

**RETE IN GESTIONE AD
AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.p.A.
RICADENTE NEL TERRITORIO
NAZIONALE**

**PONTI E VIADOTTI
CON DIFETTI NON SIGNIFICATIVI**

**VALUTAZIONI PRELIMINARI DELLO STATO
DELL'OPERA, PIANI DI INDAGINE, SUPPORTO
SPECIALISTICO IN FASE DI INDAGINE E
VERIFICHE ACCURATE**

(AI SENSI DELLE NTC18 E DELLE LL.G.20)

Valutazioni preliminari dello stato dell'opera

Specifica tecnica

13 Novembre 2020

Sommario

1	Introduzione.....	4
1.1	Inquadramento di insieme dell'attività.....	4
1.2	Approccio metodologico	6
1.2.1	Verifica Preventiva e Parziale della Sicurezza [VPPS]	6
1.2.2	Valutazione Preliminare dell'Opera di Livello 3 [VPL3].....	8
1.2.3	Valutazione Preliminare di Incidenza del Difetto [VPID].....	9
1.2.4	Prospetto riassuntivo degli indicatori delle valutazioni numeriche preliminari	10
2	Acronimi.....	11
3	Struttura delle relazioni.....	13
3.1	Premessa.....	13
3.2	Normative di riferimento.....	13
3.3	Descrizione dell'opera.....	13
3.3.1	Anagrafica dell'opera.....	13
3.3.2	Ubicazione geografica.....	13
3.3.3	Tipologia strutturale.....	13
3.3.4	Storia tecnico amministrativa dell'opera	14
3.4	Assunzioni progettuali ai fini del calcolo e delle verifiche	14
3.5	Resistenza dei materiali.....	14
3.5.1	Impalcati.....	17
3.5.2	Elevazioni.....	17
3.6	Analisi dei carichi.....	17
3.6.1	Pesi propri e carichi permanenti portati	17
3.6.2	Azioni variabili	17
3.7	Combinazioni dei carichi.....	20
3.8	Software di calcolo utilizzati.....	20
3.8.1	Modelli agli elementi finiti	20
3.8.2	Verifiche.....	20
3.9	Modello di calcolo.....	20
3.9.1	Unità di misura.....	20
3.9.2	Geometrie.....	20
3.9.3	Vincoli e connessioni.....	20
3.9.4	Modellazione del difetto / del degrado	20
3.9.5	Carichi.....	21

3.10	Validazione del modello.....	21
3.11	Risposta della struttura	21
3.12	Valutazioni preliminari dello stato dell'Opera	21
3.12.1	Descrizione dei difetti	21
3.12.2	Descrizione delle sezioni oggetto di verifica	25
3.12.3	Verifiche Preventive e Parziali della Sicurezza [VPPS].....	26
3.12.4	Valutazione Preliminare dell'Opera di Livello 3 [VPL3] - Analisi delle domande	33
3.12.5	Valutazione Preliminare di Incidenza del Difetto [VPID].....	35
3.13	Conclusioni.....	36

1 INTRODUZIONE

Il presente documento descrive, dal §2 in avanti, la suddivisione in capitoli delle relazioni di calcolo ed i contenuti minimi che devono essere sviluppati nell'ambito delle **valutazioni preliminari sullo stato dei ponti e viadotti (PVD) con difetti non significativi**.

Tale descrizione è anticipata, nel presente capitolo, da un inquadramento di insieme dell'attività [§1.1] e da una rappresentazione riassuntiva dell'approccio metodologico adottato [§1.2].

Il documento e la metodologia in esso descritta possono applicarsi, nei principi e nelle regole generali, a tutte le tipologie di opere presenti sulla Rete ASPI. Ferma restando questa valenza generale, il documento declina i dettagli operativi nel caso dei ponti in c.a. e c.a.p.

1.1 Inquadramento di insieme dell'attività

La valutazione numerica preliminare dell'attuale stato delle opere con difetti rientra nell'ambito di uno specifico programma condiviso tra ASPI e il MIT che prevede:

- a. la realizzazione di un piano di assessment triennale di tutti i ponti e viadotti della Rete, consistente nell'esecuzione della valutazione della sicurezza di ciascuna opera secondo le vigenti norme tecniche per le costruzioni [§8.3-NTC18] da operare con il massimo livello di conoscenza [LC3]. Tale piano, nell'ottica di un'omogenea valutazione delle opere in esercizio, va ad integrare gli obblighi di Verifica Accurata di Livello 4 [VAL4] previsti dalle LL.G.20 per le sole opere in Classe di Attenzione Alta [§6 - LL.G.20];
- b. in relazione ai tempi necessari per il completamento dell'assessment triennale di cui al punto a, l'esecuzione di valutazioni numeriche preliminari da concludersi entro l'Aprile 2021 per le opere che presentano difetti non significativi con intensità superiore al grado superficiale e quindi con un effetto riduttivo, ancorché locale e a prescindere dalla effettiva entità, delle sezioni resistenti di progetto. Tali valutazioni numeriche preliminari sono costituite da tre sotto-processi distinti [VPPS, VPL3 e VPID] così come declinati al §1.2.

La valutazione numerica preliminare, associata all'esito della valutazione di Vulnerabilità Sismica [VS] espresso in termini di *Tempo minimo di intervento* [T_{int}], ha come obiettivo primario l'individuazione di un livello di priorità per ogni opera, ai fini del completamento del piano di assessment. In **Figura 1** il processo appena descritto è sinteticamente illustrato.

La valutazione preliminare dello stato dell'opera [VPPS, VPL3 e VPID] è condotta in accordo a quanto previsto dai seguenti documenti normativi di riferimento per i ponti e viadotti esistenti:

- NTC18 – “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto 17 Gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti,
- LL.G.20 – “Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti” allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019 del 17/04/2020.

In assenza di una campagna di indagine, per la determinazione delle caratteristiche dei materiali, in via “transitoria”, ci si riferirà alle informazioni contenute nella documentazione di progetto delle singole opere, come meglio illustrato al §3.5.

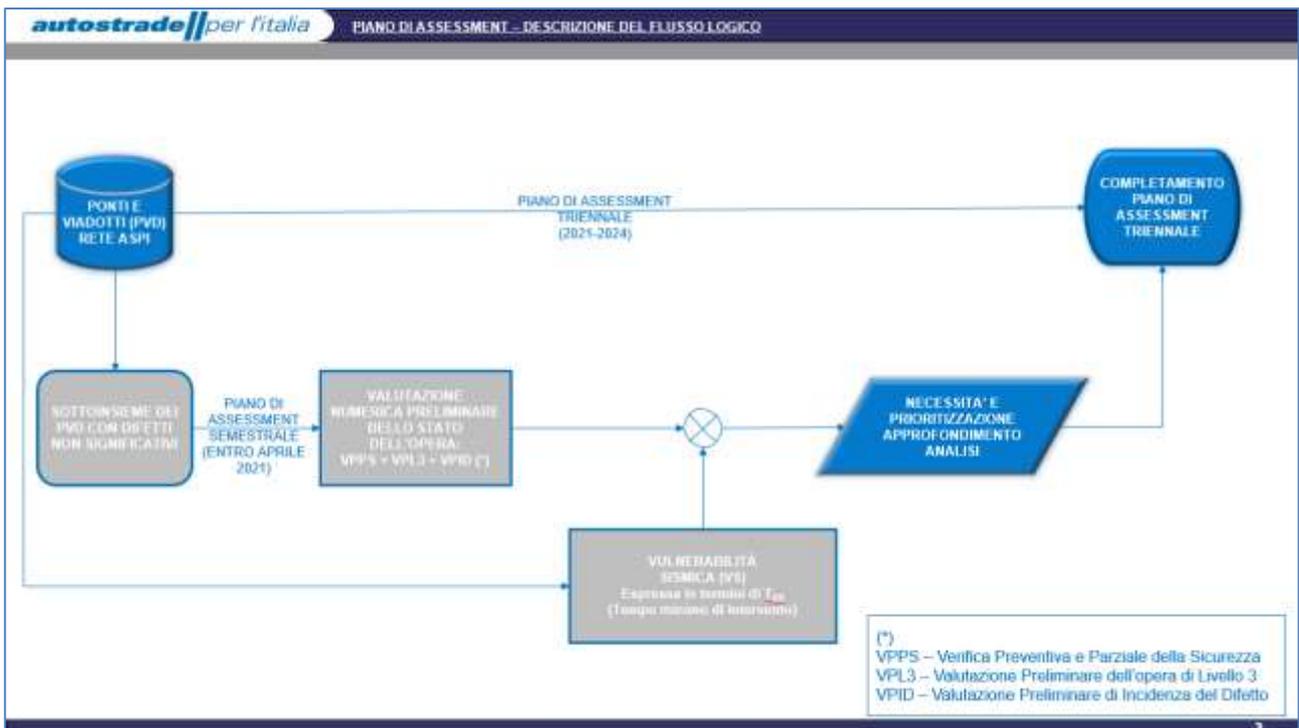


Figura 1 – Piano di assessment PVD Rete ASPI

ASPI valuterà, caso per caso, sulla base delle indicazioni fornite dal progettista incaricato di eseguire la valutazione preliminare, l'opportunità di modificare il percorso standard del piano triennale qualora si riscontrino risultati non soddisfacenti, mettendo in atto piani ad hoc di verifica della sicurezza e di intervento sulle opere interessate, nonché l'introduzione di temporanee limitazioni al traffico.

1.2 Approccio metodologico

Il processo di valutazione numerica preliminare si suddivide, come anticipato, in tre sotto-processi distinti anticipati da uno studio della documentazione a disposizione, corredata da eventuali sopralluoghi in campo da parte della società di ingegneria incaricata, i cui esiti determinano la necessità di effettuare indagini conoscitive della geometria e dei materiali per le parti d'opera che presentano difetti.

In **Figura 2** i tre sotto-processi sono sinteticamente descritti.

