PROVINCIA DI IMPERIA
Prot. n. 0023089 29 MAG 2015
Ctg.02 Fas.06 Cl.11

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI

Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo

ALLEGATO

Fondi ARCUS 2010-12

Committente e Stazione Appaltante: Provincia di Imperia
Direzione Regionale BCP Liguria - Soprintendenza BA Liguria
In collaborazione col Comune di Ventimiglia

RESTAURO, RIUSO E RIQUALIFICAZIONE DEL TEATRO ROMANO DI VENTIMIGLIA

II° STRALCIO

ELABORATO D2

RELAZIONE DI CALCOLO

"VERIFICA STATICA PASSERELLA DI ACCESSO AL TEATRO"

Dirigente responsabile
Dr.ssa Lucia Baudo (Provincia di Imperia) .....

Responsabile unico del procedimento
Ing. Enrico Lauretti (Provincia di Imperia) .....

Progettista
Arch. Domenico Podestà - Salita San Matteo 19 int. 21a – Genova .....

Co-Progettisti
Arch. Luisa De Marco (Direzione Reg. per i Beni Culturali e Paesaggistici della Liguria) .....

Dr. Luigi Gambaro (Soprintendenza per i Beni Archeologici della Liguria) .....

Collaboratori alla progettazione
Collaboratori alla progettazione architettonica: Maria Podestà - Arch. Cinzia Mazzini
Collaboratore alla progettazione strutturale: Arch. Giuditta Parodi
Collaboratore alla progettazione impiantistica: Ing. Claudio Gianì

Coordinamento sicurezza in fase di Progettazione e di Esecuzione
Ing. Paolo Rovere – via F.R. Carli 9/1 – Imperia .....

ORDINE DEGLI INGEGNERI - PROVINCIA DI IMPERIA
PAOLO ROVERE
INGEGNERE
Civile ed Ambientale
A 821

SOMMARIO

1. VERIFICA DELLA PASSERELLA DI ACCESSO AL TEATRO
- DESCRIZIONE DELL'OPERA
- NORMATIVA DI RIFERIMENTO
- MATERIALI ADOTTATI

1.1 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI –travi secondarie
1.1.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI
1.1.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

1.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI –pilastro
1.2.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

2. VERIFICA PASSERELLA parodos occidentale
- DESCRIZIONE DELL'OPERA

2.1 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI –travi secondarie
2.1.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI
2.1.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

2.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI –travi principali
2.2.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI
2.2.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

1. VERIFICA DELLA PASSERELLA DI ACCESSO AL TEATRO

DESCRIZIONE DELL'OPERA

Struttura in acciaio della passerella di accesso al Teatro(lato ovest).

- Larghezza passerella: 1.4 m
- Interasse max. travi secondarie: 1.2 m
- Altezza max. pilastro: 1.5 m

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministeriale 14/01/2008, "Nuove norme tecniche per le costruzioni", Ministero delle Infrastrutture,Gazzetta ufficiale 04/02/2008 n. 29;
- Circolare 2 febbraio 2009 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27;

MATERIALI ADOTTATI

- Travi e pilastri in acciaio **S235 H (EN 10210)**
- Pianerottoli in grigliato metallico

PROPRIETA' DEI MATERIALI

Profili cavi per la costruzione formati a caldo EN 10210

Modulo elastico	Modulo di elasticità trasversale	Coefficiente di Poisson	Coefficiente di dilatazione termica lineare	Densità
E	**G**	ν	α	ρ
N/mm^2	N/mm^2	[-]	$°C^{-1}$	kg/m^3
210000	E/[2(1+υ)]	0.3	$12x10^{-6}$	7850

RESISTENZE DI CALCOLO ADOTTATE (NTC 2008, tab. 11.3.X).

