

BMS	Procedura Valutazione della capacità al transito di carichi eccezionali su ponti a travata: livelli 1, 2 e 3	PR.CE.01 vers. 1.1 20 Settembre 2012
SOMMARIO	La procedura specifica le modalità operative per valutare la sicurezza strutturale di un ponte a travata esistente, secondo il Livello 1, 2 e 3 di valutazione.	
RIFERIMENTI	MA.GG.01: Guida generale - Sistema ispettivo PR.PS.01: Norme generali per l'esecuzione di prove di caratterizzazione sperimentale di ponti esistenti DM 14/01/2008: Norme tecniche per le costruzioni Circ. n.384 del 14/02/1962: Norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali. CNR 10024/86: Analisi di strutture mediante elaboratore. Impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.	
SGS/SISF PAT	Sistema per la gestione dei manufatti stradali della Provincia Autonoma di Trento. Gestione del sistema a cura del Servizio Gestione Strade e del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università di Trento.	

SOMMARIO

1	GENERALITÀ	5
1.1	PREMESSA	5
1.2	DEFINIZIONE	5
1.3	AGGIORNAMENTI DELLA PRESENTE PROCEDURA	5
1.4	PRINCIPI E REGOLE APPLICATIVE.....	6
1.5	RIFERIMENTI	6
1.6	UNITÀ DI MISURA.....	6
1.7	TERMINI E DEFINIZIONI	6
1.8	SIMBOLI.....	7
2	QUALIFICA E COMPITI DEL VALUTATORE	8
2.1	SCOPO DELLA VALUTAZIONE	8
2.2	QUALIFICA DEL VALUTATORE.....	8
2.3	LIVELLI DI VERIFICA	8
3	INFORMAZIONI NECESSARIE PER LA VERIFICA	9
3.1	ISPEZIONI E VALUTAZIONI PRECEDENTI.....	9
3.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....	9
3.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	10
3.4	SOPRALLUOGO	11
3.5	CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	11
3.6	SINTESI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE PRELIMINARE.....	11
4	CONDIZIONI DI CARICO	11
4.1	SCHEMI DI CARICO	11
4.2	POSIZIONE TRASVERSALE DEL CARICO	14
4.3	COMBINAZIONI DI CARICO	15
5	PROCEDURE DI VERIFICA	16
5.1	METODO DI VERIFICA	16
5.2	COEFFICIENTE DI CARENZA DI CAPACITÀ.....	18
5.3	NORME SPECIFICHE PER LE VERIFICHE DI LIVELLO 1	19
5.4	NORME SPECIFICHE PER LE VERIFICHE DI LIVELLO 2	19
5.4.1	Requisiti Generali dei modelli livello di verifica 2	20
5.5	NORME SPECIFICHE PER LE VERIFICHE DI LIVELLO 3	21
5.5.1	In presenza della documentazione di progetto.....	21
5.5.2	In caso di assenza della documentazione di progetto	21
5.5.3	Aggiornamento delle caratteristiche dei materiali	22
5.5.4	Informazioni a priori	23

5.5.5	Aggiornamento delle caratteristiche dei materiali sulla base dei risultati di prove dirette	24
5.5.6	Aggiornamento delle caratteristiche dei materiali sulla base dei risultati di prove indirette	25
5.6	MANCATO RISPETTO DELLE PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE	25
6	CAMPAGNA DI RILIEVO E PROVE IN SITO	25
6.1	CAMPAGNA DI RILIEVO	25
6.1.1	Prescrizioni verifiche di livello 1 e livello 2	25
6.1.2	Prescrizioni verifiche di livello 3 in presenza di documentazione di progetto	25
6.1.3	Prescrizioni verifiche di livello 3 in assenza di documentazione di progetto	26
6.2	CAMPAGNA DI PROVE	26
6.2.1	Prescrizioni verifiche di livello 3 in presenza di documentazione di progetto	26
6.2.2	Prescrizioni verifiche di livello 3 in assenza della documentazione di progetto	27
6.2.3	Prove dirette	27
6.2.4	Prove indirette	28
6.2.5	Prove di carico statiche	28
6.2.6	Prove dinamiche	28
7	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI E INSERIMENTO NEL SISTEMA INFORMATICO	29
7.1	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	29
7.2	INSERIMENTO DEI RISULTATI NEL SISTEMA INFORMATICO	29
7.2.1	Dati generali e dati esecuzione	30
7.2.2	Allegati	30
7.2.3	Sicurezza	31
7.3	CHIUSURA DELLA VALUTAZIONE	31
8	APPENDICI	33
8.1	APPENDICE A: AGGIORNAMENTO DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SULLA BASE DEI RISULTATI DI PROVE DIRETTE	33
8.1.1	Metodo a	33
8.1.2	Metodo b	34
8.1.3	Metodo c	35
8.2	APPENDICE B: AGGIORNAMENTO DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SULLA BASE DEI RISULTATI DI PROVE INDIRETTE	36
8.2.1	Modello di correlazione	36

8.2.2	Aggiornamento bayesiano dei valori di resistenza 37
-------	---

1 GENERALITÀ

1.1 PREMESSA

- (1) La presente procedura costituisce parte del sistema di gestione dei manufatti stradali della Provincia Autonoma di Trento (PAT). Il funzionamento del sistema è basato su:
 - Un sistema informatico;
 - Un sistema di procedure, il cui elenco è riportato di seguito.
 - MA.GG.01: Guida generale - Sistema ispettivo
 - MA.GG.02: Schede elementi
 - PR.IS.01: Esecuzione ispezioni d'inventario
 - PR.IS.02: Esecuzione ispezioni superficiali
 - PR.IS.03: Esecuzione ispezioni principali
 - PR.IS.04: Esecuzione ispezioni principali approfondite
 - PR.IS.05: Esecuzione ispezioni speciali
 - PR.PS.01: Norme generali per l'esecuzione di prove di caratterizzazione sperimentale di ponti esistenti
 - PR.CE.01: Valutazione della capacità al transito di carichi eccezionali su ponti a travata: livelli 1, 2 e 3
 - PR.CE.02: Valutazione della capacità al transito di carichi eccezionali su ponti ad arco
- (2) Il sistema prevede che la valutazione al transito di carichi eccezionali possa essere eseguita secondo 3 livelli verifica, secondo quanto specificato al paragrafo 2.3.
- (3) Questo documento è stato redatto dal Gruppo di Lavoro BMS del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università degli Studi di Trento nell'ambito della convenzione di ricerca con la PAT: *Sviluppo di un sistema informatizzato per la gestione dei manufatti stradali*.
- (4) Il Gruppo di Lavoro BMS è composto da: Prof. R. Zandonini, Prof. P. Zanon, Dr. D. Zonta, Ing. E. Debiasi, Ing. A. Lanaro, L. Mattiuzzi. L'elaborazione delle procedure è stata eseguita dal Dr. D. Zonta, dall'ingegnere E. Debiasi e da L. Mattiuzzi.
- (5) Il documento è stato approvato dal Servizio Gestione Strade della PAT.

1.2 DEFINIZIONE

- (1) Si definiscono ponti a travata le opere la cui struttura principale è composta da una o più travi longitudinali appoggiate alle sottostrutture (pile e spalle) e sollecitate prevalentemente da azioni flessionali e di taglio.

1.3 AGGIORNAMENTI DELLA PRESENTE PROCEDURA

- (1) La presente procedura è soggetta a periodici aggiornamenti.

- P(2) E' responsabilità del valutatore verificare che la presente versione della procedura sia la più aggiornata.
- (3) La versione più aggiornata è quella disponibile nella pagina iniziale del sito del sistema di gestione dei manufatti stradali della PAT. Le procedure possono essere visualizzate e stampate con Acrobat Reader®.

1.4

PRINCIPI E REGOLE APPLICATIVE

- P(1) I punti trattati nella presente procedura sono distinti, a seconda del loro carattere, in principi e regole applicative.
- P(2) I principi comprendono:
- affermazioni generali e definizioni che devono essere rispettati per la corretta applicazione della procedura;
 - requisiti e modelli analitici per i quali non è prevista alternativa se non esplicitamente stabilito.
- P(3) Le regole applicative sono regole generalmente riconosciute che possono essere seguite per il rispetto dei principi generali.
- (4) Possono essere utilizzate regole applicative alternative a quelle indicate nel presente documento, purché sia dimostrato che tali regole siano in accordo con i principi generali.
- (5) I punti in cui sono enunciati i principi sono preceduti dalla lettera (P); in alternativa si tratta, come in questo punto, di regole applicative.
- P(6) Gli esempi e le note della presente procedura sono puramente esplicative; ogni decisione del valutatore sarà presa sotto la propria responsabilità.

1.5

RIFERIMENTI

- (1) Questa procedura fa riferimento alle seguenti procedure del sistema di gestione della PAT:
- MA.GG.01: Guida generale – Sistema ispettivo.
- PR.PS.01: Norme generali per l'esecuzione di prove di caratterizzazione sperimentale di ponti esistenti.
- (2) Questa procedura fa inoltre riferimento alle seguenti norme:
- DM 14/01/2008: Norme tecniche per le costruzioni.
- Circ. n.384 del 14/02/1962: Norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali.
- CNR 10024/86: Analisi di strutture mediante elaboratore. Impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.

1.6

UNITÀ DI MISURA

- P(1) Se non diversamente specificato si utilizzano le unità di misura del Sistema Internazionale (SI).

1.7

TERMINI E DEFINIZIONI

- (1) Vedere il Glossario in MA.GG.01: Guida generale.

1.8**SIMBOLI**

M_R	Momento resistente
M_S	Momento sollecitante
N	Distribuzione normale di probabilità
L	Verosimiglianza
P	Distribuzione di probabilità
R	Resistenza
S	Sollecitazione
ΔS	Incremento di sollecitazione
α	Carenza di resistenza
$F_x(x)$	Funzione cumulativa di probabilità
$f_x(x)$	Funzione di distribuzione di probabilità della variabile x
n	Numero di campioni, numero di prove
x_i	Risultato della prova i -esima
x_m	Media campionaria degli n risultati (x_i) delle prove
σ_1	deviazione standard della distribuzione delle resistenze R condizionata alla conoscenza del valore medio R_{m1} delle resistenze all'interno della struttura considerata
σ_2	deviazione standard della distribuzione delle resistenze medie R_{m1} attese a priori
σ_X	Deviazione standard campionaria degli n risultati (x_i) delle prove
$[]_0$	Indica un valore determinato a priori
$[]_d$	Indica un valore di progetto
$[]_k$	Indica un valore caratteristico
$[]_m$	Indica un valore medio

2

QUALIFICA E COMPITI DEL VALUTATORE

2.1

SCOPO DELLA VALUTAZIONE

- P(1) Compito del valutatore è ottenere un quadro realistico della capacità strutturale e non una stima conservativa della sicurezza.
- P(2) La valutazione deve essere effettuata per la struttura nello stato di progetto, cioè considerando la struttura come non degradata.
- P(3) Nel caso in cui la capacità portante non risulti sufficiente, il valutatore dovrà stimare, per ciascuno Stato Limite significativo non soddisfatto, il valore di carenza di capacità α , definito al paragrafo 5.2.
- P(4) Le informazioni su cui è basata la verifica dipendono dal livello di approfondimento (Livello 1, 2 o 3), secondo quanto specificato al paragrafo 2.3.