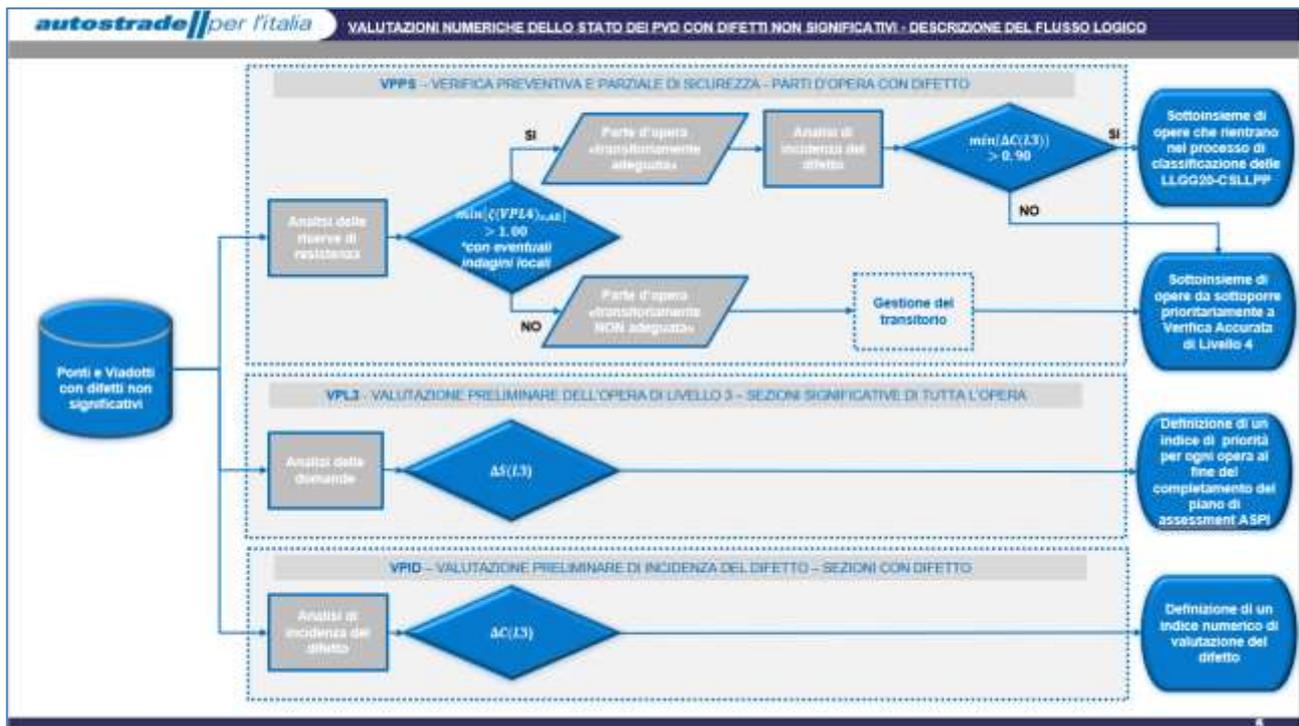


Figura 2 – Valutazioni numeriche preliminari dello stato dei PVD con difetti non significativi: VPPS – VPL3 - VPID

1.2.1 Verifica Preventiva e Parziale della Sicurezza [VPPS]

Il primo sotto-processo è denominato “**Verifica Preventiva Parziale della Sicurezza**” dell’Opera [VPPS] ed interessa le sole parti d’opera che inglobano il difetto, intendendo per parte d’opera l’unità strutturale composta da più componenti (ad es. la parte d’opera “impalcato” è composta, nel caso di impalcato a graticcio, dai componenti travi, traversi, solette, sbalzi).

Esse vengono sottoposte ad una “analisi di riserva delle resistenze” che consiste nella determinazione dei rapporti ζ_v sia per meccanismi duttili che fragili, utilizzando i fattori parziali di sicurezza delle azioni previsti al §6.3.3 delle LL.G.20 per la condizione di opera “adeguata”, su tutte le sezioni significative e con difetto della parte d’opera interessata dallo stesso.

Il prodotto finale è la determinazione dell’adeguatezza “transitoria” [in quanto non approfondita secondo quanto richiesto al §6 delle LL.G.20 per la Valutazione Accurata di livello 4 o VAL4] o meno della parte d’opera analizzata alle azioni previste dalle NTC18 per i carichi variabili da traffico.

Nel caso in cui il primo set di valutazioni di sicurezza sia soddisfatto, si procede direttamente alla valutazione preliminare di incidenza del difetto (v. §1.2.3), il cui risultato è espresso per mezzo del

rapporto $[\Delta C(L3) = \frac{C_{Rd,Red}}{C_{Rd}}]$ tra la resistenza di progetto ridotta a causa della presenza del difetto $[C_{Rd,Red}]$ e la resistenza di progetto in assenza dello stesso $[C_{Rd}]$, sia nel caso di meccanismi duttili che di meccanismi fragili [per ulteriori dettagli si consultino le note alla tabella contenuta nel §1.2.4]. Viceversa, se la parte d'opera non viene dichiarata “transitoriamente adeguata” $[\min\{\zeta(VPL4)_{v,AD}\} \leq 1]$ si effettuano delle valutazioni numeriche ai fini della gestione del periodo che intercorre tra l'analisi di riserva delle resistenze ed il completamento della VAL4 [“gestione del transitorio”], come illustrato in **Figura 3**.

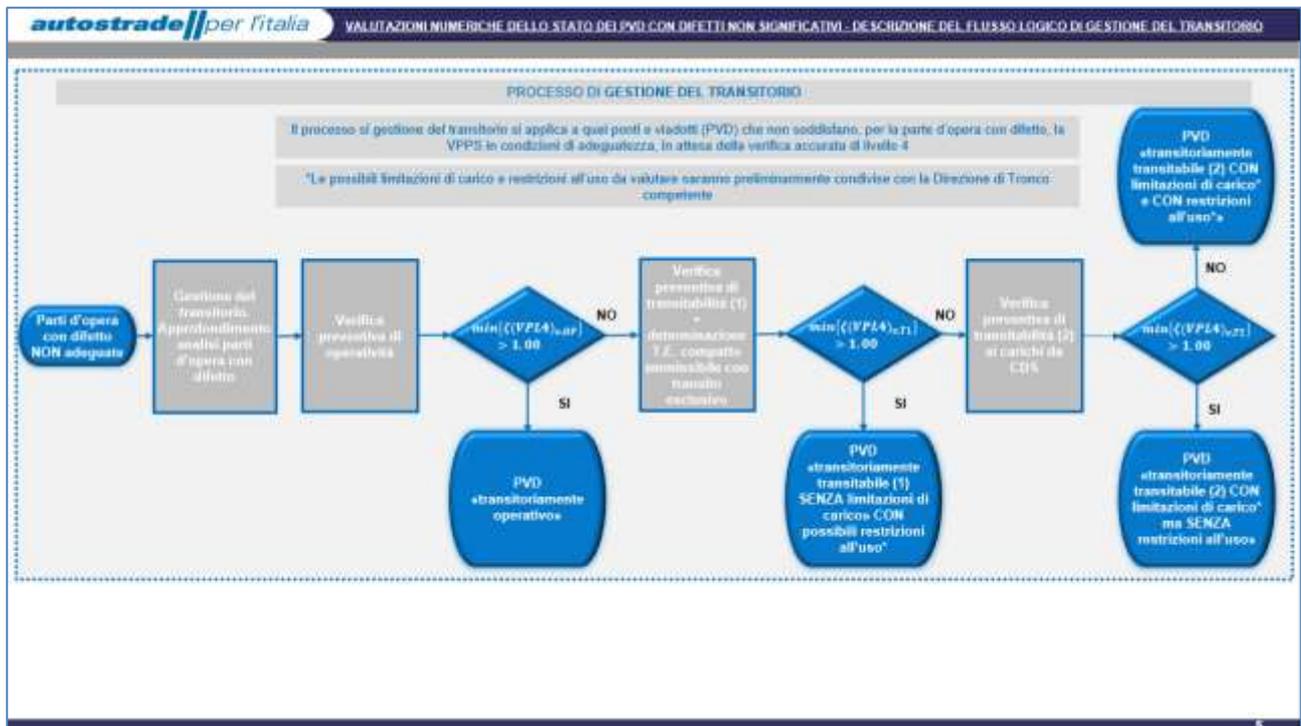


Figura 3 – VPPS: Gestione del transitorio

Il primo passo di tale approfondimento consiste nella reiterazione della “analisi di riserva delle resistenze” mediante l’abbattimento dei fattori parziali di sicurezza delle azioni previsti al §6.3.3 delle LL.G.20 per la condizione di opera “operativa”.

In caso di superamento della valutazione $[\min\{\zeta(VPL4)_{v,OP}\} > 1]$ l’opera viene dichiarata nel suo complesso “transitoriamente operativa”; viceversa, si procede alla verifica preventiva di transitabilità (1) per carichi da NTC18 e quindi di transitabilità (2) per carichi da CdS, in analogia alla definizione del §6 delle LL.GG.20-CSLLPP per la condizione di opera “transitabile” con limitazione dei carichi consentiti. Per entrambi i casi si parte dalla condizione di assenza di restrizioni geometriche d’uso dell’opera; in caso di non soddisfacimento di questa ipotesi, si concordano preliminarmente con la Direzione di Tronco competente gli scenari indagabili per poi procedere alle verifiche.

Come per i precedenti casi, il soddisfacimento di questa verifica, $[\min\{\zeta(VPL4)_{v,T1}\} > 1]$ oppure $[\min\{\zeta(VPL4)_{v,T2}\} > 1]$, comporta l’assunzione di opera “transitoriamente transitabile (1) o (2)”, definendo, caso per caso, le limitazioni di carico e le restrizioni d’uso geometriche che garantiscono il superamento delle valutazioni.

In entrambi i casi in cui sia necessario procedere alla verifica preventiva di transitabilità, sia di tipo (1) che (2), si determina anche il massimo “Transito Eccezionale compatto” nell’ipotesi di transito esclusivo [§3.12.3.5].

1.2.2 Valutazione Preliminare dell’Opera di Livello 3 [VPL3]

Il secondo sotto-processo è la “**Valutazione Preliminare**” dell’Opera di **Livello 3 [VPL3]** che, in accordo alla definizione contenuta al §5- LL.G.20, consiste nella modellazione globale dell’opera, al fine di individuare sui vari elementi che la compongono il rapporto tra la domanda caratteristica (per meccanismi duttili e fragili), determinata sulla base degli schemi di carico del progetto originario [$S_{Ek,OR}$], e quella ottenuta considerando gli schemi di carico previsti dalle NTC18 [$S_{Ek,NTC18}$]
$$[\Delta S(L3) = \frac{S_{Ek,OR}}{S_{Ek,NTC18}}].$$

Il complesso dei rapporti determinati su tutte le sezioni significative dei vari elementi dell’opera fornisce un indice di priorità per il completamento del piano di assessment triennale. Più in generale, la *VPL3* consente di stimare, se pur preliminarmente, le risorse minime garantite dalle diverse normative al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti.

Nel solo caso in cui le sollecitazioni indotte sulla struttura dall’applicazione degli schemi previsti dalla norma progettuale originaria siano disponibili nella documentazione di archivio, sarà possibile non eseguire l’analisi agli elementi finiti per tali scenari di carico, fermo restando la necessità di determinare le sollecitazioni indotte dalle NTC18.

1.2.3 Valutazione Preliminare di Incidenza del Difetto [VPID]

Il terzo sotto-processo è la **Valutazione Preliminare di Incidenza del Difetto [VPID]**, ovvero l'analisi di incidenza del difetto sulla capacità resistente delle sezioni interessate (**Figura 4**).



Figura 4 – Valutazione Preliminare di Incidenza del Difetto (VPID)

Preliminarmente a tale valutazione, qualora la descrizione del difetto riportata nelle schede di ispezione non consenta una determinazione esaustiva dell'effetto dello stesso sulla capacità resistente, il progettista potrà effettuare, laddove ritenuto necessario, un sopralluogo sull'opera valutando eventualmente anche l'esecuzione di prove e indagini specifiche sulla parte d'opera interessata dal difetto. Tale ulteriore ispezione dovrà essere eseguita conformemente alla pratica e agli standard utilizzati da ASPI.

