935	1660,298977	-3729,09256	-29
24351	-93775	-738,0527492	10046,03405	1724,168715	-1600,66962	-330
24376	-762	-112,3356294	4374,889451	781,462257	-1841,00971	-20
24442	-3195	-130,7092777	4031,419115	508,9259733	-1398,26262	-14
24508	-1257	-117,4059304	3808,17881	766,6295268	-1644,04233	-6
24526	-101950	-1287,50536	6609,637656	-31510,07498	-8320,37689	37
24552	-10252	-49,55615725	3197,045697	382,8681496	-1111,92984	8
24563	-7475	-50,30912251	2954,034359	310,5620793	-955,811799	13
24574	-3417	-48,59468419	2797,018155	121,6283391	-572,216346	17
24593	-48057	-716,6384652	4316,605068	-8191,427991	-1018,81277	331
24618	-720	-44,20024759	2905,465253	84,21936617	-477,63176	24
24629	-3858	-39,55099116	4002,085171	103,5596159	-653,849681	26
24640	-5103	-21,98530204	2693,096479	91,16529328	-517,02407	28
24658	-43654	-43,02827051	5730,824859	-27421,11265	-5922,52318	726
25732	-2315	37,6562646	2383,436176	81,55543716	-580,297088	30

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

25797	-2719	61,01309787	2985,679052	50,89895376	-581,777704	30
25733	-1978	74,52842732	2590,450639	24,96425113	-476,346288	27
24824	-32444	1176	4335	-2946	-4792	395
24849	-1090	105,3451667	2277,608043	-13,24099693	-252,653272	22
24915	-5025	115,8444294	2253,478659	-17,08252558	-195,254161	19
24981	-7341	109,6527783	2281,947034	-2,644288918	-18,8150933	16
24999	-42804	2092,929903	4539,09489	-7532,771039	-6864,2139	334
25102	-4345	116,4589847	1915,883688	-4,688500797	-26,5898093	11
25034	-5814	131,8989223	1951,636409	-22,68521546	-161,413695	8
25058	-6892	127,4090572	1488,489144	-28,99924567	-164,462895	5
25077	-24817	1764,670793	2936,175232	2861,068711	-6947,36546	31
25113	-1964	132,5105639	1931,660931	-1,039558454	-4,890738	-1
25124	-1747	142,6977749	2031,324037	79,10835056	243,470468	-5
25135	-2226	135,5305356	2006,174836	102,8795368	298,78387	-8
25153	5636	2738,867334	3946,239568	16262,57895	-14894,37	-248
26100	2315	138,4645395	1921,194309	-5,613615652	-26,4099852	-12
26158	1287	133,7399579	1270,903074	13,33878559	36,6480122	-15
26213	-1075	109,3930434	1473,383576	126,2061545	297,323068	-16
25319	26106	1287,564435	2768,593655	10470,97198	-7945,45277	-221
25344	2710	70,13812518	2050,471566	362,1838503	776,705773	-11
25410	4417	62,32613738	1836,416198	299,3581693	672,369457	-12
25476	3656	48,0936474	2235,084786	446,7075027	957,967331	-11
25494	41891	1044,830245	4299,241068	35742,54838	-17912,7377	-237
25520	7007	35,33778898	2298,475852	558,4083147	1095,93802	-9
25531	8298	27,54186052	1879,270988	527,4728668	951,586241	-9
25542	7222	6,397084435	1979,433019	682,9404873	1136,60384	-9
25561	55521	-172,3032282	3608,09695	15933,27965	-5105,47436	-114
25586	4060	-58,36291291	1828,830985	854,5386459	1315,87412	-5
25597	719	-60,03594248	1863,433306	965,9027188	1379,45204	-3
25608	-3017	-36,97569261	1664,653056	943,8090417	1208,02049	1
25626	-22663	-1222,213846	2311,385367	16452,17271	-8797,46969	125
25662	-6286	4,711868961	2444,990347	1321,571326	1574,98738	12
22157	-6348	5,33833624	1938,287002	1175,662475	1305,70546	21

4.4 SOLLECITAZIONI DI CALCOLO DEL MODELLO GLOBALE SUL LEMBO SINISTRO DELVELO

Di seguito si riportano in forma Tabellare le sollecitazioni di calcolo derivanti dal Modello Globale che scaricano sul lembo sinistro del Velo.



Vista 3D Modello Sofisticato – sollecitazioni di calcolo del modello globale trasmesse dagli elementi trasversali sul lembo sinistro del Velo

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

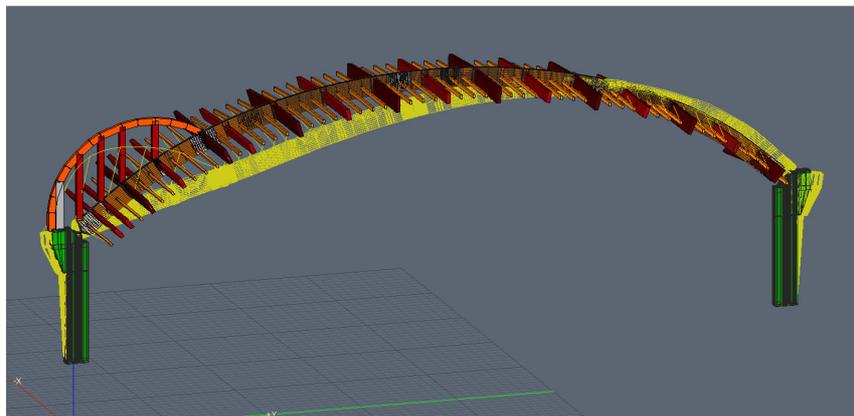
Indice	Asta	Nodi	Ni [kg]	Tyi= TxL [kg]	Tzi= TyL [kg]	A [gradi]	Myi= MxL [kgm]	Mzi= MyL [kgm]	Mt [kgm]
20777	1412	6501-5501	-3130	263	0	90	0	-323	14
20802	1304	6571-5571	-3295	1609	0	90	0	-2333	5
20801	1285	6570-5570	-3888	1453	0	90	0	-1966	19
20767	1347	6569-5569	-3472	1997	0	90	0	-2756	27
20757	1283	6568-5568	-5882	2339	1353	60	0	-3142	-73
20747	1348	6567-5573	-7168	1447	857	60	0	-1932	-49
20737	1281	6575-5567	-8391	2941	1721	60	1780	-3732	-101
0	1279	6576-5555	-10285	2636	4110	30	4219	-3923	-10
20707	1458	854-5566	-31980	141	1516	0	-466	-663	-227
20697	1277	6577-5565	-4848	3	2929	0	0	-12	-14
20687	1272	6573-5564	-12865	-9	3750	0	4747	53	-130
20677	1270	6562-5563	-13996	-1272	3495	-20	4907	1702	-316

4.4.1 FORZE E COPPIE TRASMESSE DALLE ASTE TRASVERSALI A SINISTRA DEL VELO

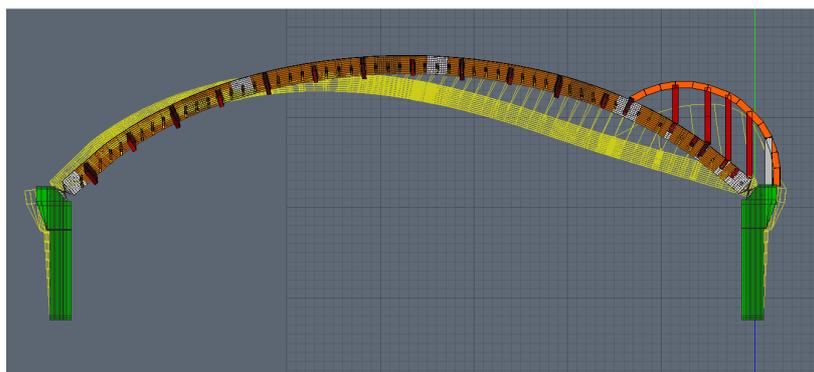
Indice	Fxi=Ni [kg]	Fyi=Tyi= TxL cosa - TyL sin α [kg]	Fzi=Tzi= TxL sin α + TyL cos α [kg]	μyi=Myi= MxL cosa - MyL sin α [kgm]	μzi=Mzi= MxL sin α + MyL cos α [kgm]	μxi=Mt [kgm]
20777	-3130	1,61107E-14	263	323	-1,97861E-14	14
20802	-3295	9,85632E-14	1609	2333	-1,42914E-13	5
20801	-3888	8,9007E-14	1453	1966	-1,20432E-13	19
20767	-3472	1,22331E-13	1997	2756	-1,68825E-13	27
20757	-5882	-2,23237132	2702,133419	2721,051819	-1571	-73
20747	-7168	-18,68377104	1681,638759	1673,16108	-966	-49
20737	-8391	-19,92971991	3407,480713	4122,006807	-324,4747813	-101
0	-10285	227,8429644	4877,36441	5615,261179	-1287,917659	-10
20707	-31980	141	1516	-466	-663	-227
20697	-4848	3	2929	0	-12	-14
20687	-12865	-9	3750	4747	53	-130
20677	-13996	0,071387284	3719,275332	5193,189974	-78,93600272	-316

5. RISPOSTA STRUTTURALE DEL MODELLO PARZIALE SOFISTICATO

Di seguito è rappresentata la deformata strutturale della travata corrispondente alla combinazione più gravosa che prevede la neve in accumulo. Si nota come l'andamento della deformata del modello parziale sofisticato della travata principale sia prossimo a quello del modello globale. Infatti dal confronto tra le risposte strutturali di entrambi i modelli di calcolo (globale e sofisticato) si sono ottenute delle deformate nei punti di freccia massimi confrontabili, a conferma della validità del modello sofisticato. La confrontabilità dei risultati è ulteriore garanzia di validazione per il modello di calcolo globale tenendo ferma l'attendibilità di tutte le ipotesi di partenza assunte alla base di calcolo, ovvero accurata analisi di carico, condizioni di carico, combinazioni di carico e caratteristiche meccaniche dei materiali.



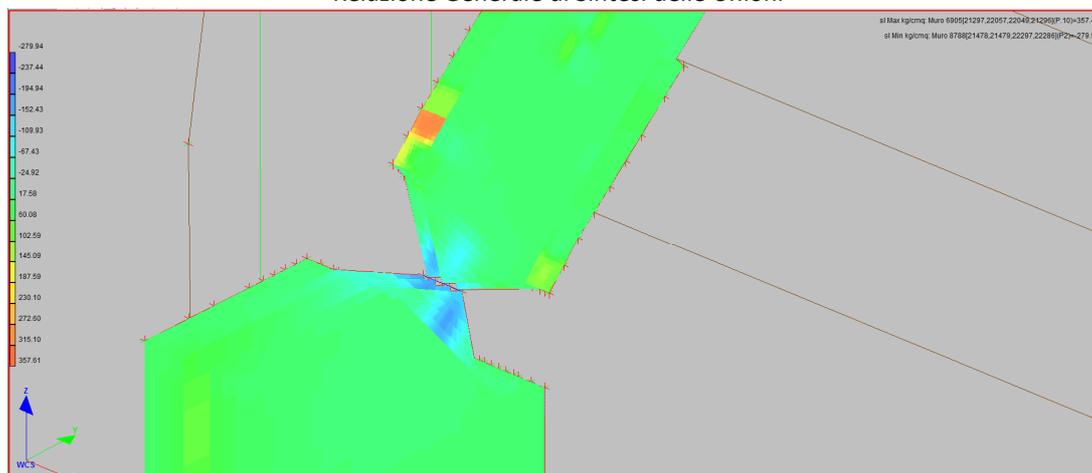
Vista 3D Modello Sofisticato - deformata strutturale della travata per combinazione neve in accumulo



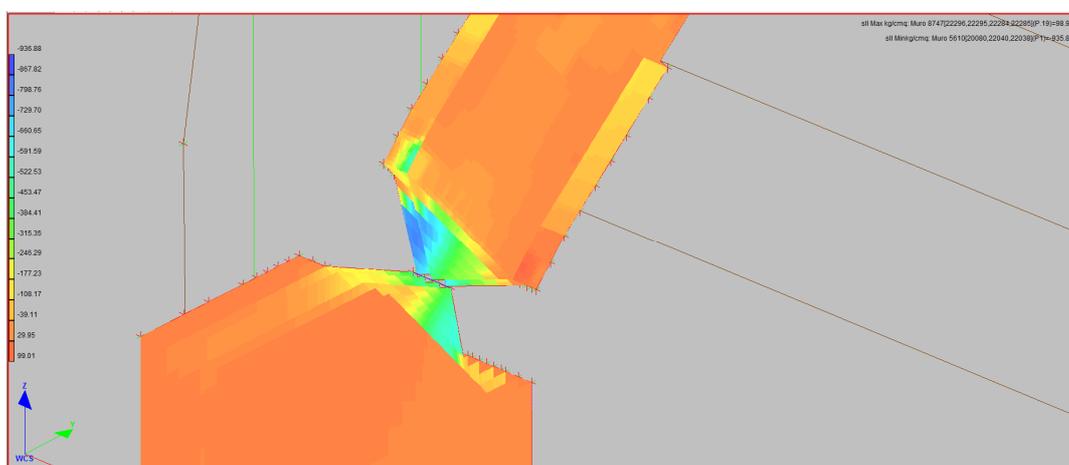
Vista 3D Modello Sofisticato - deformata strutturale della travata per combinazione neve in accumulo

Di seguito è rappresentato il diagramma degli sforzi principali S1 e S2 per i vari elementi della travata principale corrispondente alla combinazione più gravosa che prevede la neve in accumulo. Si nota come le tensioni siano massime in prossimità del perno del nodo cerniera 1 a dimostrazione dell'attendibilità della simulazione con il modello sofisticato perché confrontabile con i risultati del modello globale.

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni



Vista 3D Modello Sofisticato – diagramma sforzi nodo cerniera 1 per combinazione neve in accumulato



Vista 3D Modello Sofisticato - diagramma sforzi nodo cerniera 1 per combinazione neve in accumulato

5.1 CONFRONTO RISPOSTA STRUTTURALE E VALIDAZIONE DEI MODELLI

In conclusione dal confronto in termini numerici degli spostamenti massimi si è ottenuto un abbassamento di 78,62 mm per il modello globale, più rigido perché basato sul modello di trave alla De Saint Venant, e un abbassamento di 89,28 mm per il modello sofisticato a conferma di uno schema di calcolo meno rigido, che mette in conto anche la deformabilità dei bulloni, delle flange e delle asole di collegamento in acciaio delle singole porzioni di travata in legno lamellare. Gli spostamenti massimi dei due modelli globale e sofisticato risultano, quindi, confrontabili con una variazione della freccia massima percentuale pari a $\Delta_f = 11,9\%$, valore abbastanza accettabile vista la differenza sostanziale tra i due modelli in termini di deformabilità.

Analogamente la confrontabilità di calcolo dei modelli (globale e sofisticato) è verificata anche in termini di sforzi agli appoggi; in particolare, al nodo cerniera 1 si è ottenuto uno scarico combinato di 4485594 N per il modello globale e uno scarico combinato di 4463815 N per il modello sofisticato con una variazione percentuale pari a $\Delta = 0,48\%$. Questi scarichi all'appoggio risultano ancor più confrontabili, in quanto, per entrambi i modelli il nodo cerniera 1 costituisce un vincolo esterno rigido, ovvero tale da non consentire all'appoggio alcuna traslazione per entrambe le modellazioni.

6. PROGETTO UNIONI

6.1 UNIONE NODO CERNIERA 1 (Allegato relazione 2)

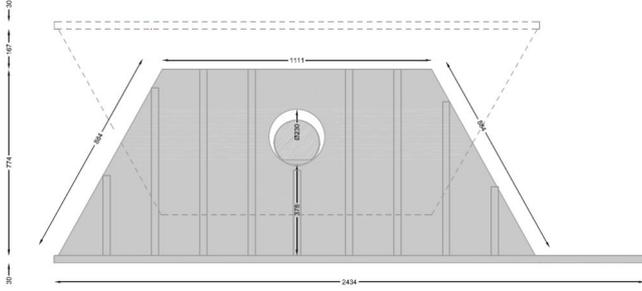
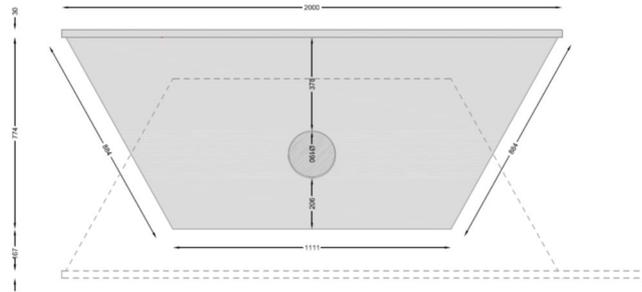
6.1.1 PROGETTO ASOLE IN ACCIAIO (Allegato relazione 2.1)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza e di Stabilità previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per le Asole in acciaio del Collegamento con perno del Nodo Cerniera 1, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

Le asole in questione sono degli elementi piastra in acciaio S450 di forma trapezoidale dello spessore di 30 mm.

In particolare, il collegamento è costituito da 7 asole inferiori collegate direttamente al cuneo in C.A. e 6 asole superiori collegate alla travata connesse tramite un perno in acciaio S450 di diametro $\Phi=185\text{mm}$.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

<p><i>Asola Inferiore collegata al cuneo in C.A.</i></p> 	<p>Dati generali asole</p> <p>Descrizione asole: Gli <u>elementi asola</u> sono delle piastre in acciaio S450 di forma trapezoidale dello spessore di 30 mm connessi tramite un perno in acciaio S450 con diametro $\Phi=185\text{mm}$</p> <p>Norma di riferimento: Circolare 2 Febbraio 2009 <i>ai sensi di capitoli C4.2.4.1.3.4.2</i></p>														
<p><i>Asola Superiore collegata alla Travata</i></p> 	<p>Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrane e la stabilità <i>ai sensi della Tabella 4.2.V delle NTC 2008</i></p> <table border="1"> <tr> <td>Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4</td> <td>γ_{M0}</td> <td>1.05</td> </tr> <tr> <td>Resistenza all'instabilità delle membrane</td> <td>γ_{M1}</td> <td>1.05</td> </tr> </table>	Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0}	1.05	Resistenza all'instabilità delle membrane	γ_{M1}	1.05								
Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0}	1.05													
Resistenza all'instabilità delle membrane	γ_{M1}	1.05													
	<p>Dati elemento asole</p> <table border="1"> <tr> <td>Spessore t [mm]</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Base minore [mm]</td> <td>1111</td> </tr> <tr> <td>Base maggiore [mm]</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>Altezza [mm]</td> <td>774</td> </tr> <tr> <td>Foro asola inferiore Φ [mm]</td> <td>230</td> </tr> <tr> <td>Foro asola superiore Φ [mm]</td> <td>190</td> </tr> <tr> <td>Tipo acciaio</td> <td>S450</td> </tr> </table>	Spessore t [mm]	30	Base minore [mm]	1111	Base maggiore [mm]	2000	Altezza [mm]	774	Foro asola inferiore Φ [mm]	230	Foro asola superiore Φ [mm]	190	Tipo acciaio	S450
Spessore t [mm]	30														
Base minore [mm]	1111														
Base maggiore [mm]	2000														
Altezza [mm]	774														
Foro asola inferiore Φ [mm]	230														
Foro asola superiore Φ [mm]	190														
Tipo acciaio	S450														

Per le verifiche di resistenza delle asole in acciaio si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4 e 6 della relazione 2.1.

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità delle asole in acciaio facendo riferimento per il calcolo delle sollecitazioni alle azioni per la combinazione più gravosa con neve in accumulo agenti nel piano della travata.

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche		
Id Shell	Nmax(N)	Mmax (Nm)
Shell : 5610 Nodi :[20080 - 22040 - 22038]	2601190	2140

VERIFICA DI STABILITA' DEI PANNELLI SOGGETTI A COMPRESSIONE			
$\frac{N_{Ed}}{\frac{f_y A_{eff}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\frac{f_y W_{eff}}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0$			
f _{yk} [N/mm ²]	440		
γ _{M0}	1,05		
A _{eff} [mm ²]	11308,81		
W _{eff} [mm ³]	9999999,99		
M _{Ed} (comb M _{max}) [Nmm]	2140000		
N _{Ed} (comb N _{max}) [N]	2601190		
e _N [mm]	0	Tasso di lavoro	Verifica
		0,5494	Ok

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità delle asole in acciaio facendo riferimento per il calcolo delle sollecitazioni alle azioni per la combinazione più gravosa con neve in accumulo agenti fuori il piano della travata.

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche		
Id Shell	Nmax(N)	Mmax (Nm)
Shell : 5610 Nodi :[20080 - 22040 - 22038]	4391820	5130

VERIFICA DI STABILITA' DEI PANNELLI SOGGETTI A COMPRESSIONE			
$\frac{N_{Ed}}{\frac{f_y A_{eff}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\frac{f_y W_{eff}}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0$			
f _{yk} [N/mm ²]	440		
γ _{M0}	1,05		
A _{eff} [mm ²]	11308,81		
W _{eff} [mm ³]	9999999,99		
M _{Ed} (comb M _{max}) [Nmm]	5130000		
N _{Ed} (comb N _{max}) [N]	4391820		
e _N [mm]	0	Tasso di lavoro	Verifica
		0,9279	Ok

6.1.2 PROGETTO PIASTRA DI BASE IN ACCIAIO (*Allegato relazione 2.2*)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per la piastra di base in acciaio S450 del Nodo Cerniera 1, facendo riferimento alla risposta strutturale di un modello di calcolo di tipo piastra di base + tirafondi collaboranti, secondo il quale le forze interne sono trasferite dalla travata in legno lamellare al cuneo in C.A. attraverso l'interazione con i tirafondi in acciaio (ancoraggi). La piastra di base in questione è rettangolare di dimensioni 2430 mm X 1160 mm e spessore t = 30 mm. Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali piastra di base in acciaio	
	Descrizione piastra di base	La piastra di base in acciaio S450 è rettangolare di dimensioni 2430 mm X 1160 mm e spessore t = 30 mm.
	Norma di riferimento	NTC 2008 capitolo 4 Circolare 2 Febbraio 2009 ai sensi di capitolo 4
	Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità ai sensi della Tabella 4.2.V	
	Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0} 1.05
Dati elemento Piastra di base		
Spessore t [mm]	30	
Lunghezza [mm]	2430	
Larghezza [mm]	1160	
Tipo acciaio	S450	

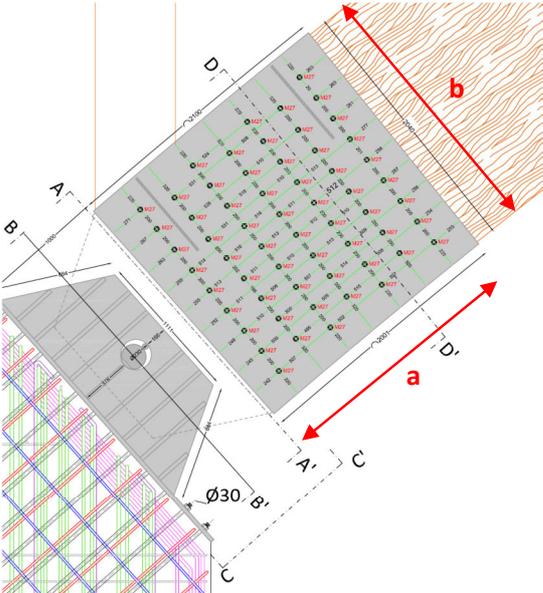
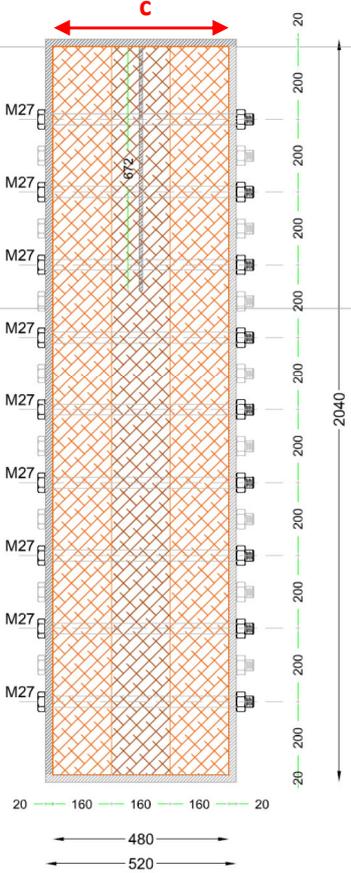
Per le verifiche di resistenza della piastra in acciaio si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4 della relazione 2.2.

6.1.3 PROGETTO BICCHIERE IN ACCIAIO (Allegato relazione 2.3)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per l'elemento Bicchiere in acciaio del Nodo Cerniera 1, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

Il bicchiere è costituito da elementi piastra in acciaio S450 dello spessore di 20 mm, che vanno a fasciare la travata in legno lamellare all'estremo di appoggio sul nodo cerniera 1.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali bicchiere in acciaio	
	Descrizione	Il bicchiere è costituito da elementi piastra in acciaio S450 dello spessore di 20 mm, che vanno a fasciare la travata in legno lamellare all'estremo di appoggio
	Norma di riferimento	NTC 2008 capitolo 4 Circolare 2 Febbraio 2009 ai sensi di capitolo 4
Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità ai sensi della Tabella 4.2.V		
Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0}	1.05
Dati elemento bicchiere in acciaio		
Spessore t [mm]	20	
a [mm]	2100	
b [mm]	2040	
c [mm]	520	
Tipo acciaio	S450	
		

Per le **verifiche di resistenza** del bicchiere in acciaio si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4 e 5 della relazione 2.3.

6.1.4 PROGETTO COLLEGAMENTO CON PERNO IN ACCIAIO (Allegato relazione 2.4)

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche allo SLU previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per il Collegamento con perno in acciaio del Nodo Cerniera 1, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

Il Collegamento in questione consta di due gruppi di asole in acciaio S450 trapezoidali con spessore di 30 mm, di cui 7 inferiormente e 6 superiormente, connessi tramite un perno in acciaio S450 dentato con diametro esterno di $\Phi=185\text{mm}$ e lunghezza $L = 620 \text{ mm}$.

In particolare sono state effettuate le Verifiche di Resistenza a Taglio e a Flessione per il Perno in acciaio e la Verifica a Rifollamento per le asole collegate dal perno.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali collegamento con perno in acciaio	
	Descrizione collegamento con perno in acciaio	Il Collegamento in questione consta di due gruppi di asole in acciaio S450 trapezoidali con spessore di 30 mm, di cui 6 inferiormente e 7 superiormente, connessi tramite un perno in acciaio S450 dentato con diametro esterno di $\Phi=185\text{mm}$ e lunghezza $L = 620 \text{ mm}$.
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.2.8.1.2 e 4.2.8.1
	Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità ai sensi della Tabella 4.2.V	
	Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0} 1.05
	Resistenza all'instabilità delle membrature	γ_{M1} 1.05
Coefficienti parziali di sicurezza per la verifica delle unioni ai sensi della Tabella 4.2.XII		
Resistenza delle connessioni a perno	γ_{M2} 1.25	
Dati collegamento con perno		
Diametro perno [mm]	185	
Lunghezza perno [mm]	620	
Tipo acciaio perno	S450	
Spessore elemento connesso [mm]	30	
Tipo acciaio elemento connesso	S450	

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche del perno		
	$F_{v,Ed} [N] = T_{max}(N)$	$M_{Ed} [N*mm] = M_{max} (Nmm)$
Asta :479 dal Nodo:20082 al Nodo:20086	1073571,59	40357454,08

VERIFICA RESISTENZA A TAGLIO DEL PERNO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tk} A / \gamma_{M2}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550		
γ_{M2}	1,25		
Diametro perno [mm]	140		
A [mm ²]	15386		
$F_{v,Rd}$ [N]	4061904	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [N]	1073571,59	3,78	Ok

VERIFICA RESISTENZA A FLESSIONE DEL PERNO $M_{Ed} \leq M_{Rd}$			
$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{yk} / \gamma_{M0}$			
f_{yk} [N/mm ²]	440		
γ_{M0}	1,05		
W_{el} [mm ³]	269255		
Diametro perno [mm]	140		
M_{Rd} [N*mm]	169246000	Indicatore di sicurezza	Verifica
M_{Ed} [N*mm]	40357454,08	4,19	Ok

Per le asole in acciaio connesse al perno si sono diversificate le verifiche a rifollamento.

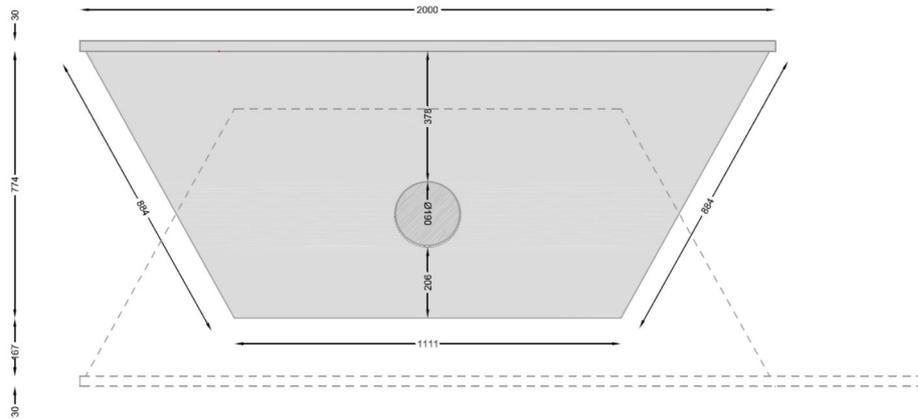
Solicitazioni massime estrapolate dal modello sofisticato usate nelle verifiche a rifollamento delle asole		
N1(N)	1619336,654	Nmax(N)
N2(N)	1113756,364	1730722,288
N3(N)	1730722,288	

In particolare per l'asola superiore con diametro del foro di $\Phi = 190$ mm collegata alla travata, con dimensione confrontabile del diametro del foro stesso con quello del perno, si è fatto riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.2 delle NTC, ovvero si è calcolata la resistenza a rifollamento dell'elemento in acciaio connesso al perno secondo la seguente formula:

$$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{yk} / \gamma_{M0}$$

dove t è lo spessore dell'elemento, d il diametro del perno e f_{yk} è la tensione di snervamento dell'acciaio usato per il perno.