2.2

QUALIFICA DEL VALUTATORE

- P(1) Per condurre a risultati affidabili la procedura richiede che il valutatore sia una persona qualificata per lo specifico compito.
- (2) Tipicamente il valutatore sarà un ingegnere civile iscritto all'Albo Professionale, Sezione A.
- (3) Il valutatore deve avere una chiara conoscenza del metodo di calcolo semiprobabilistico agli stati limite e delle normative di progetto e dei metodi di calcolo utilizzati per il progetto del ponte.
- (4) Per la verifica di Livello 3, il valutatore deve avere una conoscenza di base di statistica.
- (4) Il valutatore deve avere una provata esperienza nei problemi di valutazione della sicurezza delle strutture esistenti.
- P(5) La verifica della rispondenza ai requisiti di qualifica è responsabilità del valutatore stesso.
- P(6) In caso di mancata rispondenza ai principi di qualifica il valutatore è tenuto ad interrompere la valutazione e a darne comunicazione al Manager del sistema.

2.3

LIVELLI DI VERIFICA

- P(1) Sono previsti 3 livelli di verifica.
- (2) Livello 1: la verifica nei confronti della sicurezza strutturale del ponte deve essere eseguita adottando la normativa di progetto del ponte e le ipotesi del progettista.
- (3) Livello 2: la verifica nei confronti della sicurezza strutturale del ponte deve essere eseguita adottando la normativa di progetto del ponte e le ipotesi del progettista, ma è possibile utilizzare modelli meccanici differenti da quelli usati dal progettista per ottenere delle verifiche più raffinate.
- (4) Livello 3: si deve verificare con prove in situ, secondo le prescrizioni di cui al punto 6.2, se i materiali impiegati nella costruzione dell'opera abbiano caratteristiche superiori di quelli ipotizzati in sede di progetto.

- P(5) I fattori di confidenza FC previsti dalla Circolare applicativa del D.M. 14 gennaio 2008 appendice C8A.1 devono essere assunti pari a 1.

3 INFORMAZIONI NECESSARIE PER LA VERIFICA

3.1 ISPEZIONI E VALUTAZIONI PRECEDENTI

- P(1) Il valutatore deve prendere visione di tutta la documentazione relativa a ispezioni (di inventario, superficiali, principali, principali approfondite e speciali) e a valutazioni già effettuate.
- (2) Per visualizzare i dati di un'ispezione o di una valutazione, il valutatore deve seguire la seguente procedura:
- accedere dal sito <http://www.bms.provincia.tn.it> al sistema mediante l'username e la password fornite dal Manager;
 - accedere alla sezione Ispezioni (secondo pulsante in alto Ispezioni);
 - cercare, con l'apposito motore di ricerca posto a sinistra della schermata, l'ispezione/valutazione (vedere punto 7.2);
 - selezionare l'ispezione/valutazione.

Le informazioni relative sono contenute in una multipage posta nella parte bassa della schermata.

- (3) Per generare il report di un'ispezione o di una valutazione, il valutatore deve seguire la seguente procedura:
- selezionare l'ispezione/valutazione;
 - accedere alla sottosezione *Report*;
 - selezionare nella casella di riepilogo il tipo di report desiderato;
 - cliccare sul pulsante *Esegui*.

Il sistema genera un report in formato pdf che può essere visualizzato, stampato e salvato con Acrobat Reader®.

3.2 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

- P(1) Deve essere recuperata e analizzata tutta la documentazione di progetto e di realizzazione dell'opera disponibile.
- (2) Il valutatore è tenuto a raccogliere tutti i documenti progettuali, costruttivi, di collaudo e di manutenzione reperibili, atti a fornire notizie sulle caratteristiche della struttura.
- (3) Indicativamente, le fonti da considerare sono le seguenti:
- documenti ed atti progettuali con particolare riferimento a relazioni di calcolo delle strutture, relazioni geologiche, relazioni geotecniche e sulle fondazioni, elaborati grafici strutturali (carpenterie e dettagli esecutivi) e computi metrici;
 - varianti in corso d'opera;
 - documenti di contabilità (libretti delle misure, etc.);
 - certificati di prove sui materiali;
 - relazioni e Certificati di collaudo;

- documentazioni fotografiche delle fasi costruttive e dei dettagli strutturali;
 - progetti di ristrutturazioni/miglioramento/adeguamento statico e/o sismico e relativi documenti di esecuzione e collaudo;
 - eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione.
- (4) Tale documentazione è finalizzata sostanzialmente ad individuare:
- l'approccio progettuale utilizzato per il dimensionamento delle strutture;
 - la normativa tecnica di riferimento in vigore all'epoca di costruzione;
 - gli elaborati di progetto necessari per la modellazione dello stato di fatto;
 - le caratteristiche di resistenza ipotizzate nei materiali strutturali utilizzati.
- (5) In ogni caso, gli elementi di osservazione e di indagine storica da evidenziare sono individuabili principalmente nei seguenti:
- tavole architettoniche di insieme;
 - carpenterie di progetto;
 - particolari costruttivi;
 - dettagli costruttivi relativi al fissaggio degli impianti esistenti;
 - relazioni tecniche di dettaglio;
 - calcoli statici e di dimensionamento strutturale;
 - esecutivi di progetto o di cantiere.
- (6) Nel caso non sia possibile reperire (in parte o completamente) la documentazione sopraelencata, è comunque importante individuare il periodo sia di progettazione che di realizzazione della struttura in esame.
- P(7) Deve essere verificata la congruenza tra tutti i dati contenuti nella documentazione di progetto e quelli presenti nella documentazione di esecuzione e contabilità dei lavori. Eventuali discordanze devono essere evidenziate e le scelte operate nelle verifiche devono tenere conto delle incongruenze riscontrate.

3.3

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- P(1) E' opportuno verificare a quale/i normativa/e abbia fatto riferimento il progettista della struttura, e verificare che questa sia stata correttamente applicata.
- P(2) Il valutatore deve adottare, come riferimento nelle nuove valutazioni della sicurezza, la/e normativa/e di progetto del ponte.
(vedere allegato BMS All.P3.1 p.1.7)
- P(3) Nel caso non sia possibile reperire (in parte o completamente) la documentazione elencata al punto 3.2(3), il valutatore deve condurre una analisi storico-critica per risalire al periodo di costruzione del ponte e adottare la normativa più cautelativa vigente in quel periodo.

3.4

SOPRALLUOGO

- P(1) Prima di effettuare le verifiche di un ponte il valutatore è tenuto a prendere direttamente visione delle condizioni generali della struttura oggetto di verifica.
- P(2) Il valutatore è tenuto a verificare in situ la geometria principale della struttura desunta dal progetto.
- P(3) Particolare attenzione deve essere data alla verifica in situ dell'effettiva consistenza dei carichi permanenti portati ipotizzati dal progettista (come pavimentazione stradale, marciapiedi, ...).
- (vedere allegato BMS All.P3.1 p.2.2)*

3.5

CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

- P(1) Le informazioni geometriche e dimensionali del manufatto devono essere desunte dagli elaborati di progetto, integrate dalla documentazione relativa all'esecuzione dei lavori ed eventualmente dal rilievo geometrico della struttura.
- (2) Si deve verificare, ed eventualmente evidenziare in relazione, se le dimensioni di progetto trovano riscontro nei libretti di contabilità dei lavori ed eventualmente se in fase di collaudo sono state effettuate delle verifiche sulle dimensioni della struttura.
- P(3) Nel caso in cui si riscontrino discordanze tra dimensioni di progetto e quanto realizzato, o nel caso di assenza della documentazione di progetto, tutte le grandezze necessarie all'esecuzione delle valutazioni devono essere raccolte mediante il rilievo geometrico di dettaglio della struttura, la scarifica locale delle armature e altre tecniche di indagine non distruttive.
- (vedere allegato BMS All.P3.1 p.2.1)*

3.6

SINTESI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE PRELIMINARE

- (1) Gli elementi e i risultati emersi nello svolgimento delle attività descritte ai paragrafi precedenti dovranno essere sintetizzati nel Rapporto Finale. Saranno descritte tutte le informazioni, raccolte sia dai documenti disponibili che dai sopralluoghi effettuati, sulle caratteristiche geometriche, sull'uso dell'opera e sulle sue singole parti. Occorre anche fornire l'elenco completo dei documenti reperiti ed il tipo di informazioni da essi estratti ed utilizzati ai fini della successiva valutazione di sicurezza al transito di carichi eccezionali.

4

CONDIZIONI DI CARICO

4.1

SCHEMI DI CARICO

- P(1) Gli schemi di carico con cui verificare i ponti sono riportati nelle figure seguenti.
- P(2) Gli schemi di carico P.A.T. non prendono in considerazione gli effetti dinamici. Seguire le prescrizioni a riguardo della normativa dell'epoca.

- P(3) Se non diversamente specificato sono sempre previsti carichi lineari pari a 3 t/m disposti 6 m prima e dopo la colonna di carico eccezionale; questi devono essere estesi su tutta la lunghezza del ponte. E' possibile però trascurare il carico distribuito se ha un effetto favorevole nelle verifiche.
- (4) I carichi concentrati e i carichi distribuiti costituiscono un unico schema di carico, e quindi non possono mai essere separati.
- P(5) Il treno di carico deve essere posizionato nella condizione più sfavorevole per la verifica dello Stato Limite in esame.
- P(6) Gli interassi previsti per ogni tipologia di carico devono essere rispettati.
- P(7) Non è possibile sostituire i carichi concentrati, previsti negli schemi di carico, con distribuzioni lineari equivalenti.
- P(8) Lo schema di carico in Figura 4.1 prevede due tipologie di colonna di carico; le verifiche degli stati limite devono essere condotte con entrambi gli schemi.