L'esito di tale valutazione è utilizzato, da un lato, per individuare opere per le quali è necessario accelerare la realizzazione degli interventi, effettuando prioritariamente la VAL4, nonché per determinare la necessità di considerare le azioni orizzontali dovute alla frenatura, come meglio specificato al §3.6.2, dall'altro, per irrobustire la comprensione sugli effetti del difetto in esame, nell'ottica di un'ottimizzazione del Manuale della sorveglianza e del Catalogo dei difetti ad esso associato.

1.2.4 Prospetto riassuntivo degli indicatori delle valutazioni numeriche preliminari

Nella tabella sottostante sono stati riportati tutti gli indicatori da determinare al fine delle valutazioni numeriche preliminari descritte ai paragrafi precedenti.

Nome	Acronimo	Calcolo	Livello di conoscenza	Fattori di confidenza	Combinazione	Estensione dell' analisi	Principali riferimenti LL.GG. 20- CSLPP	Soglia
VPPS PVD preventivamente adeguato	$\zeta(VPL4)_{vAD}$	$\frac{C_{Rd} - S_{Ed,G}}{S_{Ed,Q}}$	LC1 *	$FC_{CLS} = 1,35$ $FC_{Acciaio} = 1,20$ **	Condizione di adeguatezza	Parti d'opera con difetto	§6.1.5 §6.3.2.2 §6.3.3.3	1
VPPS PVD preventivamente operativo	$\zeta(VPL4)_{vOP}$	$\frac{C_{Rd} - S_{Ed,G}}{S_{Ed,Q}}$	LC1 *	$FC_{CLS} = 1,35$ $FC_{Acciaio} = 1,20$ **	Operatività	Parti d'opera con difetto	§6.1.5 §6.3.2.2 §6.3.3.3	1
VPPS PVD preventivamente transitabile (1)****	$\zeta(VPL4)_{vT1}$	$\frac{C_{Rd} - S_{Ed,G}}{S_{Ed,Q}}$	LC1 *	$FC_{CLS} = 1,35$ $FC_{Acciaio} = 1,20$ **	Transitabilità (1) con possibili restrizioni d'uso geometriche	Parti d'opera con difetto	§6.1.5 §6.3.2.2 §6.3.3.3	1
VPPS PVD preventivamente transitabile (2)****	$\zeta(VPL4)_{vT2}$	$\frac{C_{Rd} - S_{Ed,G}}{S_{Ed,Q}}$	LC1 *	$FC_{CLS} = 1,35$ $FC_{Acciaio} = 1,20$ **	Transitabilità (2) con limitazioni di carico e con possibili restrizioni d'uso geometriche	Parti d'opera con difetto	§6.1.5 §6.3.2.2 §6.3.3.4	1
VPL3	$\Delta S(L3)$	$\frac{S_{Ek,OR}}{S_{Ek,NTC18}}$	–	–	Caratteristica	Opera***	§5	1
VPID	$\Delta C(L3)$	$\frac{C_{Rd,Red}}{C_{Rd}}$	–	–	Condizione di adeguatezza	Sezioni dell'elemento con difetto	–	0,9

* Livello di conoscenza variabile in funzione dei documenti a disposizione e delle eventuali indagini locali.

** Per il solo acciaio si potrà utilizzare il fattore di confidenza associato al Livello di conoscenza 2 ($FC=1,20$) anche quando si è raggiunto solo LC1.

*** Ad esclusione di fondazioni e spalle.

**** Descrizione valida anche in caso di restrizioni d'uso del ponte.

2 ACRONIMI

Di seguito l'elenco dei principali acronimi utilizzati all'interno del presente documento:

- NTC18 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto 17 Gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
- LL.G.20 – Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019 del 17/04/2020
- CNR-DT 207/2008 – Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni
- LC1 – Livello di conoscenza 1 (limitata) in accordo alle NTC18
- LC2 – Livello di conoscenza 2 (adeguata) in accordo alle NTC18
- LC3 – Livello di conoscenza 3 (accurata) in accordo alle NTC18
- LC_x – Livello di conoscenza raggiunto (LC1, LC2, LC3) con le indagini conoscitive di geometria e materiali
- FC – Fattore di confidenza funzione del livello di conoscenza
- CdA – Classe di Attenzione in accordo alle LL.G.20
- CdS – Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285 “Codice della Strada” e ss.mm.ii.
- $VPPS$ – Verifica Preventiva e Parziale della Sicurezza
- $VPL3$ – Valutazione Preliminare dell'opera di Livello 3 in accordo al §5 delle LL.G.20
- $VPID$ – Valutazione Preliminare di Incidenza del Difetto
- $VAL4$ – Verifica Accurata di Livello 4 in accordo al §6 delle LL.G.20
- $\zeta(VPL4)_{v,xx} = \frac{C_{Rd,Red} - S_{Ed,G}}{S_{Ed,Q}}$ – Rapporto, in analogia alla definizione riportata nel §8.3 delle NTC18, tra il valore massimo del sovraccarico variabile sopportabile dalla parte i -esima dell'opera e il valore del sovraccarico variabile determinato nello scenario di carico di riferimento “xx”. Determinato anche in funzione del livello di conoscenza e della resistenza effettiva della sezione allo stato attuale (ridotta per il difetto)
- $S_{Ed,G}$ – Azione sollecitante derivante dai pesi propri strutturali e dai carichi permanenti non strutturali
- $S_{Ed,Q}$ – Azione sollecitante derivante dai carichi accidentali
- ($VPL4$), con la dicitura indicata tra parentesi associata al parametro ζ , si rimarca che lo ζ è stato ricavato con una Valutazione Preliminare in analogia al Livello 4

- $\Delta S(L3) = \frac{S_{EK,OR}}{S_{EK,NTC18}}$ – Rapporto che evidenzia la variazione del tasso di sollecitazione caratteristica agente nell'elemento in esame al variare della norma considerata in accordo al §5 delle LL.G.20¹
- $S_{EK,OR}$ – Domanda sull'elemento in esame, espressa in termini di sollecitazione agente, richiesta dalle azioni caratteristiche della normativa di progetto originario dell'opera in esame
- $S_{EK,NTC18}$ – Domanda sull'elemento in esame, espressa in termini di sollecitazione agente, richiesta dalle azioni caratteristiche previste dalle NTC18 per le opere di nuova realizzazione
- $S(Red)_{EK,NTC18}$ – Domanda sull'elemento in esame, espressa in termini di sollecitazione agente, richiesta dalle azioni caratteristiche previste dalle NTC18 per le opere di nuova realizzazione e determinata considerando il difetto presente sull'opera
- $\Delta C(L3) = \frac{C_{RD,Red}}{C_{RD}}$ – Rapporto che evidenzia il tasso di riduzione della capacità resistente della sezione dell'elemento in esame per meccanismi duttili o fragili in funzione del difetto riscontrato²
- $C_{RD,Red}$ – Capacità resistente della sezione dell'elemento in esame ridotta per meccanismi fragili o duttili in funzione del difetto riscontrato
- C_{RD} – Capacità resistente della sezione dell'elemento in esame per meccanismi fragili o duttili in assenza del difetto
- VS – Valutazione della vulnerabilità Sismica di livello 1 e 2 ai sensi del DPCM del 21/10/2003
- T_{int} – Tempo di intervento.

¹ L'acronimo contiene l'indicazione al livello di valutazione 3 previsto dalle LL.G.20 (§5).

² Sebbene le LL.G.20 non richiedano esplicitamente la determinazione di tale rapporto, la sua valutazione è funzionale alla quantificazione del livello di significatività del difetto riscontrato. Nell'indicatore resta il riferimento al livello 3 di valutazione delle LL.G.20.

3 STRUTTURA DELLE RELAZIONI

3.1 Premessa

In premessa si deve inserire un testo che descriva il flusso logico delle valutazioni numeriche contenute in relazione.

3.2 Normative di riferimento

L'elenco minimo delle normative di riferimento deve essere composto da:

- NTC18 e ss.mm.ii.;
- LL.G.20;
- CdS e ss.mm.ii.;
- CNR-DT 207/2008;
- Normativa di progetto originaria dell'opera (e di eventuali interventi successivi).

3.3 Descrizione dell'opera

3.3.1 Anagrafica dell'opera

Si deve inserire il Codice Stone dell'opera e fornire i principali dati identificativi.

3.3.2 Ubicazione geografica

Si deve inserire uno stralcio planimetrico riportante l'ubicazione dell'opera con evidenziato il tracciato dell'Autostrada di appartenenza.

Si devono inserire le coordinate geografiche.

3.3.3 Tipologia strutturale

Si deve riportare, oltre allo schema statico dell'opera, la descrizione di massima degli elementi che compongono l'opera, anche se non soggetti a *VPPS*, corredata da una tabella riepilogativa.

Inserire almeno una sezione trasversale ed una longitudinale dell'opera.

La descrizione deve essere suddivisa almeno nei sottoparagrafi di seguito riportati.

3.3.3.1 Impalcati

3.3.3.2 Pile

3.3.3.3 Spalle

3.3.3.4 Fondazioni

3.3.4 Storia tecnico amministrativa dell'opera

3.3.4.1 *Primo impianto e successivi interventi*

Si deve descrivere sinteticamente la storia dell'opera. Tra gli elementi minimi da citare si elencano:

- Anno di costruzione;
- Anno di apertura al traffico;
- Elenco degli interventi successivi.

3.3.4.2 *Informazioni progettuali*

Si deve inserire una descrizione sintetica degli elaborati a disposizione.

Si deve inserire un elenco puntuale degli elaborati effettivamente utilizzati (carpenterie, relazioni di calcolo, etc) ai fini delle verifiche con elenco suddiviso in funzione del livello della documentazione (progetto definitivo, progetto esecutivo, contabilità finale, variante), indicando l'anno riportato nel documento, ove reperibile.

I documenti di riferimento devono essere riportati in allegato alle relazioni di calcolo.

3.4 Assunzioni progettuali ai fini del calcolo e delle verifiche

Si deve riportare un'analisi dei dati riportati al capitolo precedente per la definizione delle caratteristiche di resistenza dei materiali e dei carichi elementari (ad esempio, qui si riportano considerazioni sulla variazione dei permanenti portati sull'impalcato emersi dalle ispezioni o da altre fonti).

In questo paragrafo NON si devono riportare le assunzioni sui livelli di confidenza a meno che non vengano ripetute al §3.5.

3.5 Resistenza dei materiali

In questa sezione si deve riportare la caratterizzazione della resistenza di calcolo dei materiali nelle diverse situazioni che possono presentarsi durante l'esecuzione delle *VPPS*. In particolare, si devono esplicitare le assunzioni in merito ai livelli di conoscenza ed ai fattori di confidenza associati, giustificandole in funzione degli elaborati progettuali originari disponibili, di eventuali rilievi, della

disponibilità di indagini sui materiali e/o prove di carico, dell'analisi dei difetti descritti nelle schede di ispezione condotte negli ultimi 5 anni.

Ai fini di tale caratterizzazione, le LLG20 al §6.3.4 specificano che:

“La determinazione dei valori di progetto delle caratteristiche dei materiali, come previsto dalle vigenti Norme Tecniche, avviene sempre su base statistica, correggendo, nel caso di costruzioni esistenti, i valori delle caratteristiche meccaniche considerando nelle valutazioni il fattore di confidenza (FC), funzione del livello di conoscenza (LC), e i coefficienti parziali di sicurezza γ_M .”