Per la verifica a rifollamento dell'asola superiore si considera il diametro esterno del perno di 185 mm.

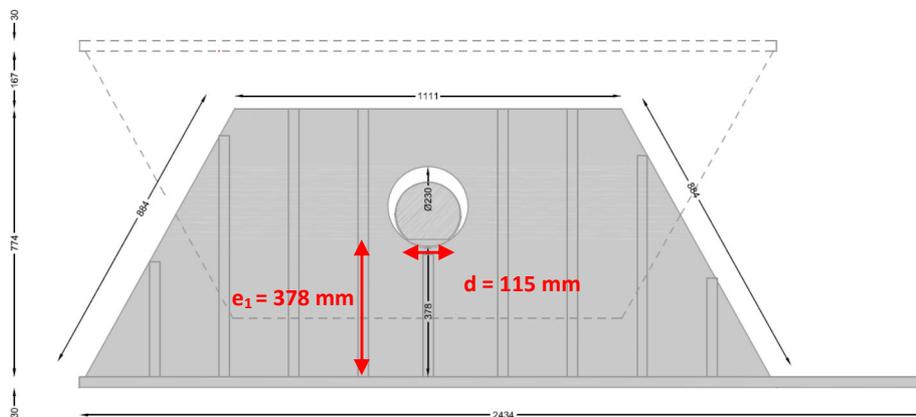


Vista – Particolare Asola Superiore collegata alla Travata

Mentre per la verifica a rifollamento dell'asola inferiore con diametro del foro di $\Phi = 230$ mm collegata al cuneo in C.A., con dimensione non confrontabile del diametro del foro stesso con quello del perno, si è fatto riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.1 delle NTC, ovvero si è calcolata la resistenza a rifollamento dell'asola considerandola come il piatto dell'unione bullonata dal perno secondo la seguente formula:

$$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$$

Nella verifica a rifollamento dell'asola inferiore come distanza e_1 tra il foro e il bordo dell'asola si considera quella dalla parte inferiore e cioè $e_1 = 378$ mm, in quanto è da questo lato che il gioco foro-perno è superato e può provocare lo schiacciamento dell'asola. La sezione resistente ai fini della verifica risulta essere larga 30 mm e lunga 115 mm, come mostrato in figura.



Vista – Particolare Asola Inferiore collegata al Cuneo in C.A.

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELL'ASOLA SUPERIORE CON $\Phi = 19$ CM COLLEGATA ALLA TRAVATA $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{yk} / \gamma_{M0}$		[riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.2 delle NTC 2008]	
f_{yk} [N/mm ²]	440		
γ_{M0}	1,05		
spessore elemento t [mm]	30		
diametro perno d [mm]	185		
$F_{b,Rd}$ [N]	3488571,43	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{b,Ed}$ [N] = N_{max} [N]	1730722,28	2,0156	Ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELL'ASOLA INFERIORE CON $\Phi = 23$ CM COLLEGATA AL CUNEO IN C.A. $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$$

[riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.1 delle NTC 2008]

f_{tk} [N/mm ²]	550		
γ_{M2}	1,25		
e_1 [mm]	378		
e_2 [mm]	600		
k	2,5		
α	0,547826087		
spessore elemento t [mm]	30		
b lunghezza asolata [mm]	115		
$F_{b,Rd}$ [N]	2079000	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{b,Ed}$ [N] = N_{max} [N]	1730722,28	1,2012	Ok

6.1.5 PROGETTO TIRAFONDI IN ACCIAIO (*Allegato relazione 2.5*)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche a Taglio allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per i Tirafondi in acciaio del Nodo Cerniera 1, facendo riferimento alla risposta strutturale di un modello di calcolo di tipo piastra di base + tirafondi collaboranti, secondo il quale le forze interne sono trasferite dalla travata in legno lamellare al cuneo in C.A. attraverso i tirafondi in acciaio (ancoraggi). I tirafondi in acciaio B450C hanno diametro Φ 30 e lunghezza di 2350 mm. Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali tirafondi	
	Descrizione tirafondo	Elementi tirafondo in acciaio B450C del diametro Φ 30
	Norma di riferimento	UNI EN 1993-1-8:2005
	Coefficienti parziali di sicurezza per le Verifiche agli stati limite ultimi ai sensi del Paragrafo 4.1.2. delle NTC 2008	
	Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_c 1.5
	Coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio	γ_s 1.15
	Coefficienti parziali di sicurezza per la Verifica delle unioni ai sensi del Paragrafo 4.2.8.1.1. delle NTC	
	Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_{M2} 1,25
	Dati tirafondi	
	Tipo acciaio	B450C
Lunghezza tirafondi [mm]	2350	
Diametro tirafondi [mm]	30	

Si considerano cautelativamente per le verifiche a taglio dei tirafondi le sollecitazioni di calcolo estrapolate dal modello globale che risultano maggiori di quelle del modello sofisticato.

Sollecitazione di Taglio massima di progetto estrapolata dal modello globale usata nelle verifiche
$F_{V,Ed}$ (N) sforzo di taglio di progetto per combinazione 21
218330

CALCOLO DELLA RESISTENZA A TAGLIO DI UN TIRAFONDO $F_{vb,Rd}$		
$F_{vb,Rd} = \min \begin{cases} F_{1,vb,Rd} = \frac{\alpha_v A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \\ F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_b A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \end{cases}$		
f_{yb} [N/mm ²]	450	
γ_{M2}	1,25	
f_{ub} [N/mm ²]	550	
Diametro tirafondo [mm]	30	
A_s [mm ²]	706,5	
α_v	0,5	
α_b	0,4265	
$F_{1,vb,Rd}$ (N)	155430	
$F_{2,vb,Rd}$ (N)	132580	
$F_{vb,Rd}$ Resistenza a taglio del tirafondo (N)	132580	

La resistenza complessiva a taglio è stata calcolata cautelativamente considerando un numero di tirafondi pari a $N_t = 4$ inferiore al reale numero.

$$F_{v,Rd} = N_t F_{vb,Rd}$$

VERIFICA A TAGLIO DEI TIRAFONDI $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = N_t F_{vb,Rd}$			
$F_{vb,Rd}$ Resistenza a taglio del tirafondo [N]	132580		
N_t numero tirafondi	4		
$F_{v,Rd}$ Resistenza a taglio complessiva [N]	530327	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [N]	218330	2,429	Ok

Per quanto riguarda le verifiche di aderenza all'interfaccia tra il calcestruzzo del cuneo in C.A. del nodo cerniera in questione ed il gambo del tirafondo si considerano le sollecitazioni del modello sofisticato che risultano le massime.

Sollecitazione di Trazione massima di progetto estrapolata dal modello sofisticato usata nelle verifiche	
Id asta	$N_{b,Ed,max}$ (N)
Asta :11 dal Nodo:22151 al Nodo:22141	19510

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Per i tirafondi in acciaio B450C con diametro di Φ 30 è stata scelta una lunghezza di $L_t = 2350$ mm per la quale risulta soddisfatta la verifica di aderenza, ovvero la lunghezza dei tirafondi risulta maggiore della lunghezza di progetto così definita:

$$L_b = \frac{N_{b,Ed,max}}{2 \pi r f_{bd}}$$

CALCOLO RESISTENZA PER ADERENZA DI PROGETTO f_{bd} [Rif.6.2.6.12-UNI EN 1993-1-8:2005]	
$f_{bd} = \frac{\eta 0,7 (0,3 f_{ck}^{2/3})}{\gamma_c}$	
f_{ck} resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo [N/mm ²]	28
γ_c	1,5
f_{bd} [N/mm ²]	2,78

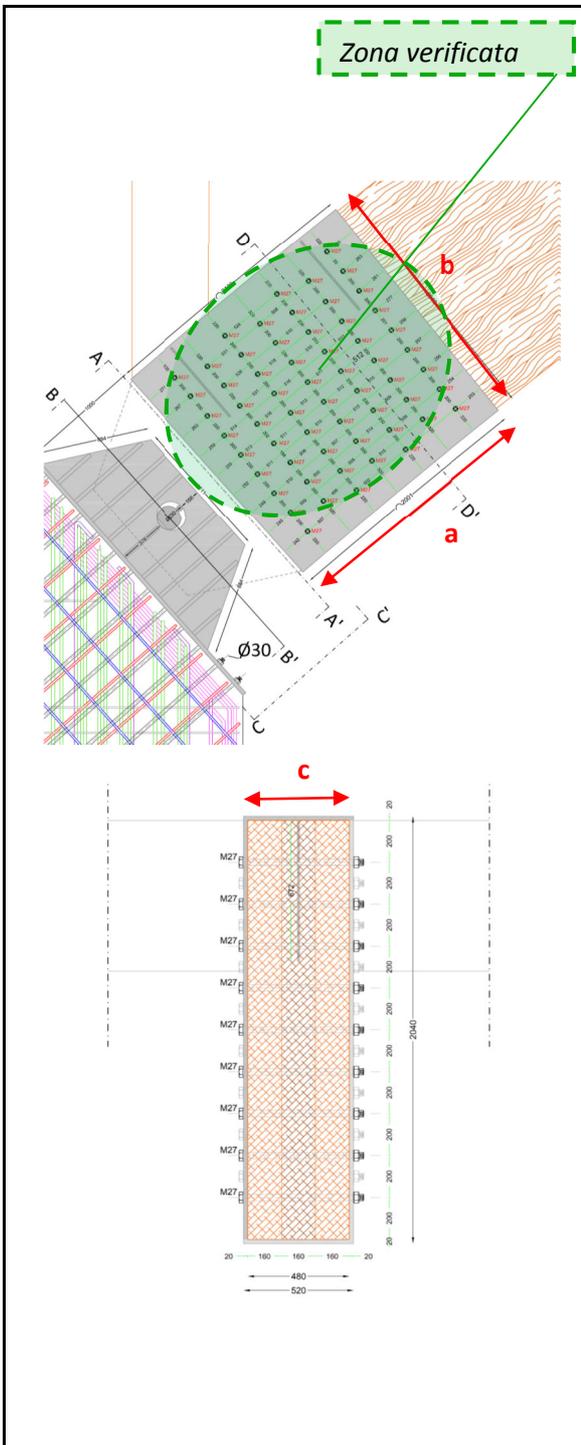
VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI ANCORAGGIO DEI TIRAFONDI L_b	
$L_t \geq \frac{N_{b,Ed,max}}{2 \pi r f_{bd}}$	
$N_{b,max}$ [N]	19510
r raggio tirafondo [mm]	15
f_{bd} [N/mm ²]	2,78
L_b [mm]	74,47
L_t [mm]	2350

6.1.6 PROGETTO UNIONE BULLONATA (Allegato relazione 2.6)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per l'unione bullonata della travata principale in legno lamellare all'estremo di appoggio con il nodo cerniera 1, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

L'unione bullonata consta di un elemento bicchiere in acciaio S450 formato da elementi piastra dello spessore di 20 mm, che fasciano la travata sulle quattro facce, e da bulloni M27 classe 8.8.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).



Dati generali unione			
descrizione	L'unione bullonata consta di un elemento bicchiere in acciaio S450 formato da elementi piastra dello spessore di 20 mm, che fasciano la travata sulle quattro facce, e da bulloni M27 classe 8.8.		
Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
classe di servizio	2		
Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale		
base sezione [mm]	480		
altezza sezione [mm]	2000		
classe legno	GL28h		
Caratteristiche geometriche del bicchiere in acciaio			
Spessore t [mm]	20		
a [mm]	2100		
b [mm]	2040		
c [mm]	520		
Tipo acciaio	S450		
Dati connettori			
Descrizione	bullone M27 classe 8.8		
connettore tipo	bullone		
classe di resistenza	8.8		
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L	
area resistente	Ares [mm ²]	459	
numero di file di connettori	nf	7	
numero connettori per fila	nr	9	
sfalsamento file		Sfalsate	
interasse connettori a1	a1 [mm]	495	
distanze file connettori a2	a2 [mm]	200	
numero totale connettori	nb	60	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.			

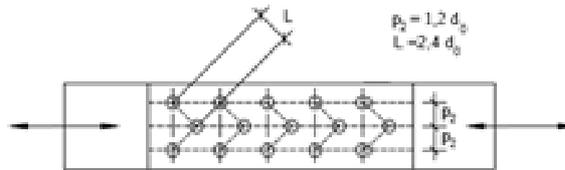
Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di resistenza dell'unione bullonata del nodo cerniera 1, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

	Caratteristiche di resistenza connettori	
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
	numero superfici di taglio	n_{st} 2 ma cautelativamente consideriamo 1
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$ 176,26
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$ 264,38
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb} 649
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb} 800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		

	Caratteristiche resistenza del bicchiere in acciaio	
	Spessore t [mm]	20
	a [mm]	2100
	b [mm]	2040
	gioco fori-connettore [mm] d_0-d	1
	Tipo acciaio	S450
$F_{b,Rd}$ resistenza di progetto a rifollamento [kN]	594,00	

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)			
numero connettore	9	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189$ mm	$a_1 = 495$ mm
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108$ mm	$a_2 = 200$ mm
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108$ mm	$a_{3c} = 242$ mm
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189$ mm	$a_{3f} = 242$ mm
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 81$ mm	$a_4 = 200$ mm

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)



diametro foro d_0 [mm]	28	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 33,6 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 67,2 \text{ mm}$	---	$L = 271 \text{ mm}$

I bulloni più sollecitati risultano essere il 471 (sforzo normale massimo $F_{t,Ed} = |3924|$ (kg) e il 478 (sforzo di taglio massimo $F_{v,Ed} = |3445,36|$ (kg). Le verifiche a taglio e a rifollamento sono state effettuate, in riferimento a due piani di taglio e ad un'asola di trave dello spessore di 480 mm e ad un elemento bicchiere in acciaio con spessore di 20 mm.

- **Sollecitazioni di calcolo per il bullone 471:**

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Asola 1	Concio 1	188	426	216	421	F_{v1-2} [kg]=	598,929879
	Concio 2	-238		-205			
Asola 2	Concio 2	-238	476	-205	383	F_{v2-3} [kg]=	610,9541718
	Concio 3	238		178			
Asola 3	Concio 3	238	991	178	304	F_{v3-4} [kg]=	1036,579471
	Concio 4	-753		126			
						$F_{v,Ed}$[Kg]	2246,463522

Nelle successive verifiche si considera come forza di taglio di calcolo $F_{v,Ed}$ agente in direzione ortogonale all'asse del bullone la somma dei tre contributi di taglio, ovvero:

$$F_{v,Ed}[N] = F_{v1-2} + F_{v2-3} + F_{v3-4} = 22028,82 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 471, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = F_{t3-4} = 38478,74 \text{ N}$$

- **Sollecitazioni di calcolo per il bullone 478:**

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Asola 1	Concio 1	1648	1779	-1486	1505	F_{v1-2} [kg]=	2330,21
	Concio 2	-131		19			
Asola 2	Concio 2	-131	285	19	36	F_{v2-3} [kg]=	287,26
	Concio 3	154		17			
Asola 3	Concio 3	154	2809	16	1996	F_{v3-4} [kg]=	3445,94
	Concio 4	-2655		1979			
						$F_{v,Ed}$[Kg]	6063,41

Nelle successive verifiche si considera come forza di taglio di calcolo $F_{v,Ed}$ agente in direzione ortogonale all'asse del bullone la somma dei tre contributi di taglio, ovvero:

$F_{v,Ed}[N]= 59457,81 N$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 471, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N , considerata di trazione:

$F_{t,Ed}[N]= 23338,28 N$

Verifica unione:

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 471) [N]	22028,82	8,00115438	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 478) [N]	59457,81	2,964387689	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 471) [N]	38478,74	6,870910339	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 478) [N]	23338,28	11,32834125	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 471) [N]	22028,82	26,96	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 478) [N]	59457,81	9,99	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 471) [N]	38478,74	17,66552463	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 478) [N]	23338,28	29,12584818	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 471) [N]	38478,74	$F_{v,Ed}$ (bul 471) [N]	22028,82	0,22893991	4,367958393
$F_{t,Ed}$ (bul 478) [N]	23338,28	$F_{v,Ed}$ (bul 478) [N]	59457,81	0,400390776	2,497560032

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO:

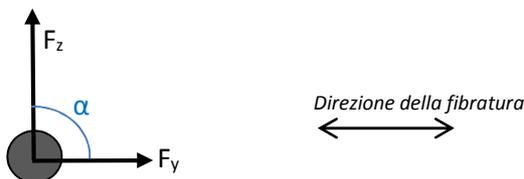
Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio

Moduli elastici		
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio

Massa volumica	
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,48164	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 471				
Solllecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	4,177356	$F_{y\ as}$ [kN]	18,56
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	4,667656		
	$F_{y\ as\ 3}$ [kN]	9,717746		
Solllecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	4,128326	$F_{z\ as}$ [kN]	10,87
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	3,755698		
	$F_{z\ as\ 3}$ [kN]	2,981024		

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 478				
Sollecitazione di taglio in y	F _{yas1} [kN]	17,444874	F _{y as} [kN]	47,78
	F _{yas2} [kN]	2,79471		
	F _{yas3} [kN]	27,545054		
Sollecitazione di taglio in z	F _{zas1} [kN]	14,75803	F _{z as} [kN]	34,68
	F _{zas2} [kN]	0,353016		
	F _{zas3} [kN]	19,572776		

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=0				
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$				
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$		
F _{h,0,k} [MPa]	24,54			
d [mm]	27			
t ₁ [mm]	480			
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029,00			
F _{v,Rk} IA [kN]	106,02	Con Min F _{v,Rk}		
F _{v,Rk} IIA [kN]	176,34			
F _{v,Rk} IIIA [kN]	66,57			

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=90°				
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$				
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$		
F _{h,90,k} [MPa]	13,98			
d [mm]	27			
t ₁ [mm]	160			
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029,00			
F _{v,Rk} IA [kN]	60,41	Con K ₉₀ = 1,35 + 0,015d		
F _{v,Rk} IIA [kN]	122,32			
F _{v,Rk} IIIA [kN]	50,25			

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	64,27
$F_{y as}$ (bul 471) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 471	18,56
$F_{y as}$ (bul 478) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 478	47,78
	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{y as}$ (bul 471) [KN] / $F_{v,Rd}$	3,46	Ok
$F_{y as}$ (bul 478) [KN] / $F_{v,Rd}$	1,34	Ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_z		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	48,51
$F_{z as}$ (bul 471) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 471	10,87
$F_{z as}$ (bul 478) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 478	34,68
	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{z as}$ (bul 471) [KN] / $F_{v,Rd}$	4,47	Ok
$F_{z as}$ (bul 478) [KN] / $F_{v,Rd}$	1,40	Ok

6.1.7 PROGETTO CUNEO IN C.A. (Allegato relazione 2.7)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche SLU di Resistenza per l'elemento Cuneo in C.A. tozzo del Nodo Cerniera 1 previste dal D.M. 14/01/2008 al capitolo 4 paragrafo 4.1.2.1.5 condotte con riferimento a un meccanismo resistente di tipo tirante-puntone, Il cuneo in C.A. di appoggio al nodo cerniera 1 costituisce una mensola tozza schematizzata ai fini delle verifiche con un modello tirante-puntone per il quale il tirante è costituito dall'armatura tesa e il puntone dal calcestruzzo compresso.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali del cuneo in C.A.	
	Descrizione e cuneo	Il cuneo in C.A. di appoggio al nodo cerniera 1 costituisce una mensola tozza schematizzata ai fini delle verifiche con un modello tirante-puntone.
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.1.2.1.5
	Coefficienti parziali di sicurezza per le Verifiche agli stati limite ultimi ai sensi del Paragrafo 4.1.2. delle NTC	
	Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_c 1.5
	Coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio	γ_s 1.15
	Dati geometrici del cuneo in C.A.	
	Diametro ferri tesi [mm]	24
	Tipo acciaio ferri tesi	B450C
	Numero ferri tesi	31
Ψ inclinazione puntone	42°	
a [mm]	1215	

Sollecitazioni di calcolo estrapolate dal modello globale usate nelle verifiche	
$P_{ed}(N)$	$H_{ed}(N)$
4483120	148970

VERIFICA TIRANTE SUPERIORE CORRISPONDENTE ALL'ARMATURA TESA $P_{Ed} \leq P_{Rs}$			
$P_R = P_{Rs} = (A_s f_{yd} - H_{Ed}) \frac{1}{\lambda}$		[Riferimento ai sensi di capitoli 4.1.2.1.5 delle NTC]	
f_{yk} [N/mm ²]	450		
γ_s	1,15		
f_{yd} [N/mm ²]	391,3		
H_{Ed} (N)	148970		
Diametro ferri tesi [mm]	24		
Numero ferri tesi	31		
As area armatura tesa [mm ²]	14016,96		
Ψ inclinazione puntone	42°		
λ	1,11144		
a [mm]	1215		
d [mm]	1518		
P_{RS} Resistenza Armatura [N]	4800901		
P_{Ed} [N]	4483120	1,070884	Ok

VERIFICA PUNTONE IN CALCESTRUZZO $P_{RS} \leq P_{Rc}$			
$P_{Rc} = 0,4 b d f_{cd} \frac{c}{1 + \lambda^2} \geq P_{Rs}$		[Riferimento ai sensi di capitoli 4.1.2.1.5 delle NTC]	
f_{ck} [N/mm ²]	28		
γ_c	1,5		
f_{cd} [N/mm ²]	18,666		
b [mm]	1000		
c	1		
d [mm]	1518		
P_{Rc} Resistenza Puntone [N]	5071240	Indicatore di sicurezza	Verifica
P_{RS} Resistenza Armatura [N]	4800901	1,05631	Ok

6.2 UNIONE NODO CERNIERA 2 (Allegato relazione 3)

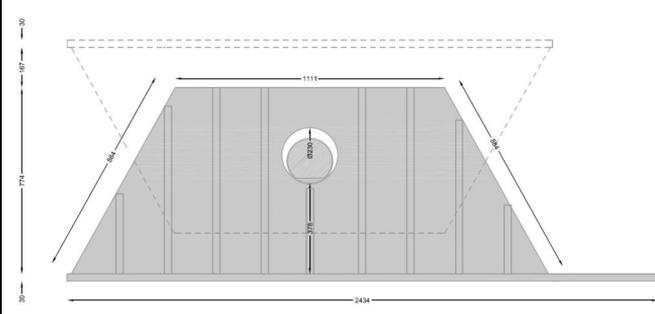
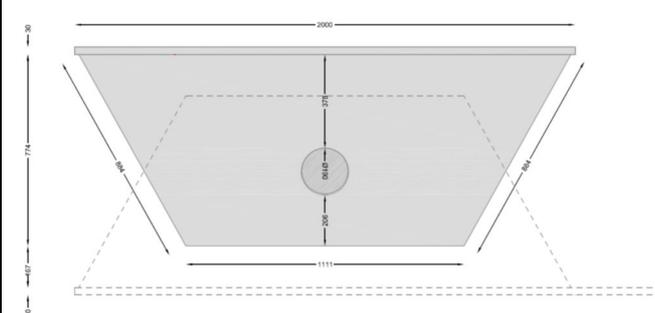
6.2.1 PROGETTO ASOLE IN ACCIAIO (Allegato relazione 3.1)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza e di Stabilità previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per le Asole in acciaio del Collegamento con perno del Nodo Cerniera 2, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

Le asole in questione sono degli elementi piastra in acciaio S450 di forma trapezoidale dello spessore di 30 mm.

In particolare, il collegamento è costituito da 7 asole inferiori collegate direttamente al cuneo in C.A. e 6 asole superiori collegate alla travata connesse tramite un perno in acciaio S450 di diametro $\Phi=185\text{mm}$.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

<p><i>Asola Inferiore collegata al cuneo in C.A.</i></p> 	<p>Dati generali asole</p> <p>Descrizione asole: Gli <u>elementi asola</u> sono delle piastre in acciaio S450 di forma trapezoidale dello spessore di 30 mm connessi tramite un perno in acciaio S450 con diametro $\Phi=185\text{mm}$</p> <p>Norma di riferimento: Circolare 2 Febbraio 2009 <i>ai sensi di capitoli C4.2.4.1.3.4.2</i></p>														
<p><i>Asola Superiore collegata alla Travata</i></p> 	<p>Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità <i>ai sensi della Tabella 4.2.V delle NTC 2008</i></p> <p>Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4: γ_{M0} 1.05</p> <p>Resistenza all'instabilità delle membrature: γ_{M1} 1.05</p>														
<p>Dati elemento asole</p> <table border="1"> <tr> <td>Spessore t [mm]</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Base minore [mm]</td> <td>1111</td> </tr> <tr> <td>Base maggiore [mm]</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>Altezza [mm]</td> <td>774</td> </tr> <tr> <td>Foro asola inferiore Φ [mm]</td> <td>230</td> </tr> <tr> <td>Foro asola superiore Φ [mm]</td> <td>190</td> </tr> <tr> <td>Tipo acciaio</td> <td>S450</td> </tr> </table>		Spessore t [mm]	30	Base minore [mm]	1111	Base maggiore [mm]	2000	Altezza [mm]	774	Foro asola inferiore Φ [mm]	230	Foro asola superiore Φ [mm]	190	Tipo acciaio	S450
Spessore t [mm]	30														
Base minore [mm]	1111														
Base maggiore [mm]	2000														
Altezza [mm]	774														
Foro asola inferiore Φ [mm]	230														
Foro asola superiore Φ [mm]	190														
Tipo acciaio	S450														

Per le verifiche di resistenza delle asole in acciaio si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4 e 5 della relazione 3.1.

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità delle asole in acciaio facendo riferimento per il calcolo delle sollecitazioni alle azioni per la combinazione più gravosa con neve in accumulo agenti nel piano della travata.

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche		
Id Shell	Nmax(N)	Mmax (Nm)
Shell : 5610 Nodi :[20080 - 22040 - 22038]	1659290	1480

VERIFICA DI STABILITA' DEI PANNELLI SOGGETTI A COMPRESSIONE			
$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} f_y W_{eff}} \leq 1,0$			
f_{yk} [N/mm ²]	440		
γ_{M0}	1,05		
A_{eff} [mm ²]	11308,81		
W_{eff} [mm ³]	9999999,99		
M_{Ed} (comb M_{max}) [Nmm]	1480000		
N_{Ed} (comb N_{max}) [N]	1659290		
e_N [mm]	0	Tasso di lavoro	Verifica
		0,3505	Ok

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità delle asole in acciaio facendo riferimento per il calcolo delle sollecitazioni alle azioni per la combinazione più gravosa con neve in accumulo agenti fuori il piano della travata.

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche		
Id Shell	Nmax(N)	Mmax (Nm)
Shell : 5610 Nodi :[20080 - 22040 - 22038]	2961160	4910

VERIFICA DI STABILITA' DEI PANNELLI SOGGETTI A COMPRESSIONE			
$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} f_y W_{eff}} \leq 1,0$			
f_{yk} [N/mm ²]	440		
γ_{M0}	1,05		
A_{eff} [mm ²]	11308,81		
W_{eff} [mm ³]	9999999,99		
M_{Ed} (comb M_{max}) [Nmm]	4910000		
N_{Ed} (comb N_{max}) [N]	2961160		
e_N [mm]	0	Tasso di lavoro	Verifica
		0,6260	Ok

6.2.2 PROGETTO PIASTRA DI BASE IN ACCIAIO (*Allegato relazione 3.2*)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per la piastra di base in acciaio S450 del Nodo Cerniera 2, facendo riferimento alla risposta strutturale di un modello di calcolo di tipo piastra di base + tirafondi collaboranti, secondo il quale le forze di taglio sono trasferite dalla travata in legno lamellare al cuneo in C.A. attraverso l'interazione con i tirafondi in acciaio (ancoraggi). La piastra di base in questione è rettangolare di dimensioni 2430 mm X 1160 mm e spessore t = 30 mm. Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali piastra di base in acciaio	
	Descrizione piastra di base	La piastra di base in acciaio S450 è rettangolare di dimensioni 2430 mm X 1160 mm e spessore t = 30 mm.
	Norma di riferimento	NTC 2008 capitolo 4 Circolare 2 Febbraio 2009 ai sensi di capitolo 4
	Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità ai sensi della Tabella 4.2.V	
	Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0} 1.05
Dati elemento Piastra di base		
Spessore t [mm]	30	
Lunghezza [mm]	2430	
Larghezza [mm]	1160	
Tipo acciaio	S450	

Per le verifiche di resistenza della piastra in acciaio si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4 e 5 della relazione 3.2.

6.2.3 PROGETTO BICCHIERE IN ACCIAIO (Allegato relazione 3.3)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per l'elemento Bicchiere in acciaio del Nodo Cerniera 2, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

Il bicchiere è costituito da elementi piastra in acciaio S450 dello spessore di 20 mm, che vanno a fasciare la travata in legno lamellare all'estremo di appoggio sul nodo cerniera 2.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

Dati generali bicchiere in acciaio	
Descrizione	Il bicchiere è costituito da elementi piastra in acciaio S450 dello spessore di 20 mm, che vanno a fasciare la travata in legno lamellare all'estremo di appoggio
Norma di riferimento	NTC 2008 capitolo 4 Circolare 2 Febbraio 2009 ai sensi di capitolo 4
Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità ai sensi della Tabella 4.2.V	
Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0} 1.05
Dati elemento bicchiere in acciaio	
Spessore t [mm]	20
a [mm]	2100
b [mm]	2040
c [mm]	520
Tipo acciaio	S450

Per le **verifiche di resistenza** del bicchiere in acciaio si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4 e 5 della relazione 3.3.