Figura 4.1

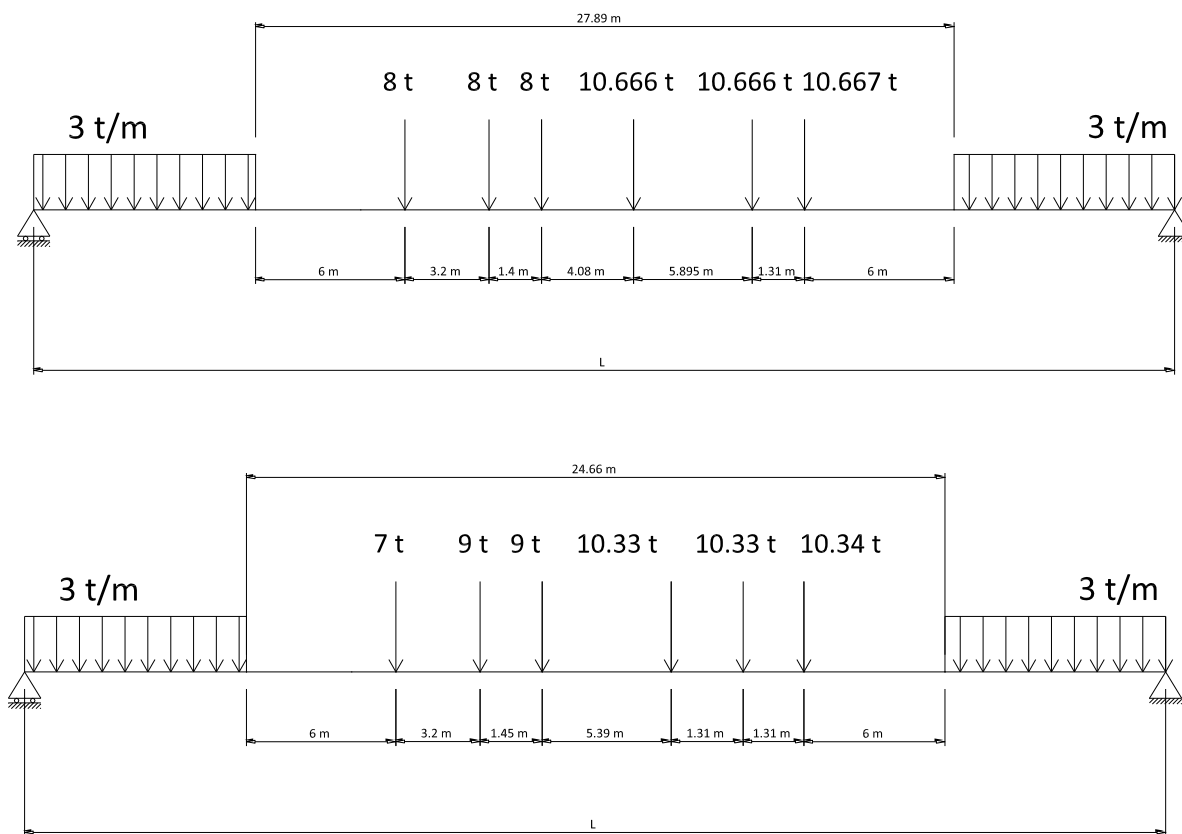
Schema di carico 56 t

Figura 4.2

Schema di carico 5 assi x 13 t (interasse = 1.3 m) = 65 t

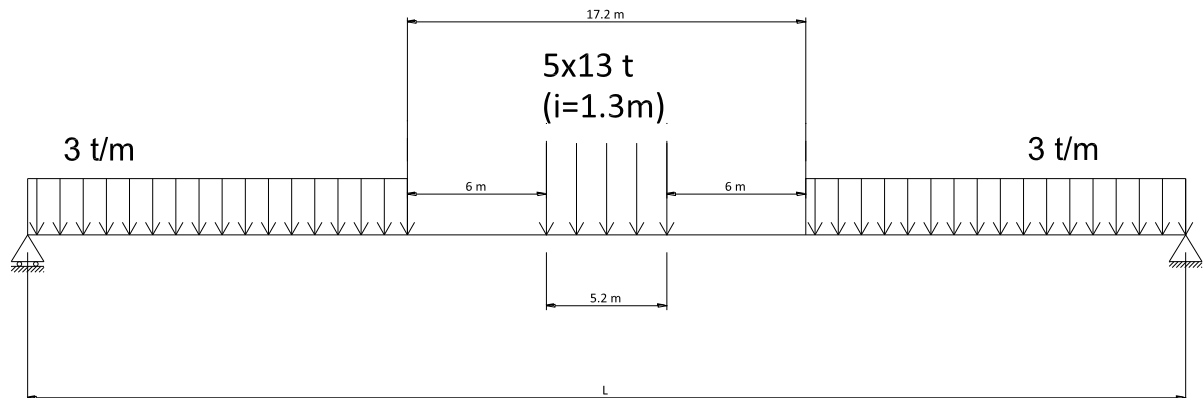


Figura 4.3

Schema di carico 6 assi x 12 t (interasse = 1.3 m) = 72 t

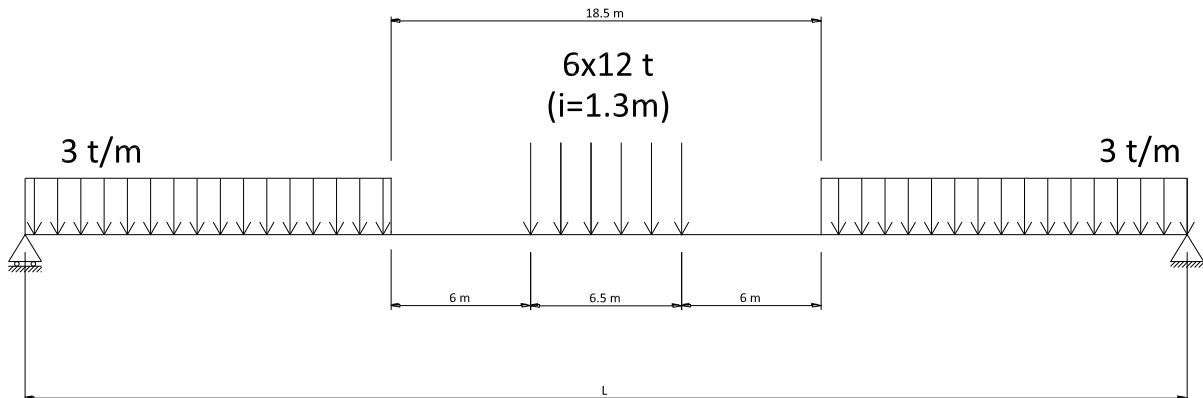


Figura 4.4

Schema di carico 6 assi x 13 t (interasse = 1.3 m) = 78 t

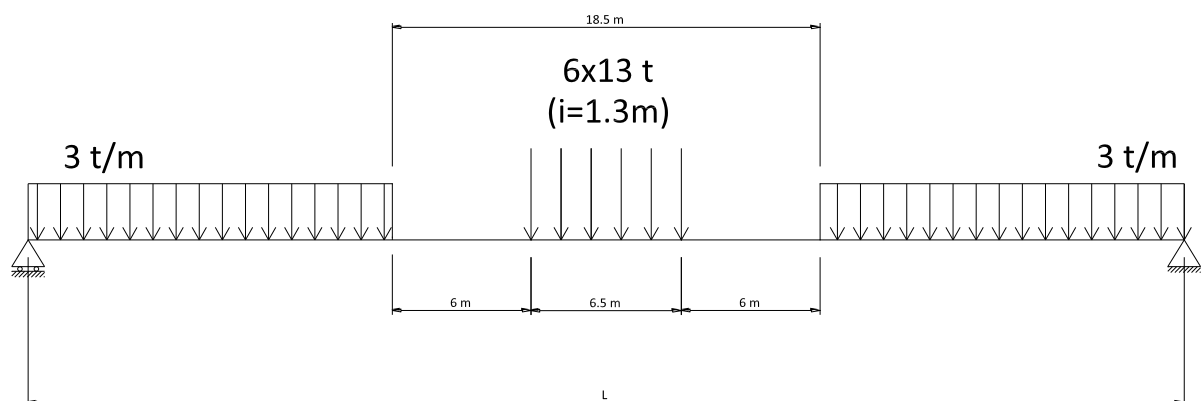


Figura 4.5

Schema di carico 7 assi x 13 t (interasse = 1.3 m) = 91 t

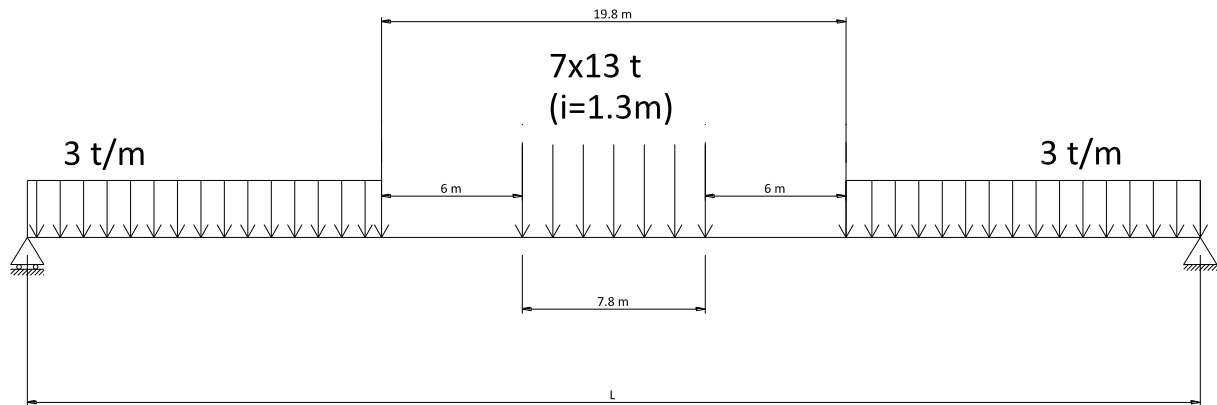


Figura 4.6

Schema di carico 8 assi x 13 t (interasse = 1.3 m) = 104 t

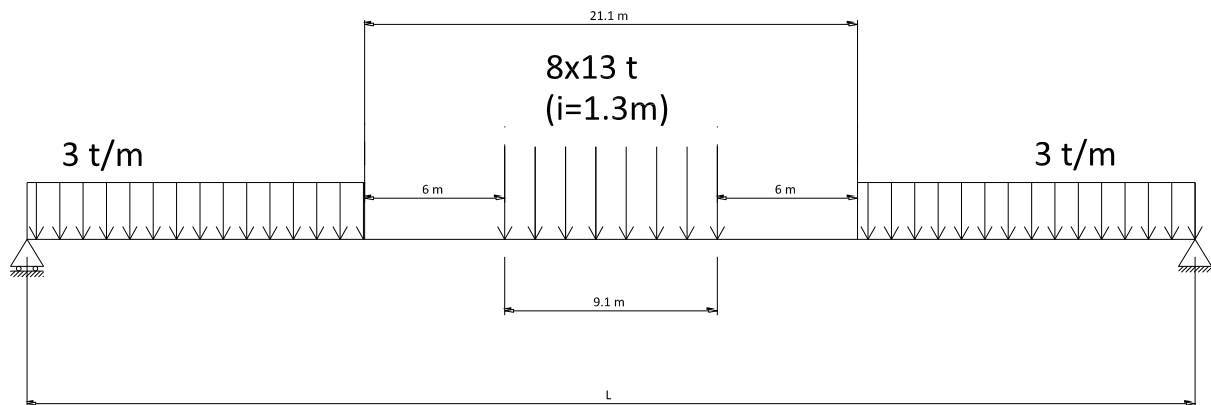
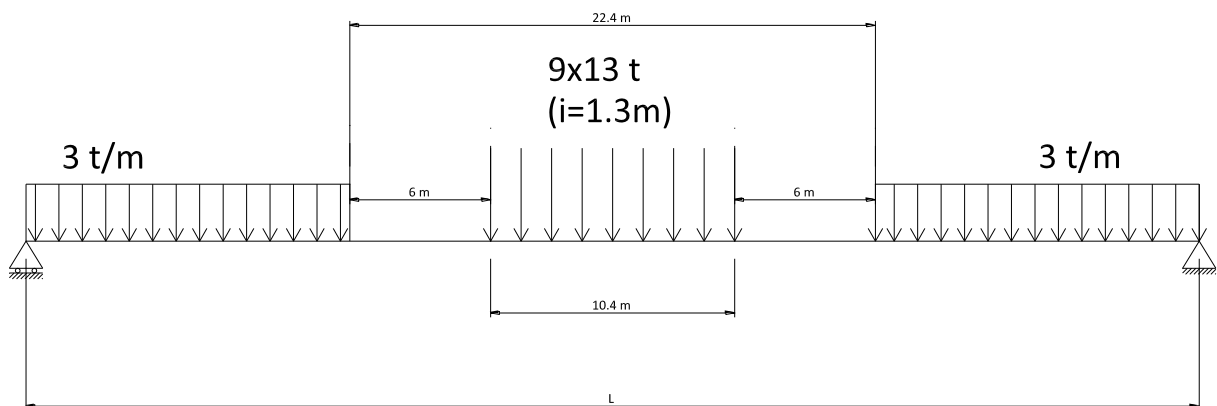


Figura 4.7

Schema di carico 9 assi x 13 t (interasse = 1.3 m) = 117 t



4.2

POSIZIONE TRASVERSALE DEL CARICO

P(1) Le verifiche dei carichi riportati al punto 4.1 devono essere effettuate in due condizioni di transito:

- transito libero;

– transito in centro carreggiata.