Premesso che è necessario far riferimento alle indicazioni fornite dalle LLG20, nel caso delle VPPS ci si trova spesso nella indisponibilità di prove sulle caratteristiche meccaniche dei materiali. È evidente, quindi, che le indicazioni fornite al §6.3.4 delle LLG20 vanno di volta in volta dettagliate per poter ben adattarsi ai vari casi che si possono presentare. In particolare, posto che la documentazione di progetto originaria è un requisito minimo di conoscenza per poter procedere alle valutazioni VPPS, si possono presentare i seguenti casi:

- 1) Disponibilità di certificati di collaudo eventualmente integrata da indagini in situ;
- 2) Assenza di certificati di collaudo, disponibilità di indagini sui materiali;
- 3) Assenza di certificati di collaudo e di indagini sui materiali.

Si ritiene che un'adeguata interpretazione rispettosa delle Norme Tecniche e della Circolare per i tre casi individuati sia quella proposta di seguito, precisando come sia possibile raggiungere livelli di conoscenza differenziati per le diverse parti della struttura, come indicato al §C8.5 della Circolare delle NTC18.

1. Disponibilità dei certificati di collaudo e/o dei certificati originali sui materiali, eventualmente integrata da indagini in situ:

In accordo al §C8.5.4 della Circolare delle NTC18, dove si recita *“Ci si può riferire alla documentazione in atti, qualora per essa siano stati adempiuti gli obblighi della L. 1086/71 o 64/74 e s.m.i., ma solo dopo adeguata giustificazione eventualmente integrata da indagini in opera. Per la caratterizzazione meccanica dei materiali si possono adottare, motivatamente, i valori caratteristici assunti nel progetto originario o quelli ridotti risultanti dalla documentazione disponibile sui materiali in opera. **In questo caso i fattori di confidenza si assumono unitari.**”*, è possibile utilizzare le seguenti espressioni per la determinazione della resistenza di calcolo del conglomerato cementizio (f_{cd}), dell'acciaio dell'armatura lenta (f_{sd}) e per l'acciaio da precompressione ($f_{sd_{cap}}$):

$$f_{cd} = \min\left(\frac{f_{cm}}{FC \cdot \gamma_c} \alpha_{cc}; \frac{f_{ck}}{FC} \alpha_{cc}\right) \quad f_{sd} = \min\left(\frac{f_{sm}}{FC \cdot \gamma_s}; \frac{f_{sk}}{FC}\right) \quad f_{sd_{cap}} = \min\left(\frac{f_{sm_{cap}}}{FC \cdot \gamma_s}; \frac{f_{sk_{cap}}}{FC}\right)$$

Nella determinazione della resistenza di progetto del calcestruzzo, f_{cd} , l'adozione del parametro α_{cc} va adeguatamente motivata dal progettista, considerando che quest'ultimo va applicato solo ai valori delle resistenze ricavati dai documenti di progetto, indipendentemente dal fatto che si tratti di valori medi o caratteristici.

I coefficienti γ_x sono ricavati dalle NTC18 ovvero dalle LL.G.20, “tabella 6.3.6” §6.3.4.1, per i casi di transitabilità e operatività, non trattati dalle NTC18. I valori medi (f_{xm}) sono ottenuti da prove in sito se disponibili, mentre i valori caratteristici (f_{xk}) sono ricavati dai certificati di collaudo.

Si considera, come suggerito dalla Circolare delle NTC18, $FC=1$.

2. Assenza di certificati di collaudo, disponibilità di indagini sui materiali:

In accordo alle intenzioni delle LL.G.20, di cui al §6.3.4, la disponibilità delle proprietà dei materiali ottenute da prove in situ, consentono il raggiungimento di un LC3, quindi un $FC=1$. In questo caso è quindi possibile utilizzare le seguenti espressioni:

$$f_{cd} = \min\left(\frac{f_{cm}}{FC \cdot \gamma_c}; \frac{f_{ck}}{FC}\right) \quad f_{sd} = \min\left(\frac{f_{sm}}{FC \cdot \gamma_s}; \frac{f_{sk}}{FC}\right) \quad f_{sd_{cap}} = \min\left(\frac{f_{sm_{cap}}}{FC \cdot \gamma_s}; \frac{f_{sk_{cap}}}{FC}\right)$$

I coefficienti γ_x sono ricavati dalle NTC18 ovvero dalle LL.G.20, “tabella 6.3.6” §6.3.4.1, per i casi di transitabilità e operatività, non trattati dalle NTC18. I valori medi e caratteristici sono ottenuti da prove in sito e calcolati secondo quanto indicato al §6.3.4.

3. Assenza di certificati di collaudo, assenza di indagini sui materiali

Nell’ambito delle *VPPS*, dove ci si trova ad effettuare una verifica preliminare anche in assenza di indagini, potrebbe presentarsi il caso in cui non sono disponibili né prove in situ, né certificati di collaudo. In questa evenienza, non essendoci indicazioni chiare nei riferimenti normativi indicati precedentemente, si possano utilizzare le espressioni indicate di seguito:

$$f_{cd} = \min\left(\frac{f_{cm}}{FC \cdot \gamma_c}; \frac{f_{ck}}{FC}\right) \quad f_{sd} = \min\left(\frac{f_{sm}}{FC \cdot \gamma_s}; \frac{f_{yk}}{\gamma_s}\right) \quad f_{sd_{cap}} = \min\left(\frac{f_{sm_{cap}}}{FC \cdot \gamma_s}; \frac{f_{yk_{cap}}}{\gamma_s}\right)$$

dove:

- f_{ck}, f_{yk} , sono i valori di resistenza caratteristici dei materiali da progetto originario;
- γ_c, γ_s , sono i fattori parziali di sicurezza per le caratteristiche di resistenza dei materiali da cemento armato secondo la Tabella 6.3.6 delle LLG20.

Inoltre, per il calcestruzzo:

- $FC = 1,35$, è il fattore di Confidenza per LC1, per tener conto delle variabili legate al livello di conoscenza;
- l’adozione del parametro α_{cc} va adeguatamente motivata dal progettista, considerando che quest’ultimo va applicato solo ai valori delle resistenze ricavati dai documenti di progetto, indipendentemente dal fatto che si tratti di valori medi o caratteristici.

Per l’acciaio, infine, è consentito applicare il fattore γ_s al posto del fattore FC , per tener conto della minore dispersione che caratterizza questo materiale.

In alternativa a quanto illustrato, ai fini delle presenti verifiche, è possibile far ricorso, indicandolo esplicitamente in relazione, a serie statistiche dei valori storici di resistenza dei materiali, ove disponibili in letteratura come, ad esempio, le curve di resistenza-età elaborate dal Politecnico di Torino. Tali curve, ottenute con un’analisi statistica delle resistenze misurate in più di un secolo di

prove di qualificazione dei materiali, costituiscono un modello di previsione della resistenza a compressione media del calcestruzzo e di quella a snervamento media dell'acciaio in funzione dell'età di costruzione. L'affidabilità dei modelli è subordinata alla taratura rispetto ad analisi già eseguite sulle strutture esistenti.

Si precisa, infine, in merito al §6.2.3 delle LL.G.20, che non è prevista la differenziazione dei fattori di confidenza per meccanismi duttili e fragili nella determinazione della resistenza di calcolo al fine delle valutazioni preliminari previste dalla presente specifica, trattandosi di scenari di carico in assenza di sisma.

3.5.1 Impalcati

Si devono inserire le tabelle riassuntive delle caratteristiche dei materiali in appositi sottoparagrafi sia per gli impalcati che per gli elementi in elevazione.

Nel caso di presenza di più impalcati con caratteristiche dei materiali differenti, si devono inserire un egual numero di sottoparagrafi.

3.5.2 Elevazioni

Si devono inserire le tabelle riassuntive delle caratteristiche dei materiali in appositi sottoparagrafi sia per gli impalcati che per gli elementi in elevazione.

Nel caso di presenza di più elementi in elevazione con caratteristiche dei materiali differenti, si devono inserire un egual numero di sottoparagrafi.

3.6 Analisi dei carichi

3.6.1 Pesi propri e carichi permanenti portati

Si deve inserire la descrizione dei pesi propri e dei carichi permanenti portati, corredata da tutte le ipotesi effettuate in questa fase.

3.6.2 Azioni variabili

Le azioni variabili devono derivare dalle sole azioni variabili da vento (per le quali è necessario considerare la presenza di elementi verticali come le barriere integrate) e da traffico (sia verticali che non in funzione della tipologia di elemento analizzato) quindi sia dagli schemi di carico da traffico che dalle azioni di frenatura o accelerazione, salvo i casi particolari descritti nella seguente trattazione.

Nella relazione si devono riportare gli schemi di carico di riferimento sia in pianta che in sezione, sia per la normativa di progettazione dell'opera (o dei successivi interventi) che per la normativa attuale.

1. Azioni verticali da traffico e azioni da vento

Per approfondimenti sulla distribuzione e sull'entità dei carichi verticali da traffico sulle corsie di calcolo nel caso delle verifiche di transitabilità di tipo (2) si rimanda al §3.12.3.4.

Le azioni del vento devono essere determinate in accordo alla CNR-DT 207/2008 considerando l'eventuale interazione tra impalcati affiancati secondo le formulazioni ivi descritte.

a. VPPS

Si applicano sia le azioni verticali da traffico che da vento.

b. VPL3

Non si applicano le azioni da vento mentre si applicano le azioni verticali da traffico.

2. Azioni orizzontali da traffico

a. VPPS

Le azioni orizzontali indotte dalla frenatura o dall'accelerazione devono essere considerate nelle verifiche denominate *VPPS* (§1.2.1 e §3.12.3) se e solo se la parte d'opera interessata (e.g. fila di appoggi, pila) presenta una percentuale di riduzione della resistenza rispetto a quella originaria maggiore del 10% (tale valore si ricava effettuando la *VPID* così come descritto al §3.12.3.1.1).

Qualora la riduzione sia superiore al 10% si procede effettuando un confronto tra la capacità ridotta dell'elemento con la domanda dovuta alle azioni orizzontali dovute al traffico del progetto originario; qualora il confronto risulti positivo (capacità superiore alla domanda), la transitabilità dell'opera viene mantenuta nel periodo che intercorre tra l'esecuzione della valutazione *VPPS* e il necessario approfondimento di livello 4 (*VAL4*); viceversa, si determina la riduzione e/o limitazione al traffico con le combinazioni previste dalla presente procedura per la gestione del transitorio.

Approcci differenti nella definizione delle azioni orizzontali associate al passaggio dei mezzi, che considerino altri parametri, quali, ad esempio, la velocità dei mezzi in transito, potranno essere adottati, qualora supportati da specifici studi e analisi riconosciuti dalla comunità tecnico e scientifica internazionale.