6.2.4 PROGETTO COLLEGAMENTO CON PERNO IN ACCIAIO (Allegato relazione 3.4)

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche allo SLU previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per il Collegamento con perno in acciaio del Nodo Cerniera 2, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

Il Collegamento in questione consta di due gruppi di asole in acciaio S450 trapezoidali con spessore di 30 mm, di cui 7 inferiormente e 6 superiormente, connessi tramite un perno in acciaio S450 dentato con diametro esterno di $\Phi=185\text{mm}$ e lunghezza $L = 620\text{ mm}$.

In particolare sono state effettuate le Verifiche di Resistenza a Taglio e a Flessione per il Perno in acciaio e la Verifica a Rifollamento per le asole collegate dal perno.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali collegamento con perno in acciaio	
	Descrizione collegamento con perno in acciaio	Il Collegamento in questione consta di due gruppi di asole in acciaio S450 trapezoidali con spessore di 30 mm, di cui 6 inferiormente e 7 superiormente, connessi tramite un perno in acciaio S450 dentato con diametro esterno di $\Phi=185\text{mm}$ e lunghezza $L = 620\text{ mm}$.
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.2.8.1.2 e 4.2.8.1
	Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità ai sensi della Tabella 4.2.V	
Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0}	1.05
Resistenza all'instabilità delle membrature	γ_{M1}	1.05
Coefficienti parziali di sicurezza per la verifica delle unioni ai sensi della Tabella 4.2.XII		
Resistenza delle connessioni a perno	γ_{M2}	1.25
Dati collegamento con perno		
Diametro perno [mm]	185	
Lunghezza perno [mm]	620	
Tipo acciaio perno	S450	
Spessore elemento connesso [mm]	30	
Tipo acciaio elemento connesso	S450	

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche		
	Tmax(N)	Mmax (Nmm)
Asta :479 dal Nodo:20080 al Nodo:20080	704161,0	26841046,92

La Normativa di riferimento NTC 2008 al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.2 nel caso di collegamenti con perni prevede le seguenti verifiche.

La resistenza a taglio del perno è pari a

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tk} A / \gamma_{M2}$$

dove A è l'area della sezione del perno ed f_{tk} è la tensione a rottura del perno.

Ai fini delle verifiche di resistenza del perno si considera a il diametro interno di 140 mm, ovvero il diametro resistente iscritto nella parte asolata.

VERIFICA RESISTENZA A TAGLIO DEL PERNO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tk} A / \gamma_{M2}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550		
γ_{M2}	1,25		
Diametro perno [mm]	140		
A [mm ²]	15386		
$F_{v,Rd}$ [N]	4061904	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [N]	704161,0	5,76843	Ok

Nella concezione delle connessioni con perni si deve aver cura di contenere le azioni flettenti. La resistenza a flessione del perno è data da

$$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

dove W_{el} è il modulo (resistente) elastico della sezione del perno.

VERIFICA RESISTENZA A FLESSIONE DEL PERNO $M_{Ed} \leq M_{Rd}$			
$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{yk} / \gamma_{M0}$			
f_{yk} [N/mm ²]	440		
γ_{M0}	1,05		
W_{el} [mm ³]	269255		
Diametro perno [mm]	140		
M_{Rd} [N*mm]	169246000	Indicatore di sicurezza	Verifica
M_{Ed} [N*mm]	26841046,92	6,305492	Ok

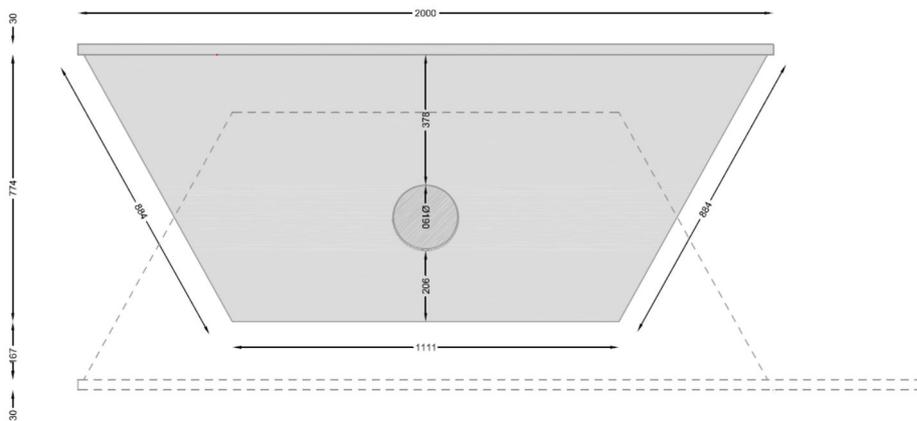
Per le asole in acciaio connesse al perno si sono diversificate le verifiche a rifollamento.

Solicitazioni massime estrapolate dal modello sofisticato usate nelle verifiche a rifollamento delle asole		
N1(N)	904782,6	Nmax(N)
N2(N)	638403,5	1130601
N3(N)	1130601	

In particolare per l'asola superiore con diametro del foro di $\Phi = 190$ mm collegata alla travata, con dimensione confrontabile del diametro del foro stesso con quello del perno, si è fatto riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.2 delle NTC, ovvero si è calcolata la resistenza a rifollamento dell'elemento in acciaio connesso al perno secondo la seguente formula:

$$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{yk} / \gamma_{M0}$$

dove t è lo spessore dell'elemento, d il diametro del perno e f_{yk} è la tensione di snervamento dell'acciaio usato per il perno. Per la verifica a rifollamento dell'asola superiore si considera il diametro esterno del perno di 185 mm.



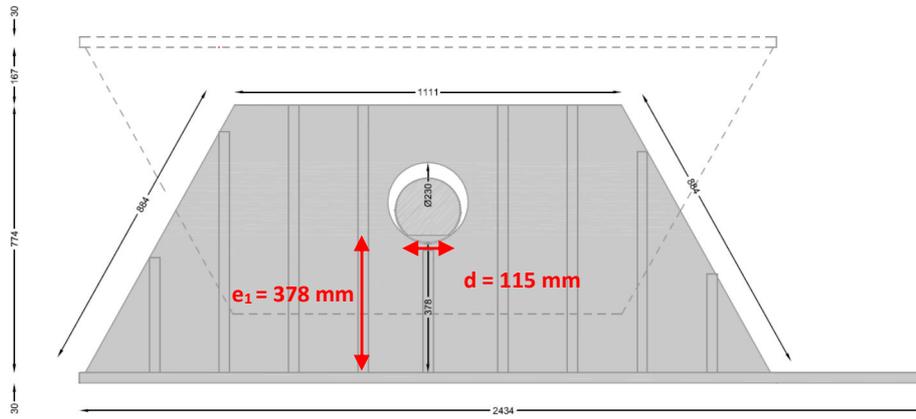
Vista – Particolare Asola Superiore collegata alla Travata

Mentre per la verifica a rifollamento dell'asola inferiore con diametro del foro di $\Phi = 230$ mm collegata al cuneo in C.A., con dimensione non confrontabile del diametro del foro stesso con quello del perno, si è fatto riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.1 delle NTC, ovvero si è calcolata la resistenza a rifollamento dell'asola considerandola come il piatto dell'unione bullonata dal perno secondo la seguente formula:

$$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$$

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Nella verifica a rifollamento dell'asola inferiore come distanza e_1 tra il foro e il bordo dell'asola si considera quella dalla parte inferiore e cioè $e_1 = 378$ mm, in quanto è da questo lato che il gioco foro-perno è superato e può provocare lo schiacciamento dell'asola. La sezione resistente ai fini della verifica risulta essere larga 30 mm e lunga 115 mm, come mostrato in figura.



Vista – Particolare Asola Inferiore collegata al Cuneo in C.A.

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELL'ASOLA SUPERIORE CON $\Phi = 19$ CM COLLEGATA ALLA TRAVATA $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{yk} / \gamma_{M0}$		[riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.2 delle NTC 2008]	
f_{yk} [N/mm ²]	440		
γ_{M0}	1,05		
spessore elemento t [mm]	30		
diámetro perno d [mm]	185		
$F_{b,Rd}$ [N]	3488571,43	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{b,Ed}$ [N] = N_{max} [N]	1130601	3,0855	Ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELL'ASOLA INFERIORE CON $\Phi = 23$ CM COLLEGATA AL CUNEO IN C.A. $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$		[riferimento al capitolo 4 paragrafo 4.2.8.1.2 delle NTC 2008]	
f_{tk} [N/mm ²]	550		
γ_{M2}	1,25		
e_1 [mm]	378		
e_2 [mm]	600		
k	2,5		
α	0,547826087		
b lunghezza asolata [mm]	115		
spessore elemento t [mm]	30	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{b,Rd}$ [N]	2079000	1,8388	Ok

6.2.5 PROGETTO TIRAFONDI IN ACCIAIO (*Allegato relazione 3.5*)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche a Taglio allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per i Tirafondi in acciaio del Nodo Cerniera 2, facendo riferimento alla risposta strutturale di un modello di calcolo di tipo piastra di base + tirafondi collaboranti, secondo il quale le forze di taglio sono trasferite dalla travata in legno lamellare al cuneo in C.A. attraverso i tirafondi in acciaio (ancoraggi). I tirafondi in acciaio B450C hanno diametro Φ 30 e lunghezza di 2350 mm.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali tirafondi	
	Descrizione tirafondo	Elementi tirafondo in acciaio B450C del diametro Φ 30
	Norma di riferimento	UNI EN 1993-1-8:2005
	Coefficienti parziali di sicurezza per le Verifiche agli stati limite ultimi ai sensi del Paragrafo 4.1.2. delle NTC 2008	
	Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_c 1.5
	Coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio	γ_s 1.15
	Coefficienti parziali di sicurezza per la Verifica delle unioni ai sensi del Paragrafo 4.2.8.1.1. delle NTC	
	Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_{M2} 1,25
	Dati tirafondi	
	Tipo acciaio	B450C
Lunghezza tirafondi [mm]	2350	
Diametro tirafondi [mm]	30	

Sollecitazione di taglio massima di progetto estrapolata dal modello globale usata nelle verifiche
$F_{v,Ed}$ (N) sforzo di taglio di progetto per combinazione 17
222450

Sollecitazione di trazione massima di progetto estrapolata dal modello sofisticato usata nelle verifiche	
Id asta	$N_{b,Ed,max}$ (N)
Asta :33 dal Nodo:22260 al Nodo:22250	3980

CALCOLO DELLA RESISTENZA A TAGLIO DI UN TIRAFONDO $F_{vb,Rd}$ (*)		
$F_{vb,Rd} = \min \begin{cases} F_{1,vb,Rd} = \frac{\alpha_v A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \\ F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_b A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \end{cases}$		
f_{yb} [N/mm ²]	450	(*) Riferimento- Manuale Tecnico per il progetto e la verifica delle strutture in acciaio e delle connessioni bullonate e saldate" di S.Caffè
γ_{M2}	1,25	
f_{ub} [N/mm ²]	550	
Diametro tirafondo [mm]	30	
A_s [mm ²]	706,5	
α_v	0,5	
α_b	0,4265	
$F_{1,vb,Rd}$ (N)	155430	
$F_{2,vb,Rd}$ (N)	132580	
$F_{vb,Rd}$ Resistenza a taglio del tirafondo (N)	132580	

La resistenza complessiva a taglio è stata calcolata cautelativamente considerando un numero di tirafondi pari a $N_t = 4$ inferiore al reale numero.

$$F_{v,Rd} = N_t F_{vb,Rd}$$

VERIFICA A TAGLIO DEI TIRAFONDI $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = N_t F_{vb,Rd}$			
$F_{vb,Rd}$ Resistenza a taglio del tirafondo [N]	132580		
N_t numero tirafondi	4		
$F_{v,Rd}$ Resistenza a taglio complessiva [N]	530327	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [N]	222450	2,429	Ok

Per i tirafondi in acciaio B450C con diametro di Φ 30 è stata scelta una lunghezza di $L_t = 2350$ mm per la quale risulta soddisfatta la verifica di aderenza. Ovvero la lunghezza dei tirafondi risulta maggiore della lunghezza di progetto così definita:

$$L_b = \frac{N_{b,Ed,max}}{2 \pi r f_{bd}}$$

CALCOLO RESISTENZA PER ADERENZA DI PROGETTO f_{bd} [Rif.6.2.6.12-UNI EN 1993-1-8:2005]		
$f_{bd} = \frac{\eta 0,7 (0,3 f_{ck}^{2/3})}{\gamma_c}$		
f_{ck} resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo [Kg/mm ²]	2,8	
γ_c	1,5	
f_{bd} [Kg/mm ²]	0,278	

VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI ANCORAGGIO DEI TIRAFONDI L_b

$$L_t \geq \frac{N_{b,Ed,max}}{2 \pi r f_{bd}}$$

$N_{b,max}$ [N]	3980	
r raggio tirafondo [mm]	15	
f_{bd} [N/mm ²]	2,78	
L_b [mm]	15,19	
L_t [mm]	2350	

6.2.6 PROGETTO BULLONI IN ACCIAIO (Allegato relazione 3.6)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per l'unione bullonata della travata principale in legno lamellare all'estremo di appoggio con il nodo cerniera 2, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

L'unione bullonata consta di un elemento bicchiere in acciaio S450 formato da elementi piastra dello spessore di 20 mm, che fasciano la travata sulle quattro facce, e da bulloni M27 classe 8.8.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

Dati generali unione			
descrizione	L'unione bullonata consta di un elemento bicchiere in acciaio S450 formato da elementi piastra dello spessore di 20 mm, che fasciano la travata sulle quattro facce, e da bulloni M27 classe 8.8.		
Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
classe di servizio	2		
Coefficients parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,S}$	1,25	1,25
calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale		
base sezione [mm]	480		
altezza sezione [mm]	2000		
classe legno	GL28h		
Caratteristiche geometriche del bicchiere in acciaio			
Spessore t [mm]	20		
a [mm]	2100		
b [mm]	2040		
c [mm]	520		
Tipo acciaio	S450		
Dati connettori			
Descrizione	bullone M27 classe 8.8		
connettore tipo	bullone		
classe di resistenza	8.8		
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L	
area resistente	Ares [mm ²]	459	
numero di file di connettori	nf	7	
numero connettori per fila	nr	9	
sfalsamento file		Sfalsate	
interasse connettori a1	a1 [mm]	495	
distanze file connettori a2	a2 [mm]	200	
numero totale connettori	nb	60	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.			

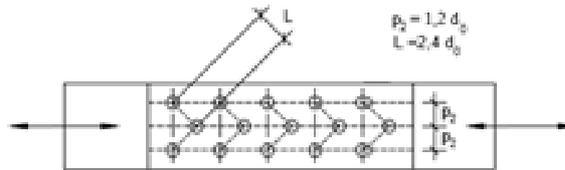
Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di resistenza dell'unione bullonata del nodo cerniera 2, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

<p>La punta deve essere smussata o, per filettature <math>M4</math>, può essere rullata (estremità tagliata) (vedi ISO 4753)</p> <p>Filatura incompleta <math>u \le 2P</math></p> <p>Limite massimo del raccordo tra gambo e testa</p> <p>0,1 Posizione di riferimento per <math>d_{w}</math></p> <p>Dettaglio "A"</p>	Caratteristiche di resistenza connettori		
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25	(Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
	numero superfici di taglio	n_{st}	2 ma cautelativamente consideriamo 1
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,26
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,38
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)			

	Caratteristiche resistenza del bicchiere in acciaio	
	Spessore t [mm]	20
	a [mm]	2100
	b [mm]	2040
	gioco fori-connettore [mm] d_0-d	1
	Tipo acciaio	S450
	$F_{b,Rd}$ resistenza di progetto a rifollamento [kN]	594,00

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)			
numero connettore	9	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_1 = 495 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 242 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 242 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 81 \text{ mm}$	$a_4 = 200 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)



diametro foro d_0 [mm]	28	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 33,6 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 67,2 \text{ mm}$	---	$L = 271 \text{ mm}$

I bulloni più sollecitati risultano essere il 515 (sforzo normale massimo $F_{t,Ed} = |7560|$ (kg) e il 510 (sforzo di taglio massimo $F_{v,Ed} = |2864,31|$ (kg). Le verifiche a taglio e a rifollamento dell'unione bullonata sono state effettuate in riferimento a due piani di taglio e ad un'asola di trave dello spessore di 480 mm e ad un elemento bicchiere in acciaio con spessore di 20 mm.

- **Sollecitazioni di calcolo per il bullone 515:**

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Asola 1	Concio 1	-210	346	-572	668	F_{v1-2} [kg]=	752,29
	Concio 2	136		96			
Asola 2	Concio 2	136	209	96	239	F_{v2-3} [kg]=	317,49
	Concio 3	-73		-143			
Asola 3	Concio 3	-73	370	-143	888	F_{v3-4} [kg]=	962
	Concio 4	-297		-745			
						$F_{v,Ed}$[Kg]	2031,78

Nelle successive verifiche si considera come forza di taglio di calcolo $F_{v,Ed}$ agente in direzione ortogonale all'asse del bullone la somma dei tre contributi di taglio, ovvero:

$F_{v,Ed}$ [N]= 19923,67 N

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 515, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$F_{t,Ed}$ [N]= 74133,36 N

- **Sollecitazioni di calcolo per il bullone 510:**

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Asola 1	Concio 1	-347	502	-98	220	F_{v1-2} [kg]=	548,0912333
	Concio 2	-155		-122			
Asola 2	Concio 2	-155	169	-122	165	F_{v2-3} [kg]=	236,190601
	Concio 3	-14		-43			
Asola 3	Concio 3	-14	1689	-43	1214	F_{v3-4} [kg]=	2080,028125
	Concio 4	1675		1171			
						$F_{v,Ed}$[Kg]	2864,309959

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Nelle successive verifiche si considera come forza di taglio di calcolo $F_{v,Ed}$ agente in direzione ortogonale all'asse del bullone la somma dei tre contributi di taglio, ovvero:

$$F_{v,Ed}[N] = 28087,42 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 510, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = 36311,62 \text{ N}$$

VERIFICA UNIONE:

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 510) [N]	28087,42	6,275264097	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 515) [N]	19923,67	8,846564898	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 510) [N]	36311,62	7,280975472	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 515) [N]	74133,36	3,566329652	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 510) [N]	28087,42	21,15	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 515) [N]	19923,67	29,81	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 510) [N]	36311,62	18,71982681	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 515) [N]	74133,36	9,1692485	Ok

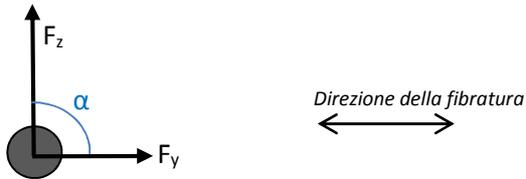
VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{b,Rd}$ [N]	679747,20	$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 510) [N]	36311,62	$F_{v,Ed}$ (bul 510) [N]	28087,42	0,257458867	3,884115588
$F_{t,Ed}$ (bul 515) [N]	74133,36	$F_{v,Ed}$ (bul 515) [N]	19923,67	0,313324173	3,191582663

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO:

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,48164	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 510				
Sollecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	4,922612	$F_{y\ as}$ [kN]	23,14216
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	1,657214		
	$F_{y\ as\ 3}$ [kN]	16,562334		
Sollecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	2,15732	$F_{z\ as}$ [kN]	15,679794
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	1,61799		
	$F_{z\ as\ 3}$ [kN]	11,904484		

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 515				
Sollecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	3,392876	$F_{y\ as}$ [kN]	9,07055
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	2,049454		
	$F_{y\ as\ 3}$ [kN]	3,62822		
Sollecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	6,550408	$F_{z\ as}$ [kN]	17,60177
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	2,343634		
	$F_{z\ as\ 3}$ [kN]	8,707728		

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	24,54	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	480	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [kN]	106,02	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [kN]	176,34	
$F_{v,Rk}$ IIIA [kN]	66,57	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	60,41	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	122,32	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	50,25	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	64,27	
$F_{y as}$ (bul 510) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 471	23,14	
$F_{y as}$ (bul 515) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 478	9,07	
		Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{y as}$ (bul 510) [KN] / $F_{v,Rd}$		2,78	Ok
$F_{y as}$ (bul 515) [KN] / $F_{v,Rd}$		7,09	Ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_z			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	48,51	
$F_{z as}$ (bul 510) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 471	15,68	
$F_{z as}$ (bul 515) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 478	17,60	
		Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{z as}$ (bul 510) [KN] / $F_{v,Rd}$		3,09	Ok
$F_{z as}$ (bul 515) [KN] / $F_{v,Rd}$		2,76	Ok

6.2.7 PROGETTO CUNEO IN C.A. (Allegato relazione 3.7)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche SLU di Resistenza per l'elemento Cuneo in C.A. tozzo del Nodo Cerniera 2 previste dal D.M. 14/01/2008 al capitolo 4 paragrafo 4.1.2.1.5 condotte con riferimento a un meccanismo resistente di tipo tirante-puntone, Il cuneo in C.A. di appoggio al nodo cerniera 2 costituisce una mensola tozza schematizzata ai fini delle verifiche con un modello tirante-puntone per il quale il tirante è costituito dall'armatura tesa e il puntone dal calcestruzzo compresso.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

	Dati generali del cuneo in C.A.	
	Descrizione cuneo	Il cuneo in C.A. di appoggio al nodo cerniera 2 costituisce una mensola tozza schematizzata ai fini delle verifiche con un modello tirante-puntone.
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.1.2.1.5
	Coefficienti parziali di sicurezza per le Verifiche agli stati limite ultimi ai sensi del Paragrafo 4.1.2. delle NTC	
	Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_c 1.5
	Coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio	γ_s 1.15
Dati geometrici del cuneo in C.A.		
Diametro ferri tesi [mm]	24	
Tipo acciaio ferri tesi	B450C	
Numero ferri tesi	31	
Ψ inclinazione puntone	42°	
a [mm]	1215	

Sollecitazioni di calcolo estrapolate dal modello globale usate nelle verifiche	
Ped(N)	Hed (N)
3344350	222450

VERIFICA TIRANTE SUPERIORE CORRISPONDENTE ALL'ARMATURA TESA $P_{Ed} \leq P_{Rs}$					
$P_R = P_{Rs} = (A_s f_{yd} - H_{Ed}) \frac{1}{\lambda}$		[Riferimento ai sensi di capitoli 4.1.2.1.5 delle NTC]			
f_{yk} [N/mm ²]	450				
γ_s	1,15				
f_{yd} [N/mm ²]	391,3				
H_{Ed} (N)	222450				
Diametro ferri tesi [mm]	24				
Numero ferri tesi	31				
As area armatura tesa [mm ²]	14016,96				
Ψ inclinazione puntone	42°				
λ	1,11144				
a [mm]	1215				
d [mm]	1518				
P_{RS} Resistenza Armatura [N]	4734788			Indicatore di sicurezza	Verifica
P_{Ed} [N]	3344350			1,415758	Ok

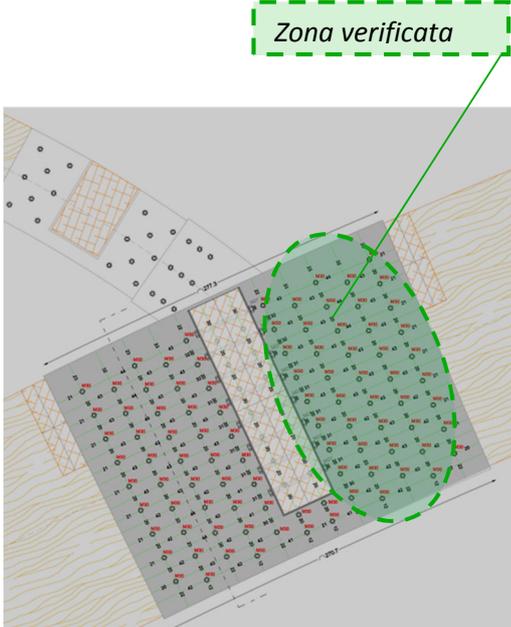
VERIFICA PUNTONE IN CALCESTRUZZO $P_{RS} \leq P_{Rc}$			
$P_{Rc} = 0,4 b d f_{cd} \frac{c}{1 + \lambda^2} \geq P_{Rs}$		[Riferimento ai sensi di capitoli 4.1.2.1.5 delle NTC]	
f_{ck} [N/mm ²]	28		
γ_c	1,5		
f_{cd} [N/mm ²]	18,666		
b [mm]	1000		
c	1		
d [mm]	1518		
P_{Rc} Resistenza Puntone [N]	5071240	Indicatore di sicurezza	Verifica
P_{RS} Resistenza Armatura [N]	4734788	1,071059	Ok

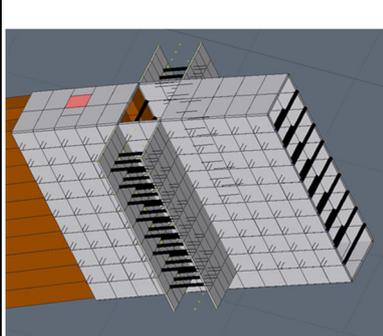
6.3 UNIONE NODO FLANGIA 1 (Allegato relazione 4)

6.3.1 PROGETTO FLANGIA IN ACCIAIO 1 (Allegato relazione 4.1)

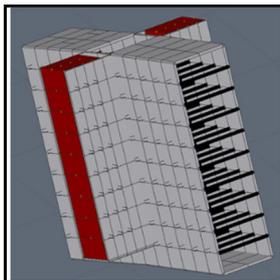
Si riportano di seguito i risultati della verifica dell'unione in legno mediante due approcci:

- Il primo, sofisticato, fa riferimento ad un modello più complesso e relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (flange, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse.
- Il secondo, semplificato, invece, fa riferimento ad un modello di calcolo relativo alla struttura nella sua globalità, che mediante analisi strutturale di tipo FEM, provvede a restituire le sollecitazioni trasmesse dagli elementi in legno al nodo flangiato. La semplificazione di calcolo è legata alla valutazione degli sforzi trasmessi dai singoli elementi componenti la flangia in acciaio (bulloni, asole, piastre in acciaio) mediante schemi di verifica di tipo tradizionali e quindi più cautelativi.

 <p>Zona verificata</p>	Dati generali unione			
	descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastre in acciaio e bulloni M30 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale			
base sezione [mm]	b	480		
altezza sezione [mm]	h	2000		
classe legno	GL28h			
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati connettori			
	Descrizione		bullone M30 classe 8.8	
	connettore tipo		bullone	
	classe di resistenza		8.8	
	diam. x lunghezza	d x L [mm]	30 x L	
	area resistente	A_{res} [mm ²]	561	
	numero di file di connettori	n_f	6 per ogni lembo per un totale di 12 file sull'intera piastra	
	numero connettori per fila	n_r	9	
	sfalsamento file		Sfalsate	
	interasse connettori a_1	a_1 [mm]	420	
	distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	200	
	numero totale connettori	n_b	54 x 2=108	

Caratteristiche di resistenza connettori	
coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n_{st} 2 ma cautelativamente consideriamo 1
resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$ 215,42
resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$ 323,14
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb} 649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb} 800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)	



Caratteristiche della piastra in acciaio

larghezza [mm]	B	2700
spessore [mm]	T	25
altezza [mm]	H	2025
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	825,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

numero connettore	9	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M30		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 210 \text{ mm}$	$a_1 = 420 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 120 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 120 \text{ mm}$	$a_{3c} = 210 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 210 \text{ mm}$	$a_{3f} = 210 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 90 \text{ mm}$	$a_4 = 120 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)

diametro foro d_0 [mm]	31	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 37,2 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 100 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 74,4 \text{ mm}$	---	$L = 122 \text{ mm}$

I bulloni più sollecitati risultano essere il 1227 (sforzo normale massimo $F_{t1-2} = |39790| \text{ kg}$) e il 397 (sforzo di taglio massimo $F_{v1-2} = |5728,81| \text{ kg}$). Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio sulla metà più sollecitata del bullone in esame, con due piani di taglio, facendo riferimento ad un'asola di trave (160 mm) e alla flangia in acciaio (25 mm).