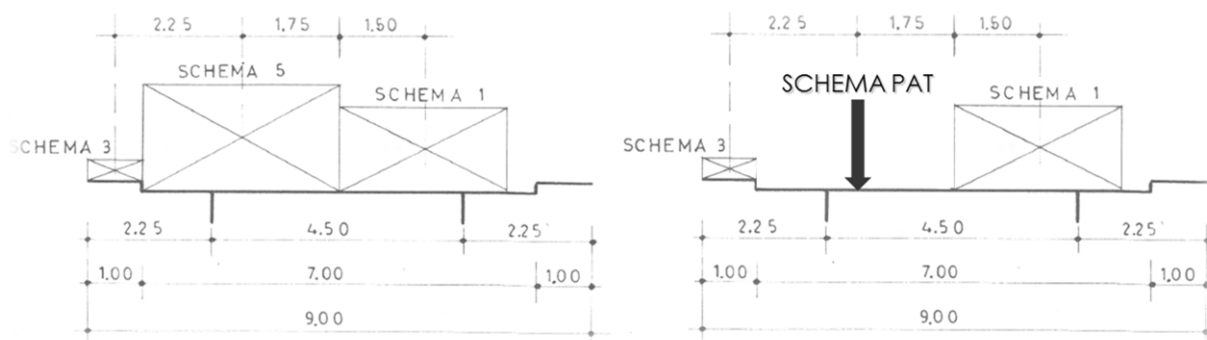
- P(2) La condizione di “transito libero” prevede che il veicolo viaggi liberamente nel traffico normale e quindi possa trovarsi su una qualsiasi corsia del ponte.
- P(3) La condizione di “transito a centro carreggiata” prevede che il traffico opposto alla direzione di transito del carico eccezionale venga interrotto, e il carico eccezionale viaggi al centro della carreggiata del ponte. Fa eccezione il caso di presenza di uno spartitraffico, vedere il punto P(5).
- P(4) Nella condizione di transito di cui al punto P(3) se non diversamente specificato si deve mantenere la colonna di carico prevista prima e dopo il carico eccezionale, vedere punto 4.1P(2).
- P(5) Nel caso di “transito a centro careggiata”, qualora la careggiata di un impalcato da ponte sia divisa o meno in due parti separate da una zona di spartitraffico centrale, si distinguono i seguenti casi:
- Presenza di spartitraffico fisso o mobile o altri dispositivi di ritenuta: il carico deve essere fatto transitare al centro della semi-careggiata in cui è diviso l'impalcato; in questo caso nell'altra semi-careggiata il traffico in senso opposto non verrà interrotto.
 - Assenza di spartitraffico o di altri dispositivi di ritenuta: il carico deve transitare al centro della careggiata (Figura 4.9).
- P(6) Il punto P(5) vale anche nel caso di presenza di impalcati indipendenti che sono portati da una singola pila o una singola spalla.

4.3

COMBINAZIONI DI CARICO

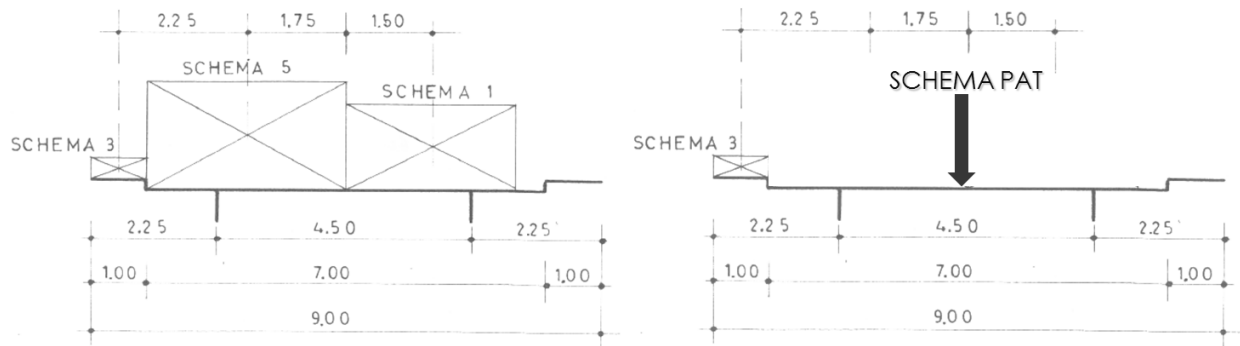
- P(1) In condizioni di transito libero il carico principale di progetto dell'impalcato deve essere sostituito con il carico previsto P.A.T., secondo il paragrafo 4.1, lasciando invariati i carichi secondari di progetto del ponte sulle altre corsie (Figura 4.8).

Figura 4.8 Esempio di sostituzione del carico principale con il carico PAT (esempio tratto dalla relazione di calcolo del ponte sul torrente Grigno, SP78 km 13.310, allegato BMS All.P3.2, Normativa di progetto dei carichi utilizzata Circ. n.384 del 14/02/1962) in condizione di traffico libero.



- P(2) In condizioni di transito a centro careggiata i carichi di progetto dell'impalcato devono essere sostituiti con il carico previsto P.A.T., secondo il paragrafo 4.1. Fa eccezione il carico dovuto alla folla (Figura 4.9).

Figura 4.9 Esempio di sostituzione dei carichi con il carico PAT (esempio tratto dalla relazione di calcolo del ponte sul torrente Grigno, SP78 km 13.310, allegato BMS All.P3.2, normativa di progetto dei carichi utilizzata Circ. n.384 del 14/02/1962) in condizione di transito a centro carreggiata e in assenza di spartitraffico o di altri dispositivi di ritenuta



- (3) La P.A.T. divide la rete stradale in rete strategica e rete non strategica.
- P(4) E' compito del valutatore, in sede di incarico da parte della P.A.T., accertarsi a quale rete appartiene il ponte.
- (5) Per le diverse tipologie di rete e di transito sono previsti diversi obiettivi, come riportato nel prospetto 4.1.

prospetto 4.1

Obiettivi di verifica rete strategica e rete non strategica

	Transito libero	Centro carreggiata
Rete non strategica	56t	6x12t=72t
Rete strategica	6x12t=72t	8x13t=104t

5

PROCEDURE DI VERIFICA

5.1

METODO DI VERIFICA

- P(1) L'obiettivo della verifica è calcolare il coefficiente di carenza di capacità, come riportato al paragrafo 5.2, per ciascun stato limite, schema di carico, e condizione di transito.
- P(2) Il valutatore deve prendere visione di tutta la documentazione di progetto, la documentazione relativa a ispezioni e a valutazioni già effettuate, secondo quanto riportato nei paragrafi 3.1 e 3.2.
- P(3) Nel caso in cui non siano reperibili gli elaborati necessari per effettuare le valutazioni o ci siano palesi discordanze tra documentazione di progetto e stato di fatto, il valutatore è tenuto ad interrompere la valutazione e a darne comunicazione al Manager del sistema.
- P(4) Il valutatore è tenuto ad adottare la normativa di progetto del ponte, in accordo con quanto riportato nel paragrafo 3.3.
- P(5) Il valutatore è tenuto a verificare che il progettista abbia applicato correttamente quanto prescritto dalla normativa di progetto, in linea con quanto riportato al punto 3.3P(1).

- P(6) Il valutatore è tenuto a prendere direttamente visione delle condizioni generali della struttura oggetto di verifica, secondo quanto riportato nel paragrafo 0.
- P(7) Operativamente la verifica deve essere effettuata sostituendo il carico principale previsto dalla normativa con cui è stato progettato il ponte con lo schema di carico previsto dalla P.A.T., secondo quanto prescritto nel capitolo 4 .
- P(8) La valutazione deve essere eseguita con riferimento agli Stati Limite più significativi per la sicurezza del ponte.
- (9) In generale devono essere presi in considerazione, dove applicabili, almeno i seguenti Stati Limite:
- flessione, taglio e instabilità flesso-torsionale della struttura principale dell'impalcato;
 - flessione, taglio, instabilità flesso-torsionale e punzonamento della struttura secondaria dell'impalcato (soletta);
 - instabilità locale per gli elementi strutturali in acciaio;
 - trazione, taglio e rifollamento delle giunzioni in acciaio;
 - perdita di equilibrio per strutture in muratura;
 - scorrimento e ribaltamento delle spalle;
 - pressoflessione delle pile;
 - verifica dagli appoggi;
 - portanza del terreno.
- (10) Possono essere omesse le verifiche rispetto agli Stati Limite in condizione di esercizio e le verifiche rispetto a quegli Stati Limite che risultano non significativi nei confronti della sicurezza strutturale.
- (vedere allegato BMS All.P3.1 c.4 e seguenti)*
- P(11) Nel caso in cui il valutatore ritenga necessaria la verifica di unità strutturali non considerate in sede di progetto, per tali verifiche si deve assumere le prescrizioni della normativa di progetto. Al contrario se nella normativa di progetto dell'epoca non fossero presenti prescrizioni per la verifica di un tale Stato Limite si deve adottare per le verifiche la normativa più recente in vigore.
- P(12) Il valutatore è tenuto a verificare gli Stati Limite per tutti i carichi previsti sulla rete P.A.T., riportati nel paragrafo 4.1, e per le diverse tipologie di transito, riportate nel paragrafo 4.2.
- P(13) Nel caso in cui una verifica non risulti soddisfatta, se il carico P.A.T. è inferiore all'obiettivo di verifica previsto (prospetto 4.1), il valutatore è tenuto a passare al successivo livello di verifica.
- P(14) Il valutatore è comunque tenuto a determinare il valore di α per tutti i carichi PAT non soddisfatti in quel livello di verifica.
- P(15) Nel caso in cui una verifica non risulti soddisfatta, se il carico P.A.T. è superiore all'obiettivo di verifica previsto (prospetto 4.1), il valutatore non deve passare al successivo livello di verifica.

Esempio 1 Si ipotizza di condurre una verifica di livello 1 su di un ponte della rete strategica nel caso di transito libero. Per il carico P.A.T. di 91 tonnellate (e superiori) non risultano soddisfatti alcuni Stati Limite. In questo caso, dato che l'obiettivo minimo per le reti strategiche in condizioni di transito libero è il carico di 72 tonnellate (vedere prospetto 4.1), il valutatore non deve riverificare gli Stati Limite non soddisfatti con un nuovo livello di verifica superiore.