Nel caso in cui il difetto riguardi gli apparecchi di appoggio, componenti per le quali è oggettivamente complesso individuare la riduzione di capacità in termini percentuali, il progettista deve:

- valutare i risultati delle ultime schede di ispezione,
- effettuare, qualora ritenuto necessario, un sopralluogo conoscitivo associato ad interventi preliminari di pulizia e sabbiatura dei dispositivi,
- esprimere un giudizio motivato in funzione della tipologia di difetto riscontrato (e.g. bloccaggio o scalinamento dell'apparecchio di appoggio),
- effettuare una valutazione numerica mediante l'utilizzo delle azioni di progetto originario; qualora la verifica risulti superata, la transitabilità dell'opera viene mantenuta nel periodo transitorio tra l'esecuzione della *VPPS* e l'approfondimento di livello 4 (*VAL4*); altrimenti, si determina la riduzione e/o limitazione al traffico con le combinazioni previste dalla presente procedura per la gestione del transitorio.

In ogni caso, nel periodo che intercorre tra la valutazione preliminare del difetto e la valutazione accurata di livello 4 (*VAL4*), si procede ad un'operazione di pulizia profonda e sabbiatura dell'apparecchio di appoggio interessato ed eventualmente di quelli con esso interagenti.

b. VPL3

Si applicano le azioni orizzontali da traffico con particolare riferimento al rapporto tra le domande su elementi quali pile, pulvini, baggioli e apparecchi di appoggio.

3. Azioni sismiche

a. VPPS

Non si applicano le azioni sismiche.

b. VPL3

Non si applicano le azioni sismiche.

3.7 Combinazioni dei carichi

Si devono riportare tutte le combinazioni di carico adottate, suddivise per ogni valutazione contenuta nella relazione (*VPPS*, *VPL3*).

Le combinazioni utilizzate per poi effettuare le *VPPS* devono essere in accordo a quanto previsto dalle LL.G.20 §6.

3.8 Software di calcolo utilizzati

3.8.1 Modelli agli elementi finiti

Si deve inserire l'elenco dei software utilizzati e il numero di ogni licenza.

3.8.2 Verifiche

Si deve inserire l'elenco dei software utilizzati e il numero di ogni licenza.

L'elenco include anche software e fogli di calcolo senza licenza.

3.9 Modello di calcolo

3.9.1 Unità di misura

Devono essere specificate le unità di misura dei modelli di calcolo.

3.9.2 Geometrie

Si devono dettagliare esaurientemente le geometrie dei modelli sia per gli impalcati che per le elevazioni, ciò vale sia per modelli complessivi che per eventuali modelli parziali dell'opera.

L'origine del sistema di riferimento deve essere orientata dalla progressiva minore verso quella maggiore della relativa tratta autostradale.

3.9.3 Vincoli e connessioni

Si devono dettagliare la schematizzazione dei vincoli e le connessioni tra i vari elementi.

3.9.4 Modellazione del difetto / del degrado

Si devono giustificare le ipotesi utilizzate per la modellazione del difetto / degrado analizzato, specificando se questo è stato considerato anche ai fini della determinazione delle sollecitazioni o solo nella valutazione della capacità.

Tale modellazione deve essere coerente con quanto riportato al successivo §3.12.

3.9.5 Carichi

- Carichi permanenti e permanenti portati (con particolare riferimento ai permanenti portati)
- Azioni variabili
 - o Norma originaria dell'opera
 - o Normativa vigente

Tutti i carichi applicati devono essere mostrati con una serie di immagini riportanti le unità di misura in didascalia o sull'immagine stessa, ove non visibile direttamente dall'immagine estratta dal software di calcolo.

3.10 Validazione del modello

Deve essere effettuato un confronto con dati di archivio a disposizione (provenienti da relazioni di calcolo originarie o da altre fonti), ad esempio sulle azioni alla base indotte dai carichi permanenti.

3.11 Risposta della struttura

Deve essere inclusa una serie di immagini estrapolate dal modello di calcolo in cui viene mostrato l'andamento qualitativo e quantitativo delle sollecitazioni significative almeno per le azioni variabili da traffico di entrambe le normative (originaria e vigente) prese a riferimento per la *VPPS* e per la *VPL3*.

Le massime sollecitazioni per le combinazioni di verifica su impalcati ed elevazioni devono, inoltre, essere riportate in apposite tabelle.

Tali tabelle devono riportare le sollecitazioni massime su tutte le sezioni successivamente verificate e per ognuna delle valutazioni componenti la *VPPS* e la *VPL3*. Esse sono strutturate in analogia alle tabelle riassuntive delle verifiche riportate nei paragrafi conclusivi della presente specifica.

Nel solo caso in cui le sollecitazioni indotte sulla struttura dall'applicazione degli schemi previsti dalla norma progettuale originaria siano disponibili nella documentazione di archivio, sarà possibile non eseguire l'analisi agli elementi finiti per tali scenari di carico, fermo restando la necessità di determinare le sollecitazioni indotte dalle NTC18.

3.12 Valutazioni preliminari dello stato dell'Opera

I risultati devono essere strutturati in 3 paragrafi distinti, il primo per l'"analisi delle riserve di resistenza" (*VPPS*) §3.12.3, il secondo per l'"analisi del rapporto tra le domande in termini di sollecitazioni tra quelle determinate in funzione del progetto originario e della norma vigente" (*VPL3*) §3.12.4; il terzo e ultimo per l'"analisi dell'incidenza del difetto sulla capacità resistente delle sezioni" (*VPID*) §3.12.5.

3.12.1 Descrizione dei difetti

Nell'introduzione a questo paragrafo, vengono riportati i difetti che secondo il progettista devono essere valutati e quindi poi considerati nell'analisi secondo *VPPS*. Essi devono essere individuati

graficamente, su disegni originali, se disponibili, o su schemi semplificativi realizzati sulle informazioni reperite, e riassunti in una tabella. Ogni difetto ha un identificativo univoco alfanumerico del tipo: *D@numerazione sequenziale (D01; D02; ...; D99)*. Tale identificativo viene richiamato ogni qualvolta ci si riferisce a quel determinato difetto. Per i difetti ritenuti da analizzare nella *VPPS* dal progettista è necessario riportare lo stralcio relativo al difetto dal report d'ispezione come da esempio successivo.

Ad ogni difetto considerato deve essere associata una motivazione ed una descrizione delle ipotesi che hanno comportato l'assunzione di una determinata riduzione della capacità resistente del materiale, una riduzione percentuale della sezione, del numero di barre di armatura lenta o di precompressione, etc.

Le assunzioni effettuate ai fini del calcolo devono tenere in considerazione la possibile evoluzione del difetto in un orizzonte temporale di medio termine (non superiore a 5 anni).

Report d'ispezione - RT_002_2601002600_V.tto_SCHIAPPARAPE_FOTO			
ID Difetto	Componente coinvolto	Parte d'opera coinvolta	Voto
D01	Trave	Impalcato	43
<p>Difetto prog. 8: C/s ammalorato con spigoli rotti e ferri o trefoli in vista ossidati e corrosi e distacchi in prossimità di strada agro-forestale</p> <p>Ubicazione: CARR. NORD: C1 - T1 - campo B e C - C2 T1 e T4 - CARR. SUD: T4 C2</p> <p>Estensione: 10%</p> <p>Voto: 43 Elem. Amm.: 4 Perc. Amm.: 10 Data Rilievo: 03/06/2020</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
ID Difetto	Componente coinvolto	Parte d'opera coinvolta	Voto
D02	Trave	Impalcato	43
<p>Difetto prog. 8: C/s ammalorato con spigoli rotti e ferri o trefoli in vista ossidati e corrosi e distacchi in prossimità di strada agro-forestale</p> <p>Ubicazione: CARR. NORD: C1 - T1 - campo B e C - C2 T1 e T4 - CARR. SUD: T4 C2</p> <p>Estensione: 10%</p> <p>Voto: 43 Elem. Amm.: 4 Perc. Amm.: 10 Data Rilievo: 03/06/2020</p>			

Figura 5 – Stralcio da report di ispezione tipico

In aggiunta devono essere inserite delle immagini riportanti il profilo longitudinale e le sezioni trasversali dell'opera su cui sono evidenziate, con forme grafiche ad hoc, le zone interessate dalle

verifiche. Si deve riportare lo schema che rappresenta la componente della parte d'opera con il difetto e in questa, evidenziare la localizzazione utilizzando un cerchio pieno di colore rosso, riportando se possibile le coordinate rispetto ad un punto di riferimento.

In caso di assenza di informazioni dettagliate sulla localizzazione del difetto vengono effettuate delle ipotesi di calcolo, inserendo nella rappresentazione grafica le posizioni prescelte (sezioni ma anche fasce ove ritenuto opportuno).

Al fine di corroborare la valutazione dei difetti derivanti dall'analisi delle schede ispettive da parte del progettista, si riporta, di seguito, *in corsivo*, una descrizione riassuntiva della metodologia per la classificazione dei difetti di ponti, viadotti e cavalcavia della Rete che ASPI sta implementando.

“Il nuovo sistema si basa sui seguenti aspetti:

- *Restituzione anagrafica di tutti gli elementi strutturali delle opere d'arte in un modello informatico 3D fruibile durante le ispezioni;*
- *Aggiornamento del Catalogo dei Difetti, distinto per tipologia di struttura e di elemento componente, finalizzato a rendere omogenea la valutazione dei possibili degradi e a ridurre la discrezionalità dell'ispettore; le priorità di intervento, a meno di segnalazione da parte dell'ispettore di degradi strutturalmente importanti tali da richiedere un immediato provvedimento, saranno determinate solo nella successiva fase di valutazione dell'influenza, diretta o potenziale, dei difetti sulla capacità dell'insieme degli elementi strutturali resistenti;*
- *Descrizione accurata di tutti i difetti presenti su ciascun elemento strutturale per localizzazione, intensità ed estensione;*
- *Ripresa fotografica di ciascun difetto, ripetuta almeno ogni ispezione principale e collocata a cura dell'ispettore sul modello 3D dell'elemento strutturale interessato;*
- *Caratterizzazione dei degradi non superficiali contestuale alla loro prima rilevazione, dove possibile.*

Lo stato di degrado complessivo dell'opera viene ottenuto mediante l'analisi della difettosità di ogni sua singola componente. Il sistema di valutazione si basa sull'individuazione dei “difetti elementari” i quali sono identificati e raccolti in un catalogo che viene allegato al nuovo Manuale della sorveglianza delle opere d'arte. Per ogni difetto viene stata redatta una scheda monografica composta da due parti:

- *La prima parte comprende la descrizione del difetto, le principali cause che lo possono generare ed innescare, le correlazioni con altri difetti del catalogo ed eventuali note;*
- *La seconda parte contiene tutti gli strumenti, necessari all'ispettore, con i quali effettuare la valutazione peculiare dello specifico difetto considerando i tre parametri che ne definiscono tutte le caratteristiche e cioè:*
 - *I - intensità, che misura sostanzialmente lo stadio del difetto e la sua possibile evoluzione;*
 - *E - estensione, che misura lo sviluppo del difetto sul componente ed è valutata, il più delle volte, tramite un rapporto tra superfici o lunghezze;*
 - *U - ubicazione, che tiene in conto, se presente, il posizionamento del difetto su componenti strutturali diverse o su parti di componenti specifiche.*

Le caratteristiche del difetto (*Intensità, Estensione ed Ubicazione*) opportunamente descritte e dichiarate in ciascuna scheda concorrono attraverso la loro combinazione alla determinazione della “gravità” che è espressa mediante 8 valori alfanumerici (C2-C1-B4-B3-B2-B1-A2-A1) che rappresentano 8 classi di difettosità.