- **Calcolo forze Bullone 1227:**

Tabella riassuntiva esiti:

		T _y [kg]	F _y [kg]	T _z [kg]	F _z [kg]		
Asola 1	Concio 1	-225	2435	1692	2821	F _{v1-2} [kg]=	3726,5
	Concio 2	-2210		-1129			
Asola 2	Concio 3	2031	2932	884	2609	F _{v3-4} [kg]=	3924,73
	Concio 4	901		-1725			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v3-4} e, cautelativamente, si assume lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N] = F_{v3-4} = 38485,90 \text{ N}$$

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{t3-4} e, cautelativamente, assumeremo lo sforzo di trazione di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione coincidente all'asse del bullone:

$$F_{t,Ed}[N] = F_{t3-4} = 290654,74 \text{ N}$$

- **Calcolo forze Bullone 397:**

Tabella riassuntiva esiti:

		T _y [kg]	F _y [kg]	T _z [kg]	F _z [kg]		
Asola 1	Concio 1	-3550	4561	2967	3406	F _{v1-2} [kg]=	5692,41
	Concio 2	1011		-439			
Asola 2	Concio 3	-1107	4003	547	2998	F _{v3-4} [kg]=	5001,20
	Concio 4	2896		-2451			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v1-2} e, cautelativamente, si assume lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N] = F_{v1-2} = 55819,79 \text{ N}$$

La forza di trazione F_{t,Ed}, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 397, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = F_{t2} = 81948,74 \text{ N}$$

Verifica unione:

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	561		
$F_{v,Rd}$ [N]	215424,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 1227) [N]	38485,90	5,597478315	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 397) [N]	55819,79	3,859276133	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	561		
$F_{t,Rd}$ [N]	323136,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 1227) [N]	290654,74	1,111752028	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 397) [N]	81948,74	3,943147779	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	30		
t [mm]	25		
$F_{b,Rd}$ [N]	825000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 1227) [N]	38485,90	21,44	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 397) [N]	55819,79	14,78	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	46		
t_p [mm]	25		
$B_{p,Rd}$ [N]	953304,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 1227) [N]	290654,74	3,279850142	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 397) [N]	81948,74	11,63293025	Ok

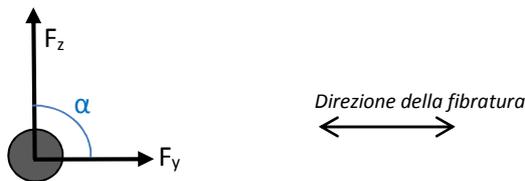
VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	323136,00	$F_{v,Rd}$ [N]	215424,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	953304,00	$F_{b,Rd}$ [N]	825000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 1227) [N]	290654,74	$F_{v,Ed}$ (bul 1227) [N]	38485,90	0,821138416	1,217821479
$F_{t,Ed}$ (bul 397) [N]	81948,74	$F_{v,Ed}$ (bul 397) [N]	55819,79	0,440262017	2,271374683

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO:

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	30	
ζ_b [1/mm]	0,46176	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1662365,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 1227			
Sollecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	23,87761	Con F_y max
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	28,751192	
Sollecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	27,662726	Con F_z max
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	25,583854	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 397			
Sollecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	44,725166	Con F_y max
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	39,253418	
Sollecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	33,399236	Con F_z max
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	29,398388	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	23,53	
d [mm]	30	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1662365,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	112,96	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	194,42	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	78,80	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,07	
d [mm]	30	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1662365,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	62,76	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	133,60	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	58,73	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	78,80
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	76,08
$F_{y,as1}$ (bul 1227) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 1227	28,75
$F_{y,as1}$ (bul 397) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 397	44,73
	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{y,as1}$ (bul 1227) [KN] / $F_{v,Rd}$	2,65	ok
$F_{y,as1}$ (bul 397) [KN] / $F_{v,Rd}$	1,70	ok

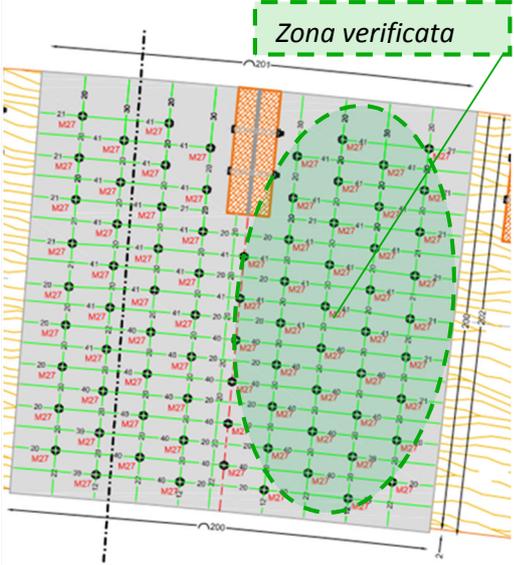
VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura Fz		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	58,73
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	56,71
$F_{z\ as2(bul\ 1227)}$ [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 1227	27,66
$F_{z\ as1(bul\ 397)}$ [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 397	33,40
	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{z\ as2(bul\ 1227)}$ [KN] / $F_{v,Rd}$	2,05	ok
$F_{z\ as1(bul\ 397)}$ [KN] / $F_{v,Rd}$	1,69	ok

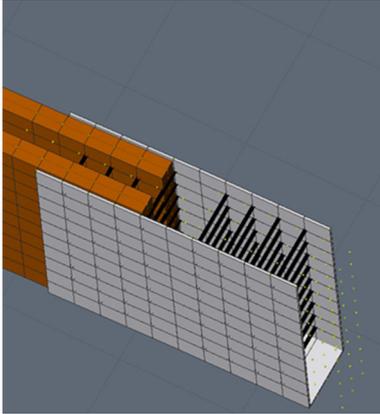
6.4 UNIONE FLANGIA 2 (Allegato relazione 5)

6.4.1 PROGETTO FLANGIA IN ACCIAIO 2 (Allegato relazione 5.1)

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Si riportano di seguito i risultati della verifica dell'unione in legno mediante approccio sofisticato. Il quale fa riferimento ad un modello complesso, relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (flange, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse.

	Dati generali unione			
	descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale			
base sezione [mm]	b	480		
altezza sezione [mm]	h	2000		
classe legno		GL28h		
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati connettori		
	Descrizione		bullone M27 classe 8.8
	connettore tipo		bullone
	classe di resistenza		8.8
	diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
	area resistente	A_{res} [mm ²]	459
	numero di file di connettori	n_f	4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra
	numero connettori per fila	n_r	9
	sfalsamento file		Sfalsate
	interasse connettori a_1	a_1 [mm]	400
	distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	200
	numero totale connettori	n_b	36 x 2=72

	Caratteristiche di resistenza connettori		
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25	(Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
	numero superfici di taglio	n_{st}	2 ma cautelativamente consideriamo 1
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,26
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,38
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)			

	Caratteristiche della piastra in acciaio		
	larghezza [mm]	B	2170
	spessore [mm]	T	20
	altezza [mm]	H	2020
	classe acciaio		S450
	resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	594,00
	gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

numero connettore	9	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_1 = 400 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 200 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 200 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 81 \text{ mm}$	$a_4 = 120 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)

diametro foro d_0 [mm]	28	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 33,6 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 100 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 67,2 \text{ mm}$	---	$L = 114 \text{ mm}$

I bulloni più sollecitati risultano essere il 101 (sforzo normale massimo $F_{t1} = |5482| \text{ kg}$) e il 102 (sforzo di taglio massimo $F_{v1-2} = |2861,81| \text{ kg}$). È stato riportato sotto lo schema statico che illustra il funzionamento dei bulloni, come asta appoggiata alle estremità e al centro. Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio sulla metà più sollecitata del bullone in esame, con due piani di taglio, facendo riferimento ad un'asola di trave (160 mm) e alla flangia in acciaio (20 mm).

- **Calcolo forze Bullone 101**

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Asola 1	Concio 1	517	883	646	836	F _{v1-2} [kg]=	1215,97
	Concio 2	-366		190			
Asola 2	Concio 3	9	1538	-160	324	F _{v3-4} [kg]=	1571,76
	Concio 4	-1529		-164			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v3-4} e, cautelativamente, assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N] = F_{v3-4} = 15412,65 \text{ N}$$

La forza di trazione F_{t,Ed}, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 101, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = F_{t3-4} = 53756,49 \text{ N}$$

- **Calcolo forze Bullone 102**

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Asola 1	Concio 1	2412	2832	239	412	F _{v1-2} [kg]=	2861,81
	Concio 2	-420		173			
Asola 2	Concio 3	55	1701	-134	281	F _{v3-4} [kg]=	1724,05
	Concio 4	-1646		-147			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v1-2} e, cautelativamente, assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N] = F_{v1-2} = 28062,93 \text{ N}$$

La forza di trazione F_{t,Ed}, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 102, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = F_{t3-4} = 44205,45 \text{ N}$$

Verifica unione

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f _{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ _{M2}	1,25		
A _{res} [mm ²]	459		
F _{v,Rd} [N]	176256,00	Indicatore di sicurezza	Verifica

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

$F_{v,Ed}$ (bul 101) [N]	15412,65	11,4358019	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 102) [N]	28062,93	6,28074149	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 101) [N]	53756,49	4,918178069	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 102) [N]	44205,45	5,98080128	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 101) [N]	15412,65	38,54	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 102) [N]	28062,93	21,17	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 101) [N]	53756,49	12,64493226	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 102) [N]	44205,45	15,37700059	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 101) [N]	53756,49	$F_{v,Ed}$ (bul 101) [N]	15412,65	0,232678482	4,297776026
$F_{t,Ed}$ (bul 102) [N]	44205,45	$F_{v,Ed}$ (bul 102) [N]	28062,93	0,278646639	3,588774675

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO

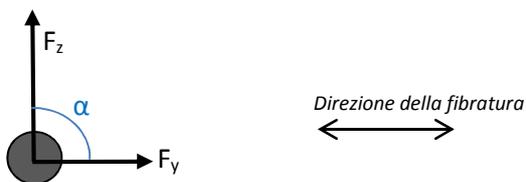
Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

K_{mod}	0,7
-----------	-----

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,48164	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 101

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Sollecitazione di taglio in y	F _{yas1} [kN]	8,658698	Con F _y max
	F _{yas2} [kN]	15,081628	
Sollecitazione di taglio in z	F _{zas1} [kN]	8,197816	Con F _z max
	F _{zas2} [kN]	3,177144	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 102			
Sollecitazione di taglio in y	F _{yas1} [kN]	27,770592	Con F _y max
	F _{yas2} [kN]	16,680006	
Sollecitazione di taglio in z	F _{zas1} [kN]	4,040072	Con F _z max
	F _{zas2} [kN]	2,755486	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=0			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		IA	
		IIA	
		IIIA	
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$	
F _{h,0,k} [MPa]	24,54		
d [mm]	27		
t ₁ [mm]	160		
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029,00		
F _{v,Rk} IA [kN]	106,02		
F _{v,Rk} IIA [kN]	176,34		
F _{v,Rk} IIIA [kN]	66,57		

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=90°			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		IA	
		IIA	
		IIIA	
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con K ₉₀ = 1,35 + 0,015d	
F _{h,90,k} [MPa]	13,98		
d [mm]	27		
t ₁ [mm]	160		
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029,00		
F _{v,Rk} IA [kN]	60,41		
F _{v,Rk} IIA [kN]	122,32		
F _{v,Rk} IIIA [kN]	50,25		

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F _y			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n _t	numero piani di taglio	2	

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

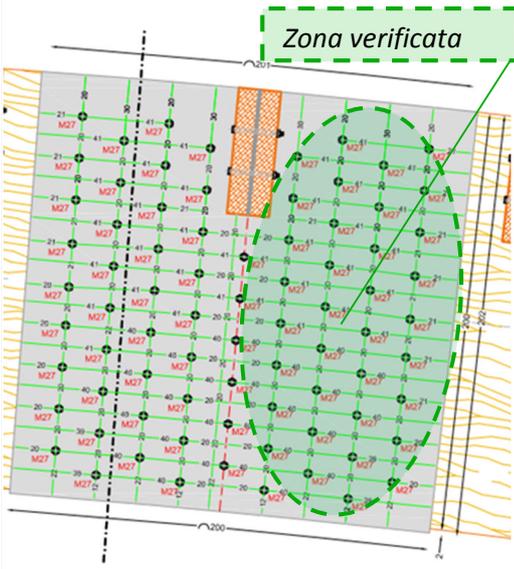
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	64,27	
$F_{y\ as2}$ (bul 101) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 101	15,08	
$F_{y\ as1}$ (bul 102) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 102	27,77	
	Indicatore di sicurezza		Verifica
$F_{y\ as2}$ (bul 101) [KN] / $F_{v,Rd}$	4,26		Ok
$F_{y\ as1}$ (bul 102) [KN] / $F_{v,Rd}$	2,31		Ok

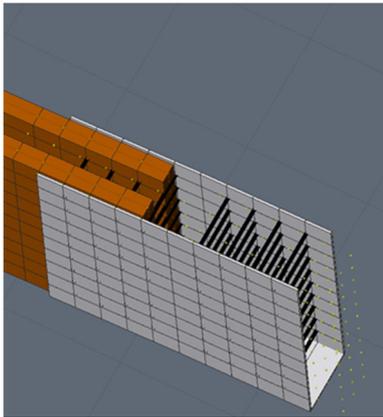
VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_z			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	48,51	
$F_z\ as1$ (bul 101) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 101	8,20	
$F_z\ as1$ (bul 102) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 102	4,04	
	Indicatore di sicurezza		Verifica
$F_z\ as1$ (bul 101) [KN] / $F_{v,Rd}$	5,92		Ok
$F_z\ as1$ (bul 102) [KN] / $F_{v,Rd}$	12,01		Ok

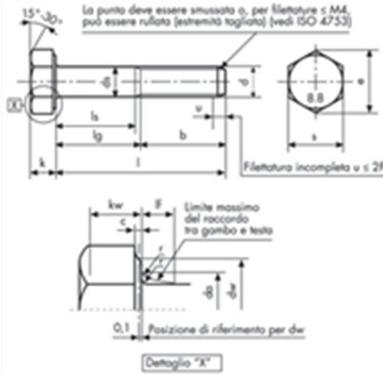
6.5 UNIONE FLANGIA 3 (Allegato relazione 6)

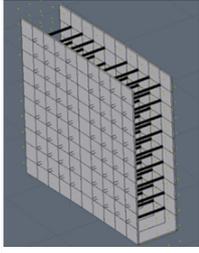
6.5.1 PROGETTO FLANGIA IN ACCIAIO 3 (Allegato relazione 6.1)

Si riportano di seguito i risultati della verifica dell'unione in legno mediante approccio sofisticato. Il quale fa riferimento ad un modello complesso, relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (flange, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse.

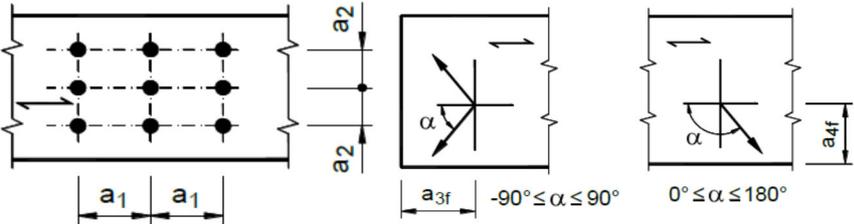
	Dati generali unione			
	descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione	fondam./SLU	eccez./sisma	
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale			
base sezione [mm]	b	48		
altezza sezione [mm]	h	200		
classe legno	GL28h			
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati connettori		
	Descrizione	bullone M27 classe 8.8	
	connettore tipo	bullone	
	classe di resistenza	8.8	
	diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
	area resistente	A_{res} [mm ²]	459
	numero di file di connettori	n_f	4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra
	numero connettori per fila	n_r	9
	sfalsamento file	Sfalsate	
	interasse connettori a_1	a_1 [mm]	400
	distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	200
	numero totale connettori	n_b	36 x 2=72

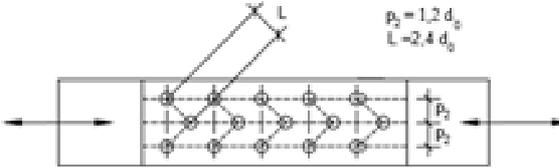
	Caratteristiche di resistenza connettori		
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)	
	numero superfici di taglio	n_{st}	2 ma cautelativamente consideriamo 1
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,26
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,38
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)			

	Caratteristiche della piastra in acciaio		
	larghezza [mm]	B	2170
	spessore [mm]	T	20
	altezza [mm]	H	2000
	classe acciaio		S450
	resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	594,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1	

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

			
numero connettore	9	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_1 = 400 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 200 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 200 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 81 \text{ mm}$	$a_4 = 120 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)

				
diametro foro d_0 [mm]	28	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 33,6 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 100 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 67,2 \text{ mm}$	---	$L = 114 \text{ mm}$

I bulloni più sollecitati risultano essere il 313 (sforzo normale massimo $F_{t4} = |5297| \text{ kg}$) e il 251 (sforzo di taglio massimo $F_{v3-4} = |4741,60| \text{ kg}$). È stato riportato sotto lo schema statico che illustra il funzionamento dei bulloni, come asta appoggiata alle estremità e al centro. Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio sulla metà più sollecitata del bullone in esame, con due piani di taglio, facendo riferimento ad un'asola di trave (160 mm) e alla flangia in acciaio (20 mm).

- **Calcolo forze Bullone 313**

Tabella riassuntiva esiti:

Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]
---------	---------	---------	---------

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Asola 1	Concio 1	690	776	55	66	$F_{v1-2}[\text{kg}] =$	778,80
	Concio 2	86		11			
Asola 2	Concio 3	678	1084	-336	667	$F_{v3-4}[\text{kg}] =$	1272,77
	Concio 4	-406		331			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v3-4} e, cautelativamente, assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[\text{N}] = F_{v3-4} = 12480,79 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 313, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[\text{N}] = F_{t3-4} = 51942,38 \text{ N}$$

- **Calcolo forze Bullone 251**

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Asola 1	Concio 1	2412	593	239	172	$F_{v1-2}[\text{kg}] =$	617,44
	Concio 2	-420		173			
Asola 2	Concio 3	55	4678	-134	774	$F_{v3-4}[\text{kg}] =$	4741,60
	Concio 4	-1646		-147			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v3-4} e, cautelativamente, assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[\text{N}] = F_{v3-4} = 46496,12 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 251, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[\text{N}] = F_{t3} = 17984,20 \text{ N}$$

Verifica unione

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 313) [N]	12480,79	14,12218466	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 251) [N]	46496,12	3,790768025	Ok

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 313) [N]	51942,38	5,08994755	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 251) [N]	17984,20	14,70090086	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k\alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 313) [N]	12480,79	47,59	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 251) [N]	46496,12	12,78	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 313) [N]	51942,38	13,08656195	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 251) [N]	17984,20	37,79690221	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 313) [N]	51942,38	$F_{v,Ed}$ (bul 313) [N]	12480,79	0,211143201	4,736122181
$F_{t,Ed}$ (bul 251) [N]	17984,20	$F_{v,Ed}$ (bul 251) [N]	46496,12	0,312386672	3,201160895

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici	Valori di progetto
-----------------------	--------------------

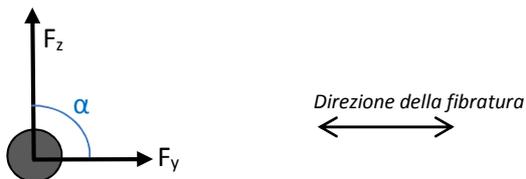
Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO

$$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$$

$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,48164	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 313

Sollecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	7,609456	Con F_y max
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	10,629704	
Sollecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	0,647196	Con F_z max
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	6,540602	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 251			
Sollecitazione di taglio in y	F_{yas1} [kN]	5,814958	Con F_y max
	F_{yas2} [kN]	45,872468	
Sollecitazione di taglio in z	F_{zas1} [kN]	1,686632	Con F_z max
	F_{zas2} [kN]	7,589844	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		$f_{h,k} t_1 d$	IA
		$f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right]$	IIA
		$2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d}$	IIIA
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$	
$F_{h,0,k}$ [MPa]	24,54		
d [mm]	27		
t_1 [mm]	160		
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00		
$F_{v,Rk}$ IA [kN]	106,02	Con Min $F_{v,Rk}$	
$F_{v,Rk}$ IIA [kN]	176,34		
$F_{v,Rk}$ IIIA [kN]	66,57		

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		$f_{h,k} t_1 d$	IA
		$f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right]$	IIA
		$2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d}$	IIIA
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98		
d [mm]	27		
t_1 [mm]	160		
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00		
$F_{v,Rk}$ IA [kN]	60,41	Con Min $F_{v,Rk}$	
$F_{v,Rk}$ IIA [kN]	122,32		
$F_{v,Rk}$ IIIA [kN]	50,25		

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [kN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57	
$F_{v,Rd}$ [kN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	64,27	

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

$F_{Y\ as2}$ (bul 313) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 313	10,63	
$F_{Y\ as2}$ (bul 251) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 251	45,87	
	Indicatore di sicurezza		Verifica
$F_{Y\ as2}$ (bul 313) [KN] / $F_{V,Rd}$	6,05		Ok
$F_{Y\ as2}$ (bul 251) [KN] / $F_{V,Rd}$	1,40		Ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_z			
$F_{V,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	48,51	
F_z as2 (bul 313) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 313	6,54	
F_z as2(bul 251) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 251	7,59	
	Indicatore di sicurezza		Verifica
F_z as2 (bul 313) [KN] / $F_{V,Rd}$	7,42		Ok
F_z as2 (bul 251) [KN] / $F_{V,Rd}$	6,39		Ok

6.6 UNIONE ASOLA 1 (Allegato relazione 7)

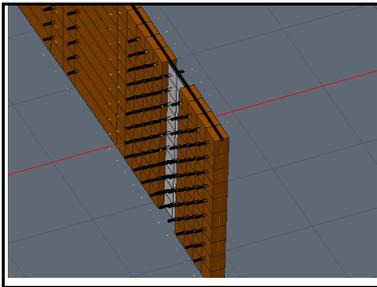
6.6.1 PROGETTO ASOLA IN ACCIAIO 1 (Allegato relazione 7.1)

Si riportano di seguito i risultati della verifica dell'unione in legno mediante approccio sofisticato. Il quale fa riferimento ad un modello complesso, relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (flange, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse.

	Dati generali unione			
	descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastra in acciaio e bulloni M24 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale			
base sezione [mm]	b	480		
altezza sezione [mm]	h	2000		
classe legno	GL28h			
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati connettori			
	Descrizione	bullone M24 classe 8.8		
	connettore tipo	bullone		
	classe di resistenza	8.8		
	diam. x lunghezza	d x L [mm]	24 x L	
	area resistente	A_{res} [mm ²]	353	
	numero di file di connettori	n_f	4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra	
	numero connettori per fila	n_r	9	
	sfalsamento file	Sfalsate		
	interasse connettori a_1	a_1 [mm]	400	
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	200		
numero totale connettori	n_b	36 x 2=72		

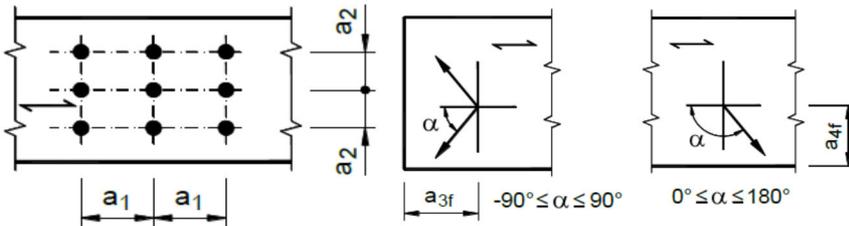
	Caratteristiche di resistenza connettori			
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		
	numero superfici di taglio	n_{st}	2	
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	135,55	
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	203,33	
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649	
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800	
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)				



Caratteristiche della piastra in acciaio

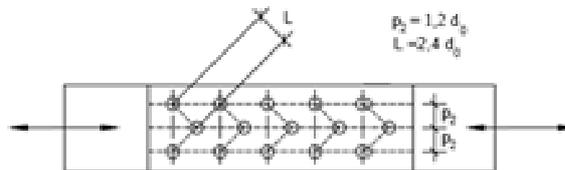
larghezza [mm]	A	440
spessore [mm]	T	20
altezza [mm]	H	2000
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	596,85
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)



Descrizione	bullone M24	Interassi minimi	Interassi adottati
interasse connettori		$a_{1,min} = 7d = 168 \text{ mm}$	$a_1 = 400 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2,min} = 4d = 96 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 96 \text{ mm}$	$a_{3c} = 200 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 168 \text{ mm}$	$a_{3f} = 200 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 72 \text{ mm}$	$a_4 = 100 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)



diámetro foro d_0 [mm]	25	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2,min} = 1,2 d_0 = 30 \text{ mm}$	$p_{2,max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 100 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 60 \text{ mm}$	---	$L = 112 \text{ mm}$

I bulloni più sollecitati risultano essere il 627 (sforzo normale massimo $F_{t1} = |3700| \text{ kg}$) e il 631 (sforzo di taglio massimo $F_v = |284,20| \text{ kg}$). È stato riportato sotto lo schema statico che illustra il funzionamento dei bulloni, come asta appoggiata alle estremità. Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio con un piano di taglio.

- **Calcolo forze Bullone 627**

Tabella riassuntiva esiti:

	Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]	
Concio 1	-41		114		$F_v[\text{kg}] =$

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Concio 2	-186	227	-57	171		284,20
----------	------	-----	-----	-----	--	---------------

Nelle successive verifiche si prende in considerazione la forza F_v , assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N] = F_v = 2786,87 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 627, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = F_{t1} = 36282,20 \text{ N}$$

- **Calcolo forze Bullone 631**

Tabella riassuntiva esiti:

	Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Concio 1	-149	390	251	374	F_v[kg]=	540,35
Concio 2	-241		-123			

Nelle successive verifiche si prende in considerazione la forza F_v , assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N] = F_v = 5298,65 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 631, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = F_{t1} = 9609,88 \text{ N}$$

Verifica unione:

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$		
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$
γ_{M2}	1,25	
A_{res} [mm ²]	353	

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

F _{v,Rd} [N]	13552,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
F _{v,Ed} (bul 627) [N]	2786,87	48,63948852	Ok
F _{v,Ed} (bul 631) [N]	5298,65	25,5823516	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f _{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ _{M2}	1,25		
A _{res} [mm ²]	353		
F _{t,Rd} [N]	203328,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
F _{t,Ed} (bul 627) [N]	36282,20	5,604070315	Ok
F _{t,Ed} (bul 631) [N]	9609,88	21,15822466	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f _{tK} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tK} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ _{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	24		
t [mm]	20		
F _{b,Rd} [N]	528000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
F _{v,Ed} (bul 627) [N]	2786,87	189,46	Ok
F _{v,Ed} (bul 631) [N]	5298,65	99,65	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f _{tK} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tK}}{\gamma_{M2}}$	
γ _{M2}	1,25		
d _m [mm]	36		
t _p [mm]	20		
B _{p,Rd} [N]	596851,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
F _{t,Ed} (bul 627) [N]	36282,20	16,45024833	Ok
F _{t,Ed} (bul 631) [N]	9609,88	62,10808043	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
F _{t,Rd} [N]	203328,00	F _{v,Rd} [N]	13552,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
B _{p,Rd} [N]	596851,20	F _{b,Rd} [N]	528000,00		
Con	F _{t,Rd} = min(B _{p,Rd} ; F _{t,Rd})	Con	F _{v,Rd} = min(B _{p,Rd} ; F _{t,Rd})		
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
F _{t,Ed} (bul 627) [N]	36282,20	F _{v,Ed} (bul 627) [N]	2786,87	0,148017805	6,755943988
F _{t,Ed} (bul 631) [N]	9609,88	F _{v,Ed} (bul 631) [N]	5298,65	0,072848694	13,72708205

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO:

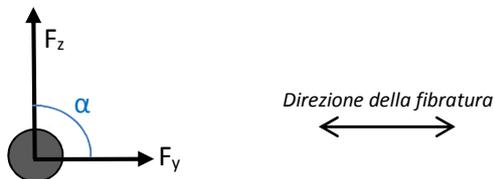
Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ _M	1,45
Coefficiente di deformazione	2

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Classi di durata carico	Lunga durata
K _{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
f _{m,k} [MPa]	28,00	f _{m,d} [MPa]	13,52	Flessione
f _{t,0,k} [MPa]	19,50	f _{t,0,d} [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
f _{t,90,k} [MPa]	0,45	f _{t,90,d} [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
f _{c,0,k} [MPa]	26,50	f _{c,0,d} [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
f _{c,90,k} [MPa]	3,00	f _{c,90,d} [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
f _{v,k} [MPa]	3,20	f _{v,d} [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
E _{0,mean} [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
E _{90,mean} [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
E _{0,05} [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G _{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
f _{u,k} [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	24	
ζ _b [1/mm]	0,50487981	
M _{y,Rk} [Nmm]	930594,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 627			
Sollecitazione di taglio in y	F _y [kN]	2,225962	
Sollecitazione di taglio in z	F _z [kN]	1,676826	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 631			
Sollecitazione di taglio in y	F _y [kN]	3,82434	
Sollecitazione di taglio in z	F _z [kN]	3,667444	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=0

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	25,55	
d [mm]	24	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,47	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	98,12	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	157,62	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	54,94	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	14,942	
d [mm]	24	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,47	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	57,38	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	110,42	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	42,02	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	54,94	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	53,05	
F_y as2 (bul 627) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 627	2,23	
F_y as1 (bul 631) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 631	3,82	
	Indicatore di sicurezza		Verifica
F_y as2 (bul 627) [KN] / $F_{v,Rd}$	23,83		Ok
F_y as1 (bul 631) [KN] / $F_{v,Rd}$	13,87		Ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_z

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

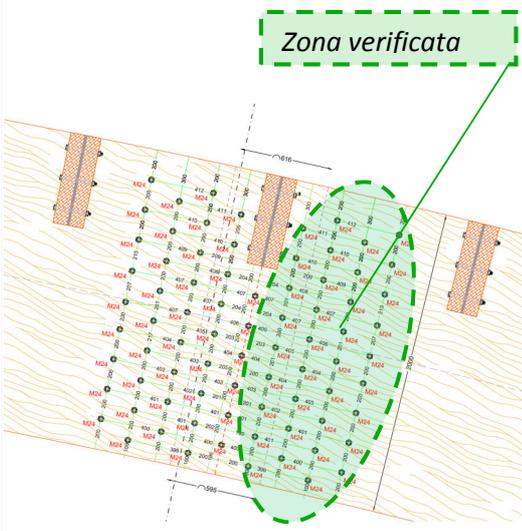
$$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$$

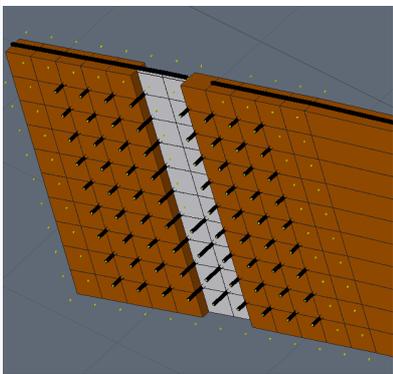
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	42,02	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	40,57	
$F_{z\ as1}$ (bul 627) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 627	1,68	
$F_{z\ as1}$ (bul 631) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 631	3,67	
	Indicatore di sicurezza		Verifica
$F_{z\ as1}$ (bul 627) [KN] / $F_{v,Rd}$	24,19		Ok
$F_{z\ as1}$ (bul 631) [KN] / $F_{v,Rd}$	11,06		Ok

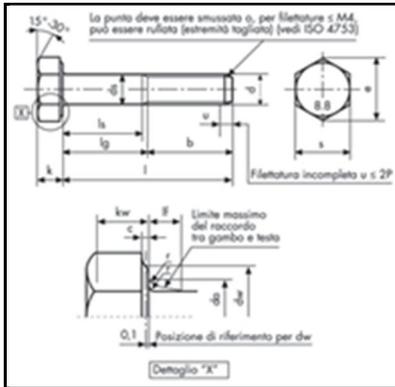
6.7 UNIONE ASOLA 2 (Allegato relazione 8)

6.7.1 PROGETTO ASOLA IN ACCIAIO 2 (Allegato relazione 8.1)

Si riportano di seguito i risultati della verifica dell'unione in legno mediante approccio sofisticato. Il quale fa riferimento ad un modello complesso, relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (flange, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse.