Acciaio S 235 H (UNI EN 10210-1)

- Tensione caratteristica di snervamento: f_{yk}=235 N/mm2
- Tensione caratteristica di rottura: f_{tk}=360 N/mm2

ANALISI DEI CARICHI

- Peso unità di volume acciaio: 78,5 kN/m^3;
- Peso grigliato 0,3 kN/m^2
- Sovraccarico di esercizio: q_k= 4 kN/m^2 (NTC 2008, tab. 3.1.II: categoria C2);

1.1 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Travi secondarie

- Lunghezza trave =1,4 m
- Interasse =1,2 m

E' necessario calcolare i carichi al metro lineare che gravano sulle travi secondarie che sostengono il grigliato metallico. Per fare questa operazione si moltiplicano i carichi totali per unità di superficie per l'interasse delle travi: i =1,2 m

Lo schema statico adottato è quello di trave su due appoggi con carico uniformementedistribuito.

- Carichi permanenti (grigliato) G_1=0,3KN/m^2*1,2 m= 0,36 kN/m
- Carico di esercizio (affollamento) Q_{Uso}= 4KN/m^2*1,2m= 4,8 kN/m

$Q_{slu} = \gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{Q1USO} * Q_{k\ USO}$
$Q_{slu} = 1{,}3 * G_1 + 1{,}5 * Q_{k\ USO}$
Q_{slu}= 1,3*0,36 + 1,5*4,8= 7,67kN/m

M_{ed}= Q*L^2/8= 1,9 kN*m
V_{ed}= Q*L/2= 5,4 kN

PREDIMENSIONAMENTO
M_{ED} = 1,9 kN*m
$W_{EL,min} = M_{ED} * \gamma_{MO} / f_{yk}$ =1,9*10^6*1,05 / 235= 8489,36 mm^3 =8,48 cm^3
→Si sceglie il profilo cavoa sezione quadrata **60x60x2,5**, caratterizzato da un W_x=12,2 cm^3.

Si riportano di seguito le caratteristiche del profilo scelto:

Dimensione del lato	Spessore	Massa a ml	Area della sezione	Momento d'inerzia	Raggio d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Modulo di resistenza plastico	Momento d'inerzia di torsione	Costante di torsione	Superficie esterna a ml	Lunghezza per ton
D	t	M	A	I	i	W_{el}	W_{pl}	I_t	C_t		
mm	mm	kg/m	cm^2	cm^4	cm	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2/m	m/t
60	**2,5**	4,46	5,68	31,1	2,34	10,4	12,2	48,5	15,2	0,234	224

1.1.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI
CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

- Tab.4.2.II NTC– Parti Interne:
  - t_w=2,5 mm
  - c=60 -(2,5+2,5)=55 mm

    $c/t_w \leq 72 * \varepsilon$

    $\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = 1$

    $c/t_w = 22 \leq 0{,}72 * \varepsilon$ ➔ classe 1

Quindi si applicano le verifiche a resistenza per i profili di classe 1.

FLESSIONE MONOASSIALE (RETTA)

Verifica a flessione retta della sezione								
Mpl,Rd=(Wpl* fyK)/γM0)		**2.73**	kNm		momento plastico resistente			
		dove:						
		Wpl	12.2	cmc	modulo resistenza plastica della sezione			
		fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento dell'accaio			
		γM0	1.05	adim.	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008			
Verifica								
(Med/Mpl,Rd) < 1		**0.70**	**Verificato**					
		dove:						
		MEd	1.9	kNm	momento agente sulla sezione			

VERIFICA A TAGLIO E FLESSIONE PROFILI RETTANGOLARI CAVI

Verifica a taglio Profilati Rettangolari caricati nella direzione parallela all'altezza del profilo										
VcRd=(Av * fyk)/(√3*γ_{M0})		**36.70**	kN	resistenza di calcolo a taglio						
		dove:								
		Av= (A * h) / (b+h)		2.84	area resistente al taglio della sezione					
		A	5.68	cmq	area della sezione del profilo					
		h	60	mm	altezza della sezione cava					
		b	60	mm	larghezza sezione cava					
		fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento della sezione					
		γ_{M0}	1.05	adim.	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008					
Verifica										
Ved/Vcrd <	**0.147**	Verificato								
		dove:								
		Ved	5.4	kN	taglio agente sulla sezione					