U_1		INTENSITÀ		
		BASSA	MEDIA	ALTA
ESTENSIONE	BASSA	C2	C1	C1
	MEDIA	C1	C1	B4
	ALTA	C1	B3	B3

I difetti, classificati in funzione della potenziale influenza sullo stato di conservazione dell'opera sono raggruppabili in tre macrocategorie:

- Classe A: difetti tali da comportare eventuali limitazioni di esercizio che saranno predisposte dalla DT di competenza a seguito dell'immediata comunicazione della problematica riscontrata;
- Classe B: difetti non influenti significativamente in termini statici, suddivisi in difetti associati alla natura strutturale (B1-B2) e difetti di natura accessoria (B3-B4);
- Classe C: difetti di esclusivo ordine superficiale.

Il sistema di censimento dei difetti prevede, inoltre, una procedura per innescare, ove necessario, una serie di azioni quali:

- Necessità di approfondimento;
- Segnalazione di intervento immediato di manutenzione per difetti in rapida evoluzione;
- Segnalazione di intervento di disaggio ovvero eliminazione di rischio caduta materiale;
- Segnalazione di interventi di manutenzione ordinaria per il ripristino dei sistemi di smaltimento acque.

A partire dal rilievo e mappatura dei singoli difetti su ciascuna componente è possibile calcolare l'indice di degrado complessivo dell'opera mediante la seguente formulazione:

$$I_{LOG} = \log_B \sum_{i=1}^n B^I$$

dove:

- n è il numero totale dei difetti dell'opera;
- B è un coefficiente da tarare in funzione dei risultati (ipotizzato $B=10$);
- I è l'indice di degrado associato alla classe del difetto.

Classe	I (singolo difetto)
A1	8
A2	7
B1	6
B2	5
B3	4
B4	3

Tabella sezioni di verifica VPPS					
ID Sezione	Componente	Parte d'opera	Difetto	Voto	Campata
S001	Trave	Impalcato	D1	43	1
S002	Trave	Impalcato	D2	43	1
S003	Trave	Impalcato	D3	50	1
S004	Elevazione	Pila	D4	43	1
S005	Elevazione	Pila	-	-	1
S006	Elevazione	Pila	-	-	1
S007	Elevazione	Pila	-	-	1
S008	Elevazione	Pila	-	-	1
S009	Trave	Impalcato	-	-	1
S010	Trave	Impalcato	-	-	1
...	...	...	...	...	1

Figura 7 – Tabella delle sezioni di verifica della VPPS

La determinazione delle resistenze di progetto per meccanismi duttili e fragili (flessione e taglio) deve esser esplicitata all'interno delle varie analisi; deve esser riportato il procedimento effettuato non limitandosi ad esplicitare il solo valore di resistenza.

Ciò significa, ad esempio, che devono essere riportati i calcoli e le considerazioni che portano alla determinazione della larghezza di soletta collaborante.

Per la valutazione delle resistenze ultime relative ai meccanismi duttili e fragili, si deve fare riferimento alle formulazioni previste nelle LL.G.20, nelle NTC18 e, in subordine, alle ultime versioni degli Eurocodici (a titolo di esempio, per le strutture in c.a. e in c.a.p. si deve far riferimento alla UNI EN 1992-1-1:2015).

I coefficienti determinati nelle varie valutazioni e riportati in relazione devono essere sempre caratterizzati da due cifre decimali.

3.12.3 Verifiche Preventive e Parziali della Sicurezza [VPPS]

La VPPS sfocia nell'ottenimento di due indicatori numerici, uno per meccanismi duttili ed uno per quelli fragili, per ogni sezione significativa dalla parte d'opera presa in esame (ossia includente il difetto).

Ad esempio, per la parte d'opera "impalcato in c.a.p." semplicemente appoggiato, componenti "travi", si analizzano, salvo casi particolari, le due sezioni di appoggio a taglio e la sezione di mezzera a flessione. La modellazione agli elementi finiti riguarda tutti i componenti costituenti la parte d'opera e si riportano in relazione le sollecitazioni relative a tutte le travi. L'analisi può esser esplicitata limitatamente alla trave più sollecitata in quella sezione (a parità di geometria, armatura e caratteristiche dei materiali). Analogamente si opera su trasversi, sbalzi, solette, etc.

La formulazione generale della sicurezza prevede l'utilizzo di un parametro equivalente al parametro ζ_v introdotto dalle NTC18 al §8.3 come di seguito indicato:

- $\zeta(VPL4)_{v,xx} = \frac{C_{Rd,Red} - S_{Ed,G}}{S_{Ed,Q}}$ – Rapporto tra il valore massimo del sovraccarico variabile sopportabile dalla parte i-esima della costruzione e il valore del sovraccarico variabile determinato nello scenario di carico di riferimento “xx”. Determinato anche in funzione del livello di conoscenza e della resistenza effettiva della sezione allo stato attuale (ridotta per il difetto);
- $S_{Ed,G}$ – Azione sollecitante derivante dai pesi propri strutturali e dai sovraccarichi permanenti;
- $S_{Ed,Q}$ – Azione sollecitante derivante dai carichi accidentali.

3.12.3.1 Condizione di adeguatezza

Le parti d’opera vengono sottoposte ad una “analisi di riserva delle resistenze” che consiste nella determinazione dei rapporti ζ_v sia per meccanismi duttili che fragili, utilizzando i fattori parziali di sicurezza delle azioni previsti al §6.3.3 delle LL.G.20 per la condizione di opera “adeguata”, su tutte le sezioni significative e con difetto della parte d’opera interessata dallo stesso.

Il prodotto finale è la determinazione dell’adeguatezza “transitoria” [in quanto non approfondita secondo quanto richiesto al §6 delle LL.G.20 per la Valutazione Accurata di livello 4 o VAL4] o meno della parte d’opera analizzata alle azioni previste dalle NTC18 per i carichi variabili da traffico. Nel caso in cui il primo set di valutazioni di sicurezza sia soddisfatto, si procede all’analisi di incidenza del difetto per cui si rimanda al §3.12.3.1.1.

Viceversa, se la parte d’opera non viene dichiarata “transitoriamente adeguata” [$\min\{\zeta(VPL4)_{v,AD}\} \leq 1$] si effettuano delle valutazioni numeriche ai fini della gestione del periodo che intercorre tra l’analisi di riserva delle resistenze ed il completamento della VAL4, come illustrato ai §3.12.3.2, §3.12.3.3 e §3.12.3.4.

Tabella di Adeguatezza Preventiva				
Sezione	Difetto	Indicatore	Meccanismo	Valore
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,AD}$	Duttile	0,90
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,AD}$	Fragile	1,43
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,AD}$	...	...
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,AD}$	...	...
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,AD}$	Duttile	1,09
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,AD}$	Fragile	1,47

Figura 8 – Tabella di sintesi delle valutazioni preventive di adeguatezza

3.12.3.1.1 Analisi di incidenza del difetto

Nel caso in cui il primo set di valutazioni di sicurezza sia soddisfatto, si procede alla valutazione preliminare di incidenza del difetto (v. anche §3.12.5), il cui risultato è espresso per mezzo del rapporto [$\Delta C(L3) = \frac{C_{Rd,Red}}{C_{Rd}}$] tra la resistenza di progetto ridotta a causa della presenza del difetto [$C_{Rd,Red}$] e la resistenza di progetto in assenza dello stesso [C_{Rd}], sia nel caso di meccanismi duttili che di meccanismi fragili.

3.12.3.2 Condizione di operatività

Il primo passo di tale approfondimento consiste nella reiterazione della “analisi di riserva delle resistenze” mediante l’abbattimento dei fattori parziali di sicurezza delle azioni previsti al §6.3.3 delle LL.G.20 per la condizione di opera “operativa”.

In caso di superamento della valutazione [$\min \{ \zeta(VPL4)_{v,OP} \} > 1$] l’opera viene dichiarata nel suo complesso “transitoriamente operativa”; viceversa, si procede alla verifica preventiva di transitabilità (2) per mezzi pesanti in analogia alla definizione del §6 delle LL.G.20 per la condizione di opera “transitabile” con limitazione dei carichi consentiti ma senza restrizioni all’uso del ponte.

Tabella di Operatività Preventiva				
Sezione	Difetto	Indicatore	Meccanismo	Valore
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,OP}$	Duttile	0,93
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,OP}$	Fragile	1,46
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,OP}$	...	...
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,OP}$	...	...
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,OP}$	Duttile	1,20
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,OP}$	Fragile	1,60

Figura 9 – Tabella di sintesi delle valutazioni preventive di operatività

3.12.3.3 Condizione di transitabilità (1)

Come per i precedenti casi, il soddisfacimento di questa verifica [$\min \{ \zeta(VPL4)_{v,T1} \} > 1$] comporta l’assunzione di opera complessivamente “transitoriamente transitabile (1)” senza limitazioni di carico e con possibili restrizioni d’uso geometriche.

Tabella di Transitabilità Preventiva				
Sezione	Difetto	Indicatore	Meccanismo	Valore
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,T1}$	Duttile	0,93
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,T1}$	Fragile	1,46
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,T1}$	...	...
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,T1}$	...	...
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,T1}$	Duttile	1,20
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,T1}$	Fragile	1,60

Figura 10 – Tabella di sintesi delle valutazioni preventive di transitabilità 1

3.12.3.4 Condizione di transitabilità (2)

Il soddisfacimento di questa verifica $[\min \{\zeta(VPL4)_{v,T2}\} > 1]$ comporta l'assunzione di opera complessivamente “transitoriamente transitabile (2)” con determinate limitazioni di carico e possibili restrizioni d'uso geometriche.

Sezione	Difetto	Indicatore	Meccanismo	Valore
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	Duttile	0,93
S001	D01	$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	Fragile	1,46
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	...	...
...	...	$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	...	...
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	Duttile	1,20
S999	-	$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	Fragile	1,60

Figura 11 – Tabella di sintesi delle valutazioni preventive di transitabilità 2

Si premette che tale condizione di transitabilità è riferita, nel caso delle VAL4, ad un tempo di riferimento pari a 5 anni (v.§6.1.5.3 LLG20). Ciò significa che si potrebbero adottare, assumendo la stessa probabilità di superamento assunta dalle NTC18 per le nuove opere (NTC18-§2.5.2) e pari al 10% nella vita di riferimento, schemi di carico con periodi di ritorno di circa 50 anni.

Ciò premesso, si adotta una disposizione dei mezzi variabili per entità dalla corsia 1 alla 3, in analogia ai principi dello schema di carico 1 delle NTC18 per il progetto di nuove opere. Tale ipotesi va ad integrare i concetti formulati al §6.3.2.2 “Azioni variabili da traffico” delle LL.G.20 ove è riportata la seguente frase “[...] Occorre disporre i carichi lungo entrambe le carreggiate dei due sensi di marcia e comunque nelle posizioni più sfavorevoli. [...]” che non definisce con esaustività la disposizione dei carichi sulle corsie di calcolo e, quindi, non esclude con certezza nemmeno l'applicazione contemporanea dei mezzi pesanti su tutte le corsie di calcolo.