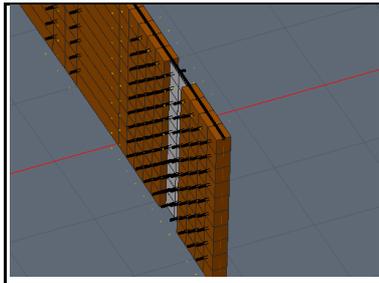
	Dati generali unione			
	descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastra in acciaio e bulloni M24 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale			
base sezione [mm]	b	480		
altezza sezione [mm]	h	2000		
classe legno		GL28h		
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati connettori			
	Descrizione		bullone M24 classe 8.8	
	connettore tipo		bullone	
	classe di resistenza		8.8	
	diam. x lunghezza	d x L [mm]	24 x L	
	area resistente	A_{res} [mm ²]	353	
	numero di file di connettori	n_f	4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra	
	numero connettori per fila	n_r	9	
	sfalsamento file		Sfalsate	
	interasse connettori a_1	a_1 [mm]	400	
	distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	200	
	numero totale connettori	n_b	36 x 2=72	



Caratteristiche di resistenza connettori

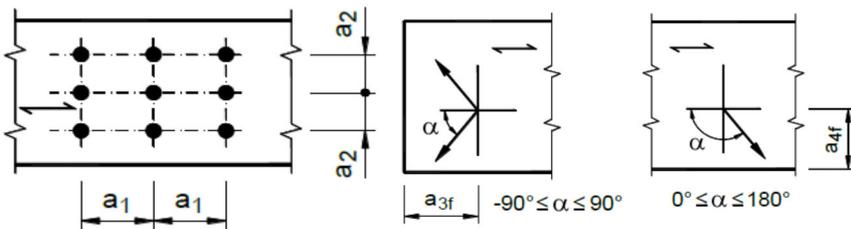
coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25	(Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n_{st}	2
resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	135,55
resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	203,33
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		



Caratteristiche della piastra in acciaio

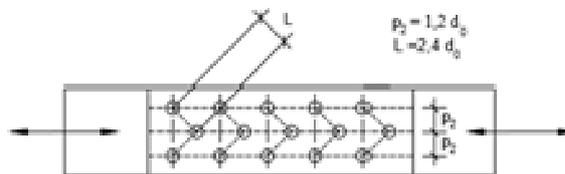
larghezza [mm]	A	440
spessore [mm]	T	20
altezza [mm]	H	2020
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	528,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)



Descrizione	bullone M24	Interassi minimi	Interassi adottati
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 168 \text{ mm}$	$a_1 = 400 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 96 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 200 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 200 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 72 \text{ mm}$	$a_4 = 100 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)



diametro foro d_0 [mm]	25	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 30 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 100 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 60 \text{ mm}$	---	$L = 112 \text{ mm}$

Il bullone più sollecitato, risulta essere il 244 (sforzo normale massimo $F_{t1}=|3700|$ kg; sforzo di taglio massimo $F_v=|284,20|$ kg). Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio con un piano di taglio.

- Calcolo forze Bullone 244

Tabella riassuntiva esiti:

	Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]			
Nelle	Concio 1	203	285	114	204	$F_v[\text{kg}] =$	350,49
	Concio 2	82		-90			

successive verifiche si prende in considerazione la forza F_v , assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$F_{v,Ed}[\text{N}] = F_v = 3436,87 \text{ N}$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 244, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N:

$F_{t,Ed}[\text{N}] = F_{t1} = 42616,88 \text{ N}$

Verifica unione:

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
$f_{tb} [\text{N/mm}^2]$	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
$A_{res} [\text{mm}^2]$	353		
$F_{v,Rd} [\text{N}]$	135552,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed} (\text{bul 244}) [\text{N}]$	3436,87	39,44049612	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
$f_{tb} [\text{N/mm}^2]$	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
$A_{res} [\text{mm}^2]$	353		
$F_{t,Rd} [\text{N}]$	203328,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed} (\text{bul 244}) [\text{N}]$	42616,88	4,771067687	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	24		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd} [\text{N}]$	528000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed} (\text{bul 244}) [\text{N}]$	3436,87	153,63	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
$d_m [\text{mm}]$	36		
$t_p [\text{mm}]$	20		
$B_{p,Rd} [\text{N}]$	596851,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed} (\text{bul 244}) [\text{N}]$	42616,88	15,95018837	Ok

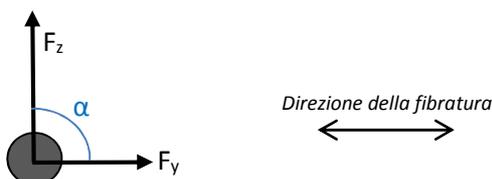
VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	203328,00	$F_{v,Rd}$ [N]	135552,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{b,Rd}$ [N]	596851,20	$F_{b,Rd}$ [N]	528000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 244) [N]	42616,88	$F_{v,Ed}$ (bul 244) [N]	3436,87	0,175066573	5,712112734

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO:

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	24	
ζ_b [1/mm]	0,504879815	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 244			
Sollecitazione di taglio in y	F_y [kN]	2,79471	
Sollecitazione di taglio in z	F_z [kN]	2,000424	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$			
		α	0
		$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$	
$F_{h,0,k}$ [MPa]	25,55		
d [mm]	24		
t_1 [mm]	160		
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00		
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	98,12	Con Min $F_{v,Rk}$	
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	157,62		
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	54,94		

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$			
		α	90
		$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98	Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$	
d [mm]	24		
t_1 [mm]	160		
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00		
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	57,38	Con Min $F_{v,Rk}$	
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	110,42		
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	42,02		

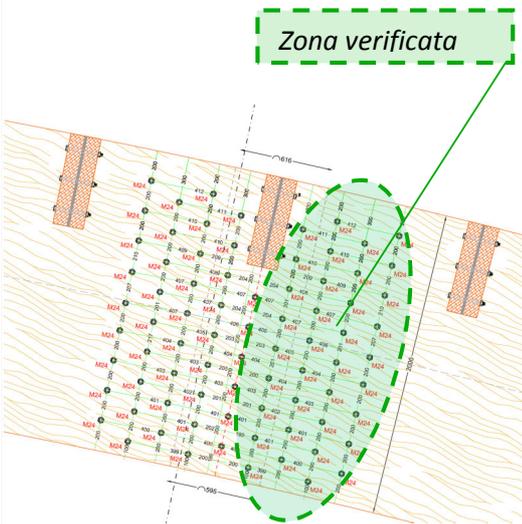
VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	54,94
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	53,05
$F_{y as1}$ (bul 244) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 244	2,79
Indicatore di sicurezza		Verifica
$F_{y as1}$ (bul 244) [KN] / $F_{v,Rd}$	18,98	Ok

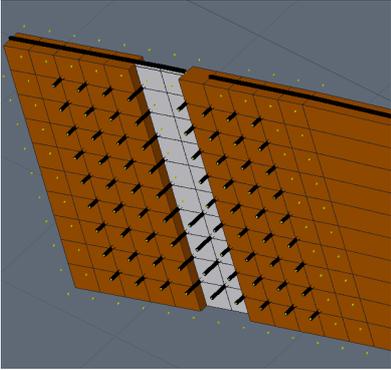
VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_z		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	42,02
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	40,57
$F_{z as1}$ (bul 244) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 244	2,00
Indicatore di sicurezza		Verifica
$F_{z as1}$ (bul 244) [KN] / $F_{v,Rd}$	20,28	Ok

6.8 UNIONE ASOLA 3 (Allegato relazione 9)

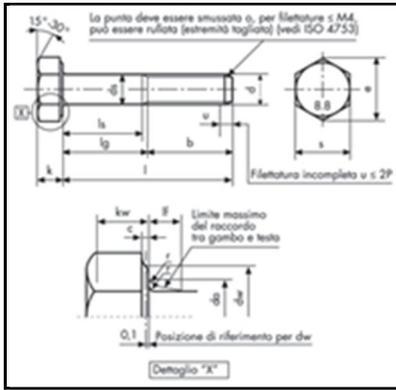
6.8.1 PROGETTO ASOLA IN ACCIAIO 3 (Allegato relazione 9.1)

Si riportano di seguito i risultati della verifica dell'unione in legno mediante approccio sofisticato. Il quale fa riferimento ad un modello complesso, relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (flange, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse.

	Dati generali unione			
	descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastra in acciaio e bulloni M24 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione	Trave di legno principale			
base sezione [mm]	b	480		
altezza sezione [mm]	h	2000		
classe legno	GL28h			
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

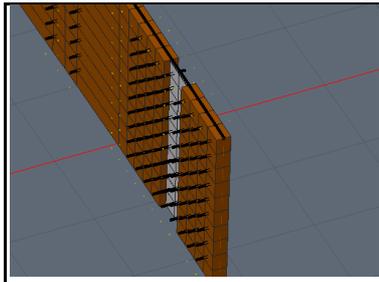
	Dati connettori			
	Descrizione		bullone M24 classe 8.8	
	connettore tipo		bullone	
	classe di resistenza		8.8	
	diam. x lunghezza	d x L [mm]	24 x L	
	area resistente	A_{res} [mm ²]	353	
	numero di file di connettori	n_f	4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra	
	numero connettori per fila	n_r	9	
	sfalsamento file		Sfalsate	
	interasse connettori a_1	a_1 [mm]	400	
	distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	200	
	numero totale connettori	n_b	36 x 2=72	

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni



Caratteristiche di resistenza connettori

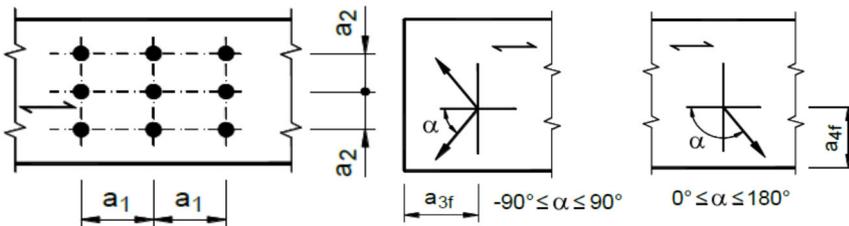
coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25	(Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n_{st}	2
resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	135,55
resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	203,33
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		



Caratteristiche della piastra in acciaio

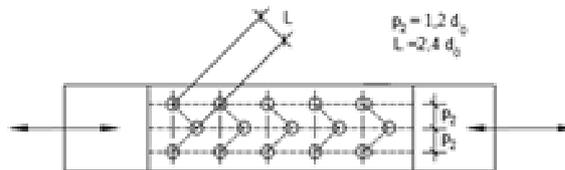
larghezza [mm]	A	440
spessore [mm]	T	20
altezza [mm]	H	2020
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	528,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)



Descrizione	bullone M24	Interassi minimi	Interassi adottati
interasse connettori		$a_{1,min} = 7d = 168 \text{ mm}$	$a_1 = 400 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2,min} = 4d = 96 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 200 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 200 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_4 = 3d = 72 \text{ mm}$	$a_4 = 100 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)



diametro foro d_0 [mm]	25	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2,min} = 1,2 d_0 = 30 \text{ mm}$	$p_{2,max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 100 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 60 \text{ mm}$	---	$L = 112 \text{ mm}$

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

I bulloni più sollecitati risultano essere il 704 (sforzo normale massimo $F_{t1}=|2964|$ kg) e il 701 (sforzo di taglio massimo $F_v=|166,21|$ kg). Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio con un piano di taglio.

- Calcolo forze Bullone 704

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Nelle	Concio 1	52	84	-28	65	F_v[kg]=	106,21
	Concio 2	32		-37			

successive verifiche si prende in considerazione la forza F_v , assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N]= F_v= 1041,52 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 704, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N:

$$F_{t,Ed}[N]= F_{t1}= 29064,98 \text{ N}$$

- Calcolo forze Bullone 701

Tabella riassuntiva esiti:

		Ty [kg]	Fy [kg]	Tz [kg]	Fz [kg]		
Nelle	Concio 1	33	160	-3	45	F_v[kg]=	166,21
	Concio 2	127		-41			

successive verifiche si prende in considerazione la forza F_v , assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N]= F_v= 1629,83 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 631, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N]= F_{t1}= 13551,89 \text{ N}$$

Verifica unione

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	353		
$F_{v,Rd}$ [N]	135552,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 704) [N]	1041,52	130,1488219	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 701) [N]	1629,83	83,16927152	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	353		
$F_{t,Rd}$ [N]	203328,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 704) [N]	29064,98	6,995634334	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 701) [N]	13551,89	15,00366148	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	24		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	528000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 704) [N]	1041,52	506,95	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 701) [N]	1629,83	323,96	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	36		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	596851,2	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 704) [N]	29064,98	20,53506033	Ok
$F_{t,Ed}$ (bul 701) [N]	13551,89	44,04190942	Ok

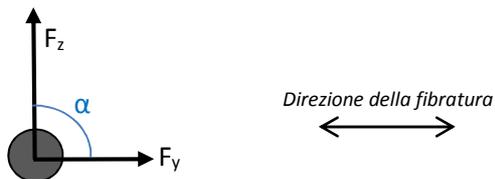
VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	203328,00	$F_{v,Rd}$ [N]	135552,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	596851,2	$F_{b,Rd}$ [N]	528000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{v,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 704) [N]	29064,98	$F_{v,Ed}$ (bul 704) [N]	1041,52	0,084433914	11,84358218
$F_{t,Ed}$ (bul 701) [N]	13551,89	$F_{v,Ed}$ (bul 701) [N]	1629,83	0,045860082	21,80545596

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO:

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	24	
ζ_b [1/mm]	0,50487981	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 704			
Sollecitazione di taglio in y	F_y [kN]	0,823704	
Sollecitazione di taglio in z	F_z [kN]	0,63739	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 701			
Sollecitazione di taglio in y	F_y [kN]	1,56896	
Sollecitazione di taglio in z	F_z [kN]	0,44127	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	25,55	
d [mm]	24	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	98,12	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	157,62	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	54,94	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	14,94	
d [mm]	24	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	57,38	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	110,42	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	42,02	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	54,94
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	53,05
F_y as2 (bul 704) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 704	0,82
F_y as1 (bul 701) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 701	1,57
	Indicatore di sicurezza	Verifica
F_y as2 (bul 704) [KN] / $F_{v,Rd}$	64,40	Ok
F_y as1 (bul 701) [KN] / $F_{v,Rd}$	33,81	Ok

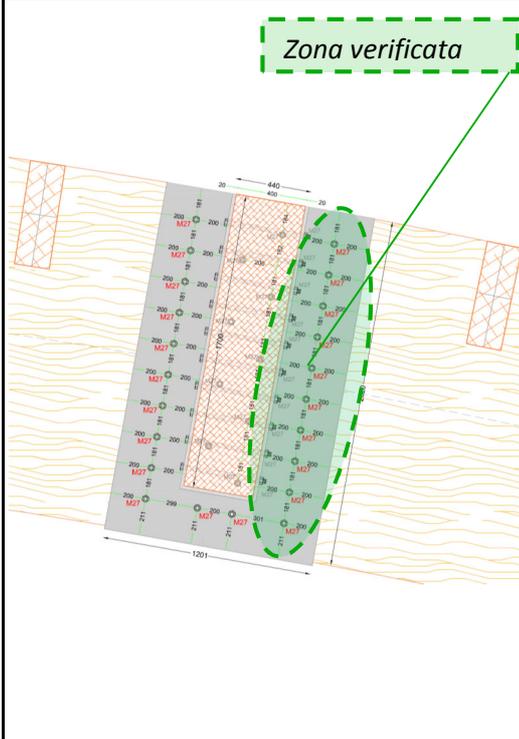
VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F _z		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n _t	numero piani di taglio	2
γ _M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k _{mod}	Coefficiente	0,7
F _{v,Rk} IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	42,02
F _{v,Rd} [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	40,57
F _{z as1} (bul 704) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 704	0,64
F _{z as1} (bul 701) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 701	0,44
	Indicatore di sicurezza	Verifica
F _{z as1} (bul 704) [KN] / F _{v,Rd}	63,65	Ok
F _{z as1} (bul 701) [KN] / F _{v,Rd}	91,93	Ok

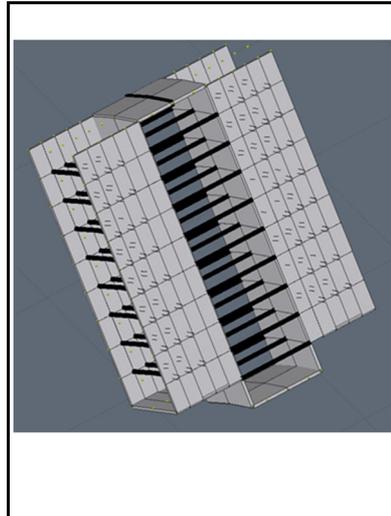
6.9 UNIONE RITEGNO SU TRAVATA (Allegato relazione 10)

6.9.1 PROGETTO UNIONE RITEGNO ZONA VELO (Allegato relazione 10.1)

Si riportano di seguito le verifiche dell'unione, in particolare degli elementi sulla travata principale, mediante due approcci:

- Il primo, sofisticato, fa riferimento ad un modello più complesso e relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (piastre, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse.
- Il secondo, semplificato, invece, fa riferimento ad un modello di calcolo relativo alla struttura nella sua globalità, che mediante analisi strutturale di tipo FEM, provvede a restituire le sollecitazioni trasmesse dagli elementi in legno al nodo. La semplificazione di calcolo è legata alla valutazione degli sforzi trasmessi dai singoli elementi componenti l'unione in acciaio (bulloni, asole, piastre in acciaio) mediante schemi di verifica di tipo tradizionali e quindi più cautelativi.

	Dati generali unione			
	descrizione	Unione ritegno su trave principale, sotto il "velo", mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione	fondam./SLU	eccez./sisma	
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno ritegno	
base sezione [mm]	b	480	400	
altezza sezione [mm]	h	2000	1700	
classe legno		GL28h	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati connettori piastra		
	Descrizione		bullone M27 classe 8.8
	connettore tipo		bullone
	classe di resistenza		8.8
	diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
	area resistente	A_{res} [mm ²]	459
	numero di file di connettori	n_f	1 per ogni lembo per un totale di 2 file sull'intera piastra
	numero connettori per fila	n_r	10
	sfalsamento file		allineate
	interasse connettori a_1	a_1 [mm]	340
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	200	
numero totale connettori	n_b	10x2=20	

	Caratteristiche di resistenza connettori	
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
	numero superfici di taglio	n_{st} 2
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$ 176,26
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$ 264,38
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb} 649
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb} 800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		

Caratteristiche della piastra in acciaio	
larghezza [mm]	B 1200
spessore [mm]	T 20
altezza [mm]	H 2020
classe acciaio	S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$ 594,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d 1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO TP (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)			
Descrizione	bullone M27	Interassi minimi	Interassi adottati
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_1 = 340 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 170 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 170 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_{4,min} = 3d = 81 \text{ mm}$	$a_4 = 200 \text{ mm}$

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

I bulloni più sollecitati risultano essere il 762 (sforzo normale massimo $F_{t3}=|13014|$ kg) e il 760 (sforzo di taglio massimo $F_{v1-2}=|1862,15|$ kg). Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio sulla metà più sollecitata del bullone in esame, con due piani di taglio, facendo riferimento ad un'asola di trave (160 mm) e alla flangia in acciaio (20 mm).

- **Calcolo forze Bullone 762**

Tabella riassuntiva esiti:

		T_y [kg]	F_y [kg]	T_z [kg]	F_z [kg]		
Asola 1	Concio 1	-599	954	604	669	F_{v1-2} [kg]=	1165,19
	Concio 2	-355		65			
Asola 2	Concio 3	472	482	-194	865	F_{v3-4} [kg]=	990,23
	Concio 4	10		-671			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v1-2} e, cautelativamente, assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$F_{v,Ed}[N]= F_{v1-2}= 11425,89$ N

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 762, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$F_{t,Ed}[N]= F_t= 127615,28$ N

- **Calcolo forze Bullone 760**

Tabella riassuntiva esiti:

		T_y [kg]	F_y [kg]	T_z [kg]	F_z [kg]		
Asola 1	Concio 1	-194	311	1373	1836	F_{v1-2} [kg]=	1862,15
	Concio 2	117		-463			
Asola 2	Concio 3	-35	81	422	984	F_{v3-4} [kg]=	987,33
	Concio 4	46		-562			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v1-2} e, cautelativamente, assumeremo lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$F_{v,Ed}[N]= F_{v1-2}= 18260,28$ N

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 760, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$F_{t,Ed}[N]= F_{t2}= 38106,12$ N

Verifica unione

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 762) [N]	11425,89	15,42601647	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 760) [N]	18260,28	9,652425522	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 762) [N]	127615,28	2,071726769	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 760) [N]	38106,12	6,938098861	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 762) [N]	11425,89	51,99	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 760) [N]	18260,28	32,53	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 762) [N]	127615,28	5,326534398	Ok
$F_{v,Ed}$ (bul 760) [N]	38106,12	17,83827037	Ok

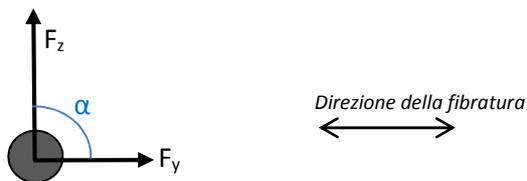
VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{v,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{v,Ed}$ (bul 762) [N]	127615,28	$F_{v,Ed}$ (bul 762) [N]	11425,89	0,409603503	2,441385372
$F_{v,Ed}$ (bul 760) [N]	38106,12	$F_{v,Ed}$ (bul 760) [N]	18260,28	0,206552119	4,841393083

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,4816449	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 762			
Sollecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	9,354924	Con F_y max
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	4,726492	
Sollecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	6,560214	Con F_z max
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	8,48219	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 760			
Sollecitazione di taglio in y	$F_{y\ as\ 1}$ [kN]	3,049666	Con F_y max
	$F_{y\ as\ 2}$ [kN]	0,794286	
Sollecitazione di taglio in z	$F_{z\ as\ 1}$ [kN]	18,003816	Con F_z max
	$F_{z\ as\ 2}$ [kN]	9,649104	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	24,54	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	106,02	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	176,34	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	66,57	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	160	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	60,41	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	122,32	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	50,25	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_y		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	64,27
F_y as1 (bul 762) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 762	9,35
F_y as1 (bul 760) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 760	3,05
	Indicatore di sicurezza	Verifica
F_y as1 (bul 762) [KN] / $F_{v,Rd}$	6,87	ok
F_y as1 (bul 760) [KN] / $F_{v,Rd}$	21,07	ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura Fz		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	48,51
$F_{y as1}$ (bul 762) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 762	8,48
$F_{y as1}$ (bul 760) [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 760	18,00
	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{y as1}$ (bul 762) [KN] / $F_{v,Rd}$	5,72	ok
$F_{y as1}$ (bul 760) [KN] / $F_{v,Rd}$	2,69	ok

6.9.2 PROGETTO UNIONE RITEGNO TIPO (Allegato relazione 10.2)

Si riporta di seguito il secondo approccio di calcolo dell'unione *ritegno*, per il quale dal modello di calcolo globale sono state estratte le sollecitazioni massime dell'elemento *ritegno*, e con tali valori è stato svolto il calcolo dell'intero collegamento (piastra, bulloni e rifollamento LVL).

Nel caso particolare dell'unione oggetto di studio, si sono affrontati separatamente i collegamenti:

1. piastra in acciaio-bulloni-sole in legno componenti la sezione della **trave principale**;
le sollecitazioni, afferenti a ciascun lembo di travata collegata dall'unione in oggetto, vengono assorbite e trasmesse dalla metà dei bulloni disposti su ciascun lato del collegamento (in tal caso 20 per i 2 lati). Tali bulloni sono passanti tra le tre sole in legno che compongono la trave principale e capaci di collegare le tre parti disconnesse di trave e di ripristinarne la loro continuità strutturale.
2. piastra in acciaio-bulloni-**trave secondaria**;
Le sollecitazioni, afferenti a ciascun lato di trave secondaria collegata dall'unione in oggetto, vengono assorbite e trasmesse dai bulloni disposti sulla destra e sulla sinistra del *ritegno*.

Schema riassuntivo delle sollecitazioni:

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche			
Id asta	M	N	T
4215 (Asta generica_981) [5548 (Nodo_648) , 4546 (Nodo_710)]	89068 kg m	59663 kg	16635 kg
4205 (Asta generica_857) [5510 (Nodo_610) , 892 (Nodo_881)]	50148 kg m	-105488 kg	20951 kg
4205 (Asta generica_856) [6510 (Nodo_548) , 891 (Nodo_880)]	48760 kg m	-114926 kg	14904 kg

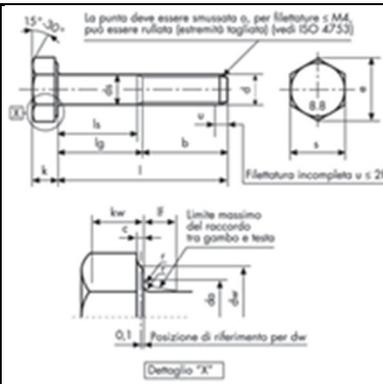
Generalità dell'unione su trave principale

	Dati generali unione		
	descrizione	Unione ritegno su trave principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8	
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.	
	classe di servizio	2	
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6		
	combinazione	fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45 1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25 1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5 1
	Dati travi		
descrizione	Trave di legno principale	Trave legno ritegno principale	
base sezione [mm]	b 480	400	
altezza sezione [mm]	h 2000	1700	
classe legno	GL28h	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.			