Verifica a Flessione e Taglio della sezione										
Ved<0,50 * Vc, Rd		**Verificato**								

1.1.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

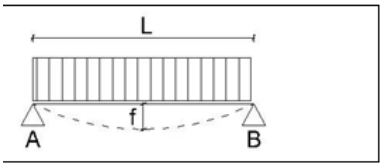
SPOSTAMENTO VERTICALE (verifica a deformazione)

Combinazione più sfavorevole agli SLE:

- Rara: **G1 + Qk_{USO}**
  $Q_{SLE,dmax}$= 0,36 + 4,8= 5,16 kN/m
  $Q_{SLE,d2}$= 4,8 kN/m

Da tab. 4.2.X_"Solai in generale":

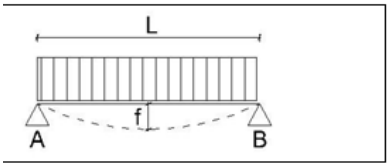
δ_{max}/L≤1/250 : spostamento dovuto al carico totale (G+Q)
δ_2/L≤1/300 : spostamento dovuto al carichi variabili (Q)



Trave in semplice appoggio - carico uniformemente distribuito

L	1.4	[m]	J	311000	[mm^4]	$f=\frac{5}{384}\frac{qL^4}{EJ}$ =	3.95	[mm]
q	5.16	[kN/m]						

3.95/1400≤1/250→ verificato



Trave in semplice appoggio - carico uniformemente distribuito

L	1.4	[m]	J	311000	[mm^4]	$f=\frac{5}{384}\frac{qL^4}{EJ}$ =	3.68	[mm]
q	4.8	[kN/m]						

3,68/1400≤1/300→ verificato

Anche per le travi principali si sceglie il profilo cavo **60x60x2.5**.

1.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Pilastro. Lo schema statico è quello di trave incastrata ad un estremo con carico puntuale.
La forza agente sul pilastro deriva dalle reazioni vincolari degli elementi secondari.
N_{ed}= 5.4 kN
Si sceglie il profilo cavoa sezione quadrata **60x60x4**.

Si riportano di seguito le caratteristiche del profilo scelto:

Dimensione del lato	Spessore	Massa a ml	Area della sezione	Momento d'inerzia	Raggio d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Modulo di resistenza plastico	Momento d'inerzia di torsione	Costante di torsione	Superficie esterna a ml	Lunghezza per ton
D	t	M	A	I	i	W_{el}	W_{pl}	I_t	C_t		
mm	mm	kg/m	cm^2	cm^4	cm	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2/m	m/t
60	**4**	6,9	8,79	45,3	2,27	15,1	18,3	72,5	22	0,23	145

1.2.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

VERIFICA INSTABILITA' A COMPRESSIONE

Verifica di instabilità a compressione per sezione di classe 1, 2, 3					
$N_{ED}/N_{b,Rd}<1$		**0.07**	**Verificato**	per sezioni di classe 1,2 e 3	
	dove:				
	$N_{b,Rd}$= (χ*A*Fyk) / γ_{M1}	81.46	kN	per sezioni di classe 1 , 2 e 3	
	χ = 1 / (Φ+(√(Φ^2-λ^2)	0.41	adim.	per sezioni di classe 1 , 2 e 3	
	λ=√(A * fyk) / Ncr	1.41	adim.	snellezza per sezioni di classe 1,2 e 3	
	A	8.79	cmq	area della sezione	
	fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento dell'acciaio	
	Ncr	104.22	kN	carico critico	
	Φ = 0,5*[1+α*(λ-0,2)+λ^2]	1.62	adim.	per sezioni di classe 1, 2 e 3	
	α	0.21	adim.		
	γ_{M1}	1.05	adim.	coeff. di sicurezza	
	NED	5.4	kN	sforzo normale agente sulla sezione	
	Jx	45.3	cm4		
	L_0	1500	mm		

2. VERIFICA PASSERELLA parodos occidentale

DESCRIZIONE DELL'OPERA

Struttura in acciaio della passerella della Parodos occidentale (in corrispondenza della pedana elevatrice per disabili).