Esempio 2 Si ipotizza di condurre una verifica di livello 1 su di un ponte della rete strategica nel caso di transito libero. Per il carico P.A.T. di 72 tonnellate non risultano soddisfatti alcuni Stati Limite. In questo caso, dato che l'obiettivo minimo per le reti strategiche in condizioni di transito libero è il carico di 72 tonnellate (vedere prospetto 4.1), il valutatore deve riverificare gli Stati Limite non soddisfatti con un nuovo livello di verifica superiore: il livello 2.

P(16) Se una verifica non risulta soddisfatta si deve calcolare il coefficiente α che corrisponde all'incremento di sollecitazione rispetto alla resistenza del ponte, vedere paragrafo 5.2.

5.2

COEFFICIENTE DI CARENZA DI CAPACITÀ

P(1) Il coefficiente di carenza di capacità α deve essere calcolato ogni volta che una verifica non è soddisfatta e per ogni livello di verifica.

(2) Il coefficiente di carenza di capacità α rappresenta l'incremento della sollecitazione dovuto al nuovo carico P.A.T. rispetto alla resistenza del ponte.

P(3) Si raccomanda che il coefficiente di carenza di capacità α sia determinato come segue:

$$\alpha = \frac{\Delta S}{R} = \frac{S - R}{R} \quad [5.1]$$

Dove:

ΔS è l'incremento di sollecitazione;

S è la sollecitazione dovuta al carico P.A.T. e ai carichi secondari di progetto;

R è la resistenza di progetto.

(4) La resistenza sarà funzione del livello di verifica adottato.

Esempio Si ipotizza di condurre una verifica di rottura a flessione e che l'impalcato sia stato progettato adottando il D.M. 26/03/1980. In accordo con tale normativa la verifica è soddisfatta se:

$$\eta_R = \frac{M_R}{M_S} > 1.85$$

Dove M_R è il momento resistente, M_S il momento sollecitante dovuto al carico P.A.T..

Una corretta formulazione della formula 6.1 del coefficiente α diventa quindi:

$$\alpha = \frac{S - R}{R} = \frac{M_S - \frac{M_R}{1.85}}{\frac{M_R}{1.85}}$$

Solo in questo modo viene conteggiato correttamente il coefficiente di sicurezza 1.85 previsto dal D.M. 26/03/1980.

(vedere allegato BMS All.P3.1 c.4 e seguenti)

5.3

NORME SPECIFICHE PER LE VERIFICHE DI LIVELLO 1

- P(1) Nelle verifiche di livello 1 devono essere usate le stesse ipotesi del progettista per quanto riguarda la geometria, i materiali e i modelli meccanici.
- P(2) Il valutatore è tenuto a verificare che il progettista abbia applicato correttamente quanto prescritto dalla normativa di progetto, in linea con quanto riportato al punto 3.3P(1).
- P(3) Operativamente la verifica deve essere effettuata sostituendo, nei modelli di calcolo assunti dal progettista, il carico principale, previsto dalla normativa con cui è stato progettato il ponte, con lo schema di carico previsto dalla P.A.T.. I carichi secondari di progetto devono essere mantenuti.
- P(4) Se una data verifica non risulta soddisfatta si deve calcolare il coefficiente α che corrisponde all'incremento di sollecitazione rispetto la resistenza del ponte, vedere paragrafo 5.2.
- P(5) Per carichi eccezionali inferiori ai carichi obiettivi previsti dalla P.A.T., vedere paragrafo 4.1, se uno Stato Limite non risulta soddisfatto al livello 1 si deve passare al livello successivo di verifica: livello 2.

(vedere allegato BMS All.P3.1 c.4,5,6 e 9)

5.4

NORME SPECIFICHE PER LE VERIFICHE DI LIVELLO 2

- P(1) Nelle verifiche di livello 2 deve essere impiegata la stessa normativa adottata per la progettazione del ponte.
- P(2) Nelle verifiche di livello 2 devono essere usate le stesse ipotesi adottate dal progettista per quanto riguarda la geometria e i materiali.
- P(3) Nelle verifiche di livello 2 possono essere impiegati modelli meccanici differenti da quelli di progetto del ponte.
- (4) E' permesso l'impiego di modelli meccanici più raffinati ai quali, in genere, corrispondono incrementi della resistenza ultima della struttura.
- (5) Per modelli meccanici raffinati si intendono modelli che tengano conto di tutte le riserve di resistenza degli elementi, quale per esempio l'incrudimento dell'acciaio.

Nota Nella maggior parte dei casi l'incremento della resistenza che possiamo aspettarci da una analisi più raffinata è proporzionale al grado di iperstaticità o di ridondanza della struttura.

Esempio 1 Ponti a travata in ca e cap costituiti da due travi in semplice appoggio: le travi presentano uno schema statico isostatico come anche la ripartizione dei carichi trasversale. In questo caso non c'è la possibilità di utilizzare metodi più raffinati di quelli impiegati dal progettista. Questo discorso non vale per il calcolo del momento resistente delle sezioni. Se il progettista non ha già impiegato calcoli raffinati nel progetto, in genere, c'è la possibilità di migliorare il calcolo del momento resistente.

Esempio 2 Ponti a travata in ca e cap costituiti da due travi continue su più appoggi: la ripartizione trasversale dei carichi ha comportamento isostatico e non può essere pertanto raffinata. Il discorso è diverso per quanto riguarda le singole travi che possono avere una resistenza superiore rispetto quella di progetto se il progettista non ha effettuato un'analisi plastica con redistribuzione.

Esempio 3 Ponti a travata in ca e cap costituiti da più di due travi in semplice appoggio: la possibilità di raffinamento dei modelli è rappresentata dall'analisi della redistribuzione trasversale del carico oltre il raggiungimento del momento flettente ultimo della trave più sollecitata, sempre che questo modello meccanico non sia già stata adottato nel progetto originale.

Esempio 4 Ponti a travata in ca e cap costituiti da più di due travi su più appoggi: teoricamente si hanno i maggiori margini di miglioramento in seguito alla raffinazione dei modelli di analisi potendo considerare la redistribuzione plastica sia trasversale che longitudinale, sempre che questi modelli non siano già stati adottati nel progetto originale.

(vedere allegato BMS All.P3.1 p.7.1)

P(5) Si devono verificare con i nuovi modelli tutti gli Stati Limite non soddisfatti al livello 1.

P(6) Se una data verifica non risulta soddisfatta si deve calcolare il coefficiente α che corrisponde all'incremento di sollecitazione rispetto alla resistenza del ponte, vedere paragrafo 5.2.

P(7) Le verifiche non soddisfatte con i relativi coefficienti α devono essere comunicati alla P.A.T. secondo quanto riportato al capitolo 7.

(vedere allegato BMS All.P3.1 c.7)

5.4.1

Requisiti Generali dei modelli livello di verifica 2

P(1) I modelli di calcolo impiegati per le nuove verifiche devono essere in grado di cogliere l'effettivo meccanismo di collasso della struttura.

(2) In generale, il rispetto del principio P(1) richiede metodi di analisi di tipo anelastico o di tipo elastico lineare con redistribuzione plastica delle sollecitazioni.

(3) Se necessario, devono essere tenuti in adeguato conto gli effetti del secondo ordine.

(4) Devono essere considerati gli effetti della redistribuzione dei momenti sugli altri parametri del calcolo (quali: sollecitazione tagliante, lunghezza di ancoraggio, ...).

(5) Il modello di calcolo deve essere in grado di cogliere il comportamento spaziale della struttura.

(6) È ammesso l'utilizzo di software di calcolo agli elementi finiti commerciali, purché: la loro affidabilità sia provata, siano rispettati i punti P(1) e P(2) al paragrafo 5.4.

(7) Un programma di calcolo agli elementi finiti può ritenersi provatamente affidabile se certificato dal National Agency for Finite Element Methods and Standards (NAFEMS) o da enti equivalenti.

- (8) La relazione di calcolo deve essere conforme alle prescrizioni della norma CNR 10024/84: *Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo*, con particolare riferimento all'esame dei risultati e ai controlli.

5.5

NORME SPECIFICHE PER LE VERIFICHE DI LIVELLO 3

5.5.1

In presenza della documentazione di progetto

- P(1) Nelle verifiche di livello 3 deve essere impiegata la stessa normativa adottata per la progettazione del ponte e le stesse ipotesi per quanto riguarda la geometria dell'impalcato.
- (2) In linea con quanto riportato per le verifiche di livello 2 è permesso l'impiego di modelli meccanici più raffinati per la verifica degli Stati Limite.
- P(3) Le resistenze di calcolo da utilizzare al livello 3 di verifica devono essere calcolate utilizzando i valori caratteristici dei materiali valutati sulla base delle prove eseguite direttamente sulla struttura.
- P(4) Per le prove da eseguire sulla struttura vedere il paragrafo 6.2.
- P(6) I valori ipotizzati a priori delle resistenze caratteristiche dei materiali, desunti dagli elaborati di progetto o presunti in sede di ispezione, devono essere aggiornati con un'adeguata trattazione statistica delle informazioni fornite dalle prove di caratterizzazione, secondo quanto specificato nei successivi paragrafi 5.5.3, 5.5.4 e 5.5.5.
- P(7) Non è in nessun caso ammesso l'impiego diretto dei risultati delle prove di caratterizzazione dei materiali nelle verifiche di sicurezza in assenza di una trattazione statistica dei dati.

5.5.2

In caso di assenza della documentazione di progetto

- P(1) Nel caso in cui non siano reperibili i principali elaborati o ci siano palesi discordanze tra documentazione e stato di fatto, il valutatore, in accordo con la PAT, deve effettuare delle indagini sul manufatto, vedi punti 6.1 e 6.2, per ricavarne le caratteristiche meccaniche e geometriche.
- P(2) Il valutatore deve condurre una analisi storico-critica per risalire al periodo di costruzione del ponte e adottare la normativa più cautelativa vigente in quel periodo, secondo quanto riportato nel punto 3.3P(3).
- P(3) Le resistenze di calcolo da utilizzare al livello 3 di verifica devono essere calcolate utilizzando i valori caratteristici dei materiali valutati sulla base delle prove eseguite direttamente sulla struttura.
- P(4) Per le prove da eseguire sulla struttura vedere il paragrafo 6.2.
- P(5) Le resistenze caratteristiche a priori dei materiali devono essere scelte, sotto la responsabilità del verificatore, tra i valori riportati nei prospetti del paragrafo 5.5.4.
- P(6) I valori a priori delle resistenze caratteristiche dei materiali devono essere aggiornati con un'adeguata trattazione statistica delle informazioni fornite dalle prove di caratterizzazione, secondo quanto specificato nei successivi paragrafi 5.5.3, 5.5.4 e 5.5.5. Il valutatore è tenuto a seguire, in assenza della documentazione di progetto, il metodo a riportato in appendice.

- P(7) Non è in nessun caso ammesso l'impiego diretto dei risultati delle prove di caratterizzazione dei materiali nelle verifiche di sicurezza in assenza di una trattazione statistica dei dati.
- P(8) In caso non fosse possibile reperire informazioni su alcune caratteristiche della struttura per mezzo di una campagna di rilievo o prove in sito, tali informazioni devono essere dedotte in maniera conservativa attraverso una progettazione simulata secondo i criteri e la normativa del periodo.

Esempio Nel caso di ponti in cap con cavi pre-tesi o post-tesi in assenza di documentazione di progetto per risalire alla forza di compressione dei trefoli è necessaria una progettazione simulata e conservativa.