Ulteriore conferma dell'adozione di un approccio nel solco dei principi espressi dalle NTC18, e quindi orientato a non considerare la presenza dei mezzi pesanti su tutte le corsie, si ricava dalla normativa anglosassone CS454 “Assessment of highway bridges and structures (formerly BD 21/01, BA 16/97 and BD 37/01) Revision 1”. Tale norma prevede una disposizione dei carichi trasversali tra le varie corsie di calcolo combinata secondo “lane factors”, di seguito riportati, per la condizione di carico “ALL model 1”.

Lane	Lane factor ⁽¹⁾
Lane 1	1.0
Lane 2	1.0
Lane 3	0.5
Lane 4 and subsequent	0.4
Note 1: The lane factors are interchangeable between lanes.	

Figura 12 – Coefficienti di combinazione delle azioni verticali da traffico sulle corsie di calcolo da normativa anglosassone CS454

In questo caso, quindi, a partire da una distribuzione uniforme dei carichi verticali variabili da traffico sulle varie corsie, si agisce sugli stessi tramite un fattore riduttivo che ne modula l'intensità, arrivando, nel caso comune sulla Rete ASPI di tre corsie, ad avere due corsie a carico pieno ed una a carico dimezzato.

Nelle immagini sottostanti, al fine di esplicitare graficamente il concetto sovraesposto di "disposizione dei mezzi variabili per entità dalla corsia 1 alla 3", si riportano gli schemi di carico per azioni variabili verticali da traffico da considerare nell'analisi in un ponte "teorico" con 3 corsie di calcolo.

Tali schemi di carico sono stati realizzati ipotizzando:

- distribuzione degli assi e dei carichi congruenti con le figure 6.3.1 (mezzi pesanti), 6.3.2 (mezzi intermedi) e 6.3.3 (mezzi leggeri) delle LL.G.20,
- stesa di un sovraccarico uniformemente distribuito corrispondente alla condizione di "transitabilità autoveicoli", così come definito al §6.3.2.2 delle LL.G.20, sul resto della carreggiata.

In particolare, in **Figura 13** è riportato lo schema di carico massimo in assenza di restrizioni geometriche, nel caso di un ponte a 3 corsie di calcolo.

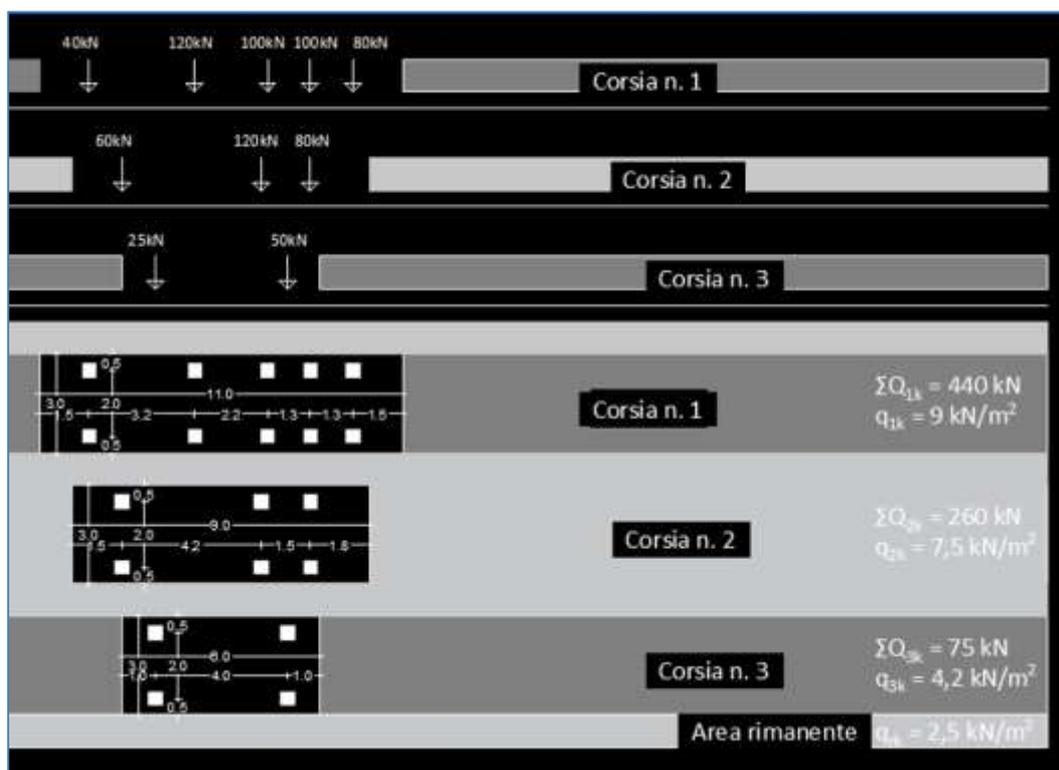


Figura 13 – Schema di carico massimo in assenza di restrizioni geometriche all'uso del ponte (3 corsie di calcolo)

Qualora la prima verifica non venga soddisfatta si procede per step successivi sino ad arrivare alla condizione di minimo che prevede solo mezzi leggerissimi (ossia autoveicoli) transitanti al di sopra dell'opera associati ad una corsia con "mezzi pesanti" (v. **Figura 14**).

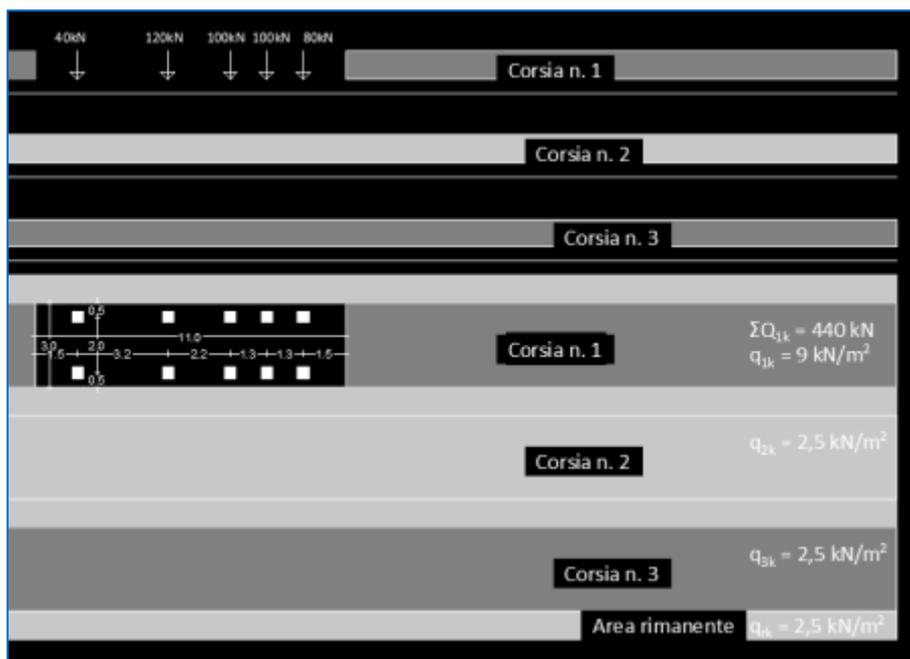


Figura 14 – Schema di carico minimo in assenza di restrizioni geometriche all'uso del ponte (3 corsie di calcolo)

In casi particolarmente limitanti, da concordare preventivamente con la Direzione di Tronco competente e sulla falsa riga di quanto esposto sopra, si procede all'iterazione delle analisi con restrizioni d'uso geometriche.

In **Figura 15** si riporta la possibile disposizione dei carichi sul ponte “teorico” con 3 corsie di calcolo, in presenza di restrizioni d'uso.

La corsia n.1 viene esclusa al traffico, la nr.2 viene sottoposta ai carichi indotti dai “mezzi pesanti” e la nr.2 ai soli “mezzi leggerissimi”.

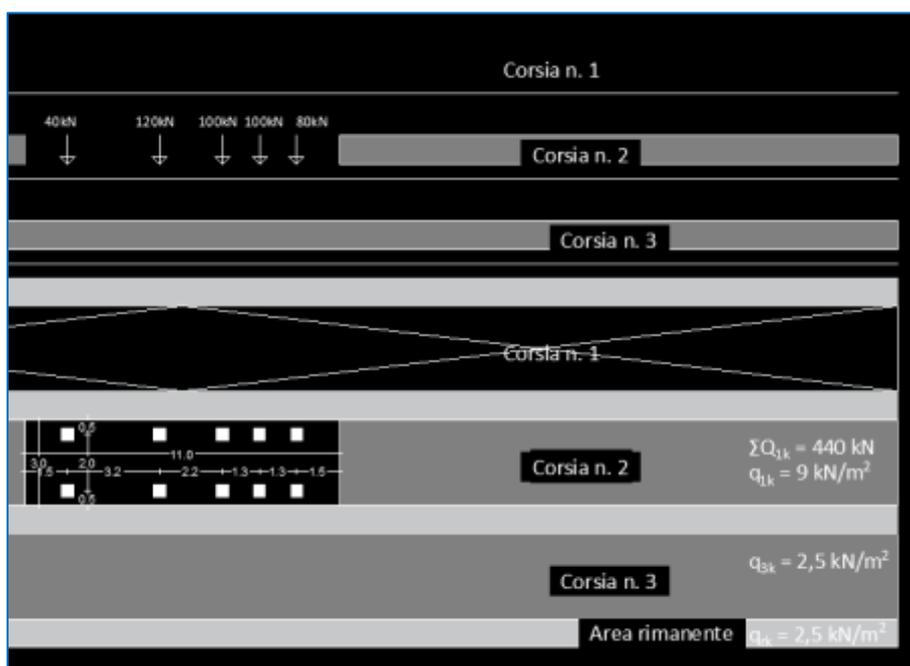


Figura 15 – Ipotesi di schema di carico in presenza di restrizioni geometriche all'uso del ponte (3 corsie di calcolo)

Qualora la prima verifica non venga soddisfatta si procede per step successivi sino ad arrivare alla condizione di minimo che prevede solo il transito di mezzi leggerissimi (ossia autoveicoli) (v. **Figura 16**).