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Dati connettori piastra		
Descrizione		bullone M27 classe 8.8
connettore tipo		bullone
classe di resistenza		8.8
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
area resistente	A_{res} [mm ²]	459
numero di file di connettori	n_f	1 per ogni lembo per un totale di 2 file sull'intera piastra
numero connettori per fila	n_r	10
sfalsamento file		allineate
interasse connettori a_1	a_1 [mm]	196
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	150
numero totale connettori	n_b	10x 2=20

Caratteristiche di resistenza connettori		
coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}		1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n_{st}	2
resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,256
resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,384
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		



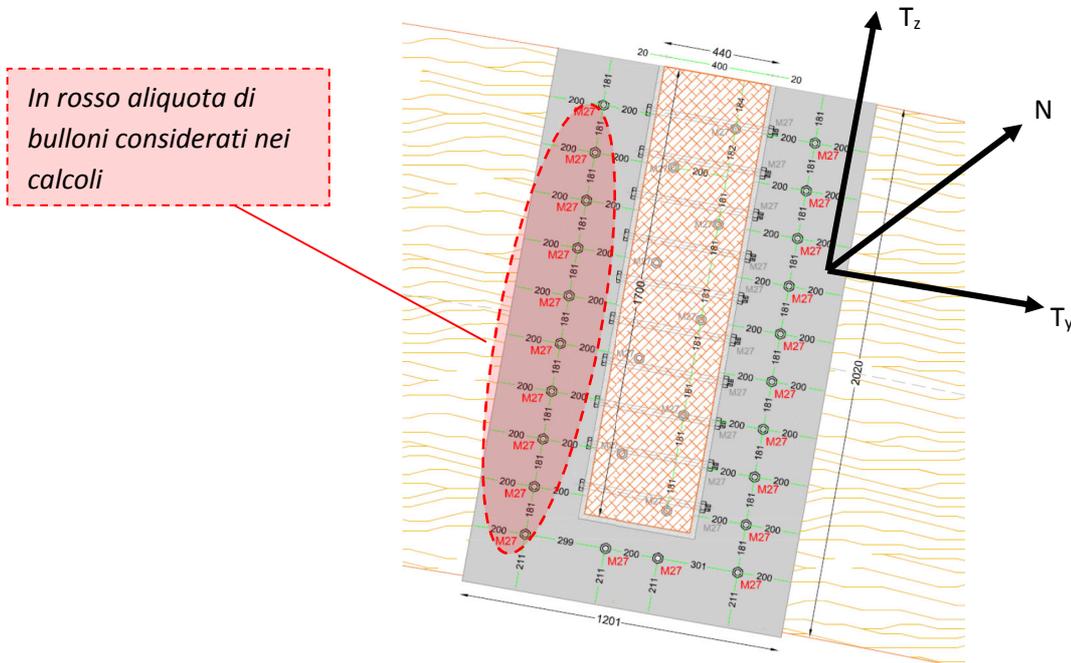
Caratteristiche della piastra in acciaio		
larghezza [mm]	B	1200
spessore [mm]	T	20
altezza [mm]	H	2020
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	594,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO TP (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

numero connettore	10	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189$ mm	$a_1 = 196$ mm
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108$ mm	$a_2 = 150$ mm
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108$ mm	$a_{3c} = 200$ mm
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189$ mm	$a_{3f} = 200$ mm
distanze min. dal bordo della trave		$a_{4,min} = 3d = 81$ mm	$a_4 = 111$ mm

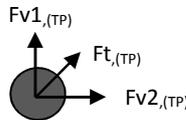
Forze agenti sul singolo bullone della trave principale

Nelle verifiche di seguito si procede, ripartendo la sollecitazione totale, afferente all'unione in esame, per un mezzo della sollecitazione, considerata, per semplicità di calcolo, quella afferente ad una delle due porzioni simmetriche di piastra a destra e sinistra del ritegno. Lo schema di calcolo è di seguito illustrato:



In rosso aliquota di bulloni considerati nei calcoli

Sistema locale di riferimento dell'elemento trave principale



Sistema locale di riferimento dell'elemento bullone su trave principale

$F_{v1(TP)}$ è una forza di taglio agente sul bullone, e viene ottenuta con la formula di seguito riportata dove T_z è lo sforzo di taglio lungo l'asse z della trave, ottenuta dal modello di calcolo globale per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime) e $n_{bulloni(TP)}$ indica il numero di bulloni afferenti alla trave.

$$F_{v1(TP)} = \frac{T_z}{2} \frac{1}{n_{bulloni(TP)}}$$

Lo sforzo di taglio $F_{v2(TP)}$ viene ottenuto con la formula di seguito riportata, dove T_y è la sollecitazione ricavata dal modello di calcolo globale per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime) e $n_{bulloni(TP)}$ indica il numero di bulloni afferenti alla trave:

$$F_{v2(TP)} = \frac{T_y}{n_{bulloni(TP)}}$$

$F_{t(TP)}$ è una forza agente sul bullone in direzione assiale, e viene ottenuta ripartendo linearmente le sollecitazioni di pressoflessione (momento M_y e sforzo assiale N), ottenute dal modello di calcolo globale per la per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime)

Forze agenti sul singolo bullone:

Secondo lo schema di calcolo di seguito descritto, si sono ottenute le forze di taglio e di trazione utilizzate per le verifiche.

Per quanto riguarda la forza di taglio, $F_{v,Ed}$, utilizzata per le verifiche a taglio dei bulloni e a rifollamento della piastra:

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v1}^2 + F_{v2}^2}$$

Riguardo la forza assiale, $F_{t,Ed}$, utilizzata per le verifiche a trazione dei bulloni e a punzonamento della piastra:

$$F_{t,Ed} = F_{t,(TP)}$$

Verifiche Unione trave principale

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	8403,749509	20,9734952	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	13921,44058	12,6607587	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	10673,71546	16,51308775	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	144645,98	1,827800573	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	116173,86	2,275761608	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	119017,37	2,221390046	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	8403,749509	70,68273505	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	13921,44058	42,66799807	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	10673,71546	55,65072463	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,2	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	144645,98	4,699385446	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	116173,86	5,851120267	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	119017,37	5,711327705	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
F _{t,Rd} [N]	264384,00	F _{v,Rd} [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1$	
B _{b,Rd} [N]	679747,20	F _{b,Rd} [N]	594000,00		
Con F _{t,Rd} =min(B _{p,Rd} ; F _{t,Rd})		Con F _{v,Rd} =min(B _{p,Rd} ; F _{t,Rd})			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
F _{t,Ed} (comb M _d max) [N]	144645,98	F _{v,Ed} (comb M _d max) [N]	8403,749509	0,438468967	2,280663114
F _{t,Ed} (comb T _d max)[N]	116173,86	F _{v,Ed} (comb T _d max) [N]	13921,44058	0,392850877	2,545495147
F _{t,Ed} (comb N _d max)[N]	119017,37	F _{v,Ed} (comb N _d max) [N]	10673,71546	0,382107011	2,617067919

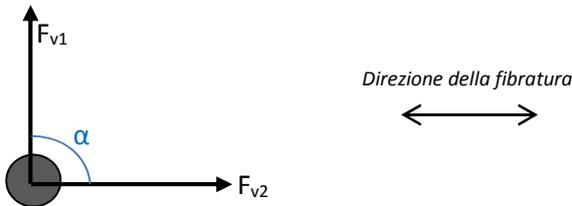
VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEL LEGNO trave principale

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ _M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K _{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
f _{m,k} [MPa]	28,00	f _{m,d} [MPa]	13,52	Flessione
f _{t,0,k} [MPa]	19,50	f _{t,0,d} [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
f _{t,90,k} [MPa]	0,45	f _{t,90,d} [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
f _{c,0,k} [MPa]	26,50	f _{c,0,d} [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
f _{c,90,k} [MPa]	3,00	f _{c,90,d} [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
f _{v,k} [MPa]	3,20	f _{v,d} [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
E _{0,mean} [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
E _{90,mean} [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
E _{0,05} [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G _{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
f _{u,k} [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ _b [1/mm]	0,481644	
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL SINGOLO BULLONE			
Forze di taglio F _{v1}	F _{v1} (comb M _d max) [KN]	8,1561405	Con Max F _{v1} e Max F _{v2}
	F _{v1} (comb T _d max) [KN]	10,2722753	
	F _{v1} (comb N _d max) [KN]	7,3074312	
Forze di taglio F _{v2}	F _{v2} (comb M _d max) [KN]	2,024939	
	F _{v2} (comb T _d max) [KN]	9,3961092	
	F _{v2} (comb N _d max) K[N]	7,7800804	



VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=0°

$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
F _{h,0,k} [MPa]	24,54	
d [mm]	27	
t ₁ [mm]	480	
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029,00	
F _{v,Rk} IA [KN]	318,07	Con Min F _{v,Rk}
F _{v,Rk} IIA [KN]	400,92	
F _{v,Rk} IIIA [KN]	66,57	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=90°

$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$
F _{h,90,k} [MPa]	13,98	
d [mm]	27	
t ₁ [mm]	480	
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029,00	
F _{v,Rk} IA [KN]	181,24	Con Min F _{v,Rk}
F _{v,Rk} IIA [KN]	258,43	
F _{v,Rk} IIIA [KN]	50,25	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_{v2}		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	1
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	32,14
F_{v2} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	9,40
Indicatore di sicurezza		Verifica
F_{v2} [KN] / $F_{v,Rd}$	3,42	ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_{v1}		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	1
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	24,26
F_{v1} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	10,27
Indicatore di sicurezza		Verifica
F_{v1} [KN] / $F_{v,Rd}$	2,36	ok

Generalità dell'unione sul ritegno trave secondaria

<p style="text-align: center;">Zona verificata</p>	Dati generali unione			
	descrizione	Unione ritegno su trave principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno ritegno	
base sezione [mm]	b	480	400	
altezza sezione [mm]	h	2000	1700	
classe legno		GL28h	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

Dati connettori piastra		
Descrizione		bullone M27 classe 8.8
connettore tipo		bullone
classe di resistenza		8.8
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
area resistente	A_{res} [mm ²]	459
numero di file di connettori	n_f	4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra
numero connettori per fila	n_r	11
sfalsamento file		sfalsate
interasse connettori a_1	a_1 [mm]	210
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	127
numero totale connettori	n_b	33 x 2=66

<p>La punta deve essere smussata o, per filettature c.M4, può essere rullata (estremità tagliata) (vedi ISO 4753)</p> <p>Fillettatura incompleta $u \leq 2P$</p> <p>Limite massimo del raccordo tra gambo e testa</p> <p>0,1 Posizione di riferimento per d_w</p> <p>Dettaglio "X"</p>	Caratteristiche di resistenza connettori		
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)	
	numero superfici di taglio	n_{st}	2
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,256
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,384
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)			

Caratteristiche della piastra in acciaio			
larghezza [mm]	B		1020
spessore [mm]	T		20
altezza [mm]	H		1720
classe acciaio			S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$		594,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d		1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO C (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

numero connettori	41	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_1 = 210 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_2 = 127 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 210 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 210 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_{4,min} = 3d = 81 \text{ mm}$	$a_4 = 90 \text{ mm}$

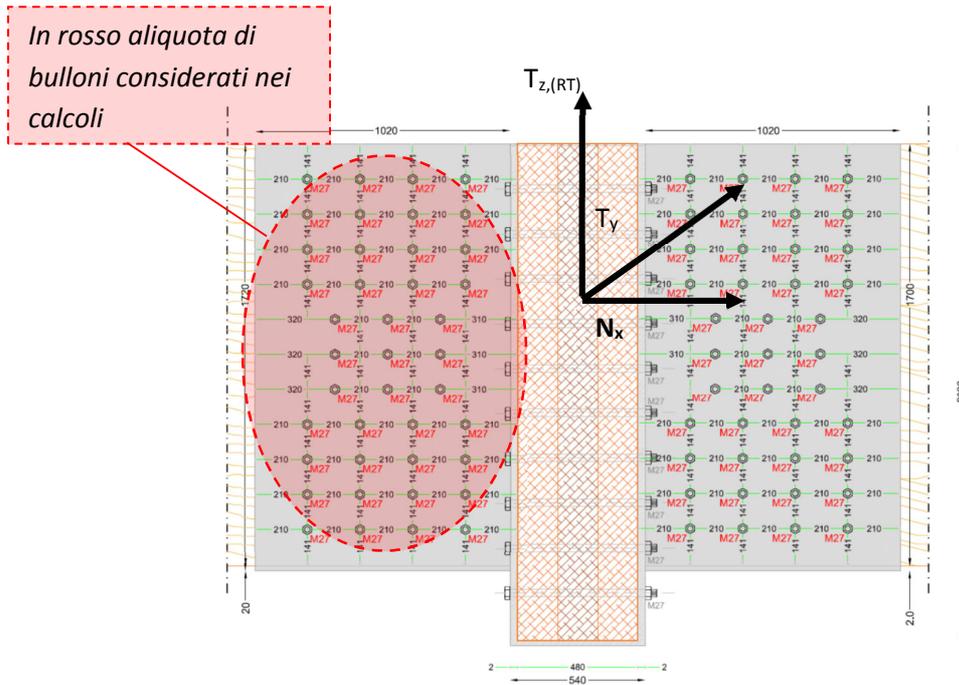
VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO C [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)

diametro foro d_0 [mm]	28	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 33,6 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 127 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 67,2 \text{ mm}$	---	$L = 83 \text{ mm}$

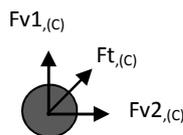
Forze agenti sul singolo bullone del traverso di collegamento

Le sollecitazioni ritenute afferenti ai bulloni e alla piastra in acciaio di seguito verificati, vengono ricavate effettuando una divisione delle sollecitazioni estratte dal modello di calcolo globale, secondo il numero di piastre di cui è composta l'unione in esame. Si procede perciò a ripartire la sollecitazione totale, afferente all'unione in esame, per le due piastre a destra e sinistra, e verificando, di conseguenza, i bulloni di un'unica piastra, per un mezzo della sollecitazione, considerata, per semplicità di calcolo, quella afferente ad una delle due piastre.

Lo schema di calcolo è di seguito illustrato:



Sistema locale di riferimento dell'elemento traverso di collegamento



Sistema locale di riferimento dell'elemento bullone su traverso di collegamento

Verifiche Unione trave secondaria

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	41406,8048	4,256691644	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	31982,35846	5,511038225	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	32528,24806	5,41855189	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	493,89	535,3121255	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	2291,73	115,3641765	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	1897,58	139,3268892	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	41406,8048	14,34546816	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	31982,35846	18,57273912	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	32528,24806	18,2610511	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,2	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	493,89	1376,319741	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	2291,73	296,6082514	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	1897,58	358,2178302	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{v,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (comb M_{dmax}) [N]	493,89	$F_{v,Ed}$ (comb M_{dmax}) [N]	41406,8048	0,236258563	4,232650811
$F_{t,Ed}$ (comb T_{dmax}) [N]	2291,73	$F_{v,Ed}$ (comb T_{dmax}) [N]	31982,3584	0,187645586	5,329195444
$F_{t,Ed}$ (comb N_{dmax}) [N]	1897,58	$F_{v,Ed}$ (comb N_{dmax}) [N]	32528,2480	0,189677843	5,272097073

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEL LEGNO trave secondaria

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

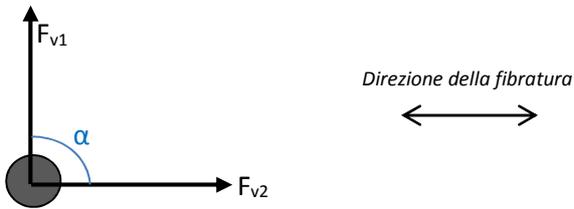
Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio

Moduli elastici		
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio

Massa volumica	
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,4816449	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL SINGOLO BULLONE			
Forze di taglio F_{v1}	F_{v1} (comb M_{dmax}) [KN]	1,989302561	Con Max F_{v1} e Max F_{v2}
	F_{v1} (comb T_{dmax}) [KN]	2,505433	
	F_{v1} (comb N_{dmax}) [KN]	1,782300293	
Forze di taglio F_{v2}	F_{v2} (comb M_{dmax}) [KN]	41,35899128	
	F_{v2} (comb T_{dmax}) [KN]	31,88407217	
	F_{v2} (comb N_{dmax}) K[N]	32,47938312	



VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	
$F_{h,0,k}$ [MPa]	24,54	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
d [mm]	27	
t_1 [mm]	200	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	132,53	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	205,87	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	66,57	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
d [mm]	27	
t_1 [mm]	200	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	75,52	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	140,87	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	50,25	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_{v2}		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	64,27
F_{v2} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	41,36
Indicatore di sicurezza		Verifica
F_{v2} [KN] / $F_{v,Rd}$	1,55	ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_{v1}		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	2
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	48,51
F_{v1} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	2,51
Indicatore di sicurezza		Verifica
F_{v1} [KN] / $F_{v,Rd}$	19,36	ok

6.10 UNIONE TRAVERSO DI COLLEGAMENTO (Allegato relazione 11)

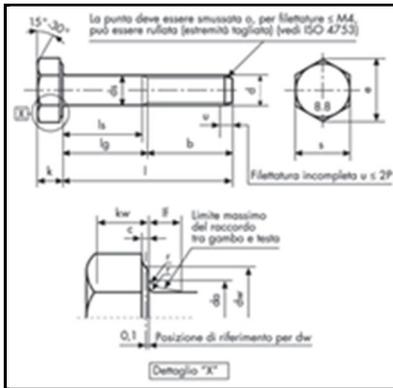
6.10.1 PROGETTO TRAVERSO DI COLLEGAMENTO ZONA VELO (Allegato relazione 11.1)

Si riportano di seguito le verifiche dell'unione, in particolare degli elementi sulla travata principale, mediante due approcci:

- Il primo, sofisticato, fa riferimento ad un modello più complesso e relativo alla sola arcata principale nella sua configurazione reale, studiata con analisi di tipo FEM, tenendo conto di tutti i singoli componenti della stessa (piastre, asole in acciaio e bulloni), sotto gli effetti delle azioni trasmesse dalle travate di collegamento ivi connesse. Con questa verifica è stata dimensionata l'unione del traverso di collegamento posizionato sotto la struttura in legno del "velo".
- Il secondo, semplificato, invece, fa riferimento ad un modello di calcolo relativo alla struttura nella sua globalità, che mediante analisi strutturale di tipo FEM, provvede a restituire le sollecitazioni trasmesse dagli elementi in legno al nodo. La semplificazione di calcolo è legata alla valutazione degli sforzi trasmessi dai singoli elementi componenti l'unione in acciaio (bulloni, asole, piastre in acciaio) mediante schemi di verifica di tipo tradizionali e quindi più cautelativi. Con questa verifica è stata dimensionata l'unione del traverso di collegamento tipo.

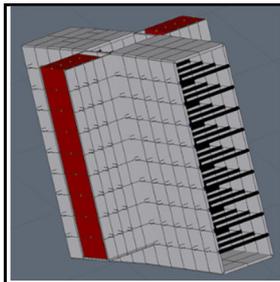
<p>Zona verificata</p>	Dati generali unione			
	descrizione	Unione del traverso di collegamento sotto la struttura in legno del "velo" mediante piastre in acciaio e bulloni M24 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,I}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,S}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno di collegamento	
base sezione [mm]	b	480	400	
altezza sezione [mm]	h	2000	1200	
classe legno		GL28h	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati connettori piastra	
	Descrizione	bullone M24 classe 8.8
	connettore tipo	bullone
	classe di resistenza	8.8
	diam. x lunghezza	d x L [mm] 24 x L
	area resistente	A _{res} [mm ²] 353
	numero di file di connettori	n _f 3 per ogni lembo per un totale di 7 file sull'intera piastra
	numero connettori per fila	n _r 9
	sfalsamento file	Sfalsate
	interasse connettori a ₁	a ₁ [mm] 340
	distanze file connettori a ₂	a ₂ [mm] 200
	numero totale connettori	n _b (26 x 2)+3=55



Caratteristiche di resistenza connettori

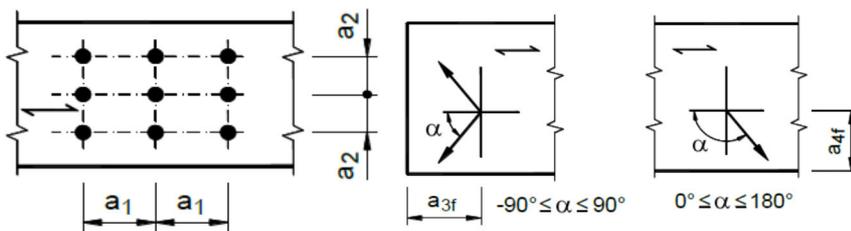
coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25	(Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n_{st}	2
resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	135,55
resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	203,33
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		



Caratteristiche della piastra in acciaio

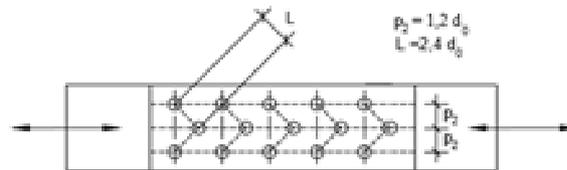
larghezza [mm]	B	1760
spessore [mm]	T	20
altezza [mm]	H	2040
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	528,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO TP (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)



numero connettori	55	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M24		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 168 \text{ mm}$	$a_1 = 340 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 96 \text{ mm}$	$a_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 96 \text{ mm}$	$a_{3c} = 170 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 168 \text{ mm}$	$a_{3f} = 170 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_{4,min} = 3d = 72 \text{ mm}$	$a_4 = 200 \text{ mm}$

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO TP [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)



diametro foro d_0 [mm]	25	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 30 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 200 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 60 \text{ mm}$	---	$L = 97 \text{ mm}$

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Il bullone più sollecitato risulta essere il 789 (sforzo normale massimo $F_{t3}=|20407|$ kg e sforzo di taglio massimo $F_{v1-2}=|1972,37|$ kg). Per mantenerci a vantaggio di sicurezza sono state effettuate le verifiche a taglio sulla metà più sollecitata del bullone in esame, con due piani di taglio, facendo riferimento ad un'asola di trave (160 mm) e alla flangia in acciaio (20 mm).

Calcolo forze Bullone 789

Tabella riassuntiva esiti:

		T_y [kg]	F_y [kg]	T_z [kg]	F_z [kg]		
Asola 1	Concio 1	-1173	1703	906	995	F_{v1-2} [kg]=	1972,37
	Concio 2	-530		-89			
Asola 2	Concio 3	586	1594	-38	1122	F_{v3-4} [kg]=	1949,29
	Concio 4	1008		-1084			

Nelle successive verifiche, per operare a vantaggio di sicurezza, si prende in considerazione la forza maggiore F_{v1-2} e, cautelativamente, si assume lo sforzo di taglio di calcolo pari alla suddetta forza, agente in direzione ortogonale all'asse del bullone:

$$F_{v,Ed}[N] = F_{v1-2} = 19341,04 \text{ N}$$

La forza di trazione $F_{t,Ed}$, presa in considerazione per le verifiche, nel caso del bullone 789, per operare a vantaggio di sicurezza, viene considerata uguale alla massima sollecitazione assiale N, considerata di trazione:

$$F_{t,Ed}[N] = F_t = 200111,04 \text{ N}$$

Verifica unione

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	353		
$F_{v,Rd}$ [N]	135552,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 789) [N]	19341,04	7,008517761	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	353		
$F_{t,Rd}$ [N]	203328,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 789) [N]	200111,04	1,016075865	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	24		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	528000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (bul 789) [N]	19341,04	27,30	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	36		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	596851,20	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (bul 789) [N]	200111,04	3,811100039	Ok

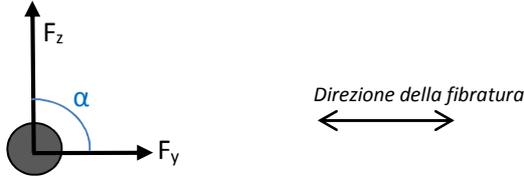
VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	203328,00	$F_{v,Rd}$ [N]	135552,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{b,Rd}$ [N]	596851,20	$F_{b,Rd}$ [N]	528000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{v,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (bul 789) [N]	200111,04	$F_{v,Ed}$ (bul 789) [N]	19341,04	0,845668151	1,182496939

VERIFICA RIFOLLAMENTO DEL LEGNO

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	24	
ζ_b [1/mm]	0,504879	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	



FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL BULLONE 789			
Sollecitazione di taglio in y	F _{yas 1} [kN]	16,699618	Con F _y max
	F _{yas 2} [kN]	15,630764	
Sollecitazione di taglio in z	F _{zas 1} [kN]	9,75697	Con F _z max
	F _{zas 2} [kN]	11,002332	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=0			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		IA	
		IIA	
		IIIA	
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$	
F _{h,0,k} [MPa]	25,55		
d [mm]	24		
t ₁ [mm]	160		
M _{y,Rk} [Nmm]	930594,00		
F _{v,Rk} IA [kN]	98,12	Con Min F _{v,Rk}	
F _{v,Rk} IIA [kN]	157,62		
F _{v,Rk} IIIA [kN]	54,94		

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO α=90°			
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		IA	
		IIA	
		IIIA	
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con K ₉₀ = 1,35 + 0,015d	
F _{h,90,k} [MPa]	14,94		
d [mm]	24		
t ₁ [mm]	160		
M _{y,Rk} [Nmm]	930594,00		
F _{v,Rk} IA [kN]	57,38	Con Min F _{v,Rk}	
F _{v,Rk} IIA [kN]	110,42		
F _{v,Rk} IIIA [kN]	42,02		

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura Fy			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n _t	numero piani di taglio	2	
γ _M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k _{mod}	Coefficiente	0,7	
F _{v,Rk} IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	54,94	
F _{v,Rd} [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	53,05	
F _{y as1 (bul 789)} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 789	16,70	
Indicatore di sicurezza			Verifica
F _{y as1 (bul 789)} [KN] / F _{v,Rd}		3,18	ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura Fz			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n _t	numero piani di taglio	2	
γ _M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k _{mod}	Coefficiente	0,7	
F _{v,Rk} IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	42,02	
F _{v,Rd} [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	40,57	
F _{z as1(bul 789)} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul bullone 789	11,00	
Indicatore di sicurezza			Verifica
F _{z as1(bul 789)} [KN] / F _{v,Rd}		3,69	ok

6.10.2 PROGETTO TRAVERSO DI COLLEGAMENTO TIPO (Allegato relazione 11.2)

Si riporta di seguito il secondo approccio di calcolo dell'unione *traverso di collegamento tipo*, per il quale dal modello di calcolo globale sono state estratte le sollecitazioni massime ed individuate le relative aste più critiche e con tali valori è stato svolto il calcolo dell'intero collegamento (piastra, bulloni e rifollamento LVL).

Nel caso particolare dell'unione oggetto di studio, si sono affrontati separatamente i collegamenti:

3. piastra in acciaio-bulloni-sole in legno componenti la sezione della **trave principale**;
le sollecitazioni, afferenti a ciascun lembo di travata collegata dall'unione in oggetto, vengono assorbite e trasmesse dalla metà dei bulloni disposti su ciascun lato del collegamento (in tal caso 18 per i 2 lati). Tali bulloni sono passanti tra le tre sole in legno che compongono la trave principale e capaci di collegare le tre parti disconnesse di trave e di ripristinarne la loro continuità strutturale.
4. piastra in acciaio-bulloni-**trave secondaria**;
Le sollecitazioni, afferenti a ciascun lato di trave secondaria collegata dall'unione in oggetto, vengono assorbite e trasmesse dai bulloni disposti sulla destra e sulla sinistra del traverso di collegamento.

Si riportano le sollecitazioni proibitive estrapolate dal calcolo globale:

Schema riassuntivo delle sollecitazioni, e relativi calcoli:

Sollecitazioni massime di calcolo usate nelle verifiche			
Id asta	M	N	T
4214 (Asta generica_817) [419 (Nodo_408) , 8540 (Nodo_459)]	46228 kg m	45563 kg	10216 kg
4208 (Asta generica_1482) [861 (Nodo_8733) , 873 (Nodo_862)]	42823 kg m	63274 kg	22746 kg
4216 (Asta generica_985) [5552 (Nodo_652) , 4550 (Nodo_714)]	22321 kg m	93864 kg	9881

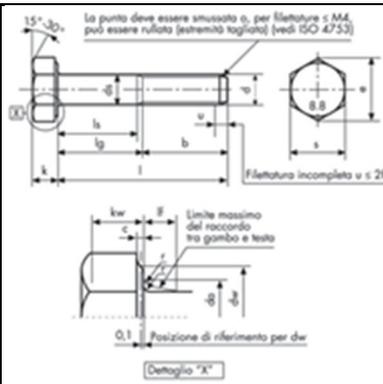
Generalità dell'unione su trave principale

Dati generali unione			
descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8		
Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
classe di servizio	2		
Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno di collegamento
base sezione [mm]	b	480	400
altezza sezione [mm]	h	2000	1200
classe legno		GL28h	GL28h
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.			

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Dati connettori piastra		
Descrizione		bullone M27 classe 8.8
connettore tipo		bullone
classe di resistenza		8.8
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
area resistente	A_{res} [mm ²]	459
numero di file di connettori	n_f	1 per ogni lembo per un totale di 2 file sull'intera piastra
numero connettori per fila	n_r	9
sfalsamento file		allineate
interasse connettori a_1	a_1 [mm]	196
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	150
numero totale connettori	n_b	9 x 2=18

Caratteristiche di resistenza connettori		
coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}		1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n_{st}	2
resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,256
resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,384
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		



Caratteristiche della piastra in acciaio		
larghezza [mm]	B	1200
spessore [mm]	T	20
altezza [mm]	H	1425
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	594,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO TP (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

numero connettore	9	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189$ mm	$a_1 = 196$ mm
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108$ mm	$a_2 = 150$ mm
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108$ mm	$a_{3c} = 200$ mm
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189$ mm	$a_{3f} = 200$ mm
distanze min. dal bordo della trave		$a_{4,min} = 3d = 81$ mm	$a_4 = 111$ mm

Forze agenti sul singolo bullone:

Secondo lo schema di calcolo di seguito descritto, si sono ottenute le forze di taglio e di trazione utilizzate per le verifiche.