- P(9) Il valutatore è poi tenuto ad eseguire una verifica degli Stati Limite più significativi con i carichi previsti dalla normativa di progetto dell'epoca; successivamente deve procedere con la verifica dei carichi previsti dalla P.A.T..

5.5.3

Aggiornamento delle caratteristiche dei materiali

- P(1) I valori caratteristici di resistenza R a posteriori, da utilizzare nella valutazione di sicurezza al livello 3, si ricavano a partire dalle informazioni note a priori, attraverso una procedura di aggiornamento probabilistico bayesiano che tiene conto dei risultati delle prove di caratterizzazione.
- P(2) Il teorema di Bayes permette di calcolare la probabilità condizionata di R date le n osservazioni x , utilizzando l'espressione generale:

$$P(R) = P_0(R/x) = \frac{P_0(R) \cdot P(x/R)}{P(x)} \quad [5.2]$$

dove:

$P(R)$ è la probabilità della resistenza R aggiornata a posteriori;

$P(x/R)$ è la probabilità di ottenere l'esito x condizionato alla conoscenza della resistenza del materiale;

$P_0(R)$ è la distribuzione probabilistica della resistenza R a priori;

$P(x)$ è la probabilità totale dell'esito x .

- (3) La distribuzione probabilistica della resistenza R a priori può essere valutata con i criteri definiti al paragrafo 5.5.4.
- (4) L'applicazione del teorema di Bayes alla trattazione dei risultati forniti dalle prove dirette (ad esempio: prove di compressione su campioni di calcestruzzo, prove di trazione su barre di acciaio) può essere effettuata utilizzando uno dei metodi pratici indicati nel paragrafo 5.5.5.
- (5) L'applicazione pratica del teorema di Bayes per la trattazione dei risultati forniti dalle prove indirette (ad esempio: prove di estrazione) può essere effettuata secondo quanto indicato nel paragrafo 5.5.6.

5.5.4

Informazioni a priori

- P(1) Le proprietà a priori dei materiali possono essere ricavate dalla documentazione di progetto e di collaudo quando non c'è alcuna incertezza sulla loro validità.
- (2) Il principio al punto P(1) si intende soddisfatto se esiste una documentazione di progetto contenente le prescrizioni sui materiali utilizzati e se sono documentati adeguati controlli in fase di esecuzione.
- P(3) In caso di incertezza o in assenza della documentazione di progetto, vedere i paragrafi 3.2 e 3.3, le proprietà a priori dei materiali devono essere stimate sulla base delle informazioni disponibili e sulla base delle caratteristiche dei materiali presenti all'epoca della costruzione. In questa ipotesi i valori delle proprietà dei materiali da utilizzare nella valutazione, devono essere la stima delle effettive proprietà dei materiali della struttura esistente.
- (4) Possono essere assunte distribuzioni f_R della resistenza R a priori di tipo normale:

$$f_R(R) = N(R_{m0}, \sigma_{R0}) = \frac{1}{\sigma_{R0} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - R_{m0}}{\sigma_{R0}}\right)^2\right) \quad [5.3]$$

dove:

N è la distribuzione normale di probabilità;

R_{m0} è valore medio della variabile R a priori;

σ_{R0} è deviazione standard della variabile R a priori.

- (5) In questo caso la relazione tra valore medio R_{m0} e valore caratteristico R_{k0} può essere assunta come:

$$R_{k0} = R_{m0} - 1,64 \sigma_{R0} \quad [5.4]$$

- (6) Possono essere assunti, sotto la responsabilità del verificatore, i seguenti valori di media e deviazione standard a priori della resistenza dei materiali:

prospetto 5.1

Classe del cls	Resistenza Media R_{cm0} [MPa]	Deviazione Standard σ_{Rc0} [MPa]
C16/20	28.0	5.0
C20/25	33.0	5.0
C25/30	38.0	5.0
C28/35	43.0	5.0
C32/40	48.0	5.0
C35/45	53.0	5.0
C40/50	58.0	5.0

prospetto 5.2

Classe delle barre di armatura	Tensione di Snervamento Media f_{ym0} [MPa]	Deviazione Standard σ_{fy0} [MPa]
--------------------------------	---	--

FeB22k	234	9.0
FeB32k	340	12.0
FeB38k	404	15.0
FeB44k/B450C	478	17.0
Dolce AQ 42	247	11.0
Semiduro AQ 50	293	14.0
Duro AQ 60	336	16.0

prospetto 5.3

Classe dell'acciaio da carpenteria	Tensione di Snervamento Media f_{ym0} [MPa]	Deviazione Standard σ_{fy0} [MPa]
Spessore $t \leq 40$ mm		
Fe360/S235	255	12.0
Fe430/S275	296	13.0
Fe510/S355	378	14.0
Spessore $t > 40$ mm		
Fe360/S235	234	11.0
Fe430/S275	274	12.0
Fe510/S355	356	13.0

prospetto 5.4

Acciai da precompressione Tensione di Rottura Caratteristica f_{ptk} [MPa]	Tensione di Rottura Media f_{pto} [MPa]	Deviazione Standard σ_{pto} [MPa]
1200	1304	63.0
1500	1613	69.0
1800	1915	70.0
1900	2021	74.0

5.5.5

Aggiornamento delle caratteristiche dei materiali sulla base dei risultati di prove dirette

- P(1) I valori caratteristici di resistenza a priori devono essere aggiornati sulla base degli esiti $x_1, x_2, \dots, x_n$ di n prove dirette utilizzando uno dei tre metodi pratici proposti nell'appendice A.
- P(2) In caso di assenza della documentazione di progetto il valutatore deve usare il metodo a riportato nell'appendice A.
- (2) Le procedure possono portare a considerazioni erronee se si utilizzano dati provenienti da materiali non omogenei per caratteristiche meccaniche.
- (3) I metodi proposti non possono in nessun caso essere applicati utilizzando i risultati di prove indirette.

5.5.6 Aggiornamento delle caratteristiche dei materiali sulla base dei risultati di prove indirette

- P(1) Ai fini della presente procedura si definiscono prove indirette quelle prove i cui n esiti $y_1, y_2, \dots, y_n$ non forniscono direttamente le grandezze meccaniche utilizzate nelle verifiche di sicurezza.
- P(2) Dal punto di vista pratico per l'aggiornamento delle caratteristiche il valutatore deve seguire quanto riportato nell'appendice B.

5.6 MANCATO RISPETTO DELLE PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE

- P(1) In caso di mancato rispetto in fase di progetto o di esecuzione di prescrizioni normative minime, che non hanno una quantificazione esplicita nel contributo resistente delle norme, si deve quantificare attentamente l'effetto di tali carenze sulla resistenza della struttura.
- P(2) La carenza dimensionale deve essere quantificata considerando anche le eventuali modalità di collasso associate al sotto-dimensionamento.
- (3) Un possibile approccio, applicabile solo quando sia verificato che la difformità del dettaglio costruttivo ha effetti proporzionali sulla resistenza, può essere quello di valutare la resistenza associata ad un corretto dimensionamento e poi ridurre tale resistenza in proporzione alla inadeguatezza del dettaglio costruttivo dell'elemento considerato.
- (4) Un esempio frequente è quello delle lunghezze di ancoraggio delle barre di armatura, non sempre rispettate in passato. Si può assumere che la resistenza delle barre sia ridotta in proporzione alla riduzione di ancoraggio, tenendo in considerazione l'indicazione normativa che eguaglia la presenza di un uncino ad una lunghezza di ancoraggio di 20 diametri.

6 CAMPAGNA DI RILIEVO E PROVE IN SITO

6.1 CAMPAGNA DI RILIEVO

6.1.1 Prescrizioni verifiche di livello 1 e livello 2

- P(1) Per le verifiche di livello 1 e 2 il valutatore è tenuto ad eseguire un ispezione del ponte in situ, in accordo a quanto riportato nel paragrafo 0.

6.1.2 Prescrizioni verifiche di livello 3 in presenza di documentazione di progetto

- (1) Il valutatore è tenuto a condurre una campagna di rilievi a vista finalizzata alla conferma delle previsioni progettuali e/o all'integrazione delle informazioni disponibili sulla geometria della struttura e dei suoi singoli elementi strutturali.
- (2) Tale rilievo ha una doppia valenza finalizzata in particolare sia alla definizione geometrica del ponte che alla caratterizzazione dei materiali costituenti gli elementi strutturali principali e secondari.
- (3) L'esame a vista deve essere integrato da un'approfondita campagna fotografica nella quale si devono evidenziare lo stato di degrado e i difetti costruttivi eventualmente presenti.

6.1.3

Prescrizioni verifiche di livello 3 in assenza di documentazione di progetto

- (1) La campagna di rilievi in assenza di documentazione di progetto è finalizzata alla completa definizione geometrica della struttura e dei suoi singoli elementi strutturali.
- (2) Il rilievo ha come obiettivo anche la caratterizzazione dei materiali costituenti gli elementi strutturali principali e secondari.
- (3) Il rilievo di tipo geometrico può essere eseguito con metodi di misura tradizionali ampiamente collaudati o facendo uso di tecniche innovative di misurazioni a distanza. Quest'ultime dovranno essere impiegate nei casi in cui non sia possibile raggiungere fisicamente alcuni elementi dell'opera, le cui caratteristiche non possano essere desunte per analogia da elementi simili.
- (4) Per la determinazione della consistenza strutturale possono essere impiegate anche tecnologie d'indagine che fanno uso di strumentazioni a rilievo indiretto.
- (5) L'esame a vista deve essere integrato da un'approfondita campagna fotografica nella quale si devono evidenziare lo stato di degrado e i difetti costruttivi eventualmente presenti.

6.2

CAMPAGNA DI PROVE

6.2.1

Prescrizioni verifiche di livello 3 in presenza di documentazione di progetto

- P(1) Il valutatore deve eseguire una campagna di prove di caratterizzazione dei materiali, basata sul prelievo di campioni e su prove non distruttive.
- P(2) Le prove devono essere eseguite in conformità alla procedura PR.PS.01: *Norme generali per l'esecuzione di prove di caratterizzazione sperimentale per ponti esistenti*.
- P(3) L'utilizzo quantitativo dei risultati delle prove di carico o delle prove dinamiche per l'aggiornamento dei valori di calcolo delle resistenze o dei carichi permanenti deve in ogni caso essere basato sui principi dell'aggiornamento statistico bayesiano.
- (4) In generale i prelievi devono essere realizzati in numero limitato, e tali da non influire sulla sicurezza della struttura oggetto dell'indagine.
- P(5) Il campionamento deve essere limitato e relativo ai materiali critici per gli Stati Limiti non verificati.

Esempio 1 Si ipotizza un impalcato nel quale non è soddisfatta la verifica di rottura a flessione in mezzzeria. La resistenza a rottura flessionale di una trave in cap è governata dal materiale acciaio, in quanto il calcestruzzo determina solamente l'altezza dell'asse neutro. Risultano quindi non necessarie prove in situ sul calcestruzzo, infatti il "guadagno" in termini di resistenza della sezione se il materiale fosse migliore non sarebbe significativo; sono invece opportune delle prove sul materiale acciaio.