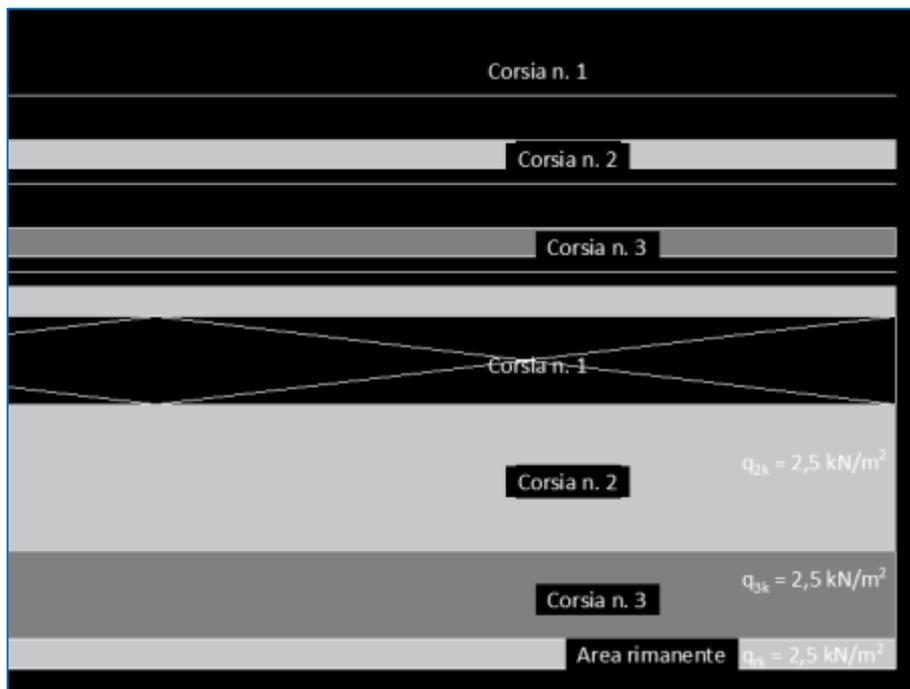


Figura 16 – Schema di carico minimo in presenza di restrizioni geometriche all'uso del ponte (3 corsie di calcolo)

Nel caso in cui la società di ingegneria incaricata della valutazione reputi necessario un ulteriore approfondimento in merito alla effettiva distribuzione dei carichi sulle corsie di calcolo, sarà sua facoltà richiedere ad ASPI la disponibilità dei dati del traffico effettivo sull'opera interessata.

ASPI si impegna, peraltro, ad avviare un'attività di analisi statistica dei dati di traffico della rete i cui risultati potranno essere utilizzati nell'ambito delle valutazioni preliminari di cui alla presente specifica.

3.12.3.5 *Transito eccezionale compatto ammissibile*

In tutti i casi in cui sia necessario procedere ad una verifica preventiva di transitabilità si determina anche il massimo “Transito Eccezionale Compatto” (TEC) transitabile sull’opera, utilizzando le combinazioni e i coefficienti parziali previsti al §6.3.5.4 e al §6.3.3 delle LL.G.20 e alla tabella 5.I.VI delle NTC18.

In particolare, si considera il solo caso di transito esclusivo caratterizzato da assi con interasse 1,25m, carico inizialmente pari a 12 tonnellate per asse - “TEC12” - ed incrementando il numero di assi sino a giungere al collasso; l’analisi viene ripetuta per assi da 14 tonnellate - “TEC14” - e per assi da 16 tonnellate - “TEC16”.

L’esclusione delle altre azioni variabili deve essere argomentata in relazione.

In analogia alla normativa CS 458 “*The assessment of highway bridges and structures for the effects of special type general order (STGO) and special order (SO) vehicles (formerly BD 86/11) Revision 0*”, si adotta un fattore di amplificazione dinamico (DAF) dei carichi assiali caratteristici dovuto al transito eccezionale compatto attraverso la formulazione di seguito riportata (v. **Figura 17**):

$$DAF = \left[1.7 * \left(\frac{q_{ka}}{10} \right)^{-0.15} \right] \geq 1.05$$

dove:

q_{ka} , è il singolo carico assiale espresso in kN.

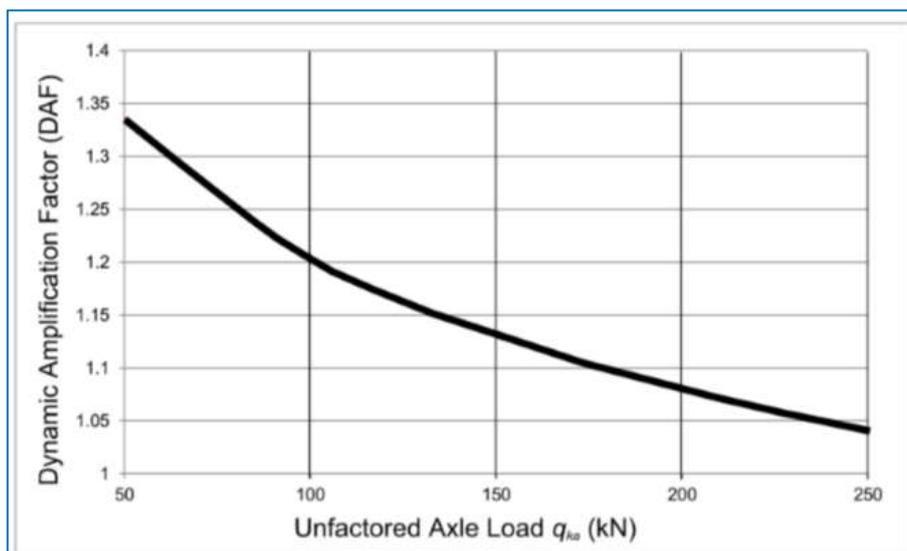


Figura 17 – Fattore di amplificazione dinamica da normativa anglosassone CS458

Inoltre, data l’ipotesi di esclusività di transito, non si considera l’azione longitudinale dovuta dalla frenatura, così come previsto per i “real SO vehicles” dalla normativa sopra richiamata.

3.12.4 Valutazione Preliminare dell’Opera di Livello 3 [VPL3] - Analisi delle domande

L’analisi delle domande si esprime attraverso i rapporti tra le sollecitazioni indotte dalle domande relative alla norma di progetto originaria ed a quella vigente (NTC18).

L'analisi è estesa a tutta la struttura escluse fondazioni e spalle, prendendo in esame le sezioni significative di ogni parte d'opera.

Ad esempio, per la parte d'opera "impalcato in c.a.p." semplicemente appoggiato componenti "travi" si analizzano, salvo casi particolari, le due sezioni di appoggio a taglio e la sezione di mezzzeria a flessione. L'analisi FEM modella tutti i componenti costituenti la parte d'opera e si riportano in relazione tutte le sollecitazioni sulle travi. L'analisi delle domande può essere esplicitata in relazione limitatamente alla trave più sollecitata in quella sezione (a parità di geometria, armatura e caratteristiche dei materiali). Stesso discorso si ripete per trasversi, sbalzi, solette, etc.

La formulazione generale delle risorse minime garantite da riportare in relazione è la seguente:

- $\Delta S(L3) = \frac{S_{Ek,OR}}{S_{Ek,NTC18}}$ – Rapporto che evidenzia la variazione del tasso di sollecitazione caratteristica agente al variare della norma considerata in accordo al §5 delle LL.G.20;
- $S_{Ek,OR}$ – Domanda sull'elemento in esame, espressa in termini di sollecitazione agente, richiesta dalle azioni caratteristiche della normativa di progetto originario dell'opera in esame;
- $S_{Ek,NTC18}$ – Domanda sull'elemento in esame, espressa in termini di sollecitazione agente, richiesta dalle azioni caratteristiche delle NTC18.

Ad esempio, per le sollecitazioni alla base di una generica pila si potrebbe avere:

$$\Delta N(L3) = \frac{N_{Ek,OR}}{N_{Ek,NTC18}} = 0,97$$

$$\Delta V(L3) = \frac{V_{Ek,OR}}{V_{Ek,NTC18}} = 0,60$$

$$\Delta M(L3) = \frac{M_{Ek,OR}}{M_{Ek,NTC18}} = 0,60$$

Operativamente, l'analisi delle domande deve essere riassunta in una tabella da inserire nella relazione di calcolo. Tale tabella deve identificare la sezione e l'indicatore numerico (eventualmente caratterizzato per tutte le sollecitazioni significative della sezione in esame).

Tabella di Analisi delle domande		
Sezione	Indicatore	Valore
S001	$\Delta M(L3)$	0,93
S002	$\Delta N(L3)$	0,97
S002	$\Delta V(L3)$	0,60
S002	$\Delta M(L3)$	0,60
S003	$\Delta V(L3)$	0,90
...

Figura 18 – Tabella di sintesi della VPL3

3.12.5 Valutazione Preliminare di Incidenza del Difetto [VPID]

La *VPID* riguarda la variazione di resistenza di quelle sezioni degli elementi costituenti l'opera che presentano difetto e, quindi, già analizzati al §3.12.3.

La formulazione generale del rapporto da riportare in relazione è la seguente:

- $\Delta C(L3) = \frac{C_{Rd,Red}}{C_{Rd}}$ – Indicatore di riduzione della capacità resistente della sezione per meccanismi duttili e/o fragili in funzione del difetto riscontrato;
- $C_{Rd,Red}$ – Capacità resistente della sezione ridotta per meccanismi duttili e/o fragili in funzione del difetto riscontrato;
- C_{Rd} – Capacità resistente della sezione per meccanismi duttili e/o fragili in assenza del difetto.

Per sollecitazioni composte, $\Delta C(L3)$ è calcolato considerando le sollecitazioni maggiormente gravose individuate a partire dalle combinazioni di carico previste per il caso di ponte adeguato:

$$\Delta C(L3) = \left(\frac{S_{Ed,NTC18}}{C_{Rd}} \right) / \left(\frac{S(Red)_{Ed,NTC18}}{C_{Rd,Red}} \right)$$

Operativamente, l'analisi di incidenza del difetto deve essere riassunta in una tabella da inserire nella relazione di calcolo. Tale tabella deve identificare, secondo lo schema sotto riportato, la sezione, l'indicatore numerico (eventualmente sdoppiato in caso di meccanismi duttili e fragili significativi nella sezione in esame) e il giudizio di significatività.

Tabella di Analisi dell'incidenza difetto				
Sezione	Indicatore	Meccanismo	Valore	Giudizio di significatività
S001	$\Delta C(L3)$	Duttile	0,93	"Testo libero a discrezione del progettista"
S001	$\Delta C(L3)$	Fragile	0,97	"Testo libero a discrezione del progettista"
S002	$\Delta C(L3)$	Fragile	0,60	"Testo libero a discrezione del progettista"
S003	$\Delta C(L3)$	Fragile	0,60	"Testo libero a discrezione del progettista"
S004	$\Delta C(L3)$	Duttile	0,90	"Testo libero a discrezione del progettista"
....

Figura 19 – Tabella di sintesi della *VPID*

3.13 Conclusioni

Nelle conclusioni deve essere evidenziato chiaramente il risultato complessivo delle analisi attraverso una tabella riassuntiva, come di seguito illustrato:

Indicatore	Valore	Sezione	Difetto	Meccanismo	Restrizioni	Note
$\zeta(VPL4)_{v,AD}$	0,90	S004	D04	Duttile	-	
$\zeta(VPL4)_{v,OP}$	...	S004	D04	Duttile	-	
$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	...	S004	D04	Duttile	-	
$\zeta(VPL4)_{v,T2}$	...	S004	D04	Duttile	SI	
$\Delta S(L3)$	0,90	S006	D04	-	-	
$\Delta C(L3)$	0,87	S004	D04	-	-	"Testo libero a discrezione del progettista"

Figura 20 – Tabella di sintesi dei risultati

Inoltre, al fine di individuare le azioni successive che dovranno essere necessariamente avviate, il progettista dovrà specificare quanto segue:

- a) l'esito complessivo della valutazione preliminare dell'opera, specificando le eventuali limitazioni geometriche e/o riduzioni di carico;
- b) gli eventuali approfondimenti del livello di conoscenza dell'opera;
- c) gli eventuali interventi di ripristino dei difetti riscontrati;
- d) la stima dei tempi di attuazione degli interventi di cui al punto c).