- Larghezza passerella: 0.95 m
- Interasse max. travi secondarie: 0.9 m
- Altezza max. pilastro: 1.5 m

RESISTENZE DI CALCOLO ADOTTATE (NTC 2008, tab. 11.3.X).

Acciaio S 235 H (UNI EN 10210-1)

- Tensione caratteristica di snervamento: f_{yk}=235 N/mm2
- Tensione caratteristica di rottura: f_{tk}=360 N/mm2

ANALISI DEI CARICHI

- Peso unità di volume acciaio: 78,5 kN/m^3;
- Peso grigliato 0,3 kN/m^2
- Sovraccarico di esercizio: q_k= 4 kN/m^2 (NTC 2008, tab. 3.1.II: categoria C2);

2.1 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Travi secondarie

- Lunghezza trave =0.95 m
- Interasse =0.9 m

- Carichi permanenti (grigliato) G_1=0,3KN/m^2*0.9 m= 0,27 kN/m
- Carico di esercizio (affollamento) Q_{Uso}= 4KN/m^2*0.9 m= 3,6 kN/m

$Q_{slu} = \gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{Q1USO} * Q_{k\ USO}$

$Q_{slu} = 1{,}3 * G_1 + 1{,}5 * Q_{k\ USO}$

$\underline{Q_{slu} = 1{,}3*0{,}27 + 1{,}5*3{,}6 =}$ **5,75kN/m**

M_{ed}= Q*L^2/8= 0,65 kN*m

V_{ed}= Q*L/2= 2,73 kN

PREDIMENSIONAMENTO

M_{ED} = 0,65 kN*m

$W_{EL,min} = M_{ED} * \gamma_{MO} / f_{yk}$ =0,65*10^6*1,05 / 235= 2904,25 mm^3 =2,9 cm^3

→Si sceglie il profilo cavoa sezione quadrata **50x50x2,5**, caratterizzato da un W_x=8,29 cm^3.

Si riportano di seguito le caratteristiche del profilo scelto:

Dimensione del lato D mm	Spessore t mm	Massa a ml M kg/m	Area della sezione A cm^2	Momento d'inerzia I cm^4	Raggio d'inerzia i cm	Modulo di resistenza elastico W_{el} cm^3	Modulo di resistenza plastico W_{pl} cm^3	Momento d'inerzia di torsione I_t cm^4	Costante di torsione C_t cm^3	Superficie esterna a ml m^2/m	Lunghezza per ton m/t
50	**2,5**	3,68	4,68	17,4	1,93	6,98	8,29	27,5	10,2	0,194	272

2.1.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

Verifica classe anima sogetta a flessione						
c / t	**18.00**					
		dove:	c	45	mm	altezza anima
			t	2.5	mm	spessore anima
C *ε	**72.00**		limite per sezioni di classe 1			
		dove:	ε=√235/fyk	1		deformazione
			fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento acciaio
			C	72	adim.	Coeff. di riferimento della classe delle sezione
Verifica						
c / t < 72*ε	**Verificato**		**sezione appartenente alla classe 1**			

FLESSIONE MONOASSIALE (RETTA)

Verifica a flessione retta della sezione					
Mpl,Rd=(Wpl* fyK)/γ_{M0})	**1.86**	kNm		momento plastico resistente	
	dove:				
	Wpl	8.29	cmc	modulo resistenza plastica della sezione	
	fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento dell'accaio	
	γ_{M0}	1.05	adim.	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008	
Verifica					
(Med/Mpl,Rd) < 1	**0.35**	**Verificato**			
	dove:				
	MEd	0.65	kNm	momento agente sulla sezione	