Note Indicativamente travi di campate diverse potrebbero essere state prodotte con materiali diversi. In una campata con 10 travi si può assumere che queste siano state prodotte con lo stesso stock di acciaio. In presenza di diverse tipologie di travi (come le travi di bordo) il campionamento va ripetuto per ciascuna tipologia.

Esempio 2 Ipotizzando un ponte a tre campate, si possono ritenere sufficienti 3 prove per ciascuna campata, per un totale complessivo di 9 prove. Ciascuna di esse consiste in un campionamento, nel ripristino dell'acciaio e nelle prove di laboratorio.

6.2.2

Prescrizioni verifiche di livello 3 in assenza della documentazione di progetto

- P(1) Il valutatore deve eseguire una campagna estesa di prove di caratterizzazione dei materiali, basata sul prelievo di campioni e su prove non distruttive.
- P(2) Le prove devono essere eseguite in conformità alla procedura PR.PS.01: *Norme generali per l'esecuzione di prove di caratterizzazione sperimentale per ponti esistenti*.
- (3) I prelievi devono essere estesi ma non tali da influire sulla sicurezza della struttura oggetto dell'indagine. Tutti i materiali devono essere campionati. Sono necessarie scarifiche per verificare la consistenza dell'armatura e carotaggi per la verifica degli spessori.
- (4) La campagna di prove deve essere studiata in modo da avere la più estesa conoscenza del ponte nei materiali e nel suo comportamento strutturale, sia per quanto riguarda gli elementi principali che secondari.
- P(5) L'utilizzo quantitativo dei risultati delle prove di carico o delle prove dinamiche per l'aggiornamento dei valori di calcolo delle resistenze o dei carichi permanenti, deve in ogni caso essere basato sui principi dell'aggiornamento statistico bayesiano.

Esempio Si ipotizza un impalcato in cemento armato precompresso di 3 campate e di cui non si ha la documentazione di progetto. Per avere una conoscenza esaustiva del ponte risultano necessarie le seguenti prove per ciascuna campata:

- Almeno 1 carotaggio per la verificare lo spessore della soletta e della pavimentazione;
- Almeno 3 carotaggi per il calcestruzzo con ripristino e prove in laboratorio;
- Almeno 3 scarifiche per verificare l'armatura lenta con ripristino del copriferro;
- Almeno 6 campionamenti dell'acciaio da precompressione con ripristino e prove in laboratorio.
- Prove di carico per la validazione delle ipotesi.

6.2.3

Prove dirette

- P(1) Ai fini di questa procedura, si definiscono prove dirette quelle che forniscono come risultato quelle grandezze che sono utilizzate direttamente nella verifica strutturale.
- (2) Sono prove dirette, le prove meccaniche di laboratorio su campioni prelevati in sito (per esempio: compressione su carote di calcestruzzo, trazione su barre di acciaio, ...).
- (3) I risultati delle prove dirette possono essere utilizzati direttamente nell'aggiornamento dei valori caratteristici di resistenza secondo le procedure descritte nel capitolo 5.5.5.

6.2.4

Prove indirette

- P(1) Ai fini della presente procedura si definiscono prove indirette le prove che non forniscono direttamente i valori delle caratteristiche meccaniche utilizzate nelle verifiche.
- (2) Sono prove indirette, in generale, tutti i tipi di prove non distruttive, (per esempio: prove di estrazione, prove sclerometriche, prove soniche, ...).
- (3) Le prove indirette sono utili soprattutto per avere un riscontro qualitativo sull'omogeneità delle caratteristiche dei materiali nel manufatto. Tali prove devono pertanto essere convenientemente estese nella struttura.
- P(4) L'utilizzo delle prove indirette nell'aggiornamento probabilistico dei valori caratteristici dei materiali è soggetto alle procedure e alle restrizioni specificate al paragrafo 5.5.6.
- (5) In questo senso, va ricordato che per utilizzare i risultati delle prove indirette ai fini dell'aggiornamento statistico, è sempre necessario correlarne sperimentalmente i risultati con quelli delle prove dirette (per esempio eseguendo alcune prove non distruttive in prossimità delle posizioni in cui verranno eseguiti i prelievi di campioni).

6.2.5

Prove di carico statiche

- (1) Le prove di carico possono essere utili per integrare le informazioni ottenute da altre prove e valutare il comportamento strutturale in tutti i casi in cui manca la documentazione di progetto del ponte.
- (2) Le prove di carico sono sconsigliate in tutti i casi in cui si può verificare una rottura di tipo fragile.
- P(3) L'entità del carico deve in ogni caso essere tale da indurre quantomeno le sollecitazioni previste in esercizio ma comunque tale da non indurre danni permanenti sulla struttura.
- (4) Le informazioni ottenibili dalla prova di carico sono proporzionali all'entità del carico applicato. La necessità di limitare l'entità del carico per evitare danni alla struttura rende la sola prova di carico generalmente inadeguata a verificare l'effettivo livello di sicurezza della struttura.
- (5) I risultati delle prove di carico possono essere utili per validare e/o calibrare il modello numerico di verifica della struttura.

6.2.6

Prove dinamiche

- (1) Le prove dinamiche possono essere utilizzate per valutazioni relative agli effetti dinamici del traffico sulla struttura oppure per determinare i parametri che descrivono il comportamento dinamico della struttura.
- (2) Noti i parametri dinamici della struttura è possibile tarare il modello numerico sull'effettivo comportamento strutturale.
- (3) La conoscenza della risposta dinamica della struttura può essere utile per un monitoraggio, continuo o meno, della variazione nel tempo in modo da evidenziare tempestivamente eventuali anomalie.

7 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI E INSERIMENTO NEL SISTEMA INFORMATICO

7.1 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

- P(1) I risultati della valutazione devono essere riportati in una relazione tecnica da cui risultino evidenti:
- il riferimento alla presente procedura;
 - le caratteristiche delle azioni di calcolo;
 - gli Stati Limite e le combinazioni di calcolo considerati;
 - i livelli di verifica considerati;
 - i modelli di analisi impiegati;
 - il riferimento ad eventuali allegati;
 - i risultati della valutazione.
- P(2) La relazione deve concludersi con uno schema riassuntivo dove, per ciascuno degli stati limite, dei livelli di verifica, degli schemi di carico e condizioni di carico considerati, è indicato il valore della carenza di capacità α del ponte nella situazione di progetto. Per l'inserimento dei dati nello schema fare riferimento a quanto riportato nel paragrafo 7.2.3.
- (vedere allegato BMS All.P3.1 c.10)*
- P(3) La relazione tecnica e tutti gli allegati devono essere redatti in formato elettronico e inseriti nel sistema informatico secondo quanto specificato nel punto successivo.

7.2 INSERIMENTO DEI RISULTATI NEL SISTEMA INFORMATICO

- (1) Per inserire i risultati della valutazione il valutatore deve seguire la seguente procedura:
- accedere dal sito <http://www.bms.provincia.tn.it> al sistema mediante l'username e la password fornite dal Manager;
 - accedere alla sezione *Ispezioni* (secondo pulsante in alto *Ispezioni*);
 - nella sezione *Categoria* a sinistra della schermata spuntare la voce *Valutazione Capacità Portante*.
 - cercare, con l'apposito motore di ricerca posto al centro della schermata il ponte che si è valutato; volendo ricercare un ponte di cui si conosce il nome basta digitare il nome o parte di esso nella casella di testo *Ponte (den. conv.)* e premere il pulsante *Cerca (oppure premere Invio)*; il risultato della ricerca viene visualizzato nell'area di lavoro inferiore;
 - selezionare il ponte valutato. Per entrare nella multipage *Valutazione Capacità Portante* premere sul pulsante *visualizza* in basso.
 - portarsi nell'ambiente di *Modifica* cliccando sul pulsante *Modifica*.
- (2) L'ambiente *Modifica* si presenta come una multipage comprendente le 3 seguenti sezioni, in cui il valutatore deve inserire i dati richiesti:

- dati generali;
- dati esecuzione;
- allegati;
- sicurezza.

7.2.1 Dati generali e dati esecuzione

- (1) Nella sottosezione *dati generali* il valutatore deve inserire i seguenti dati:
 - procedura impiegata;
 - massimo livello di verifica effettuato;
- (1) Nella sottosezione *dati esecuzione* il valutatore deve inserire i dati riepilogativi della valutazione:
 - tipo Ispezione
 - responsabile
 - ponte
 - data Pianificata
 - data Rapporto
 - data Validazione

7.2.2 Allegati

- (1) Devono essere inseriti nel sistema:
 - la relazione tecnica;
 - i relativi allegati stampabili;
 - i file di input e output relativi a tutti i modelli ad elementi finiti utilizzati nel calcolo;
 - eventuali file grafici;
 - ogni altro file ritenuto necessario.
- (2) I file da allegare devono essere preparati secondo i seguenti formati:
 - relazioni e allegati stampabili: formato pdf con dimensione massima di 7 Mb;
 - immagini non inseribili nelle relazioni: formato jpg con dimensione massima di 600 kb;
 - file multimediali: formato mpeg, avi o real con dimensione massima di 7 Mb;
 - file cad: formato dxf con dimensione massima di 3 Mb;
 - file di input o output per modelli agli elementi finiti: formato del programma di calcolo utilizzato.
- (3) Per l'inserimento degli allegati il valutatore deve portarsi nella sezione *allegati* e cliccare il pulsante *Nuovo Elemento*. Per ciascun allegato il sistema richiede:
 - file che si desidera allegare cliccando sul pulsante *Scegli file*;

- descrizione dell'allegato; nel caso in cui si sia utilizzato un programma agli elementi finiti devono essere specificati il nome e la versione del programma;
- id dell'Unità Strutturale a cui l'allegato fa riferimento (se applicabile).

7.2.3 Sicurezza

- (1) L'ambiente *Sicurezza* è costituito da una tabella le cui righe rappresentano gli stati limite significativi per il ponte oggetto di valutazione.
- (2) Per inserire ciascuna riga si clicca sul pulsante *Aggiungi Elemento Sicurezza*. Verranno in tal modo visualizzate le caselle di riepilogo e le caselle di testo per l'inserimento delle seguenti informazioni:
 - **tipologia di carico**: selezionare lo schema di carico per il quale è stata condotta la verifica;
 - **modalità di transito**: selezionare la modalità di transito ipotizzata nella verifica, "transito libero" o "transito centro careggiata";
 - **carenza di capacità**: inserire il valore dell'ultimo indice di carenza di capacità α calcolato per lo Stato Limite;
 - **livello**: selezionare il livello ultimo di verifica dell'analisi;
 - **stato limite**: modalità di collasso relativa allo stato limite considerato; nel caso in cui lo stato limite considerato non sia compreso tra quelli elencati, il campo deve essere lasciato vuoto; gli stati limite previsti nel sito sono:
 - flessione;
 - taglio/punzonamento;
 - pressoflessione;
 - ribaltamento;
 - scorrimento;
 - scalzamento;
 - portanza terreno.
 - **tipo unità strutturale**: tipologia di Unità Strutturale come classificata nelle Guide Generali (MA.GG.01 e MA.GG.02); nel caso in cui lo stato limite dipenda da più di una tipologia di US o nel caso in cui l'US non sia presente nell'elenco, il campo deve essere lasciato vuoto;
 - **descrizione**: breve descrizione dello stato limite;
- (3) Inserire le informazioni relative a ciascun carico, a ciascuna tipologia di transito e per ciascun stato limite. Uscire dalla procedura di inserimento cliccando sul pulsante *Salva*.