Per quanto riguarda la forza di taglio, $F_{v,Ed}$, utilizzata per le verifiche a taglio dei bulloni e a rifollamento della piastra:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v1}^2 + F_{v2}^2}$$

Riguardo la forza assiale, $F_{t,Ed}$, utilizzata per le verifiche a trazione dei bulloni e a punzonamento della piastra:

$$F_{t,Ed} = F_{t,(TP)}$$

Verifiche Unione trave principale

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	6317,1406	27,90123113	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	13681,60156	12,88270231	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	6412,859774	27,48477375	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	129482,44	2,041852232	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	131422,04	2,011717434	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	101670,02	2,600412513	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	6317,1406	94,02988434	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	13681,60156	43,41596978	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	6412,859774	92,62638214	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,2	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	129482,44	5,249725163	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	131422,04	5,172246782	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	101670,02	6,685817313	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
F _{t,Rd} [N]	264384,00	F _{v,Rd} [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1$	
B _{b,Rd} [N]	679747,20	F _{b,Rd} [N]	594000,00		
Con	F _{t,Rd} =min(B _{p,Rd} ; F _{t,Rd})	Con	F _{v,Rd} =min(B _{p,Rd} ; F _{t,Rd})		
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
F _{t,Ed} (comb M _d max) [N]	129482,44	F _{v,Ed} (comb M _d max) [N]	6317,1406	0,385663145	2,592936384
F _{t,Ed} (comb T _d max)[N]	131422,04	F _{v,Ed} (comb T _d max) [N]	13681,60156	0,432686111	2,311144209
F _{t,Ed} (comb N _d max)[N]	101670,02	F _{v,Ed} (comb N _d max) [N]	6412,859774	0,311065475	3,214757274

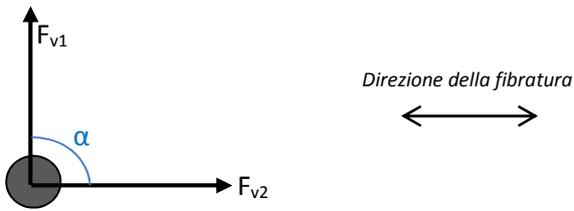
VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEL LEGNO trave principale

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ _M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K _{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
f _{m,k} [MPa]	28,00	f _{m,d} [MPa]	13,52	Flessione
f _{t,0,k} [MPa]	19,50	f _{t,0,d} [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
f _{t,90,k} [MPa]	0,45	f _{t,90,d} [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
f _{c,0,k} [MPa]	26,50	f _{c,0,d} [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
f _{c,90,k} [MPa]	3,00	f _{c,90,d} [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
f _{v,k} [MPa]	3,20	f _{v,d} [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
E _{0,mean} [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
E _{90,mean} [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
E _{0,05} [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G _{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
f _{u,k} [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ _b [1/mm]	0,481644	
M _{y,Rk} [Nmm]	1264029	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL SINGOLO BULLONE			
Forze di taglio F _{v1}	F _{v1} (comb M _d max) [KN]	5,565449778	Con Max F _{v1} e Max F _{v2}
	F _{v1} (comb T _d max) [KN]	12,39151533	
	F _{v1} (comb N _d max) [KN]	5,382949222	
Forze di taglio F _{v2}	F _{v2} (comb M _d max) [KN]	2,988650889	
	F _{v2} (comb T _d max) [KN]	5,799704222	
	F _{v2} (comb N _d max) [KN]	3,485488222	



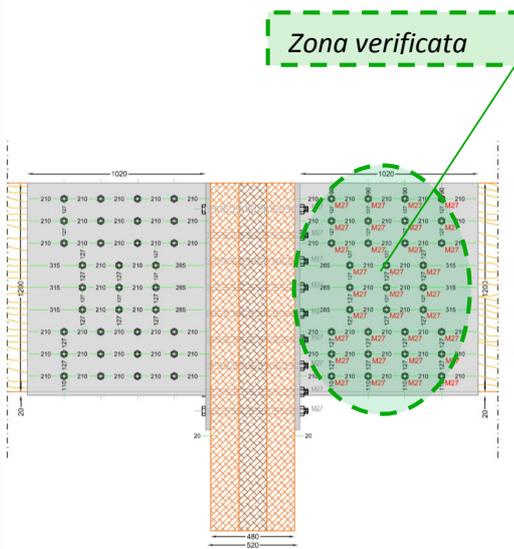
VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	24,54	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	480	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	318,07	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	400,92	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	66,57	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	480	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	181,24	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	258,43	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	50,25	

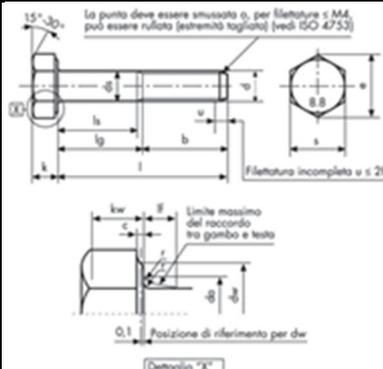
VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_{v2}			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	1	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	32,14	
F_{v2} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	5,80	
Indicatore di sicurezza		Verifica	
F_{v2} [KN] / $F_{v,Rd}$ (comb N_{dmax})	5,54	ok	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_{v1}			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	1	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	24,26	
F_{v1} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	12,39	
Indicatore di sicurezza		Verifica	
F_{v1} [KN] / $F_{v,Rd}$ (comb T_{dmax})	1,96	ok	

Generalità dell'unione su trave secondaria

 <p style="text-align: center;">Zona verificata</p>	Dati generali unione			
	descrizione	Unione due tratti di trave legno principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno di collegamento	
base sezione [mm]	b	480	400	
altezza sezione [mm]	h	2000	1200	
classe legno		GL28h	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

Dati connettori piastra		
Descrizione		bullone M27 classe 8.8
connettore tipo		bullone
classe di resistenza		8.8
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
area resistente	A_{res} [mm ²]	459
numero di file di connettori	n_f	4 per ogni lembo per un totale di 8 file sull'intera piastra
numero connettori per fila	n_r	9
sfalsamento file		sfalsate
interasse connettori a_1	a_1 [mm]	210
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	127
numero totale connettori	n_b	33 x 2=66

	Caratteristiche di resistenza connettori		
	coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)	
	numero superfici di taglio	n_{st}	2
	resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,256
	resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,384
	*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
	*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab. 11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)			

Caratteristiche della piastra in acciaio			
larghezza [mm]	B		1020
spessore [mm]	T		20
altezza [mm]	H		1200
classe acciaio			S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$		594,00
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d		1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO C (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

numero connettori	33	Interassi minimi	Interassi adottati
Descrizione	bullone M27		
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_1 = 210 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_2 = 127 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave	compresso	$a_{3c,min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_{3c} = 210 \text{ mm}$
	teso	$a_{3f,min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_{3f} = 210 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_{4,min} = 3d = 81 \text{ mm}$	$a_4 = 90 \text{ mm}$

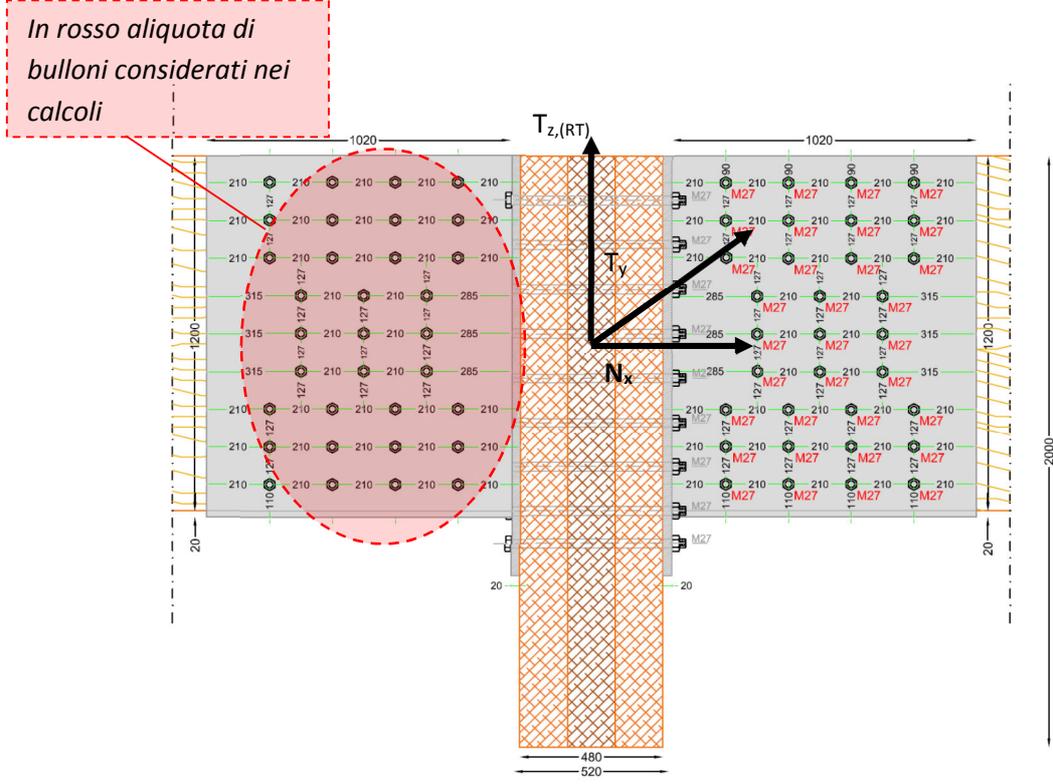
VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-ACCIAIO C [caso distribuzione sfalsata] (tab. 4.2.XIII NTC)

diametro foro d_0 [mm]	28	Interassi minimi	Interassi massimi	Interassi adottati
distanze tra file di connettori		$p_{2min} = 1,2 d_0 = 33,6 \text{ mm}$	$P_{2max} = 200 \text{ mm}$	$p_2 = 127 \text{ mm}$
distanze dall'estremità longitudinale		$L_{min} = 2,4 d_0 = 67,2 \text{ mm}$	---	$L = 83 \text{ mm}$

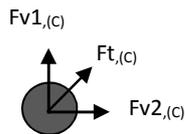
Forze agenti sul singolo bullone del traverso di collegamento:

Le sollecitazioni ritenute afferenti ai bulloni e alla piastra in acciaio di seguito verificati, vengono ricavate effettuando una divisione delle sollecitazioni estratte dal modello di calcolo globale, secondo il numero di piastre di cui è composta l'unione in esame. Si procede perciò a ripartire la sollecitazione totale, afferente all'unione in esame, per le due piastre a destra e sinistra, e verificando, di conseguenza, i bulloni di un'unica piastra, per un mezzo della sollecitazione, considerata, per semplicità di calcolo, quella afferente ad una delle due piastre.

Lo schema di calcolo è di seguito illustrato:



Sistema locale di riferimento dell'elemento traverso di collegamento



Sistema locale di riferimento dell'elemento bullone su traverso di collegamento

Verifiche Unione trave secondaria

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	38610,75546	4,564945645	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	39015,85649	4,517547886	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	29342,64426	6,006820601	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	815,09	324,3630775	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	1581,74	167,1478342	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	950,59	278,1268902	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k\alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	594000	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	38610,75546	15,38431437	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	39015,85649	15,22457927	Ok
$F_{v,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	29342,64426	20,24357433	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,2	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ (comb M_{max}) [N]	815,09	833,9570236	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb T_{max}) [N]	1581,74	429,7471568	Ok
$F_{t,Ed}$ (comb N_{max}) [N]	950,59	715,080999	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384,00	$F_{v,Rd}$ [N]	176256,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,20	$F_{b,Rd}$ [N]	594000,00		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{v,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
				Tasso di lavoro	Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ (comb M_{dmax}) [N]	815,09	$F_{v,Ed}$ (comb M_{dmax}) [N]	38610,7554	0,221262777	4,519513023
$F_{t,Ed}$ (comb T_{dmax}) [N]	1581,74	$F_{v,Ed}$ (comb T_{dmax}) [N]	39015,8564	0,225632403	4,431987545
$F_{t,Ed}$ (comb N_{dmax}) [N]	950,59	$F_{v,Ed}$ (comb N_{dmax}) [N]	29342,6442	0,169045622	5,915562859

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEL LEGNO trave secondaria

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

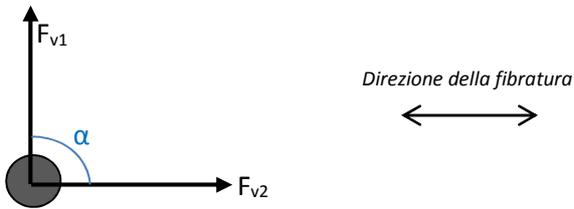
Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio

Moduli elastici		
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio

Massa volumica	
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,4816449	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL SINGOLO BULLONE			
Forze di taglio F_{v1}	F_{v1} (comb M_{dmax}) [KN]	1,517849939	Con Max F_{v1} e Max F_{v2}
	F_{v1} (comb T_{dmax}) [KN]	3,379504182	
	F_{v1} (comb N_{dmax}) [KN]	1,468077061	
Forze di taglio F_{v2}	F_{v2} (comb M_{dmax}) [KN]	38,58090938	
	F_{v2} (comb T_{dmax}) [KN]	38,86921673	
	F_{v2} (comb N_{dmax}) [KN]	29,30589568	



VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		IA
		IIA
		IIIA
α	0	
$F_{h,0,k}$ [MPa]	24,54	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	200	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	132,53	
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	205,87	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	66,57	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		IA
		IIA
		IIIA
α	90	
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	200	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	75,52	
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	140,87	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	50,25	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_{v2}			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	66,57	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	64,27	
F_{v2} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	38,87	
Indicatore di sicurezza			Verifica
F_{v2} [KN] / $F_{v,Rd}$ (comb N _d max)	1,65		ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_{v1}			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	2	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	50,25	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	48,51	
F_{v1} [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	3,38	
Indicatore di sicurezza			Verifica
F_{v1} [KN] / $F_{v,Rd}$ (comb T _d max)	14,36		ok

6.11 UNIONE ARCARECCIO-TRAVATA PRINCIPALE (Allegato relazione 12)

6.11.1 PROGETTO UNIONE ARCARECCIO-TRAVATA PRINCIPALE (Allegato relazione 12.1)

Si riportano di seguito i risultati della verifica dell'unione in legno mediante approccio semplificato che fa riferimento ad un modello di calcolo relativo alla struttura nella sua globalità, che mediante analisi strutturale di tipo FEM, provvede a restituire le sollecitazioni trasmesse dagli elementi in legno al nodo. La semplificazione di calcolo è legata alla valutazione degli sforzi trasmessi dai singoli elementi componenti l'unione in acciaio (bulloni, asole, piastre in acciaio) mediante schemi di verifica di tipo tradizionali e quindi cautelativi. Con questa verifica è stata dimensionata l'unione degli arcarecci.

Si riporta di seguito l'approccio di calcolo dell'unione *arcareccio*, per il quale dal modello di calcolo globale sono state estratte le sollecitazioni massime, ed individuate le relative aste più critiche e con tali valori è stato svolto il calcolo dell'intero collegamento (piastra, bulloni e rifollamento LVL).

Nel caso particolare dell'unione oggetto di studio, si sono affrontati separatamente i collegamenti:

1. piastra in acciaio-bulloni-asole in legno componenti la sezione della **trave principale**;

le sollecitazioni, afferenti a ciascun lembo di travata collegata dall'unione in oggetto, vengono assorbite e trasmesse dalla metà dei bulloni disposti su ciascun lato del collegamento (in tal caso 6 per i 2 lati). Tali bulloni sono passanti tra le tre asole in legno che compongono la trave principale e capaci di collegare le tre parti disconnesse di trave e di ripristinarne la loro continuità strutturale.

2. piastra in acciaio-bulloni-**trave secondaria**;

Le sollecitazioni, afferenti a ciascun lato di trave secondaria collegata dall'unione in oggetto, vengono assorbite e trasmesse dai bulloni disposti sulla destra e sulla sinistra dell'arcareccio.

Sollecitazioni massime estrapolate dal modello di calcolo globale:

a. Sollecitazioni asta maggiormente sollecitata [200 x 720 mm]

Asta: 472 (Asta generica_858) [6511 (Nodo_549) , 10016 (Nodo_12370)]

Sez. R: b = 20.0cm h = 72.0cm

Crit.Prog: Legno_Arcareccio Verifica: Verificata

<u>Verifica a flessione (§4.4.8.1.6, §4.4.8.1.1 - NTC 2008)</u>									
Parametri di verifica: $km = 0.70$ $kh,y = 1.00$ $kh,z = 1.10$ $kcrit,m = 1.00$ $Leff = 357.8cm$									
Instabilità di trave: Trascurabile									
X	Myd	Mzd	myd	□mzd	fmyd	fmzd	Kmod	Comb.	SF
cm	kg*m	kg*m	kg/cmq	kg/cmq	kg/cmq	kg/cmq			
4.0	15002	0	87	0	154	170	0.8	17	1.78

<u>Verifica a taglio (§4.4.8.1.9 - NTC 2008)</u>							
X	Tyd	Tzd	□d	fvd	Kmod	Comb.	SF
cm	kg	kg	kg/cmq	kg/cmq			
0.0	3616	7909	9	18	0.8	17	1.95

b. Sollecitazioni asta maggiormente sollecitata [200 x 600 mm]

Asta: 496 (Asta generica_890) [6522 (Nodo_560) , 5522 (Nodo_622)]

Sez. R: b = 20.0cm h = 60.0cm

Crit.Prog: Legno_Arcareccio Verifica: Verificata

<u>Verifica a flessione (§4.4.8.1.6, §4.4.8.1.1 - NTC 2008)</u>									
Parametri di verifica: $km = 0.70$ $kh,y = 1.00$ $kh,z = 1.10$ $kcrit,m = 1.00$ $Leff = 715.5cm$									
Instabilità di trave: Trascurabile									
X	Myd	Mzd	myd	□mzd	fmyd	fmzd	Kmod	Comb.	SF
cm	kg*m	kg*m	kg/cmq	kg/cmq	kg/cmq	kg/cmq			
4.0	7869	0	66	0	154	170	0.8	14	2.36

<u>Verifica a taglio (§4.4.8.1.9 - NTC 2008)</u>							
X	Tyd	Tzd	□d	fvd	Kmod	Comb.	SF
cm	kg	kg	kg/cmq	kg/cmq			
0.0	710	3959	5	18	0.8	16	3.51

Generalità dell'unione su trave principale

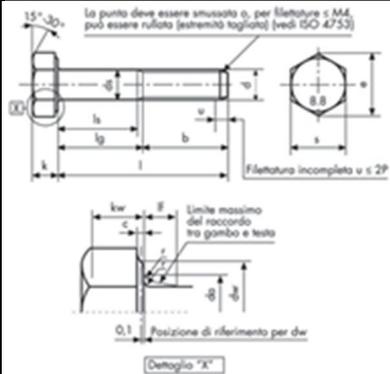
	Dati generali unione arcareccio 200 x 720 mm			
	descrizione	Unione arcareccio su trave principale mediante piastre in acciaio e bulloni M24 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno di collegamento	
base sezione [mm]	b	480	200	
altezza sezione [mm]	h	2000	720	
classe legno		GL28h	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

	Dati generali unione arcareccio 200 x 600 mm			
	descrizione	Unione arcareccio su trave principale mediante piastre in acciaio e bulloni M24 classe 8.8		
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
	classe di servizio	2		
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
	combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
	unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
	acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
	calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
	Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno di collegamento	
base sezione [mm]	b	480	200	
altezza sezione [mm]	h	2000	600	
classe legno		GL28h	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.				

Relazione Generale di Sintesi delle Unioni

Dati connettori piastra		
Descrizione		bullone M24 classe 8.8
connettore tipo		bullone
classe di resistenza		8.8
diam. x lunghezza	d x L [mm]	24 x L
area resistente	A _{res} [mm ²]	353
numero di file di connettori	n _f	1 per ogni lembo per un totale di 2 file totali in questa direzione
numero connettori per fila	n _r	3
sfalsamento file		allineate
interasse connettori a ₁	a ₁ [mm]	196
distanze file connettori a ₂ [200x720 mm]	a ₂ [mm]	144
distanze file connettori a ₂ [200x600 mm]	a ₂ [mm]	192
numero totale connettori	n _b	3 x 2= 6

Caratteristiche di resistenza connettori		
coefficiente parziale di sicurezza γ _{M2}		1,25 (Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n _{st}	2 ma a vantaggio di sicurezza consideriamo 1.
resistenza di progetto a taglio [kN]	F _{v,Rd}	135,552
resistenza di progetto a trazione [kN]	F _{t,Rd}	203,328
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f _{yb}	649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f _{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		



VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO TP (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

numero connettore	3	Interassi minimi	Interassi adottati	Interassi adottati
Descrizione	bullone M24		per l'arcaecceio [200x720 mm]	per l'arcaecceio [200x600 mm]
interasse connettori		a _{1min} = 7d = 168 mm	a ₁ = 100 mm	a ₁ = 100 mm
distanze tra file di connettori		a _{2min} = 4d = 96 mm	a ₂ = 192 mm	a ₂ = 144 mm
distanze dall'estremità della trave	compresso	a _{3c,min} = 4d = 96 mm	a _{3c} = 200 mm	a _{3c} = 200 mm
	teso	a _{3f,min} = 7d = 168 mm	a _{3f} = 200mm	a _{3f} = 200mm
distanze min. dal bordo della trave		a _{4,min} = 3d = 72 mm	a ₄ = 108 mm	a ₄ = 144 mm

Caratteristiche della piastra in acciaio		
larghezza [mm]	B	200
spessore [mm]	T	20
altezza [mm] [200x720 mm]	H	720
altezza [mm] [200x600 mm]	H	600
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	F _{b,Rd}	528,00
gioco fori-connettore [mm]	d ₀ -d	1

Forze agenti sul singolo bullone della trave principale:

I bulloni oggetto di studio si ritengono sottoposti a sforzi derivanti dalle sollecitazioni dell'arcareccio. Le sollecitazioni trasmesse dall'arcareccio alla trave principale, e considerate in fase di verifica dell'unione in oggetto, sono state individuate per il conccio di arcareccio più sollecitato.

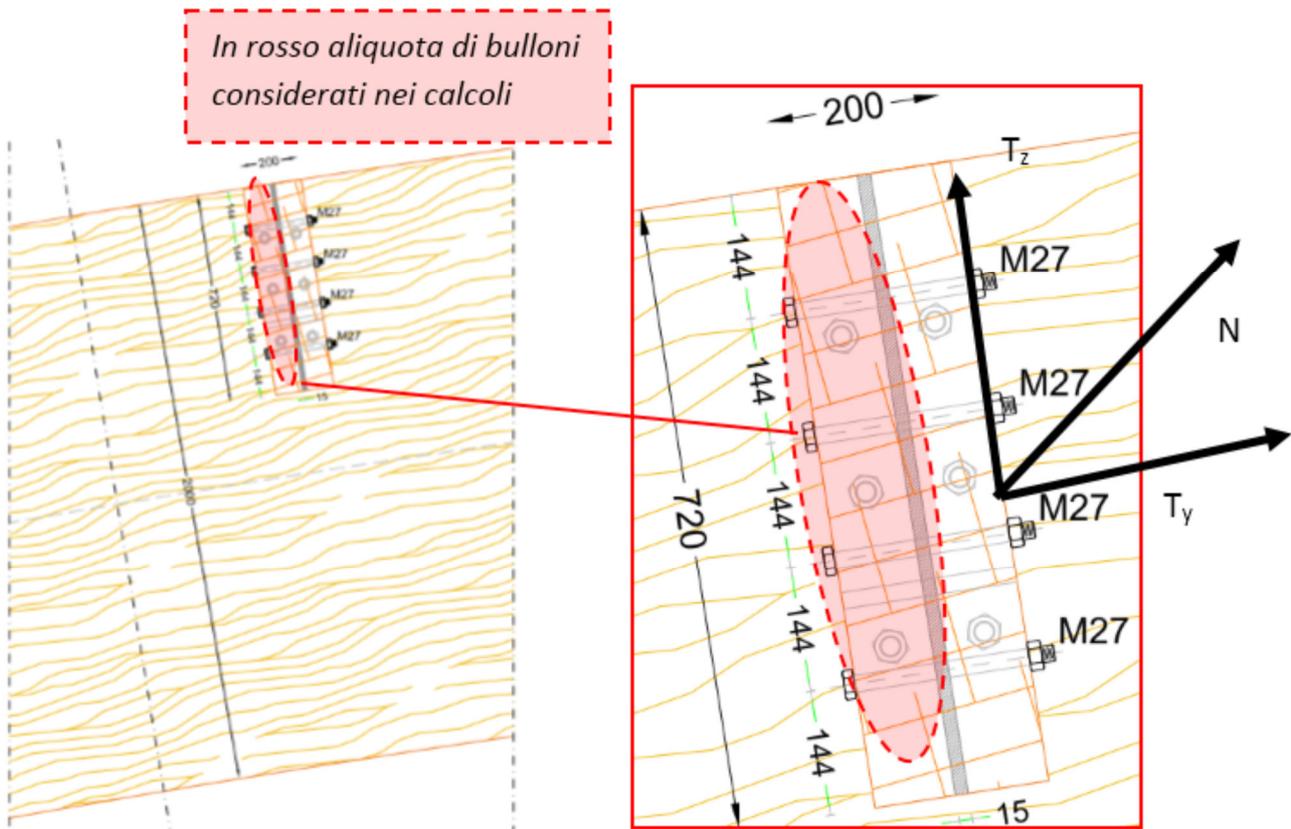
A vantaggio di sicurezza è stato scelto di studiare i collegamenti trattandoli come solidi alla De Saint Venant.

Le ipotesi di base per lo studio del presente collegamento sono le seguenti:

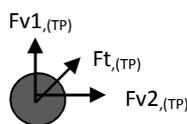
- utilizzo di bulloni M24 in classe di resistenza 8.8;
- bullonatura uniformemente distribuita;
- baricentro delle masse corrispondente al baricentro geometrico della piastra;
- ripartizione delle sollecitazioni su metà della piastra e dei bulloni ad essa afferente.

Nelle verifiche di seguito si procede, ripartendo la sollecitazione totale, afferente all'unione in esame, per un mezzo della sollecitazione, considerata, per semplicità di calcolo, quella afferente ad una delle due porzioni simmetriche di piastra a destra e sinistra della trave di collegamento. Tutto ciò vale sia per gli arcarecci di misura 200 x 720 mm che per quelli più piccoli di misura 200 x 600 mm.

Lo schema di calcolo è di seguito illustrato:



Sistema locale di riferimento sull'elemento trave principale



Sistema locale di riferimento dell'elemento bullone su trave principale

$F_{v1(TP)}$ è una forza di taglio agente sul bullone, e viene ottenuta con la formula di seguito riportata dove T_z è lo sforzo di taglio lungo l'asse z della trave, ottenuta dal modello di calcolo globale per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime) e $n_{bulloni(TP)}$ indica il numero di bulloni afferenti alla trave.

$$F_{v1(TP)} = \frac{T_z}{2} \frac{1}{n_{bulloni(TP)}}$$

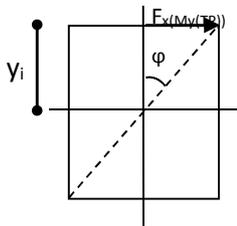
Lo sforzo di taglio $F_{v2(TP)}$ viene ottenuto con la formula di seguito riportata, dove T_y è la sollecitazione ricavata dal modello di calcolo globale per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime) e $n_{bulloni(TP)}$ indica il numero di bulloni afferenti alla trave:

$$F_{v2(TP)} = \frac{T_y}{n_{bulloni(TP)}}$$

$F_{t(TP)}$ è una forza agente sul bullone in direzione assiale, e viene ottenuta ripartendo linearmente le sollecitazioni di pressoflessione (momento M_y e sforzo assiale N), ottenute dal modello di calcolo globale per la per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime):

$$\tan \varphi = \frac{F_x}{\frac{h}{2}}$$

$$F_i = y_i \tan \varphi$$



Dove F_i è la forza di taglio generata dal momento flettente M_y sull'iesimo bullone e con $F_x(M_y)$ si indica la massima forza di taglio generata dallo stesso sulla fila di bulloni più esterna:

$$M_y = \sum_{i=1}^{n_r} F_i y_i = \sum_{i=1}^{n_r} y_i \tan \varphi y_i = \sum_{i=1}^{n_r} y_i^2 \frac{F_x}{\frac{h}{2}} = \frac{F_x}{\frac{h}{2}} \sum_{i=1}^{n_r} y_i^2$$

La componente di forza tagliante, sul singolo bullone, derivante dal momento M_y è così espressa:

$$F_x(M_y) = \frac{\frac{M_y}{2} \frac{h}{2}}{\sum_{i=1}^{n_r} y_i^2} \frac{1}{n_f}$$

$$F_x(N) = \frac{N}{2} \frac{1}{n_{bulloni(TP)}}$$

$$F_{t(TP)} = F_x(M_y) + F_x(N)$$

Forze agenti sul singolo bullone:

Secondo lo schema di calcolo di seguito descritto, si sono ottenute le forze di taglio e di trazione utilizzate per le verifiche. Per quanto riguarda la forza di taglio, $F_{v,Ed}$, utilizzata per le verifiche a taglio dei bulloni e a rifollamento della piastra:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v1}^2 + F_{v2}^2}$$

Riguardo la forza assiale, $F_{t,Ed}$, utilizzata per le verifiche a trazione dei bulloni e a punzonamento della piastra:

$$F_{t,Ed} = F_{t(TP)}$$

Verifiche Unione su trave principale

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	353		
$F_{v,Rd}$ [N]	135552,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [200x720 mm] [N]	17515,15	7,739128011	Ok
$F_{v,Ed}$ [200x600 mm] [N]	6873,94	25,64120085	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	353		
$F_{t,Rd}$ [N]	203328,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ [200x720 mm] [N]	158570,37	1,282257172	Ok
$F_{t,Ed}$ [200x600 mm] [N]	115024,38	2,298504021	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	24		
t [mm]	20		
$F_{b,Rd}$ [N]	528000,00	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [200x720 mm] [N]	17515,15	30,14532865	Ok
$F_{v,Ed}$ [200x600 mm] [N]	6873,94	76,8118762	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	36		
t_p [mm]	20		
$B_{p,Rd}$ [N]	596851,2	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ [200x720 mm] [N]	158570,37	3,763951507	Ok
$F_{t,Ed}$ [200x600 mm] [N]	115024,38	5,188910386	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO				
$F_{t,Rd}$ [N]	203328,00	$F_{v,Rd}$ [N]	135552,00	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$
$B_{p,Rd}$ [N]	596851,20	$F_{b,Rd}$ [N]	528000,00	
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{v,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		
				Tasso di lavoro
				Indicatore di sicurezza
$F_{t,Ed}$ [200x720 mm] [N]	158570,37	$F_{v,Ed}$ [200x720 mm] [N]	17515,15	0,686266921
$F_{t,Ed}$ [200x600 mm] [N]	115024,38	$F_{v,Ed}$ [200x600 mm] [N]	6873,94	0,349760867
				1,45715897
				2,859096301

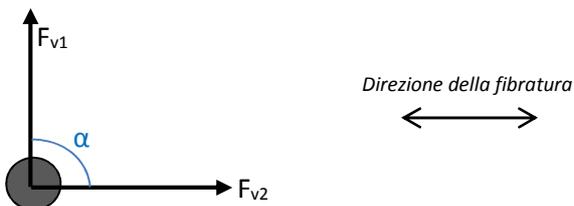
VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEL LEGNO trave principale

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	24	
ζ_b [1/mm]	0,5048798	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL SINGOLO BULLONE (arcareccio 200x720 mm)		
Forze di taglio F_{v1}	F_{v1} [200x720 mm] [KN]	5,565449778
	F_{v1} [200x600 mm] [KN]	6,470325667
Forze di taglio F_{v2}	F_{v2} [200x720 mm] [KN]	2,988650889
	F_{v2} [200x600 mm] [KN]	2,320753333



VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	25,55	
d [mm]	24	
t_1 [mm]	480	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	294,35	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	363,72	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	54,94	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ Con $K_{90} = 1,35 + 0,015d$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	14,94	
d [mm]	24	
t_1 [mm]	480	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	930594,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	172,13	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	237,34	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	42,02	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_{v2}		
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$		
n_t	numero piani di taglio	1
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45
k_{mod}	Coefficiente	0,7
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	54,94
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	26,52
F_{v2} [200x720 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	11,82
F_{v2} [200x600 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	2,32
	Indicatore di sicurezza	Verifica
F_{v2} [200x720 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	2,24	ok
F_{v2} [200x600 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	11,43	ok

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_{v1}			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	1	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	42,02	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	20,28	
F_{v1} [200x720 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	12,93	
F_{v1} [200x600 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	6,47	
		Indicatore di sicurezza	Verifica
F_{v1} [200x720 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	1,57		ok
F_{v1} [200x600 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	3,13		ok

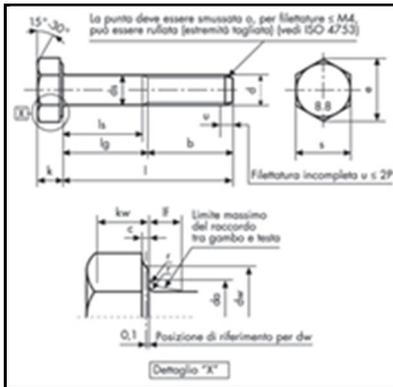
Generalità dell'unione su trave secondaria

Dati generali unione, arcareccio 200 x 720 mm			
descrizione	Unione trasverso di collegamento su trave principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8		
Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.		
classe di servizio	2		
Coefficientsi parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
unioni legno	$\gamma_{M,l}$	1,45	1
acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,s}$	1,25	1,25
calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno di collegamento
base sezione [mm]	b	480	200
altezza sezione [mm]	h	2000	720
classe legno		GL28h	GL28h
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.			