VERIFICA A TAGLIO E FLESSIONE PROFILI RETTANGOLARI CAVI

Verifica a taglio Profilati Rettangolari caricati nella direzione parallela all'altezza del profilo					
VcRd=(Av * fyk)/(√3*γ_{M0})	**30.24**	kN	resistenza di calcolo a taglio		
	dove:				
	Av= (A * h) / (b+h)		2.34	area resistente al taglio della sezione	
	A	4.68	cmq	area della sezione del profilo	
	h	50	mm	altezza della sezione cava	
	b	50	mm	larghezza sezione cava	
	fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento della sezione	
	γ_{M0}	1.05	adim.	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008	
Verifica					
Ved/Vcrd <	**0.090**	Verificato			
	dove:				
	Ved	2.73	kN	taglio agente sulla sezione	

Verifica a Flessione e Taglio della sezione		
Ved<0,50 * Vc, Rd	**Verificato**	

2.1.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

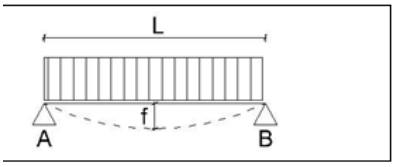
SPOSTAMENTO VERTICALE (verifica a deformazione)

Combinazione più sfavorevole agli SLE:

- Rara: **G1 + Qk_{USO}**
  $Q_{SLE,dmax}$= 0,27 + 3,6= 3,87kN/m
  $Q_{SLE,d2}$= 3,6kN/m

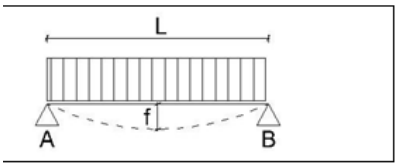
Da tab. 4.2.X_"Solai in generale":

δ_{max}/L≤1/250 : spostamento dovuto al carico totale (G+Q)
δ_2/L≤1/300 : spostamento dovuto al carichi variabili (Q)



Trave in semplice appoggio - carico uniformemente distribuito							
L	0.95	[m]	J	174000	[mm^4]	$f=\frac{5}{384}\frac{qL^4}{EJ}$ =	1.12 [mm]
q	3.87	[kN/m]					

1.12/950≤1/250→ verificato



Trave in semplice appoggio - carico uniformemente distribuito							
L	0.95	[m]	J	174000	[mm^4]	$f=\frac{5}{384}\frac{qL^4}{EJ}$ =	1.04 [mm]
q	3.6	[kN/m]					

1.04/950≤1/300→ verificato

2.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Travi principali

- Lunghezza trave =1.75 m

Le forze agenti sulle travi principali sono date dalle reazioni vincolari delle travi secondarie.

Per ragioni geometriche si sceglie il profilo cavoa sezione rettangolare **80x40x3.**

Si riportano di seguito le caratteristiche del profilo scelto:

Dimensioni dei lati		Spes-sore	Massa a ml	Area della sezione	Momento d'inerzia		Raggio d'inerzia		Modulo di resistenza elastico		Modulo di resistenza plastico		Momento d'inerzia di torsione	Costante di torsione	Superficie esterna a ml	Lunghezza per ton
h	b	t	M	A	I_y	I_z	i_x	i_z	W_{el-y}	W_{el-z}	W_{pl-y}	W_{pl-z}	I_t	C_t		
mm		mm	kg/m	cm^2	cm^4		cm		cm^3		cm^3		cm^4	cm^3	m^2/m	m/t
80	40	3	5,29	6,74	54,2	18	2,83	1,63	13,5	8,99	17,1	10,4	43,8	15,3	0,232	189

Dalla combinazione degli effetti dovuti ai carichi variabili e permanenti i diagrammi delle sollecitazioni sono i seguenti:

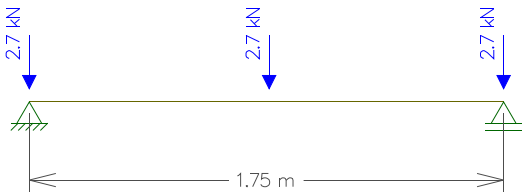


Diagramma T:

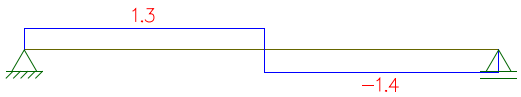
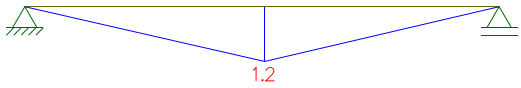


Diagramma M:



M_{ed}= 1,2 kN*m
V_{ed}= 1,4 kN

2.2.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

c / t	**24.67**									
		dove:	c	74	mm	altezza anima				
			t	3	mm	spessore anima				
C *ε	**72.00**		limite per sezioni di classe 1							
		dove:	ε=√235/fyk	1		deformazione				
			fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento acciaio				
			C	72	adim.	Coeff. di riferimento della classe delle sezione				
Verifica										
c / t < 72*ε	**Verificato**		**sezione appartenente alla classe 1**							

FLESSIONE MONOASSIALE (RETTA)

Verifica a flessione retta della sezione								
Mpl,Rd=(Wpl* fyK)/γ_{M0})		**3.83**	kNm		momento plastico resistente			
		dove:						
		Wpl	17.1	cmc	modulo resistenza plastica della sezione			
		fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento dell'accaio			
		γ_{M0}	1.05	adim.	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008			
Verifica								
(Med/Mpl,Rd) < 1		**0.31**	**Verificato**					
		dove:						
		MEd	1.2	kNm	momento agente sulla sezione			
DATI INPUT								
DATIOUTUP								

VERIFICA A TAGLIO E FLESSIONE PROFILI RETTANGOLARI CAVI

Verifica a taglio Profilati Rettangolari caricati nella direzione parallela all'altezza del profilo										
VcRd=(Av * fyk)/(√3*γM0)		**58.06**	kN	resistenza di calcolo a taglio						
		dove:								
		Av= (A * h) / (b+h)		4.49	area resistente al taglio della sezione					
		A	6.74	cmq	area della sezione del profilo					
		h	80	mm	altezza della sezione cava					
		b	40	mm	larghezza sezione cava					
		fyk	235	N/mmq	tensione di snervamento della sezione					
		γM0	1.05	adim.	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008					
Verifica										
Ved/Vcrd <	**0.024**	Verificato								
		dove:								
		Ved	1.4	kN	taglio agente sulla sezione					

Verifica a Flessione e Taglio della sezione									
Ved<0,50 * Vc, Rd	**Verificato**								

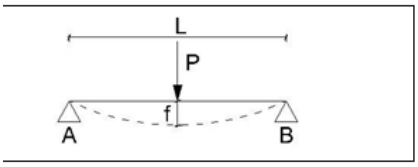
2.2.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

SPOSTAMENTO VERTICALE (verifica a deformazione)

Da tab. 4.2.X_"Solai in generale":

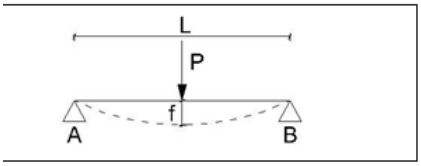
δ_{max}/L≤1/250 : spostamento dovuto al carico totale (G+Q)

δ_2/L≤1/300 : spostamento dovuto al carichi variabili (Q)



Trave in semplice appoggio - carico concentrato in mezzeria							
L	1.75	[m]	J	542000	[mm⁴]	$f = \frac{PL^3}{48EJ}$ =	1.80 [mm]
P	1.84	[kN]					

1.8/1750≤1/250→ verificato



Trave in semplice appoggio - carico concentrato in mezzeria							
L	1.75	[m]	J	542000	[mm⁴]	$f = \frac{PL^3}{48EJ}$ =	1.68 [mm]
P	1.71	[kN]					

1.68/1750≤1/300→ verificato