7.3 CHIUSURA DELLA VALUTAZIONE

- (1) Per chiudere il rapporto il valutatore deve:
 - fissare in modo definitivo le informazioni inserite cliccando il pulsante *Salva*.

- (2) Una volta eseguita la chiusura del rapporto il valutatore non può più accedere ai dati di valutazione o modificarli senza l'intervento del Manager del sistema.

8

APPENDICI

8.1

APPENDICE A: AGGIORNAMENTO DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SULLA BASE DEI RISULTATI DI PROVE DIRETTE

8.1.1

Metodo a

(1) La procedura è mutuata dalla normativa canadese CAN/CSA S6 88 ed è applicabile anche quando sono disponibili dati ottenuti da un numero limitato di campioni.

(2) Il verificatore, prima dell'effettuazione delle prove, deve definire a quali classi di resistenza (A, B, C, ...; ad esempio per un acciaio potrebbero essere: FeB22k, FeB32k, FeB38k, FeB44k) si aspetta appartenga il materiale della struttura. La definizione deve basarsi sulle conoscenze del verificatore e sui riscontri ottenuti dalla documentazione disponibile.

(3) Il verificatore deve attribuire una probabilità a priori di appartenenza ad ogni possibile classe di resistenza del materiale: $P_0(A)$, $P_0(B)$, $P_0(C)$, ...

Per esempio ipotizzando una probabilità del 20% di appartenenza alla classe FeB22k, del 30% alla classe FeB32k e del 50% alla classe FeB38k si ottiene :

$$P(\text{FeB22k}) = 0.2$$

$$P(\text{FeB32k}) = 0.3$$

$$P(\text{FeB38k}) = 0.5$$

per cui la somma delle probabilità risulti pari ad 1.0 ($\sum P(m)=1.0$).

(4) Va osservato che se ad una classe di resistenza il verificatore assegna valore nullo di probabilità, la procedura non consentirà, in ogni caso, di individuare tale classe di resistenza come quella propria del materiale.

(5) Noti i valori di resistenza definiti attraverso un certo numero di prove n , deve essere valutata la verosimiglianza che il valore di ogni singola prova appartenga ad una classe di materiale definita attraverso la sua distribuzione statistica. La verosimiglianza $L(A)$ che il campione appartenga alla classe A può essere calcolata come:

$$L(A) = f_{A1} f_{A2} \dots f_{An} \quad [8.1]$$

dove:

f_{Ai} è la frequenza di accadimento del valore x_i condizionato alla classe di resistenza A. La frequenza di accadimento f_{Ai} si ottiene applicando la seguente espressione:

$$f_{Ai} = f_A(x_i) \quad [8.2]$$

dove:

$f_A(x)$ è la distribuzione delle resistenze attese a priori relative alla classe A. La verosimiglianza è calcolata in maniera analoga per tutte le classi considerate.

(6) Nell'ipotesi di distribuzione normale, $f_A(x)$ può essere espressa come:

$$f_A(x) = N(R_{Am}, \sigma_{RA}) = \frac{1}{\sigma_{RA} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - R_{Am}}{\sigma_{RA}}\right)^2\right) \quad [8.3]$$

in cui i valori di media e deviazione standard R_{Am} e σ_{RA} possono essere dedotti dalle indicazioni riportate al paragrafo 5.5.4.

- (7) La probabilità, aggiornata a posteriori, che il materiale appartenga alla classe A di resistenza, è calcolata con la seguente formula:

$$P(A) = \frac{P_0(A)L(A)}{\sum_{j=1}^m P_0(j)L(j)} \quad [8.4]$$

dove:

$j=A, B, C, \dots$;

m è il numero di classi di resistenza considerate.

Con espressioni del tutto analoghe è possibile calcolare le probabilità a posteriori di appartenenza a ciascuna delle classi considerate.

- (7) Il valore di resistenza caratteristica R_k utilizzabile nella verifica di sicurezza deve soddisfare la seguente espressione:

$$P(A) F_A(R_k) + P(B) F_B(R_k) + P(C) F_C(R_k) \dots \geq 0.05$$

dove:

F_A è la funzione di distribuzione normale cumulata con media R_{Am} e deviazione standard σ_{RA} ; in modo analogo sono definite le funzioni di distribuzione di probabilità delle altre classi (B, C, ...).

8.1.2

Metodo b

- (1) Il presente metodo è applicabile nell'ipotesi di una distribuzione statistica della resistenza a priori e a posteriori di tipo normale.
- (2) Questa procedura presenta il vantaggio che un errore significativo nelle assunzioni a priori anche nel caso di un numero n di campioni non troppo elevato, viene facilmente corretto.
- (3) La resistenza media e la deviazione standard a posteriori del materiale possono essere calcolate con le seguenti espressioni:

$$R_m = \frac{(n x_m \sigma_2^2 + R_{m0} \sigma_1^2)}{(n \sigma_2^2 + \sigma_1^2)} \quad [8.5]$$

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_4^2} \quad [8.6]$$

dove:

σ_1 è la deviazione standard della distribuzione delle resistenze R condizionata alla conoscenza del valore medio R_{m1} delle resistenze all'interno della struttura considerata;

σ_2 è la deviazione standard della distribuzione delle resistenze medie R_{m1} attese a priori;

σ_R è lo scarto quadratico a posteriori;

R_{m0} è il valore medio della variabile R a priori;

x_m è il valore medio degli n campioni di materiale provati, dato da:

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [8.7]$$

σ_4 è definito come:

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{(\sigma_1^2 \cdot \sigma_2^2)}{(\sigma_1^2 + n \sigma_2^2)}} \quad [8.8]$$

- (4) In generale deve valere la seguente relazione:

$$\sigma_{R0} = \sigma_1 + \sigma_2 \quad [8.9]$$

dove:

σ_{R0} è la deviazione standard della variabile R a priori.

- (4) Possono essere assunti, sotto la responsabilità del verificatore, i valori di media e deviazione standard a priori della resistenza dei materiali riportati al paragrafo 5.5.4;
- (5) In assenza di valutazioni più precise, e comunque sotto la responsabilità del verificatore, si può assumere che:

$$\sigma_1 = 0.5 \cdot \sigma_{R0} \quad [8.10]$$

Noto σ_1 è possibile calcolare σ_2 con la [8.7]:

$$\sigma_2 = \sigma_{R0} - \sigma_1 \quad [8.11]$$

- (6) Il valore caratteristico a posteriori R_k della resistenza da utilizzare nella verifica di sicurezza può essere infine calcolato come:

$$R_k = R_m - 1.64 \sigma_R \quad [8.12]$$

8.1.3

Metodo c

- (1) Il presente metodo è utilizzabile nell'ipotesi di una distribuzione statistica a priori e a posteriori di tipo normale, quando è disponibile un numero sufficientemente alto n di prove dirette per definirne la distribuzione statistica.
- (2) In questo caso, i parametri che descrivono la distribuzione a posteriori possono essere calcolati con le seguenti espressioni:

$$R_m = \frac{(x_m \sigma_{R0}^2 + R_{m0} \sigma_x^2)}{(\sigma_x^2 + \sigma_{R0}^2)} \quad [8.13]$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 \sigma_{R0}^2}{\sigma_x^2 + \sigma_{R0}^2}} \quad [8.14]$$

dove:

R_{m0} è la media della resistenza a priori;

R_m è la media della resistenza a posteriori;

x_m è la media campionaria degli n risultati x_i delle prove, data da:

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [8.15]$$

dove:

σ_{R0} è lo scarto quadratico a priori;

σ_R è lo scarto quadratico a posteriori;

σ_X è lo scarto quadratico medio campionario, definito come:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}} \quad [8.16]$$

- (3) Il valore caratteristico a posteriori R_k della resistenza da utilizzare nella valutazione di sicurezza può essere infine calcolato come:

$$R_k = R_m - 1.64 \sigma_R \quad [8.17]$$

8.2

APPENDICE B: AGGIORNAMENTO DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SULLA BASE DEI RISULTATI DI PROVE INDIRETTE

8.2.1

Modello di correlazione

- (1) In generale, il risultato y_i di una prova indiretta (ad esempio: la forza di estrazione di un tassello da un elemento in calcestruzzo) è correlato alla grandezza meccanica di interesse $x_{ind,i}$ (ad esempio: la resistenza cubica del calcestruzzo) attraverso un modello di correlazione:

$$x_{ind,i} = h(y_i) \quad [8.18]$$

- (2) Il modello di correlazione può essere noto a priori nei casi in cui, ad esempio, sia fornito da una normativa o da un manuale di istruzioni.
- (3) Qualora il verificatore ritenga che sussistano le condizioni, il modello di correlazione può essere definito parametricamente e tarato correlando un numero adeguato di prove indirette con le corrispondenti prove dirette, eseguite negli stessi punti della struttura.
- (4) I parametri del modello di correlazione possono essere identificati minimizzando la deviazione standard σ_5 della verosimiglianza dell'esito della prova indiretta condizionato all'esito della prova diretta $P(x_{ind,i}/x_i)$. In questo caso σ_5 risulta:

$$\sigma_5 = \sqrt{\frac{\sum (x_{ind,i} - x_i)^2}{n-1}} \quad [8.19]$$

- (5) Nel caso in cui il modello di correlazione assunto sia lineare, cioè del tipo:

$$x_{ind,i} = a + b y_i \quad [8.20]$$

la varianza della verosimiglianza σ_5 può essere minimizzata correlando almeno 3 prove dirette x_i con almeno 10 prove indirette y_i .

8.2.2

Aggiornamento bayesiano dei valori di resistenza

P(1) Per utilizzare gli esiti delle prove indirette in una procedura di aggiornamento statistico della resistenza dei materiali, deve essere tenuta in debito conto la distribuzione della verosimiglianza dell'esito della prova indiretta condizionato all'esito della prova diretta.

(2) La verosimiglianza, definita al punto precedente, può essere assunta con distribuzione normale con media R_5 e varianza σ_5 . In tal caso il valore di σ_5 è quello espresso dall'equazione [8.19].

e deve essere fondato su risultati sperimentali.

(3) Indipendentemente dal modello di correlazione assunto, la varianza della verosimiglianza σ_5 deve essere calcolata correlando almeno 3 prove dirette x_i con almeno 10 prove indirette y_i , eseguite in punti corrispondenti della struttura.

P(4) In ogni caso, gli esiti delle prove indirette possono essere impiegati in un processo di aggiornamento solo quando:

$\sigma_5 < 8$ MPa per la resistenza cubica del calcestruzzo,

$\sigma_5 < 24$ MPa per la tensione di snervamento dell'acciaio.

(5) Nell'ipotesi in cui P(4) sia soddisfatto, la resistenza media e la deviazione standard a posteriori del materiale possono essere calcolate con le seguenti espressioni:

$$R_m = \frac{(n x_m \sigma_2^2 + R_m \sigma_1^2)}{(n \sigma_2^2 + \sigma_1^2)} \quad [8.21]$$

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2} \quad [8.22]$$

in cui il significato dei simboli è quello specificato al paragrafo 8.1.1.

(6) Il valore caratteristico a posteriori R_k della resistenza da utilizzare nella valutazione di sicurezza può essere infine calcolato come:

$$R_k = R_m - 1.64 \sigma_R \quad [8.23]$$