Dati connettori piastra, arcareccio 200 x 720 mm		
Descrizione		bullone M27 classe 8.8
connettore tipo		bullone
classe di resistenza		8.8
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
area resistente	A_{res} [mm ²]	459
numero di file di connettori	n_f	3 per ogni lembo per un totale di 6 file sull'intero collegamento.
numero connettori per fila	n_r	4
sfalsamento file		allineate
interasse connettori a_1	a_1 [mm]	190
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	144
numero totale connettori	n_b	12 x 2=24

	Dati generali unione 200 x 600 mm		
	descrizione	Unione trasverso di collegamento su trave principale mediante piastre in acciaio e bulloni M27 classe 8.8	
	Norma di riferimento	NTC ai sensi di capitoli 4.4 e 4.2.	
	classe di servizio	2	
Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi del punto 4.4.6			
combinazione		fondam./SLU	eccez./sisma
unioni legno	$\gamma_{M,I}$	1,45	1
acciaio connettori, piastre	$\gamma_{M,S}$	1,25	1,25
calcestruzzo	$\gamma_{M,cls}$	1,5	1
Dati travi			
descrizione		Trave di legno principale	Trave legno di collegamento
base sezione [mm]	b	480	200
altezza sezione [mm]	h	2000	600
classe legno		GL28h	GL28h
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.			

Dati connettori piastra, arcareccio 200 x 600 mm		
Descrizione		bullone M27 classe 8.8
connettore tipo		bullone
classe di resistenza		8.8
diam. x lunghezza	d x L [mm]	27 x L
area resistente	A_{res} [mm ²]	459
numero di file di connettori	n_f	3 per ogni lembo per un totale di 6 file sull'intero collegamento.
numero connettori per fila	n_r	3
sfalsamento file		allineate
interasse connettori a_1	a_1 [mm]	190
distanze file connettori a_2	a_2 [mm]	192
numero totale connettori	n_b	9 x 2=18



Caratteristiche di resistenza connettori

coefficiente parziale di sicurezza γ_{M2}	1,25	(Tab. 4.2.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)
numero superfici di taglio	n_{st}	2
resistenza di progetto a taglio [kN]	$F_{v,Rd}$	176,256
resistenza di progetto a trazione [kN]	$F_{t,Rd}$	264,384
*tensione caratt. a snervamento [N/mm ²]	f_{yb}	649
*tensione ultima a rottura [N/mm ²]	f_{tb}	800
*(Tab.11.3.XII DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche)		

Caratteristiche della piastra in acciaio

larghezza [mm]	B	600
spessore [mm]	T	15
altezza [mm] [200x720 mm]	H	720
altezza [mm] [200x600 mm]	H	600
classe acciaio		S450
resistenza di progetto a rifollamento [kN]	$F_{b,Rd}$	445,5
gioco fori-connettore [mm]	d_0-d	1

VERIFICA SPAZIATURE E DISTANZE MINIME CONNETTORE-LEGNO C (tab. 7.4. Istruzioni CNR-DT 206/2007)

		Interassi minimi	Interassi adottati	Interassi adottati
Descrizione			[200x720 mm]	[200x600 mm]
bullone M27				
interasse connettori		$a_{1min} = 7d = 189 \text{ mm}$	$a_1 = 190 \text{ mm}$	$a_1 = 190 \text{ mm}$
distanze tra file di connettori		$a_{2min} = 4d = 108 \text{ mm}$	$a_2 = 144 \text{ mm}$	$a_2 = 192 \text{ mm}$
distanze dall'estremità della trave		compresso	$a_{3c} = 190 \text{ mm}$	$a_{3c} = 190 \text{ mm}$
		teso	$a_{3f} = 190 \text{ mm}$	$a_{3f} = 190 \text{ mm}$
distanze min. dal bordo della trave		$a_{4,min} = 3d = 81 \text{ mm}$	$a_4 = 144 \text{ mm}$	$a_4 = 108 \text{ mm}$

Forze agenti sul singolo bullone del traverso di collegamento:

Per quanto riguarda l'arcareccio, i bulloni oggetto di studio si ritengono sottoposti a sforzi derivanti dalle sollecitazioni dello stesso. Le sollecitazioni trasmesse dall'arcareccio alla trave principale, e considerate in fase di verifica dell'unione in oggetto, sono state individuate per il concio più sollecitato.

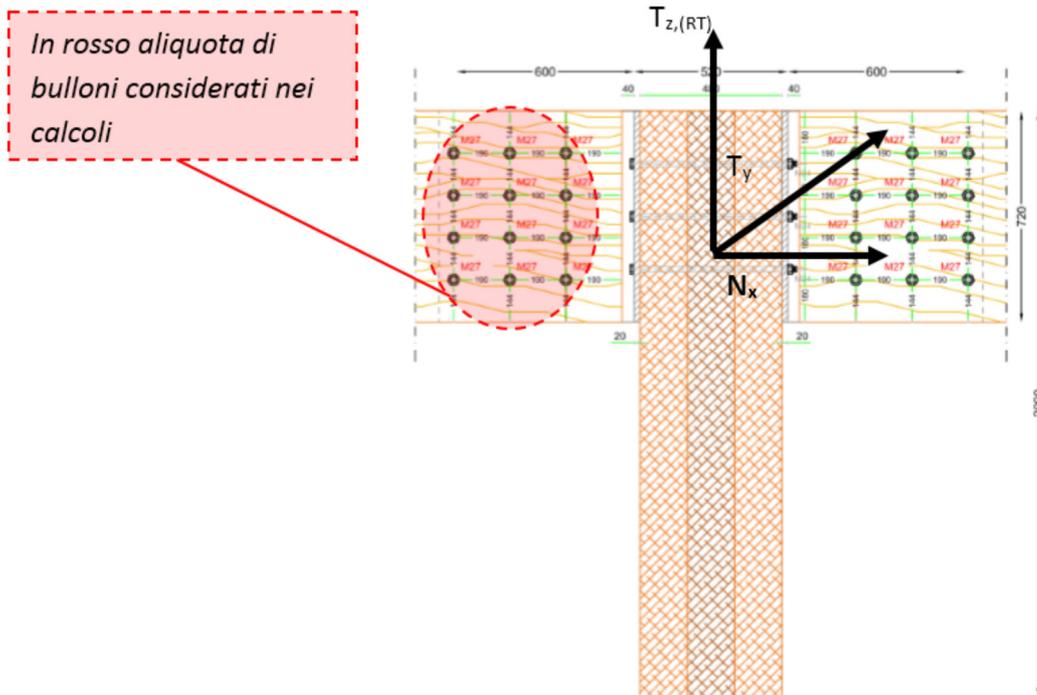
A vantaggio di sicurezza è stato scelto di studiare i collegamenti trattandoli come solidi alla De Saint Venant.

Le ipotesi di base per lo studio del presente collegamento sono le seguenti:

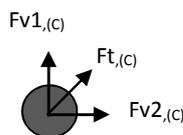
- utilizzo di bulloni M27 in classe di resistenza 8.8;
- bullonatura uniformemente distribuita;
- baricentro delle masse corrispondente al baricentro geometrico della piastra;
- ripartizione delle sollecitazioni su metà della piastra e dei bulloni ad essa afferente.

Le sollecitazioni ritenute afferenti ai bulloni e alla piastra in acciaio di seguito verificati, vengono ricavate effettuando una divisione delle sollecitazioni estratte dal modello di calcolo globale, secondo il numero di piastre di cui è composta l'unione in esame. Si procede perciò a ripartire la sollecitazione totale, afferente all'unione in esame, per le due piastre a destra e sinistra, e verificando, di conseguenza, i bulloni di un'unica piastra, per un mezzo della sollecitazione, considerata, per semplicità di calcolo, quella afferente ad una delle due piastre. Tutto questo valevole sia per gli arcarecci di misura 200 x 720 mm che per quelli più piccoli di misura 200 x 600 mm.

Lo schema di calcolo è di seguito illustrato:



Sistema locale di riferimento sull'elemento arcareccio



Sistema locale di riferimento dell'elemento bullone su traverso di collegamento

$F_{v1(C)}$ è una forza di taglio agente sul bullone (normale all'asse della travata) e viene ottenuta con la formula di seguito riportata dove T_z è lo sforzo di taglio lungo l'asse z della trave, ottenuta dal modello di calcolo globale per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime) e $n_{bulloni(C)}$ indica il numero totale di bulloni afferente alla piastra per ciascun lembo:

$$F_{v1(C)} = \frac{T_z}{2} \frac{1}{n_{bulloni(C)}}$$

$F_{v2(C)}$ è una forza di taglio agente sul bullone (parallela all'asse della travata) e viene ottenuta ripartendo linearmente le sollecitazioni di pressoflessione (momento M_y e sforzo assiale N), ottenute dal modello di calcolo globale per la per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime):

$$F_{x(M_y)} = \frac{\frac{M_y}{2} \frac{h}{2}}{\sum_{i=1}^{n_r} y_i^2} \frac{1}{n_f}$$

Va in oltre considerata la componente derivante dalla sollecitazione assiale N:

$$F_{x(N)} = \frac{N}{2} \frac{1}{n_{bulloni(C)}}$$

la $F_{v2(TP)}$ risulta allora data dalla somma di questi contributi:

$$F_{v,2} = F_{x(M_y)} + F_{x(N)}$$

Lo sforzo assiale $F_{t(C)}$ viene ottenuto con la formula di seguito riportata, dove T_y è la sollecitazione ricavata dal modello di calcolo globale per la combinazione più gravosa (riportata nella precedente tabella delle sollecitazioni massime) e $n_{bulloni(C)}$ indica il numero totale di bulloni afferente alla piastra per il lembo considerato:

$$F_{t(C)} = \frac{T_y}{n_{bulloni(C)}}$$

Forze agenti sul singolo bullone:

Secondo lo schema di calcolo di seguito descritto, si sono ottenute le forze di taglio e di trazione utilizzate per le verifiche.

Per quanto riguarda la forza di taglio, $F_{v,Ed}$, utilizzata per le verifiche a taglio dei bulloni e a rifollamento della piastra:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v1(C)}^2 + F_{v2(C)}^2}$$

Riguardo la forza assiale, $F_{t,Ed}$, utilizzata per le verifiche a trazione dei bulloni e a punzonamento della piastra:

$$F_{t,Ed} = F_{t(C)}$$

Verifiche Unione sull'arcareccio

VERIFICA BULLONI A TAGLIO $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{v,Rd}$ [N]	176256	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [200x720 mm] [N]	45036,91	3,913589614	Ok
$F_{v,Ed}$ [200x600 mm] [N]	41644,96	4,232348359	Ok

VERIFICA BULLONI A TRAZIONE $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$			
f_{tb} [N/mm ²]	800	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
A_{res} [mm ²]	459		
$F_{t,Rd}$ [N]	264384	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ [200x720 mm] [N]	2954,87	89,4738457	Ok
$F_{t,Ed}$ [200x600 mm] [N]	773,58	341,7648867	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A RIFOLLAMENTO $F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha f_{tk} d t}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
K	2,5		
α	1		
d [mm]	27		
t [mm]	15		
$F_{b,Rd}$ [N]	445500	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{v,Ed}$ [200x720 mm] [N]	45036,91	9,891885514	Ok
$F_{v,Ed}$ [200x600 mm] [N]	41644,96	10,69757168	Ok

VERIFICA PIASTRA IN ACCIAIO A PUNZONAMENTO $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$			
f_{tk} [N/mm ²]	550	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_{tk}}{\gamma_{M2}}$	
γ_{M2}	1,25		
d_m [mm]	41		
t_p [mm]	15		
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,2	Indicatore di sicurezza	Verifica
$F_{t,Ed}$ [200x720 mm] [N]	2954,87	230,0426504	Ok
$F_{t,Ed}$ [200x600 mm] [N]	773,58	878,6981239	Ok

VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO					
$F_{t,Rd}$ [N]	264384	$F_{v,Rd}$ [N]	176256	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	
$B_{p,Rd}$ [N]	679747,2	$F_{b,Rd}$ [N]	445500		
Con $F_{t,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$		Con $F_{v,Rd} = \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$			
		Tasso di lavoro		Indicatore di sicurezza	
$F_{t,Ed}$ [200x720 mm] [N]	2954,87	$F_{v,Ed}$ [200x720 mm] [N]	45036,91	0,263503072	3,79502217
$F_{t,Ed}$ [200x600 mm] [N]	773,58	$F_{v,Ed}$ [200x600 mm] [N]	41644,96	0,349760867	2,859096301

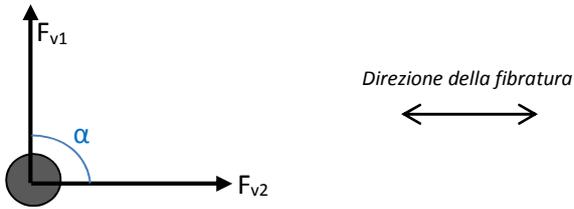
VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEL LEGNO trave principale

Riepilogo caratteristiche del materiale	
Classe di Resistenza (GL28h) [Mpa]	28
Classe di servizio	2
Coefficiente parziale per il materiale γ_M	1,45
Coefficiente di deformazione	2
Classi di durata carico	Lunga durata
K_{mod}	0,7

Valori caratteristici		Valori di progetto		
$f_{m,k}$ [MPa]	28,00	$f_{m,d}$ [MPa]	13,52	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa]	19,50	$f_{t,0,d}$ [MPa]	9,41	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,45	$f_{t,90,d}$ [MPa]	0,22	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa]	26,50	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,79	Compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa]	3,00	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45	Compressione ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa]	3,20	$f_{v,d}$ [MPa]	1,54	Taglio
Moduli elastici				
$E_{0,mean}$ [MPa]	12.600	Modulo elastico parallelo medio		
$E_{90,mean}$ [MPa]	420	Modulo elastico ortogonale medio		
$E_{0,05}$ [MPa]	10.200	Modulo elastico parallelo caratteristico		
G_{mean} [MPa]	780	Modulo elastico tangenziale medio		
Massa volumica				
Massa volumica caratteristica [Kg/m ³]	410			

MOMENTO CARATTERISTICO A SNERVAMENTO		
$M_{y,Rk} = \frac{\zeta_b f_{u,k} d^3}{6}$		
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	800	$\zeta = \frac{1,8}{d^{0,4}}$
d [mm]	27	
ζ_b [1/mm]	0,4816449	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	

FORZE DI TAGLIO AGENTI SUL SINGOLO BULLONE (arcareccio 200x720 mm)			
Forze di taglio F_{v1}	F_{v1} [200x720 mm] [KN]	3,231485583	
	F_{v1} [200x600 mm] [KN]	2,156775222	
Forze di taglio F_{v2}	F_{v2} [200x720 mm] [KN]	44,92083202	
	F_{v2} [200x600 mm] [KN]	41,58907843	



VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=0$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	0	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$
$F_{h,0,k}$ [MPa]	24,54	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	200	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	132,53	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	205,87	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	66,57	

VALORE CARATTERISTICO DI RESISTENZA AL TAGLIO $\alpha=90^\circ$		
$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & IA \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & IIA \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} & IIIA \end{cases}$		
α	90	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$
$F_{h,90,k}$ [MPa]	13,98	
d [mm]	27	
t_1 [mm]	200	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	1264029,00	
$F_{v,Rk}$ IA [KN]	75,52	Con Min $F_{v,Rk}$
$F_{v,Rk}$ IIA [KN]	140,87	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	50,25	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione della fibratura F_{v2}			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	1	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	54,94	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	26,52	
F_{v2} [200x720 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	44,92	
F_{v2} [200x600 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	41,59	
Indicatore di sicurezza		Verifica	
F_{v2} [200x720 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	1,43	ok	
F_{v2} [200x600 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	1,55	ok	

VERIFICA A RIFOLLAMENTO direzione ortogonale alla fibratura F_{v1}			
$F_{v,Rd} = \frac{n_t k_{mod} F_{v,Rk,MIN}}{\gamma_M}$			
n_t	numero piani di taglio	1	
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per le unioni	1,45	
k_{mod}	Coefficiente	0,7	
$F_{v,Rk}$ IIIA [KN]	Valore minimo caratteristico resistenza a taglio	42,02	
$F_{v,Rd}$ [KN]	Valore di progetto resistenza a taglio del singolo spinotto	20,28	
F_{v1} [200x720 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	3,23	
F_{v1} [200x600 mm] [KN]	Valore dello sforzo tagliante agente sul singolo bullone	2,16	
Indicatore di sicurezza		Verifica	
F_{v1} [200x720 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	15,01	ok	
F_{v1} [200x600 mm] [KN] / $F_{v,Rd}$	22,49	ok	

7. ARCATA IN LEGNO PRINCIPALE (Allegato relazione 13)

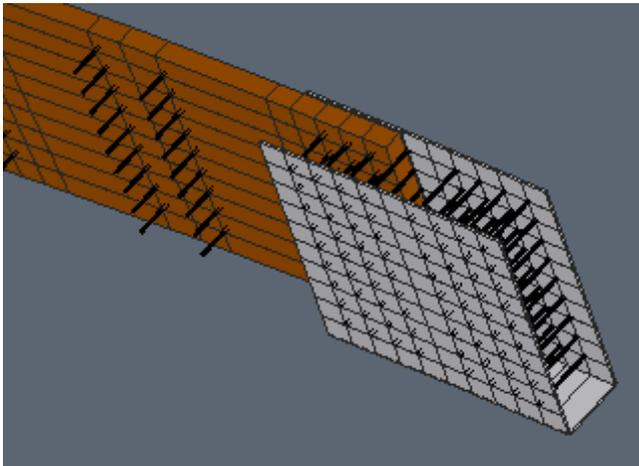
7.1 PROGETTO ASOLA IN LEGNO SUL LEMBO DESTRO (Allegato relazione 13.1)

Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per l'asola in legno lamellare sul lembo destro della arcata principale, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

L'arcata principale in legno si compone di tre gruppi di asole tagliate opportunamente in base alle esigenze di trasporto e montate in modo sfalsato per evitare che le discontinuità delle tre asole vengano a coincidere nella stessa sezione. L'asola in legno lamellare sul lembo destro della arcata principale ha spessore di 16 mm e altezza di 2000 mm e si compone nello sviluppo assiale di quattro tratti come mostrano di seguito le immagini.

Le verifiche sono state svolte per ciascuno dei quattro tratti, considerando le azioni di calcolo agenti nel piano della arcata per la combinazione più gravosa con neve in accumulo.

Con la modellazione dell'arcata principale, costituita da più conci di asole, che prevede una discretizzazione ad elementi finiti di tipo shell (bidimensionali) di spessore 16 mm (spessore effettivo di ogni singola asola), è stata effettuata la risposta strutturale in termini di sforzi o sollecitazioni portati dagli elementi, dimostrando che gli stati tensionali con cui reagisce il legno risultano compatibili con i limiti di resistenza imposti dalla Normativa secondo il calcolo agli stati limite ultimi SLU. Alla luce di questo si conclude che l'arcata risulta verificata in termini di resistenza anche con l'approccio più sofisticato a conferma dei risultati trovati con il calcolo globale, allegato al presente progetto, e a ulteriore conferma della correttezza di entrambi i calcoli effettuati (modello globale e parziale sofisticato).



Dati generali asola in legno destra	
Descrizione	L'asola in legno lamellare sul lembo destro della arcata principale ha spessore di 16 mm e altezza di 2000 mm e si compone nello sviluppo assiale di quattro tratti.
Norma di riferimento	NTC 2008 capitolo 4, Circolare 2 Febbraio 2009 ai sensi di capitolo 4, UNI EN 1995-1 – Costruzioni in legno, Istruzioni CNR-DT 206/2007.
Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi delle NTC 2008 capitolo 4 punto 4.4.6 Tab. 4.4.III	
legno	γ_M 1.45
Dati geometrici asola in legno destra	
spessore t [mm]	16
altezza [mm]	2000
classe legno	GL28h
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.	

Le **verifiche di resistenza** dell'asola in legno lamellare sul lembo destro della arcata principale si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4, 5, 6 e 7 della relazione 13.1.

7.2 PROGETTO ASOLA IN LEGNO CENTRALE (Allegato relazione 13.2)

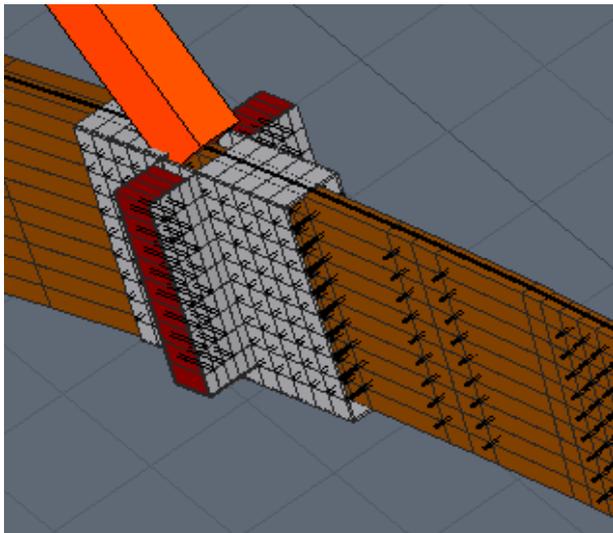
Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per l'asola in legno lamellare sul lembo centrale della arcata principale, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

L'arcata principale in legno si compone di tre gruppi di asole tagliate opportunamente in base alle esigenze di trasporto e montate in modo sfalsato per evitare che le discontinuità delle tre asole vengano a coincidere nella stessa sezione.

L'asola in legno lamellare sul lembo centrale della arcata principale ha spessore di 16 mm e altezza di 2000 mm e si compone nello sviluppo assiale di quattro tratti come mostrano di seguito le immagini.

Le verifiche sono state svolte per la combinazione più gravosa con neve in accumulo, considerando le azioni di calcolo agenti sulla travata e trasmesse dagli elementi di collegamento trasversali (Ritegni, travi di collegamento e arcarecci).

Con la modellazione dell'arcata principale, costituita da più conci di asole, che prevede una discretizzazione ad elementi finiti di tipo shell (bidimensionali) di spessore 16 mm (spessore effettivo di ogni singola asola), è stata effettuata la risposta strutturale in termini di sforzi o sollecitazioni portati dagli elementi, dimostrando che gli stati tensionali con cui reagisce il legno risultano compatibili con i limiti di resistenza imposti dalla Normativa secondo il calcolo agli stati limite ultimi (SLU). Alla luce di questo si conclude che l'arcata risulta verificata in termini di resistenza anche con l'approccio più sofisticato a conferma dei risultati trovati con il calcolo globale, allegato al presente progetto, e a ulteriore conferma della correttezza di entrambi i calcoli effettuati (globale e parziale sofisticato).



Dati generali asola in legno centrale

Descrizione	L'asola in legno lamellare sul lembo centrale della arcata principale ha spessore di 16 mm e altezza di 2000 mm e si compone nello sviluppo assiale di quattro tratti.
-------------	--

Norma di riferimento	NTC 2008 capitolo 4, Circolare 2 Febbraio 2009 ai sensi di capitolo 4, UNI EN 1995-1 – Costruzioni in legno, Istruzioni CNR-DT 206/2007.
----------------------	---

Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi delle NTC 2008 capitolo 4 punto 4.4.6 Tab. 4.4.III

legno	γ_M	1.45
-------	------------	------

Dati geometrici asola in legno centrale

spessore t [mm]	16
altezza [mm]	2000
classe legno	GL28h

Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.

Le **verifiche di resistenza** dell'asola in legno centrale della arcata principale si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4, 5, 6 e 7 della relazione 13.2.

7.3 PROGETTO ASOLA IN LEGNO SUL LEMBO SINISTRO (Allegato relazione 13.3)

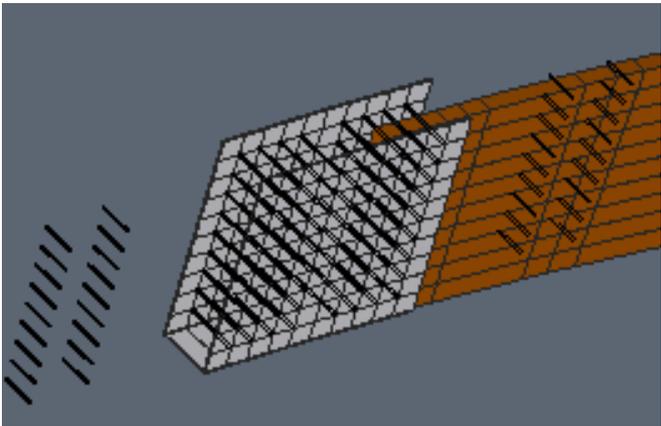
Si riportano di seguito i risultati delle Verifiche allo SLU di Resistenza previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009 per l'asola in legno lamellare sul lembo sinistro della arcata principale, facendo riferimento alla risposta strutturale del modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) di tipo sofisticato.

L'arcata principale in legno si compone di tre gruppi di asole tagliate opportunamente in base alle esigenze di trasporto e montate in modo sfalsato per evitare che le discontinuità delle tre asole vengano a coincidere nella stessa sezione.

L'asola in legno lamellare sul lembo sinistro della arcata principale ha spessore di 16 mm e altezza di 2000 mm e si compone nello sviluppo assiale di quattro tratti come mostrano di seguito le immagini.

Le verifiche sono state svolte per ciascuno dei quattro tratti, considerando le azioni di calcolo agenti nel piano della arcata per la combinazione più gravosa con neve in accumulo.

Con la modellazione dell'arcata principale, costituita da più conci di asole, che prevede una discretizzazione ad elementi finiti di tipo shell (bidimensionali) di spessore 16 mm (spessore effettivo di ogni singola asola), è stata effettuata la risposta strutturale in termini di sforzi o sollecitazioni portati dagli elementi, dimostrando che gli stati tensionali con cui reagisce il legno risultano compatibili con i limiti di resistenza imposti dalla Normativa secondo il calcolo agli stati limite ultimi SLU. Alla luce di questo si conclude che l'arcata risulta verificata in termini di resistenza anche con l'approccio più sofisticato a conferma dei risultati trovati con il calcolo globale, allegato al presente progetto, e a ulteriore conferma della correttezza di entrambi i calcoli effettuati (modello globale e parziale sofisticato).

	Dati generali asola in legno sinistra	
	Descrizione	L'asola in legno lamellare sul lembo sinistro della arcata principale ha spessore di 16 mm e altezza di 2000 mm e si compone nello sviluppo assiale di quattro tratti.
	Norma di riferimento	NTC 2008 capitolo 4, Circolare 2 Febbraio 2009 ai sensi di capitolo 4, UNI EN 1995-1 – Costruzioni in legno, Istruzioni CNR-DT 206/2007.
	Coefficienti parziali di sicurezza ai sensi delle NTC 2008 capitolo 4 punto 4.4.6 Tab. 4.4.III	
legno	γ_M	1.45
Dati geometrici asola in legno sinistra		
spessore t [mm]	16	
altezza [mm]	2000	
classe legno	GL28h	
Si rimanda alla "Tab. 18-4 classi di resistenza del legno lamellare di conifera omogeneo e combinato EN(1194)" delle istruzioni CNR-DT 206/2007.		

Le **verifiche di resistenza** dell'asola in legno lamellare sul lembo sinistro della arcata principale si rimanda alle tabelle di verifica nei paragrafi 4, 5, 6 e 7 della relazione 13.3.